



SYKE:n väitöskirjoja vuosilta 1988–2013

Toimittaneet Per Mickwitz, Kirsi Norros, Simo Riikonen ja Satu Turtiainen

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS



SYKEn väitöskirjoja vuosilta 1988–2013

Toimittaneet Per Mickwitz, Kirsi Norros, Simo Riikonen ja Satu Turtiainen



Suomen ympäristökeskus

Kuvat: Kerttu Malinen, Ulla Sonck, Jukka Pumpanen,
Petri Kuokka, Riku Lumiaro, Jan Lehtinen, Iina Kivimäki,
Kimmo Mattila, Aulikki Vasko, Taina Nystén, Osmo Puuperä.
Layout: Satu Turtiainen

Julkaisu internetissä: syke.fi/julkaisut > Erillisjulkaisut

Kopioniini Oy, Helsinki 2014

ISBN 978-952-11-4238-3 (nid.)
ISBN 978-952-11-4239-0 (PDF)



PhD theses written by researchers affiliated with the Finnish Environment Institute SYKE have formed a versatile and rich research tradition. The theses have a strong foundation in water research, but the scope has, over the years, expanded, for example, into topics related to biodiversity, sustainable consumption and production and environmental policy. This reflects the development of SYKE more broadly but it is also a response to the expansion of the environmental issues on the agenda.

This publication is multilingual. Most of the PhD theses have been written in English and most titles and abstracts are in English. The *Lectio Praecursoria* (a short presentation that the candidate gives as an introduction to the public defense of the PhD thesis) has been published for all thesis where it has been available in written form. Some lectios are in Finnish, others in English. SYKE's PhDs have also written short stories about their PhD journeys, mostly in Finnish. Although only part of the publication is accessible for readers who do not read Finnish, the English material gives a broad picture of the research that has been carried out at SYKE.

The background of this publication is the celebration of the anniversary of SYKE's Director General Lea Kauppi in 2012. That year, SYKE's employees made a unique publication containing tales of SYKE's PhD thesis as a birthday present for her. Lea Kauppi has, as Director General, strongly supported research and the professional development of the staff. This publication makes the history of PhDs at SYKE available to a wider audience.

Simo Riikonen collected the material and Satu Turtiainen made the layout of the publication; we are grateful for their fine work. We also would like to extend our thanks to all the PhDs who made this publication possible and for the work they have done to improve the knowledge foundation for a more sustainable development.

SYKEN väitöskirjat ovat luoneet laajan ja monipuolisen ympäristötutkimuksen perinteen. Sen juuret ovat vahvasti vesitutkimuksessa. Vuosikymmenien aikana väitöskirjoja on versonnut eri ympäristöaiheista aina kestävään kulutukseen ja tuotantoon sekä ympäristöpolitiikkaan asti. Kokonaiskuva on kiinnostava ja moninainen ja heijastelee ympäristökysymysten muutosta. Väitökset ovat luoneet pohjan käsitellä uusia ympäristöhaasteita ja kehittää niihin liittyviä SYKEN palveluja.

Väitöskirjat edustavat vain murto-osaa SYKEN julkaisuista, mutta ne kuvaavat hyvin SYKEN yleistä kehitystä. Väitösten aiheet ovat liittyneet SYKEN toimintaan ja niiden prosesseilla on ollut selvä yhteys muuhun työhön. Vaikka väitöskirja on aina henkilökohtainen ponnistus, se on myös yhteisöllinen tuotos. Väittelijöiden kuvaukset omista kokemuksista kertovat siitä, että kukaan ei ole kulkenut matkaansa yksin vaan sykeläisten ja SYKEN tuki on ollut merkittävä.

Tämä julkaisu on läpileikkaus näistä väitöskirjoista ja niiden tekijöistä. Ensimmäinen väitöskirja on entisen SYKEN tutkimusjohtajan Juha Kämärin 30.5.1988 julkaistu väitös, viimeinen Tuomas Mattilan syyskuussa 2013. Väitöksiä on yhteensä 104 kappaletta vuosilta 1988–2013.

Julkaisun taustalla on vuonna 2012 vietetyn SYKEN pääjohtajan Lea Kaupin merkkipäivä. Pääjohtaja Kauppi on sekä pääjohtajakautenaan että sitä ennen määrätietoisesti tukenut tutkimusta ja henkilöstön ammatillista kehittymistä. Sykeläiset antoivatkin pääjohtajalle lahjaksi uniikin koosteen väitöskirjojen taustoista ja niihin liittyvistä kokemuksista.

Koosteen pohjalta syntyi tämä laajempi julkaisu. Siihen on koottu yhteenveto väitöskirjoista, joiden tekijät ovat olleet ennen väitöstään SYKEssä virassa, työsuhteessa tai ulkopuolisena tutkijana tai ennen SYKEN perustamista toimineet pääjohtaja Lea Kaupin alaisuudessa. Julkaisussa on kustakin väitöskirjasta joko lektio tai tiivistelmä sekä osasta myös väittelijän oma kertomus väitöskirjan vaiheista ja taustoista sekä joitakin kuvia väittelijöiden arkistoista.

Julkaisu on monikielinen, samoin kuin sykeläisten väitöskirjat. Suurin osa väitöskirjoista on englanninkielisiä, lektiot joko suomenkielisiä tai englanninkielisiä riippuen väitöslaisuuden kielestä. Väittelijöiden tarinat ovat pääosin suomeksi, mutta joukossa on myös ruotsinkielisiä ja englanninkielisiä tunnelmia.

Simo Riikonen keräsi aineistot ja Satu Turtiainen kokosi ne näihin kansiin. Kiitämme heitä ansiokkaasta arkistotyöstä ja toteutuksesta. Kiitämme myös kaikkia väittelijöitä, jotka ovat mahdollistaneet julkaisun syntymisen. Ennen kaikkea haluamme kiittää kaikkia tärkeästä ja yhä jatkuvasta työstä kestävämmän maailman puolesta.

Per Mickwitz
Tutkimusjohtaja
Research Director, Professor

Kirsi Norros
Viestintäjohtaja
Communications Director

Introduction Esipuhe	3
Contents Sisälllys	5
Aakkosellinen hakemisto	205

1988

Juha Kämäri	13
Regional lake acidification: Sensitivity and dynamics	
30.5.1988 Helsingin yliopisto, Limnologian laitos Vastaväittäjä: Kari Kinnunen, Lapin vesi- ja ympäristöpiiri	

1990

Timo Tamminen	18
Eutrophication and the Baltic Sea: Studies on phytoplankton, bacterioplankton, and pelagic nutrient cycles	
4.5.1990 Helsingin yliopisto, Ympäristönsuojelun laitos Vastaväittäjä: Fredrik Wulff, Tukholman yliopisto	

Matti Verta	19
Mercury in Finnish forest lakes and reservoirs: Anthropogenic contribution to the load and accumulation in fish	
28.5.1990 Helsingin yliopisto, Limnologian laitos Vastaväittäjä: Martin Lodenius, Helsingin yliopisto	

1992

Martin Forsius	20
Acidification of lakes in Finland: Regional estimates of lake chemistry and critical loads	
24.4.1992 Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos Vastaväittäjä: David F. Brakke, Western Washington University, USA	

1993

Seppo Rekolainen	21
Assessment and mitigation of agricultural water pollution	
10.11.1993 Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos Vastaväittäjä: Tom Frisk, Tampereen vesi- ja ympäristöpiiri	

1994

Pirkko Kortelainen	22
Contribution of organic acids to the acidity of Finnish lakes	
16.2.1994 Helsingin yliopisto, Limnologian laitos Vastaväittäjä: David F. Brakke, Western Washington University, USA	

Heikki Pitkänen	25
Eutrophication of the Finnish coastal waters: Origin, fate and effects of riverine nutrient fluxes	
2.12.1994 Helsingin yliopisto, Limnologian laitos Vastaväittäjä: Dos. Erkki Alasaarela	

1996

Timo Assmuth	28
Toxicant distributions and impact models in environmental risk analysis of waste sites	
19.1.1996 Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos Vastaväittäjä: Prof. Aimo Oikari, Jyväskylän yliopisto	

Ahti Lepistö	31
Hydrological processes contributing to nitrogen leaching from forested catchments in Nordic conditions	
14.5.1996 Helsingin yliopisto, Limnologian laitos Vastaväittäjä: Prof. Paul Whitehead, Readingin yliopisto, UK	

Erkki Loukola	33
Simulation of a test embankment on a clay foundation according to critical state models	
13.12.1996 Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osasto Vastaväittäjä: Prof. Olli Ravaska	

1997

Risto K. Heikkinen	
Patterns of species richness and distributions of vascular plant species at the mesoscale in the Kevo Nature Reserve, northern Finland	
10.5.1997 Turun yliopisto, Biologian laitos Vastaväittäjä: Dos. Jussi Kuusipalo	

Jouko Saarela	34
Hydraulic approximation of infiltration characteristics of surface structures on closed landfills	
14.5.1997 Tampereen teknillinen korkeakoulu, Ympäristötekniikan laitos Vastaväittäjä: TkT Kauko Kujala, Oulun yliopisto ja TkT Seppo Saarelainen, VTT	

Kirsti Lahti	35
Cyanobacterial hepatotoxins and drinking water supplies: Aspects of monitoring and potential health risks	
28.5.1997 Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos Vastaväittäjä: Dosentti Jussi Meriluoto, Åbo Akademi	

Mikael Hildén	38
Risk, uncertainty, indeterminacy and ignorance in fisheries management: An analysis of management advice	
6.6.1997 Helsingfors universitet, Institutionen för ekologi och systematik Opponent: Prof. Niels Daan, Netherlands Institute for Fisheries Research	

1998

Ilona Bärlund	40
Simulation des Transportes und der Transformationen von Herbiziden in der ungesättigten Zone des Bodens	
13.2.1998 Karlsruhen yliopisto, Hydrologian ja vesitalouden instituutti Vastaväittäjä: Prof. Dr. Bernd Huwe	

Eija Saski	41
Accumulation and transformation of pulp mill organic discharges in recipient lakes	
17.2.1998 Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos Vastaväittäjä: Dr. Alasdair H. Neilson, Swedish Environmental Research Institute, Sweden	

M. Minna Laine	44
Bioremediation of chlorophenol-contaminated sawmill soil	
29.4.1998 Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos Vastaväittäjä: Prof. Rudolf Müller, Hampurin-Harburgin teknillinen korkeakoulu	

Anna-Stiina Heiskanen	46
Factors governing sedimentation and pelagic nutrient cycles in the northern Baltic Sea	
8.5.1998 Helsingin Yliopisto, Ekologian and systematiikan osasto Vastaväittäjä: Prof. Victor Smetacek, Alfred Wegenerin polaarimerien tutkimuslaitos, Saksa	

Marja Ruohonen-Lehto49
DNA-polymorphisms and mapping of the pig major histocompatibility complex gene region and SINE-fingerprints in artiodactyls

16.9.1998
Helsingin yliopisto, Biotieteiden laitos
Vastaväittäjä: Dos. Johanna Vilkki, Maatalouden tutkimuskeskus

Petri Ekholm50
Algal-available phosphorus originating from agriculture and municipalities

25.9.1998
Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos
Vastaväittäjä: Paul Boers, Institute for Inland Water Management and Waste Water treatment

Markku Puupponen53
Structural development of the Finnish national hydrometric monitoring network

27.11.1998
Teknillinen korkeakoulu, Vesitekniikan laboratorio
Vastaväittäjä: Prof. Juhani Virta, Helsingin yliopisto

Pirjo Tuomi56
Bacterial and viral dynamics in microbial food webs of planktonic ecosystems

9.12.1998
Helsingin yliopisto, Yleisen mikrobiologian laitos
Vastaväittäjä: Prof. Morten Søndergaard, Kööpenhaminan yliopisto

1999
Matti Johansson57
Integrated models for the assessment of air pollution control requirements

21.5.1999
Teknillinen korkeakoulu, Teknillisen fysiikan ja matematiikan osasto
Vastaväittäjä: Prof. Leen Hordijk, Ympäristön- ja ilmastotutkimuslaitos, Wageningenin maatalousyliopisto, Wageningen, Alankomaat

Pekka Vanhala59
Microbiological indicators of soil pollution in boreal forest ecosystems with special reference to the soil respiration of the humus layer

11.6.1999
Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos
Vastaväittäjä: Rauni Ohtonen, Department of Ecological and Environmental Sciences, University of Helsinki, Lahti

Liisa Lepistö61
Phytoplankton assemblages reflecting the ecological status of lakes in Finland

26.11.1999
Helsingin yliopisto, Ekologian ja systematiikan laitos
Vastaväittäjä: Prof. Eva Willén, Uppsala University, Sweden

2000
Seppo Hellsten66
Environmental factors and aquatic macrophytes in the littoral zone of regulated lakes: Causes, consequences and possibilities to alleviate harmful effects

29.6.2000
Oulun yliopisto, Biologian laitos
Vastaväittäjä: Dr. Arnold Pieterse, Royal Tropical Institute (KIT), Amsterdam, The Netherlands

Juha-Heikki Tanskanen69
An approach for evaluating the effects of source separation on municipal solid waste management

24.11.2000
Teknillinen korkeakoulu, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos
Vastaväittäjä: Prof. Dr. Bernd Bilitewski, Dresden University of Technology

2001
Miska Luoto70
Landscape ecological analysis and modelling of habitat and species diversity in agricultural landscapes using GIS

1.12.2000
Turun yliopisto, Maantieteen laitos
Vastaväittäjä: Prof. Ülo Mander, University of Tartu

Jarkko Koskinen70
Snow monitoring using microwave radars

19.1.2001
Teknillinen korkeakoulu, Avaruustekniikan laboratorio
Vastaväittäjä: J.C. Shi, University of California Santa Barbara, USA

Jaakko Mannio72
Responses of headwater lakes to air pollution changes in Finland

1.6.2001
Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos
Vastaväittäjä: Richard F. Wright, Norwegian Institute for Water Research, NIVA

Sanna Syri75
Air pollutants and energy pathways: Extending models for abatement strategies

8.6.2001
Teknillinen korkeakoulu, Teknillisen fysiikan laitos
Vastaväittäjä: Prof. Joe Alcamo, University of Kassel

Heikki Kotiranta77
The Corticiaceae of Finland

7.9.2001
Helsingin yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Vastaväittäjä: Prof. Nils Hallenberg, Göteborgin yliopisto

Kirsti Korkka-Niemi79
Cumulative geological, regional and site-specific factors affecting groundwater quality in domestic wells in Finland

28.9.2001
Turun yliopisto, Geologian laitos

2002
Katarina (Lotta) Björklöf80
Genetically modified pseudomonas associated with plants: Aspects for environmental risk assessment

24.5.2002
Helsingin yliopisto, Biotieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Ole Nybroe, Department of Ecology and Molecular Biology, Section of Genetics and Microbiology Royal Veterinary and Agricultural University, Tanska

Jukka Ahtiainen82
Microbiological tests and measurements in the assessment of harmful substances and pollution

6.8.2002
Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos
Vastaväittäjä: Prof. José V. Tarazona, National Institute for Agriculture and Food Research and Technology, Spain

2003
Helena Valve83
Social learning potentials provided by EU rural development programmes: A comparative study on three institutionalisation processes

14.3.2003
Tampereen Yliopisto, Aluetieteen ja ympäristöpolitiikan laitos
Vastaväittäjä: Prof. Philip Lowe, University of Newcastle, UK

Petri Porvari85
Sources and fate of mercury in aquatic ecosystems

4.6.2003
Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos
Vastaväittäjä: Prof. Marc Lucotte, Institut des sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal (UQAM), Montreal, Canada

Jouni Lehtoranta88
Dynamics of sediment phosphorus in the brackish Gulf of Finland

13.6.2003
Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristötieteen laitos
Vastaväittäjä: Prof. Helinä Hartikainen, Helsingin yliopisto

Jyri Seppälä91
Life cycle impact assessment based on decision analysis

29.8.2003
Teknillinen korkeakoulu, Systemianalyysin laboratorio
Vastaväittäjä: Prof. Anne-Marie Tillman, Chalmersin teknillinen yliopisto, Ruotsi

Paula Siitonen91
Reserve network design in fragmented forest landscapes

24.10.2003
Helsingin yliopisto, Ekologian ja systematiikan laitos
Vastaväittäjä: Prof. Hugh Possingham, Department of Mathematics and School of Life Sciences, The University of Queensland, Australia

Maria Holmberg94
Modelling studies on soil-mediated response to acid deposition and climate variability

3.12.2003
Teknillinen korkeakoulu, Systeemianalyysin laboratorio
Vastaväittäjä: Prof. Bernard J. Cosby, University of Virginia, USA

2004

Reijo Penttilä
The impacts of forestry on polyporous fungi in boreal forests

20.10.2004
Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Ass. Prof. Bengt Gunnar Jonsson, Mid Sweden University

Outi Setälä96
Studies on the planktonic brackish water microprotozoans with special emphasis on the role of ciliates as grazers

3.12.2004
Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Tohtori John Dolan, Laboratoire d'Océanographie de Villefranche, Ranska

2005

Heikki Mäkinen98
Vesienhoidon hallinta Suomessa: Vesipolitiikan puitedirektiivin toimeenpano vuorovaikutteisen suunnittelun näkökulmasta

27.5.2005
Helsingin yliopisto, Maantieteen laitos
Vastaväittäjä: Prof. Olavi Heikkinen, Oulun yliopisto

Anna-Liisa Kivimäki103
Presence and activity of microbial populations in glaciers and their impact on rock weathering at glacial beds

8.6.2005
Bristolin yliopisto, Geotieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. David B. Nedwell, University of Essex, UK, School of Biological Sciences

Jani Salminen104
Natural attenuation of anthropogenic organic compounds in boreal soil and groundwater

2.12.2005
Tampereen teknillinen yliopisto, Bio- ja ympäristötekniikan laitos
Vastaväittäjä: Prof. Dr. Josef Zeyer, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zürich, Sveitsi

2006

Per Mickwitz106
Environmental policy evaluation: Concepts and practice

3.2.2006
Tampereen yliopisto, Yhdyskuntatieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. James Meadowcroft, Carleton University Ottawa, Kanada

Katri Rankinen109
Analysis of inorganic nitrogen leaching in a boreal river basin in northern Finland

24.3.2006
Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio
Vastaväittäjä: Prof. Jens Christian Refsgaard, Geological Survey of Denmark and Greenland

Jari Koskiaho110
Retention performance and hydraulic design of constructed wetlands treating runoff waters from arable land

8.9.2006
Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto
Vastaväittäjät: Prof. Ülo Mander, Tarton yliopisto ja Prof. Timo Huttula, Jyväskylän yliopisto

Heikki Mykrä111
Spatial and temporal variability of macro-invertebrate assemblages in boreal streams: implications for conservation and bioassessment

23.9.2006
Oulun yliopisto, Biologian laitos.
Vastaväittäjä: Prof. Jari Kouki, Joensuun yliopisto.

Annuikka Lipponen112
Topographical, structural and geophysical characterization of fracture zones: Implications for groundwater flow and vulnerability

29.9.2006
Helsingin yliopisto, Geologian laitos
Vastaväittäjä: Prof. Jiří Krásný, Kaarlen yliopisto, Praha

Pasi Mattila114
Ammonia emissions from pig and cattle slurry in the field and utilization of slurry nitrogen in crop production

11.11.2006
Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos
Vastaväittäjä: Prof. Holger Kirchmann, Ruotsin maatalousyliopisto

Aino Juslén115
The family Herbertaceae and its novel systematic position within liverworts

24.11.2006
Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. S. Robbert Gradstein, University of Göttingen, Germany

2007

Kristian Spilling116
On the ecology of cold-water phytoplankton in the Baltic Sea

26.1.2007
Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Patricia M. Glibert, University of Maryland Center for Environmental Science, USA

Kaarle Kupiainen117
Road dust from pavement wear and traction sanding

2.3.2007
Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Opponent: Dr. Mats Gustafsson, VTI, Ruotsi

Jukka Similä120
Regulating industrial pollution: The case of Finland

10.3.2007
Helsingin yliopisto, Yksityisoikeuden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Anthony Ogus, Manchesterin yliopisto

Olli Malve123
Water quality prediction for river basin management

18.5.2007
Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio
Vastaväittäjä: Prof. Kenneth Reckhow, Duke University, NC, USA

Riina Antikainen124
Substance flow analysis in Finland: Four case studies on N and P flows

17.8.2007
Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Vaclav Smil, University of Manitoba, Winnipeg, Canada

Pauliina Uronen127
Harmful algae in the planktonic food web of the Baltic Sea

21.9.2007
Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Dr. Kevin G. Sellner, Chesapeake Research Consortium, Inc., USA

Juha Pykälä129
Maintaining plant species richness by cattle grazing: Mesic semi-natural grasslands as focal habitats

2.11.2007
Helsingin yliopisto, Bio- ja Ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Martin Zobel, Tartu University

Sonja Kivinen130
Local and Regional Scale Determinants of Biodiversity Patterns in Boreal Agricultural Landscapes

9.11.2007
Turun yliopisto, Maantieteen laitos
Vastaväittäjä: Dr. Sara Cousins, Department of Physical Geography and Quaternary Geology, Stockholm University, Sweden

Jussi Vuorenmaa131
Recovery responses of acidified Finnish lakes under declining acid deposition

9.11.2007
Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Kevin Bishop, Department of Environmental Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden

Juha Pöyry 133
Management of semi-natural grasslands for butterfly and moth communities

23.11.2007
Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Jan Bengtsson, Ruotsin maatalousyliopisto (SLU), Uppsala

Pirkko Kauppila 135

Phytoplankton quality as an indicator of eutrophication in Finnish coastal waters: Applications within the Water Framework Directive

19.12.2007
Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Tohtori Juha-Markku Leppänen, Helsinki Commission

2008

Paula Kivimaa 137

The innovation effects of environmental policies: Linking policies, companies and innovations in the Nordic pulp and paper industry

4.6.2008
Helsingin kauppakorkeakoulu, Johtamisen laitos
Vastaväittäjä: Prof. Frans Berkhout, Vrije Universiteit, Amsterdam

Niko Karvosenoja 140

Emission scenario model for regional air pollution

17.10.2008
Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan laitos
Vastaväittäjät: Prof. Helen ApSimon, Prof. Jorma Jokiniemi

Piia Pessala 142

Tracking and identifying wastewater toxicants and assessing their biodegradation products

19.12.2008
Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos
Vastaväittäjä: Head of Laboratory, PhD Anne Kahru, Laboratory of Molecular Genetics, National Institute of Chemical Physics and Biophysics, Estonia

2009

Petrus Kautto 144

Who holds the reins in integrated product policy? An individual company as a target of regulation and as a policy maker

23.1.2009
Helsingin kauppakorkeakoulu, Johtamisen laitos
Vastaväittäjä: Prof. Andy Gouldson, Director of the ESRC Centre for Climate Change Economics & Policy, University of Leeds, UK, Iso-Britannia

Jari Ilmonen 146

Benthic macroinvertebrate and bryophyte assemblages in boreal springs: diversity, spatial patterns and conservation

16.4.2009
Oulun yliopisto, Biologian laitos
Vastaväittäjä: Dr. Leonard Sandin, Department of Aquatic Sciences and Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala

Ulla Rosenström 147

Sustainable development indicators: Much wanted, less used?

15.5.2009
Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Yvonne Rydin, University College London, UK

Jukka Seppälä 150

Fluorescence properties of Baltic Sea phytoplankton

12.6.2009
Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Dr. Hugh MacIntyre, University of South Alabama, Dauphin Island, Alabama USA

Jukka Aroviita 151

Predictive models in assessment of macroinvertebrates in boreal rivers

3.7.2009
Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Richard K. Johnson, Department of Aquatic Sciences and Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala

Kai Rasmus 152

Optical studies of the Antarctic glacio-oceanic system

27.11.2009
Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos
Vastaväittäjä: Carl Bøggild, The University Center in Svalbard

Katri Berg 153

Heterotrophic bacteria associated with cyanobacteria in recreational and drinking water

11.12.2009
Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos
Vastaväittäjä: Prof. Agneta Andersson, Department of Ecology and Environmental Sciences, Umeå University, Sweden

Sanna Söpanen 154

Interactions between harmful algae and calanoid copepods in the Baltic Sea

11.12.2009
Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Peter Tiselius, University of Gothenburg, Sweden

2010

Miitta Rantakari 156

The role of lakes in carbon cycling in boreal catchments

21.5.2010
Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Apulaisprofessori Sebastian Sobek, Uppsalan yliopisto

Tuija Mattsson 158

Export of organic matter, sulphate and base cations from boreal headwater catchments downstream to the coast: Impacts of land use and climate

11.6.2010
Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Jacqueline Aitkenhead-Peterson, Department of Soil and Crop Sciences, Texas A&M University, USA

Kristiina Karhu 160

Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in boreal soils

20.8.2010
Helsingin yliopisto, Metsätieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Nina Buchmann, ETH Zürich

Eeva Primmer 161

Integrating biodiversity conservation into forestry: An empirical analysis of institutional adaptation

9.10.2010
Helsingin yliopisto, Metsätieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Benjamin Cashore, Yale University

Jaana Sorvari 165

Application of risk assessment and multi-criteria analysis in contaminated land management in Finland

3.12.2010
Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto
Vastaväittäjä: Mari Pantsar-Kallio, Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy

2011

Minna Kaljonen 166

Caught between standardization and complexity: Study on the institutional ambiguities of agri-environmental policy implementation in Finland

8.4.2011
Tampereen yliopisto, Yhdyskuntatieteiden laitos
Vastaväittäjä: Ass. Prof. Carol Morris, University of Nottingham

Irina Bergström 169

Carbon gas fluxes from boreal aquatic sediments

13.6.2011
Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Dr. Tuula Larmola, Cornelia Clapp Laboratory, Mount Holyoke College, South Hadley, Massachusetts, USA

Jonna Piiparinen 170
Fast- and drift-ice communities in the Bothnian Bay and the impact of UVA radiation on the Baltic Sea ice ecology

17.6.2011
Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Dr. Klaus Meiners, Antarctic Climate & Ecosystems CRC, Australia

Mika Marttunen 173
Interactive multi-criteria decision analysis in the collaborative management of watercourses

28.10.2011
Aalto-yliopisto, Matematiikan ja systeemianalyysin laitos
Vastaväittäjä: PhD Judit Lienert, EAWAG, the Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology

Janne Alahuhta 176
Patterns of aquatic macrophytes in the boreal region: Implications for spatial scale issues and ecological assessment

11.11.2011
Oulun yliopisto, Maantieteen laitos
Vastaväittäjä: Dosentti Richard Field, University of Nottingham

Saija Koljonen 178
Ecological impacts of in-stream restoration in salmonid rivers: The role of enhanced structural complexity

11.11.2011
Oulun yliopisto, Biologian laitos
Vastaväittäjä: Dr. Peter Rivinoja, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Uumaja, Ruotsi

Kaisa Wallenius 181
Microbiological characterisation of soils: Evaluation of some critical steps in data collection and experimental design

11.11.2011
Helsingin yliopisto, Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Vigdis Torsvik, Department of Biology, University of Bergen, Norway

2012

Kari Kallio 183
Water quality estimation by optical remote sensing in boreal lakes

27.1.2012
Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Assistant professor Steef Peters, VU University Amsterdam, The Netherlands

Heidi Ahkola 185
Passive sampling in monitoring of nonylphenol ethoxylates and nonylphenol in aquatic environments

23.3.2012
Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos
Vastaväittäjä: Prof. Mika Sillanpää, Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Laura Hoikkala 186
Dynamics of dissolved organic matter and its bioavailability to heterotrophic bacteria in the Gulf of Finland, northern Baltic Sea

23.3.2012
Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Morten Søndergaard, University of Copenhagen, Denmark

Tarja Söderman 187
Biodiversity and ecosystem services in impact assessment: From components to services

27.4.2012
Helsingin yliopisto, Geotieteiden ja maantieteen laitos
Vastaväittäjä: Dos. Sirkku Manninen, Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

Noora Veijalainen 188
Estimation of climate change impacts on hydrology and floods in Finland

1.6.2012
Aalto-yliopisto, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos
Vastaväittäjä: Dr. Reader Jonas Olsson, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Sweden

Katriina Alhola 189
Environmental criteria in public procurement: Focus on tender documents

5.10.2012
Aalto yliopisto, Maankäyttötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Harri Kalimo, The Institute for European Studies, Bryssel, Belgia

Milja Vepsäläinen 191
Functional biodiversity in soils: Development and applicability of an enzyme activity pattern measurement method

9.11.2012
Helsingin yliopisto, Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Hana Šantrůčková, Department of Ecosystem Biology, University of South Bohemia, Czech Republic

Jari Lyytimäki 193
The environment in the headlines: Newspaper coverage of climate change and eutrophication in Finland

16.11.2012
Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Victoria Wibeck, Linköping University

Sebastian Valanko 195
Dispersal and metacommunity dynamics in a soft-sediment benthic system: How well is the seafloor connected?

19.12.2012
Åbo Akademi, Biotieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Paul Snelgrove, Memorial University of Newfoundland, Ocean Science Centre, Department of Biology, Canada

2013

Suvi Huttunen 196
Sustainability and meanings of farm-based bioenergy production in rural Finland

15.2.2013
Jyväskylän yliopisto, Yhteiskuntatieteiden ja filosofian laitos
Vastaväittäjä: Prof. Terry Marsden, Cardiff School of Planning and Geography, and Sustainable Places Research Institute, Cardiff University

Heidi Hällfors 198
Studies on dinoflagellates in the northern Baltic Sea

15.3.2013
Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: PhD, Associate Prof. Lars Edler, WEAQ AB, Ängelholm, Sweden

Markus Majaneva 199
Linking taxonomy and environmental 18S-rRNA-gene sequencing of Baltic Sea protists

24.5.2013
Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Associate Prof. Tove M. Gabrielsen, The University Centre in Svalbard

Jari Uusikivi 200
On optical and physical properties of sea ice in the Baltic Sea

28.6.2013
Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos
Vastaväittäjä: Prof. Peter Wadhams, University of Cambridge, Cambridge, Great Britain

Stefan Fronzek 201
Climate change and the future distribution of palsa mires: ensemble modelling, probabilities and uncertainties

23.8.2013
Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Dr. Pamela M. Berry, Environmental Change Institute, University of Oxford, UK

Sari Metsämäki 202
A fractional snow cover mapping method for optical remote sensing data, applicable to continental scale

23.8.2013
Aalto-yliopisto, Maankäyttötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Tuomas Häme, Teknologian tutkimuskeskus VTT ja Prof. Richard Kelly, University of Waterloo, Kanada

Saku Anttila 203
Applicability of characterized variance and ecosystem interactions in water quality monitoring

30.8.2013
Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Research Prof. Peeter Nõges, Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Estonian University of Life Sciences

Tuomas Mattila 204
Input-output analysis of the networks of production, consumption and environmental destruction in Finland

12.9.2013
Aalto yliopisto, Matematiikan ja systeemianalyysin laitos
Vastaväittäjä: PhD Gregory A. Norris, Harvard University, USA

Väitöskirja (lat. *dissertatio*) on opinnäyte, joka laaditaan tohtorintutkinnon suorittamiseksi. Väitöskirjan tulee sisältää uutta tieteellistä tietoa ja osoittaa tekijän kykyä itsenäiseen tutkimukseen.

kuka
1980-luku
mistä
missä
kenen
kanssa



Juha Kämäri

Regional lake acidification: Sensitivity and dynamics

30.5.1988

Helsingin yliopisto, Limnologian laitos

Vastaväittäjä: Kari Kinnunen, Lapin vesi- ja ympäristöpiiri

Ensimmäiset lehtikirjoitukset ympäristön mahdollisesta laajamittaisesta happamoitumisesta ilmestyivät Suomessa 1980-luvun vaihteessa. Antti Pätilä tarjosi minulle pro gradu -työtä saamastaan Maj ja Tor Nesslingin säätiön apurahasta tarkoituksena selvittää järvien happamoitumisen laajuus Suomessa. Vesihallituksen vedenlaaturekisteristä sain kootuksi pienten järvien aineiston, jonka omakätisesti tallensin reikäkortteille. Omakätisesti myös piirsin näiden yli 300 järven valuma-alueet ja määritin kartoilta maaperätietoja. Lea ja Pekka Kauppi olivat gradutyöni aikaan IIASA:ssa Itävallassa ja kutsuivat minut keskustelemaan työn mahdollisesta jatkamisesta IIASA:ssa. Pääsinkin heti kesäksi 1983 vastavalmistuneena kandidaattina IIASA:n kesäohjelmaan jatkamaan karttajarjoituksia. Väitöskirjatyöni oli alkanut, joskaan en sitä vielä silloin tajunnut.

Jatkoin IIASA:assa ihan oikeissa palkallisissa töissä vuosina 1984–85 ja uudelleen vuonna 1987. IIASA avasi nuorelle tutkijanalulle aivan uudenlaisen maailman. Siellä tapasi ihmisiä, jotka oikeasti olivat maailman huippuja, ja sitten oli sellaisiakin, jotka kuvittelivat olevansa huippuja. Monesta tuona aikana tapaamisistani henkilöistä tuli hyviä ystäviä ja kollegoja, joiden kanssa jatkoin monissa hauskoissa hankkeissa.

Väitöspäivä tuli ja oli kuuma. Limnologian laitoksen luentosali oli täynnä ja hikoilin valtavasti rehtorin toimistosta lainatun villaisen väitöskaaavan sisällä. Väitöksen jälkeen aloitin kriittisen kuormituksen konseptin kehittelyn pohjoismaisessa ryhmässä. Tarkoituksemme oli tulkita tieteellinen tieto UNECE:n päästövähennysneuvottelujen käyttöön. Pidin 1994–95 Lean alaisuudesta vuoden taidepaussin ja toimin tuon ajan Helsingin yliopiston limnologian professorin sijaisena. Kun SYKE perustettiin, alkoi tutkimushallinto kiinnostaa ja aloitin 1995 SYKE:n yksikönjohtajana ja puolitoista vuotta myöhemmin tutkimusjohtajana. Pitkän tauon jälkeen palasin vuonna 2007 vuodeksi IIASA:an, jossa sain keskittyä laajan vesiskenaarioita kehittäväin EU-hankkeen koordinointiin. Viime vuonna sitten tein suuren ratkaisun ja loikkasin Satakuntaan ammattikorkeakoulun toimitusjohtajaksi. Vuoden 2013 alusta saan myös rehtorin tehtävät. (Juha K. syyskuussa 2012)

LECTIO PRAECURSORIA

Ympäristötutkimuksen ja päätöksenteon yhteensovittamisen ongelma

MITEN ON JA MITEN PITÄISI OLLA

Siitä miten on, ei voi loogisesti johtaa mitä pitäisi olla. Tämä englantilaisen filosofin David Humen jo vuonna 1739 esittämä ns. 'Humen giljotiini' on tieteen arvovapauden eräs perusteeksi. Periaate erottaa 'olemisen' ja 'pitämisen', eli toisin sanoen tosiasiat ja arvot.

Tieteen tehtäväksi on useimmiten asetettu tosiasioita koskevan tiedon hankkiminen. Humen giljotiinin mukaan tiede kykenee kertomaan ainoastaan sen miten asiat ovat, ei sitä mitä meidän tulisi tehdä.

Soveltavissa tieteissä, kuten omalla tieteenalallani limnologiassa, pyritään kuitenkin usein etsimään toimenpidesuosituksia. Tässä mielessä limnologia voidaan lukea samaan joukkoon kuin esimerkiksi lääketiede tai oikeustiede. Kyseisten tieteiden tutkijoilta Humen giljotiini yksiselitteisesti evää mahdollisuuden kertoa päätöksentekijöille, mitä heidän tulisi päättää.

Humen giljotiini ei kuitenkaan sulje pois sitä, etteikö tosiasioista, joista tiede siis pyrkii hankkimaan tietoa, ja yhteiskunnasta vallitsevista arvoista yhdessä voitaisi johtaa normeja. Tälle ajatukselle perustuu koko päätösteoria. Päätöstilanteissa tunnetaan tutkimusyhteisön käsitykset tosiasioista koskevat uskomukset sekä tekojen oletettuja seurauksia koskevat preferenssit. Näistä kahdesta yhdessä voidaan laskea mitä kannattaa tehdä. Tutkijan on siis Humen giljotiinin mukaan velvollisuus esittää saavuttamansa tulokset arvovapaassa muodossa. Esimerkiksi vaatimuksen "Päästöjä on vähennettävä" sijasta tutkijan tulisi tulkita tulokset arvovapaasti: "Jos haluamme parantaa ympäristön tilaa, päästöjä on vähennettävä"

Tutkija esittää hankkimansa tiedon pohjalta tuloksena, että ympäristön tila paranee, mikäli päästöjä vähennetään.

Ympäristönsuojelun alalla kyseinen linjanveto arvosidonnaisuuksien sekä arvovapaan tieteellisen tiedon välillä on erityisen hämärtynyt. Ympäristönsuojeluhan on ymmärrettävä politiikaksi, jolla tavoitellaan hyvää ympäristön tilaa. Se on siis mitä suurimmassa määrin arvosidonnaista. Ympäristönsuojelija ilman muuta esittäisi omien arvojensa pohjalta edellä esitetyn normin muodossa "Päästöjä on vähennettävä!".

Linjanveto arvosidonnaisuuksien ja arvovapaan tiedon välillä on ympäristönsuojelun alalla jopa niin hämärtynyt, että Helsingin yliopistossa toimii tieteellistä tutkimusta harjoittava ja siihen perustuvaa ylintä opetusta antava Ympäristönsuojelun laitos.

Ympäristönsuojelija valjastaa tieteitä apuneuvoikseen. Tämä johtunee siitä, että vain tieteiden, kuten ekologia, avulla voidaan ennustaa ympäristöä muuttavien toimenpiteiden seurauksia ihmisen ja muiden eliöiden kannalta. Ihannetapauksessa tiede voi kertoa ympäristönsuojelijalle millä tavoin hyvänä pidetty ympäristön tila voidaan saavuttaa tai säilyttää.

Edellä kuvattu antaa viitteitä niistä periaatteellisista ongelmista, kun tieteellisen informaation avulla pyritään edesauttamaan päätöksentekoa. Periaatteelliset ongelmat ovat kuitenkin vain koko ongelmavyyhden toinen puoli. Käytännön ongelmat muodostavat jos mahdollista vielä suurempia esteitä. Käytännön ongelmista ehkä suurimman muodostavat ympäristöongelmien ja niitä koskevien päätösten täysin toisistaan poikkeavat ajalliset ja paikalliset mittasuhteet.

Paikallisesti ongelmat ilmenevät lähes aina ekosysteemitasolla. Ongelmien ratkaisu kuitenkin vaatii usein laajojen alueiden yhteistyötä. Ajallisesti ongelmat ilmenevät toisinaan varsin lyhyen ajan sisällä. Ongelma voi itse asiassa olla hyvin lyhyen episodin tulosta, kuten Tšernobylin tai Baselin tapaukset osoittivat. Ongelman ratkaisun aikajänne taas on usein vuosikymmeniä.

Päinvastaisistakin tilanteista on saatu esimerkkejä esimerkiksi perinteiseen talousajatteluun pohjaavassa päätöksenteossa. Talousajattelussa panoksia ja niistä saatavaa hyötyä tarkastellaan perinteisesti viikoissa ja kuukausissa, korkeintaan vuosissa. Ympäristön pilaantuminen taas on monissa tapauksissa hidas prosessi. Esimerkiksi keräytyvien myrkkujen tai ympäristön happamoitumisen vaikutukset näkyvät usein vasta vuosikymmenien viiveen jälkeen.

Tällaisten ennakoitavissa olevien, joskin epävarmojen, haittojen näkeminen merkittävänä taloudellisina tappioina vaatii riskien hyväksymistä, jotta ennusteet johtaisivat välittömiin päätöksiin haittojen ehkäisemiseksi. Olemme havainneet, että aivan helposti ei näin vaikeita päätöksiä tehdä ainakaan liiketaloudellisin perustein. Panosten tuotoilta vaaditaan yleisesti liian korkeaa korkoa.

Tutkijat ja päätöksentekijät yleensä siis operoivat kaksiulotteisella aika paikka akselilla varsin eri kohdissa. Tutkija saattaa selvittää yksittäisen rajatun ekosysteemin osan päivittäistä vaihtelua. Päätöksentekijä operoi pitkäjänteisesti kunnan, läänin, valtakunnan tai jopa maanosan asioissa.

Tutkimuksen ja päätöksenteon ajallisista ja paikallisista eroavaisuuksista tarjoaa erinomaisen esimerkin tutkimani ilmansaasteiden aiheuttamat ympäristöongelmat. Perusteilla olevaa yhdennetyn ympäristön seurannan verkkoa on perusteltu erityisesti ilman epäpuhtauksien vaikutusten seurantarpeilla. Yhdennetyllä ympäristön seurannalla tarkoitetaan ilmaston, ilmakehän ja maa- ja vesiekosysteemien elävien ja elottomien osien seuranta samoilla kohdealueilla. Seurannan kohdealueita on vähän ja ne ovat pieniä, noin yhden neliökilometrin suuruusluokkaa. Seuranta on suunniteltu varsin intensiiviseksi, jopa päivittäistä tiheämmäksi.

Ilman epäpuhtaudet ovat kuitenkin maanosan laajuinen ongelma. Ilman epäpuhtauksien synty ja leviäminen edellyttää ongelman ratkaisulta ja päätöksen teolta kansainvälistä yhteistyötä. Päästöjen vähentämiseen tähtäviä neuvotteluja käydään Euroopan mittakaa-

vassa, Euroopan talouskomission (ECE) ilman epäpuhtauksien kaukokulkeutumista valtiosta toiseen koskevan yleissopimuksen toimeenpanon toimesta. Sopimuksen allekirjoittaneet maat käsittävät lähes kaikki Euroopan ja Pohjois-Amerikan valtiot. Jo Euroopan maapinta-ala on noin 8 miljoonaa neliökilometriä. Päästöjen vähentämisen tähtäin on jopa kymmenien vuosien päässä. Vaikutusten viiveestä johtuen ilmiön päätöksenteon ja sen seurauksien aikajänne ulottuu pitkälle ensi vuosikymmenelle.

Kyseinen esimerkkipari, yhdenmukainen ympäristön seuranta ja ilman epäpuhtauksien päästöt, edustanee päätöksenteon ja sitä palvelevan tutkimuksen yhteensovittamisessa sitä kaikkein hankalinta osaa. Kovin suurta rohkeutta ei tarvita sen seikan ennustamiseen, että mainitunlaisen tutkimustyypin hyödyntäminen todellisen päätöksenteon taustalla ei ole helppoa.

Päätöksentekijällä on aina velvollisuus taata sen tiedon edustavuus, johon hän päätöksensä perustaa. Muutama kohdealue ei valitettavasti edusta muuta kuin itseään. Tästä syystä monelle maalle, Suomi mukaan lukien, on ollut tarpeen perustaa kokonainen laaja tutkimusohjelma tuottamaan tarvittavaa tosiasioita koskevaa tieteellistä tietoa ilman epäpuhtauksien ympäristövaikutuksista. Päätöksentekoa edesauttavissa tutkimusohjelmissa kohteiden valinnan painopisteen tulisi olla tilastolliseen otantaan perustuvissa menetelmissä. Tavoitteena tulisi olla seurantojen järjestäminen siten, että seurantojen kohdealueet edustaisivat mahdollisimman suurta osaa maa- ja vesipinta-alasta.

Kuten puheeni alussa todettiin, tosiasioita koskeva tieto ei yksin riitä päätösten pohjaksi. Päätöksentekijän tulee olla selvillä myös yhteiskunnassa vallalla olevista arvoista. Arvot taas muotoutuvat pitkälti tutkimustiedon pohjalta. Monasti tutkimustiedosta tulee tässä vaiheessa voimakkaasti joukkoviestimien värittämää, minkä jälkeen tieto muistuttaa hyvin vähän alkuperäisiä havaintoja.

Tutkijalla on siis itse asiassa kaksi vaikutustietä päätöksentekoprosessissa. Suora tie vie tiedon ilman välikäsiä päätöksentekijälle tai päätöstä valmist-

levalle tai suunnittelevalle yksikölle. Epäsuora tie taas kulkee yleisen mielipiteen muodostuksen eli arvomuodostuksen kautta. Toteuttaessaan tieteen tehtävä, tosiasioita koskevan tiedon hankkimista, ja jakaessaan tätä tietoa eteenpäin tutkija tekee vain työtään. Viestin perillemeno on kuitenkin kaikissa tapauksissa epävarmaa.

Tieteen luonne on viime aikoina muuttunut voimakkaasti. Kvantitatiivisesti tulkittuna tiede on pitkään kasvanut eksponentiaalisesti; 1700-luvun lopulta lähtien tieteen volyymi, mitattuna tiedemiesten, tieteellisten teosten ja artikkeleiden sekä tieteeseen käytettyjen resurssien avulla, on säännöllisesti kaksinkertaistunut noin 10–15 vuoden välein. Vahinko kyllä, tässä tilanteessa valtavan määrän tieteellistä tietoa ei ole välttämättä johtanut loogisten päätösten tekoon. Informaatiotulva tulisi myös jäsentää hyödynnettävään muotoon.

Edellä luetellut toiveet ja ongelmat ovat kuin suoraan osoitettu haasteina soveltaville tieteille. Eräiksi menetelmäksi, joilla näitä ongelmia on pyritty lähestymään, soveltavat tieteet ovat tarjonneet laskentamalleja. Matemaattisten mallien rakenteeseen on sisällytetty ja ikään kuin suodatettu suuri osa em. informaatiotulvasta. Laskentamalleja käyttämällä ja soveltamalla on kyetty vertailemaan eri vaihtoehtoja ja saamaan vastaus eriteltyihin kysymyksiin.

Laskentamalleja voidaan siis pitää jonkinlaisina työkaluina, jotka ensisijaisesti auttavat jäsentämään tausta-aineistoja ja tuottamaan kehitysarvioita. Laskentamallien ehkä suurin hyöty kuitenkin on tämän hetkisen tiedon punnitseminen ja epävarmuuden tason selvittäminen. Tässä mielessä laskentamalli on ikään kuin sovitte tutkimuksen ja päätöksenteon välillä. Laskentamalli pyrkii sovittamaan yhteen muutoin niin huonosti yhteen sopivat komponentit.

Päätöksenteon koko pitkä prosessi demokraattisessa järjestelmässä käsittää tiedon hankinnan, tiedon punnitsemisen, kansan kuulemisen ja lopulta asioiden päättämisen. Tutkijalle tärkeintä on kuitenkin se, mitä alussa totesin: siitä mitä on ei voi loogisesti

johtaa mitä pitäisi olla. Tieteen maailmassa asioiden perusteita selvittävä perustutkimus aloittaa ja lopettaa siihen mitä on. Soveltava tutkimus jatkaa siitä mitä on ja vertailee eri vaihtoehtoja siitä mitä pitäisi olla. Päätöksentekijä lopulta valitsee vaihtoehdon, joka tulee olemaan. Ketjun jokainen lenkki on tarpeellinen. Valitettavasti vain ketjun läpikäyminen on useimmiten hyvin pitkäaikainen, vuosien jopa vuosikymmenien mittainen prosessi.

Tässä väitöskirjatyössäni olen pyrkinyt mallintamisen avulla hahmottamaan erilaisia vaihtoehtoja päätöksenteolle päästöjen vähentämisen tarpeesta tarkastellen kysymystä järvien happamoitumisen näkökulmasta.

kuka
1990-luku
mistä
missä
kenen
kanssa

Eutrophication and the Baltic Sea: Studies on phytoplankton, bacterioplankton, and pelagic nutrient cycles

4.5.1990

Helsingin yliopisto, Ympäristönsuojelun laitos
Vastaväittäjä: Fredrik Wulff, Tukholman yliopisto

Tulin vesien- ja ympäristöntutkimuslaitokseen toimistopäällikkö Lean alaisuuteen tammikuussa 1990. Yhdeksän kuukauden pestin tarkoituksena oli panna pystyyn tutkimushanke suomalaisten Itämeripäästöjen typenpoiston tarpeen selvittämiseksi. Ministeriöthän usein toivoivat tällaisia selvityksiä ajankohtaisista aiheista. Ymmärsin toimeksiannon tahallani väärin.

Tulin taloon (joka oli tuttu jo aiemmista opinnäytepesteistä) PELAG II -projektista, joka oli Tvärminnessä toiminut kolmivuotinen, Akatemian, Helsingin yliopiston ja kahden säätiön rahoittama tutkimussopimus, siihenastisista suurin (15 tutkijaa, 3 laboranttia). Tarkoituksena oli nyt jatkaa Itämeren suojelun kannalta toivon mukaan hyödyllisiä ekologisia tutkimuksia siitä, mihin jäätiin – eli suurella tutkimusryhmällä. Muutamia ongelmia kyllä oli. En esim. ollut ehtinyt väitellä projektitouhuan pyörteisä.

Ensimmäinen homma oli siis hoitaa tämä jo kiusalliseksi käynyt puute pois päiväjärjestyksestä, uusien projektineuvotteluiden tauoilla. Vanhan projektin viimeisenä keväänä olin vetäytynyt kaksioomme kahdeksi viikoksi, päiväsaikoiksi kun lapset oli toimitettu kouluun ja päivähoitoon. Seinänaapurit varmasti kärsivät tauottomasta Princen jytkeestä, mikäli sattuivat olemaan kotosalla, mutta yhteenveto pullahti ilmoille. Itse väitös kyllä jäi armotta viimeisen PELAG II -projektikesän ja syksyn loppuraportoinnin jalkoihin. Uudet projektineuvottelutkin keväällä 1990 osoittautuivat aikaa vieviksi (mikä tulee aina yhtä suurena yllätyksenä, kuin talven tulo autoilijoille), joten yhteenvedon kirjoituksesta vierähti tasan vuosi omakustanteen painatukseen ja väitökseen – senkin kanssa meinasi käydä kylmät kun ripustukset ym. muutoseikat olivat jääneet aikanaan tarkistamatta.

Miltä väitöksen jälkeinen elämä näytti? Aika tutulta. Yhdeksän kuukauden kuluessa saatiin uuden 5-vuoti-

sen, monirahoitteen tutkimussopimuksen valmistelu valmiiksi, ja 10 tutkijan hanke käynnistyi. Mutta se on jo toinen tarina, joka on ennako- ja jatko-osineen jo kerrottakin (http://luoto.tvarminne.helsinki.fi/historiikki/kasikirjoitus_tamminen.html). Syvällä viime vuosituhanen hämärissä ei esi-SYKEssä vielä virallisesti tunnettu ulkopuolisen tutkijan statusta, koska ulkopuolista tutkimusrahaa ei paljoa liikkunut. PELAG-porukat pyörivät VETin käytävillä Pohjoisella Rautatienkadulla alkuun vähän koekaniineina, tai käenpoikina ja -tyttöinä – mutta hyvinhän siinä lopulta kävi, eikös käynytkin? Onnea Lea!

ABSTRACT

Planktonic processes were studied at the SW coast of Finland, the Baltic Sea, in order to examine causal connections relevant to eutrophication in the ecosystem. The annual pattern of nutrient limitation was investigated by means of experiments on several system levels, and by analyzing *in situ* nutrient ratios. Nitrogen was shown to be the basic limiting nutrient throughout the growth season, and colimitation by phosphorus occurred in early summer.

The shift from new production of the spring bloom to regenerated production of the summer season was studied in terms of nitrogenous nutrition. Clear preference succession from nitrate to ammonium was demonstrated, but nutrient availability overruled inherent preferences in nutrient assimilation. During regenerated production, utilization of organic nutrients

was quantitatively significant in plankton nutrition. Phytoplankton dominated urea (organic N) uptake, while bacterial regeneration of organic P provided an important P source also for phytoplankton.

Research strategies for the dynamically fluctuating pelagic environment were outlined with special emphasis on the interrelation between fluctuations in the physical environment and within the planktonic food web at different time scales. Continuous interaction between experimental food web studies, field studies with special attention on physical fluctuations, and system modeling appears inevitable in order to understand nutrient cycle phenomena in the special conditions of the Baltic Sea.

Nitrogen discharge was shown to promote eutrophication in the Baltic Sea. Effective reduction of nitrogen loading is therefore of vital importance.



Mercury in Finnish forest lakes and reservoirs: Anthropogenic contribution to the load and accumulation in fish

28.5.1990

Helsingin yliopisto, Limnologian laitos
Vastaväittäjä: Martin Lodenius, Helsingin yliopisto

1980-luvun alussa alettiin tulla tietoisiksi, että elohopeaongelma ympäristössä oli paljon laajempi, kuin mitä Minamata-katastrofin jälkimainingeissa oli luultu. Alettiin ihmetellä, mistä johtuivat korkeat elohopeapitoisuudet sisävesien kaloissa aivan luonnontilaisissakin vesistöissä ja ihmisen rakentamissa tekoaltaissa. Suomessa ja Ruotsissa alkoivat samaan aikaan projektit asian ympärillä ja siinä hässäkössä tuli pyörytyksi maastossa muutama kesä lähes täysin. Koska maastossa oli mukavaa, päätettiin yrittää hoitaa ongelma kalastuksella. Lisää maastotöitä!

Happamoitumisprojektikin alkoi ja taas oliin maastossa. Hedelmät kypsyvät hitaanaisesti. Väitöstilaisuus oli juuri ennen deadlinea. Vaimo oli vaatinut, että väittelyn on oltava ennen kuin täytän 40 vuotta. Karonkka venyikin sitten sen verran pitkäksi, että lähtö vuosilomalle Sardiniaan oli suoraan karonkasta. Väittelylahjaksi ystäviltä taisin saada teoksen "Vanhus ja meri" italian kielellä.

Viihyin vielä joitakin vuosia uusissa elohopeaprojekteissa. Tutkittiin elohopean metyloitumista ja demetyloitumista, kalkittiin järviä jne. Kun muuallakin alettiin kiinnostua elohopeaongelmasta, jouduin järjestelemään kansainvälistä konferenssisarjaa "Mercury as a Global Pollutant". Myöhemmin on työaika mennyt paljon muuhun, kuten Kymijoen likaisiin sedimentteihin, Itämeren dioksiini-ongelmaan ja eri EU-projekteihin haitallisten aineiden ympärillä. Taisin olla muutaman vuoden pomonakin.

Arktisen alueen elohopeaongelman ja vesipuitedirektiivin toimeenpanon yhteydessä elohopea nousi jälleen esille ja samaan aikaan alkoivat YK:n alaiset neuvottelut kansainvälisen elohopeasopimuksen aikaansaamiseksi. Leikki nopean hopean kanssa jatkuu vielä EU:n kantojen valmistelussa ja itse sopimusneuvotteluissa. Toivottavasti meillä on sopimus kasassa v. 2013.

ABSTRACT

About ten percent of Finnish watercourses are characterized by heavy Hg contamination caused by discharges from chlorine alkali factories and the use of phenylmercury slimicides prior to 1969. In addition to this point source pollution Finnish lakes show a more general, anthropogenic-derived increase in Hg levels in lakes. The results of a seven-year study on the Hg load and accumulation in fish in Finnish lakes and reservoirs lying outside locally polluted watercourses are summarized in this article. The main objective is to obtain an overall picture of the present extent of Hg contamination in fish, and to estimate the overall anthropogenic increase in the Hg load and concentrations in lakes over the past 100 years. The characteristics of lakes and reservoirs related to Hg transformation and accumulation processes are also studied, and an intensive fishing method described as an example of an amelioration procedure for reducing Hg levels in fish.

The results demonstrate that the anthropogenic mercury load through atmospheric deposition has increased especially during the second half of this century. Judging by sediment Hg accumulation in pristine headwater lakes, the proportion of anthropogenic deposition ranges from 70 to 89% in southern and central

Finland, and from 33 to 54% in northern Finland. The mercury concentrations in northern pike (*Esox lucius* L.), a large predatory fish, generally exceed the level of $0.5 \mu\text{g g}^{-1}$ (ww.) used in many countries as the highest acceptable level for edible fish. The highest Hg level acceptable for edible fish in Finland ($1.0 \mu\text{g g}^{-1}$) was estimated to be exceeded in around three thousand of the ca. 56 000 lakes. In newly impounded, man-made reservoirs outside areas with local Hg pollution sources, even higher concentrations (up to several $\mu\text{g g}^{-1}$) were observed in large predatory fish (northern pike and burbot, *Lota lota* L.). Lower Hg concentrations in fish were recorded in northern Finland than in the south. Natural background Hg concentrations were estimated to have been generally lower than $0.5 \mu\text{g g}^{-1}$. This indicates that Hg concentrations in pike may have doubled or tripled as a result of anthropogenic emissions. The amount of humic material in the water of lakes and reservoirs was clearly correlated with the degree of Hg contamination in fish. Lakes characterized by high fish Hg concentrations were 1) small, polyhumic headwater lakes with large catchment versus lake area, and 2) young, polyhumic, man-made reservoirs with heavy, water-level regulation. Intensive fishing proved to be successful in means of lowering mercury concentrations in pike and burbot.



Acidification of lakes in Finland: Regional estimates of lake chemistry and critical loads

24.4.1992

Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos
Vastaväittäjä: David F. Brakke, Western Washington University, USA

Tein väitöskirjani 1992 Happamoitusprojekti HAPRO:n (1985–90) aineistojen pohjalta Suomen järvien alueellisesta happamoitumistilanteesta ja laskeuman kriittisten kuormitusten mallintamisesta. HAPRO oli ensimmäinen koordinoitu iso poikkitieteellinen tutkimusohjelma ympäristösektorilla Suomessa ja se käytännössä ohjasi minut nykyiselle työuralle. Tein pro gradu -työni järvien happamoitumistilanteesta HAPRO:n alussa ja pystyin sen jälkeen jatkamaan suoraan väitöskirjaan tähtäävää tutkimustyötä ko. ohjelmassa.

HAPRO oli erittäin hyvin johdettu iso pitkä-aikainen hanke ja ympärillä oli nuori innostunut tutkijatiimi. Hanke muodostikin tehokkaan "tutkijakoulun" ja itseni lisäksi usea nykyisinkin SYKE:ssä tai YM:ssä työskentelevä henkilö oli mukana tässä tiimissä (mm. Pasi Iivonen, Pirkko Kortelainen, Jaakko Mannio, Matti Verta). Happamoitusongelman erittäin tehokas vähentäminen on ollut ympäristösektorin suurimpia menestystarinoita ja oli hienoa olla mukana tämän sektorin taustatyössä. HAPRO:n jälkeen sain mahdollisuuden jatkaa työskentelyä VYH/SYKE:ssä tutkimustehtävissä.

Tutkimustoimintani fokus laajeni HAPRO-vaiheen jälkeen vähitellen kohti laajempaa viitekehystä (ilmastonmuutoksen vaikutukset, ekosysteemi prosessit ja palvelut). Olen osallistunut moniin tutkimusohjelmiin (SILMU, FIGARE) ja EU:n puiteohjelmien tutkimushankkeisiin, sekä itse vetänyt erilaisia Suomen Akatemian, EU:n ja ministeriöiden rahoittamia hankkeita. Olen kuitenkin jatkanut kansainvälisissä asiantuntijatehtävissä myös ilmansuojelusektorilla UNECE-kaukokulkeutumisoppimuksen vaikutustyöryhmässä ja AMAP:ssa (Arctic Monitoring and Assessment Programme). Pitkäaikaisten ekosysteemi prosessien tutkimus, mallintaminen ja arviointi ovat siten olleet työurani punainen lanka.

ABSTRACT

This study summarizes the work carried out for assessing the regional extent of acidification and the critical loads of acidic deposition for lakes in Finland. A statistically based survey was conducted in the autumn of 1987 as part of the Finnish Acidification Research Programme (HAPRO). The lakes for the survey (n=987) were selected by a two-stage cluster sampling procedure from two separate subregions, together covering the entire country. Sulphate concentrations in the lakewaters generally corresponded to the pattern of sulphur deposition, being highest in southern Finland. Nitrate concentrations were on average very low throughout the country. The acidity of Finnish lakes reflects the interaction of the atmospheric acidic loading, catchment sensitivity, and inputs of high amounts of catchment derived organic acidity. The estimated proportion of acidic lakes (ANC \leq 0) in Finland was 12%, representing 4 900 lakes (274 km² lake surface area). A high proportion (> 45%) of these acidic lakes has probably been acidic already during

pre-industrial times due to high concentrations of organic matter.

Two steady-state models for calculating the critical loads for lakes were developed and applied on a regional scale. Considerable effort was devoted to the derivation of input data and to the estimation of the uncertainty of key model parameters. The critical loads of sulphur and nitrogen for Finnish lakes show a substantial variability on both small and large spatial scale. The highest exceedance is presently estimated for lakes in south-eastern parts of the country, where more than 70% of the lakes would require a reduction in the total (potentially) acidifying load. The evaluation of two emission scenarios showed that only 'Maximum Feasible Reductions' would be sufficient for protecting most Finnish lakes from the detrimental impacts of acidic deposition. The results of the critical load calculations form a basis for setting national targets for emission reductions in Finland.



Assessment and mitigation of agricultural water pollution

10.11.1993

Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos
Vastaväittäjä: Tom Frisk, Tampereen vesi- ja ympäristöpiiri

Lea oli oikeastaan ensimmäinen henkilö Suomessa ja kansainvälisestikin, joka alkoi tutkia hajakuormituksen ja erityisesti maatalouden kuormituksen suuruutta ja merkitystä vesien tilaan. Hänen tutkimuksensa alkoivat jo 1970-luvulla ja väitöskirja valmistui 1984.

Kun Lea sitten nimitettiin vesitutkimustoimiston toimistopäälliköksi vuonna 1987, perin häneltä suurimman osa näistä hajakuormitukseen liittyvistä tutkimustehtävistä. Lea oli virkavapaalla tutkijana IIASA:ssa Itävallassa 1987–1988, ja satuin silloin itsekin vierailemaan siellä. Tavatessamme taisin puolihuolimattomasti kysyä, että pitäisiköhän minun miettiä väitöskirjan tekemistä tästä aiheesta. Oli siihen mennessä saanut väännettyä muutama asiaa koskevan artikkelin. Vastauksen voitte arvata.

Opiskelin sitten matemaattisten mallien kehittämistä ja käyttöä Max Poschin suosiollisella avustuksella. Niiden avulla sitten arvioitiin myös menetelmiä, joilla kuormitusta voitaisiin vähentää. Muutaman artikkelin sain siitäkkin aikaan ja artikkelit yhdistämällä sitten väitöskirjan.

Kuulostaa helpolta, mutta kattia kanssa, aikaa sain siihen tuhrattua viitisen vuotta Lean hyvästä tuesta huolimatta.

ABSTRACT

This study summarizes and synthesizes the research carried out for assessing the agricultural loads to surface waters and the measures for their abatement. The estimates of the agricultural loads are based mainly on the long-term monitoring conducted in representative drainage basins. The results show that agriculture is the largest single source of total phosphorus, total nitrogen as well as of the algal-available fraction of phosphorus to surface waters. The high inter-annual variation in the load estimates, caused by climatic fluctuations and changes in the sampling strategy, make the detection of long-term trends in nutrient loads difficult. However, it can be concluded that the phosphorus load has increased since 1960's and 1970's due to the intensification and regional concentration of agricultural production, and that nitrogen load has increased during the late 1980's due to warm and rainy winters. The changes in the sampling strategy to flow-proportional sampling have improved the accuracy and precision of the load estimates.

The efficiency of abatement measures for controlling nutrient losses has been assessed by mathematical simulation models and by controlled field experiments. The model selected for this study was the

CREAMS model, which has been modified for Finnish conditions. The most important modifications to the original CREAMS model include the implementation of a snow accumulation and melt submodel and the estimation of rainfall erosivity parameters from continuous rainfall records in Finland. The model calculations show that significant reductions in soil loss can be achieved by using a reduced tillage technique instead of moldboard plowing for primary tillage and by establishing grassed filter strips along the waterways. Similar results have been reported from field experiments, which also show that these measures decrease total phosphorus losses as well. Soluble phosphorus losses can be most efficiently controlled by adjusting the phosphorus fertilization to the need of plants and taking into account the amount of plant-available phosphorus in the soil. This would mean a reduction of the phosphorus fertilization from the levels used during the last decade. Also nitrogen losses could be controlled by reducing fertilization, especially in areas and in fields where the nitrogen in fertilizers and manure clearly exceed the need of plants. Additional reductions in nitrogen losses can be achieved by growing perennial grass on set-aside fields and possibly planting catch crops during winter.

Contribution of organic acids to the acidity of Finnish lakes

16.2.1994

Helsingin yliopisto, Limnologian laitos

Vastaväittäjä: David F. Brakke, Western Washington University, USA

HAPRO-tutkimusohjelmassa vedin projektia, jossa selvitettiin humuksen merkitystä järvien happamoitumiseen. Tämä aihe oli alun perin Kaarle Kenttämiehen ehdottama ja kun työstimme siihen liittyen julkaisuja, väitöskirja-projekti käynnistyi samalla kivuttomasti, kun aihekin oli kansainvälisesti ajankohtainen. Vastaväittäjä kahlasii ainetta mielestäni aika kaukaa, ja tunnin keskustelun jälkeen minun teki mieli pyytää "Mentäisiinkö jo asiaan". Mutta väittelijän rooli väitöstilaisuudessa on vastata siihen, mitä kysytään, enkä poikennut protokollasta. Vuosia myöhemmin, kun olin vastaväittäjänä Uumajassa, väittelijä kysyi minun mielipidettäni joihinkin asioihin, joita en enää sen tarkemmin muista, mutta yleisössä vastaväittäjän tenttaaminen herätti hilpeyttä.

Väitöskirja valmistui iltapuhteina HAPRO:n jälkeen, ja happamoitumisrahoituksen päätyttyä tutkimushankkeen ovat keskittyneet lähinnä ilmastonmuutoksen ja maankäytön vaikutuksiin. Näissä Suomen Akatemian, ministeriöiden ja EU:n rahoittamissa hankkeissa on tutkittu järvien merkitystä hiilen varastona ja kasvihuonekaasujen lähteenä koko maan kattavilla satunnaisotannalla valituilla aineistoilla sekä selvitetty orgaanisen aineen huuhtoutumista pieniltä latva-alueilta ja kulkeutumista isoja jokia pitkin Itämereen. Mielenkiintoisin hanke on ollut makeiden vesien merkitystä globaaliin hiilen kiertoon selvittänyt NCEAS- projekti (National Center for Ecological Analysis and Synthesis, Santa Barbara, CA, USA), jossa perinteisesti sirpaleisia järvi- ja jokiaineistoja on pureskeltu globaaleiksi estimaateiksi.

HAPRO toimi erinomaisena tutkijakouluna ja biogeokemialliset kierrot ovat edelleen mielenkiintoinen ja yhä ajankohtainen aihe. Hiilen ja muiden biogeokemiallisten kiertojen pureskelussa esim. ilmastonmuutokseen liittyen riittää haasteita vielä pitkälle tulevaisuuteen.



Pirkko tutustumassa Japanin vesitutkimukseen kesällä 2012.

LECTIO PRAECURSORIA

The cold climate and flat topography in Finland provide favourable conditions for organic matter accumulation. Peatlands cover about one third of the land area, a higher percentage than in any other country. Finland has also a world record in ditching and draining of peatlands. About half of the area of peatlands is ditched, mainly for forestry. Coniferous forests are predominant, and 87% of the total land area in Finland is presently classified as forestry land.

Peatlands and thick organic soils under coniferous forests produce large amounts of organic matter to Finnish lakes. Vegetation and hydrological processes are important factors contributing to the leaching. High leaching is typical especially for peatlands and for such mineral soils where subsurface runoff is dominating.

There is still much to be learned about the environmental relationships controlling the release and transport of organic matter in catchments. Actual research topics are the impacts of ecosystem changes on the leaching. Acidification, forestry and the possible climate change, all of them contribute to the leaching. There has been controversy concerning the hypothesis that acidification has decreased organic carbon and colour values in surface waters. Human impacts, for example forestry, change the hydrological conditions contributing to the leaching. The possible climate change has an impact on all hydrological processes. Temperature, the amount of runoff and its seasonal distribution can be expected to have a major contribution to the leaching of organic matter.

Lakes in Finland are typically small and shallow. In many lakes the water is yellow-brownish coloured

due to high organic carbon and iron concentrations. Humic matter has a strong influence on the temperature and light conditions in lakes. It impacts on almost all important processes in our lakes including production and decomposition. Complex of humic matter with nutrients, metals and trace elements strongly regulates their transport, biological availability and toxicity. Humic water as a source for drinking water can result in the formation of mutagenic compounds.

Awareness of the potential importance of dissolved organic matter in surface waters developed relatively early in Finland. A classification scheme for lakes developed by Heikki Järnefelt, the first professor of limnology, in the 1950's was based on eutrophy and colour. His successor, Reino Ryhänen, was in early 1970's a leader of the research group emphasizing the important role of humic matter in Finnish lakes.

During the following decades several studies concentrating either on biological or chemical impacts of humic matter in aquatic ecosystems have been going on. Since 1984 there has been a group coordinating humic matter research in Finland, the board and the leader of which have been elected every two years. The present professor of limnology, Eloranta, is with many other scientists responsible for collecting together and evaluating the available knowledge about the role of humic matter in limnology of Finnish surface waters.

Simplified it can be concluded that humic matter makes everything more complicated compared to processes in clear water lakes. The problem in humic matter research field worldwide has been that so called basic scientists and applied scientists haven't always found each other. Cooperation is not only recommended, it is unavoidable to highlight the fate of organic matter and its impact on our aquatic ecosystems.

Organic acids are the most important fraction of dissolved organic matter. The role of catchment derived organic acids in the acidification of surface waters has been widely debated. The majority of the world's peatlands are located in northern regions geographically in the same regions with lakes sensitive to acidic deposition and those receiving relatively high acidic

deposition. In these areas lake acidity is a complex net effect of several interrelated factors: acidic deposition, natural organic acid load from the catchment, weathering rate and hydrological conditions.

Over the past two decades acidification has been one of the central issues in environmental research. In some parts of North America and North Europe, acidic deposition has been found to be responsible for widespread changes in surface waters. Acid rain – its sources, distribution and effects – has been an issue surrounded by a great deal of controversy, both scientific and political. It has even been suggested that lakes and streams in the north-eastern United States and southern Scandinavia that have high mineral acidity, had before acidic deposition, high concentrations of humic matter and were acidified by organic acids.

The analytical difficulties have contributed to this confusing controversy. There is no method presently available for the direct determination of total organic acids. A highly complex mixture of organic acids dissociates across a wide pH range but is neither totally dissociated nor totally protonated at any pH-value in natural waters. Consequently the acid-base properties of the organic acid mixture have been difficult to describe. Large-scale surveys both in North America and northern Europe that have documented the contribution of organic acids to the surface water acidity have used indirect approaches.

Humic substances have several effects on water quality including anion-cation balance, pH and alkalinity. The various acids in surface waters can be identified by measuring the corresponding anions. William Dickson simplified this as follows: "show me your anions and I tell you who you are". The main source for strong acid anions, sulphate and nitrate, is acidic deposition. Organic anions representing the natural background acidity are derived from peatlands or organic soils in catchments.

The importance of humic substances to the ion balance of natural waters was recognized several decades ago. However, the charge balance approach for the estimation of organic anion concentrations in surface

waters has been used successfully only during the past decade since reliable ion chromatographic results for sulphate and chloride have been available.

In many earlier sulphate methods coloured organic anions were measured along with sulphate. Using ion chromatographic results for sulphate, it was demonstrated that in bog waters there was a deficit in anion that correlated significantly with dissolved organic carbon. The problems in sulphate analysis have led to a revision of ideas about the sources of acidity in bog waters. Inferences concerning sulphuric acid as a major cause of acidity in pristine bogs were shown to be invalid. The ion chromatographic results showed that natural organic acidity is the most important acidity source in such waters.

Organic carbon in surface waters is both a natural background source of acidity decreasing pH and alkalinity but also a buffer against acidic deposition. Due to buffer capacity of organic acids humic lakes respond acidification more effectively than clear water lakes.

Moreover, the toxic impacts of for example free aluminium in humic lakes have been shown to be lower compared to clear water lakes due to complex ability with organic matter. Harmful impacts of acidification on the biology in humic lakes are thus often less serious compared to clear water lakes. It has even been suggested that many organisms are adapted to low pH in humic lakes.

High organic carbon concentrations in Finnish surface waters suggested an important role of humic matter to

the acidity of the lakes. Consequently a comprehensive assessment on the contribution of organic acids to the acidity of Finnish lakes was outlined. This study demonstrates that catchment-derived organic acids are the most important acidity source in most areas in Finland. Organic acids can be considered as background acidity existing in our waters already before acidic deposition. Acidic deposition has decreased pH of many of these originally acidic humic lakes. Compared with lake acidification surveys in other countries the role of organic acids in Finland is pronounced. In the highest deposition areas in southern Finland where percentage of peatlands is also lower compared to central and northern Finland acid deposition is more important.

Eutrophication of the Finnish coastal waters: Origin, fate and effects of riverine nutrient fluxes

2.12.1994

Helsingin yliopisto, Limnologian laitos
Vastaväittäjä: Dos. Erkki Alasaarela



Väittelin joulukuussa 1994 jokien tuoman ravinnemuorman merkityksestä Suomen rannikkovesien rehevöittäjänä. Tohtoriksi valmistumisen oli pitänyt tapahtua jo vuosia aiemmin. Tarkoitus oli ollut jatkaa vuonna 1987 valmistunutta liseniaattityötä saman tien väitöskirjaksi. Näin ei kuitenkaan käynyt: perhe kasvoi, työtehtävät lisääntyivät ja jonkinasteinen rimakauhukin alkoi vaiwata. Artikkeleita syntyi turhan verkkaisesti.

Seitsemän "laihan vuoden" jälkeen koitti kuitenkin vihdoin suuri päivä. Väitöspaikkana oli perinteitä noudattaen Helsingin yliopiston päärakennuksen luentosali XII. Tilanne oli juhlanan jähmeä: frakki päällä ja kuulijoina salillinen tuttuja työtovereita, lähimpiä sukulaisia ja ystäviä. Kustos Juha Kämäri avasi tilaisuuden ja saman tien olikin jo lektion aika. Olin kirjoittanut sen etukäteen ja harjoitellutkin edellisenä iltana useampaan kertaan. Silti jännitin pahuksesta! Mihinkään improvisaatioon ei ollut varaa, vaan luin lektion sanasta sanaan paperista.

Sitten alkoi varsinainen väitöskirjan puolustaminen ja pahin jännityskin laantui vähitellen. Vastaväittäjänä toiminut Erkki Alasaarela piti pienellä show-meiningillä yleisön mielenkiinnon yllä. Ovelilla kysymyksillään hän myös huolehti siitä, että aivan rentoutuneeksi en oloani tuntenut missään vaiheessa noin kaksituntisen väitöksen aikana.

Jatko olikin sitten huomattavasti leppoisampi: väitöskaronkkaa vietettiin Hotelli Tornissa ja myöhemmin illalla juhlia jatkettiin varsin vauhdikkaasti Pohjoisen Rautatienkadun 7. kerroksen maineikkaassa VETin kahvihuoneessa aina aamutunneille saakka.

Pitkälle en väitöskirjan aiheesta ole myöhemminkään päässyt, vaan työni ovat lähes poikkeuksetta liittyneet Itämeren rehevöitymisongelmaan.

LECTIO PRAECURSORIA

Herra Kustos, Herra Vastaväittäjä, Arvoisat kuulijat,

Vesien rehevöityminen (engl. eutrophication) määrittellään kasvibiomassan tuotannon eli perustuotannon lisääntymiseksi pinta-alayksikköä kohden vesiekosysteemin häiriöttömään tilaan verrattuna. Pelagisessa systeemissä rehevöitymisellä tarkoitetaan lähinnä kasviplanktonin uuden tuotannon lisääntymistä. Usein tämä johtuu tuotantoa säätelevien ns. minimiravinteiden, lähinnä typen ja fosforin, lisääntyneestä virrasta systeemiin. Lisääntynyt ulkopuolinen ravinnevirta puolestaan johtuu joko suoraan tai välillisesti ihmisen toiminnasta vesialueen rannalla tai sen valuma-alueella.

Ekosysteemin kokonaistuotannon kasvuvaihe kuuluu oleellisena osana sukkessioon, mutta ilman ulkopuolisia häiriötekijöitä se on hidas prosessi. Vesien rehevöitymiseen yleisessä kielenkäytössä liittyvä negatiivinen arvolutaus johtuu siitä, että ihminen on toimillaan huomattavasti kiihdyttänyt tuotannon kasvua monine haitallisine seurauksineen. Terrestrisissä ekosysteemeissä, olivatpa ne luonnontilaisia tai eivät, vastaavaa negatiivista sävyä ei yleensä ole. Emme esimerkiksi halua päästä eroon lajistoltaan rikkaista, rehevistä lehdoista – päinvastoin niitä suojellaan.

Toisaalta myös eräitä hyvin reheviä vesiekosysteemejä, esimerkiksi jokien suistoja ja matalia, lähes umpeenkasvaneita lintujärviä halutaan suojella. Nämä eivät kuitenkaan enää ole puhtaita vesiekosysteemejä, vaan kahden erilaisen systeemin rajalla olevia biotooppeja, joille on tyypillistä suuri biologinen monimuotoisuus ja tuottavuus.

Jos unohdetaan erityistapaukset, niin järvien, jokien tai rannikkovesialueiden rehevöitymistä ei pidetä suotavana. Miksi? – Vesien kuormituksesta johtuvan rehevöitymisen haitat johtuvat paljolti muutosten nopeudesta ja voimakkuudesta. Ruotsalaistutkijat ovat arvioineet Itämeren tyyppikuorma kasvaneen 1900-lulla 4-kertaiseksi ja fosforikuorman 8-kertaiseksi!

Kasvavaa ravinnekuormaa vastaanottava ekosysteemi joutuu nopeasti hakemaan uutta tasapainotilaa. Esimerkiksi metsän rehevöityminen ilman kautta leviävän tyyppikuorman johdosta on maallikon silmin lähes huomaamaton ilmiö. Lisäksi ravinnekuorma jakautuu tasaisesti laajalle alueelle. Järviin tai rannikkovesiin ihmistoiminnan ravinteet joutuvat paikallisesti purkputkesta tai jokien välityksellä.

Rehevöityminen purkupaikan lähivesillä on yleensä nopeaa. Usein ekosysteemin tasapaino häiriyytyy rajusti. Voimakas rehevöityminen näkyy mm. veden samentumisena, leväkukintoina, hajoavan levä- ja kasvibiomassan epämiellyttävänä ulkonäköinä ja hajuna, pyydysten ja rantakallioiden voimakkaasti lisääntyneenä päällyskasvustona, arvokkaiden kalalajien häviämisenä sekä yleensäkin eliölajiston köyhtymisenä.

Edellä esitetty koskee rannikkovesiä, eritoten saarten ja matalikkojen rajoittamia saaristoalueita. Ulko-saaristossa ja Itämeren ulappavesissä vaikutukset ovat huomattavasti vaisumpia. Selvimmin rehevöityminen tulee esiin loppukesän sinileväkukintoina. Itämeren ulappavesien yleinenkin rehevyystaso on viime vuosikymmeninä kohonnut ja kehityssuunta on sinänsä huolestuttava. Rehevyystaso ei kuitenkaan edelleenkään ole erityisen korkea jos vertailukohtana käytetään muita vastaavia merialueita.

Toisaalta Itämeren ulappavesien tuotanto on moninkertainen vaikkapa Välimeren verrattuna. Ravinnekuorman laimeneminen valtaisaan vesimassaan ja ravinteiden tehokas sedimentaatio pitävät Välimeren tuotannon alhaisena. Itse asiassa Itämeri - nimestään huolimatta - ei varsinaisesti olekaan meri, vaan siihen laskevien jokien ja Tanskan salmien kautta tunkeutu-

van suolaisen veden sekoittumisallas, jolla on alueen suljetun luonteen vuoksi pitkä viipymä ja alhainen suolapitoisuus. Määritelmää väljästi tulkiten Itämerä voidaan pitää valuma-alueensa jokien yhteisenä estuaarina. Erityispiirteidensä vuoksi Itämeren ekosysteemiä ei siten tulisikaan suoraan verrata esimerkiksi Välimeren - valtameristä puhumattakaan.

Itämeren ulappavesien rehevöitymisellä on myös eräs merkittävä positiivinen seuraus: Itämeren kokonaiskalansaalista on nimittäin kasvanut viimeisten 50 vuoden aikana 10-kertaiseksi. Vaikka osa saaliiden kasvusta meneekin tehostuneiden pyyntimenetelmien ja muiden ympäristötekijöiden tiliin, on osa kasvusta varsin todennäköisesti todellista tuotannon kasvua.

Vesipinta-alaa kohden laskettuna Itämeren ravinnekuorma ei ole mitenkään suuri verrattuna esimerkiksi Pohjois-Amerikan Atlantin rannikon suuriin estuaareihin. Mataluutensa, vähäsuolaisuutensa ja pitkän viipymänsä vuoksi Itämeren puskurikyky ulkopuolisia häiriöitä – kuten ravinnekuorman lisääntymistä – vastaan on kuitenkin heikompi kuin valtameren estuaareilla. Lisäksi eräät Itämeren osat, kuten Suomenlahti, vastaanottavat huomattavasti suurempaa ravinnekuormaa kuin merialue keskimäärin.

Suomenlahden itäosa, Kymijoki-Suursaari-linjan itäpuoli, saa vuosittain valuma-alueeltaan noin 10-kertaisen ravinneannoksen koko Itämeren keskiarvoon verrattuna. Itse asiassa itäisen Suomenlahden vastaanottama ravinnekuorma, 500 kg fosforia ja 10 tonnia typpeä neliökilometrille vuodessa, on jo varsin suuri minkä tahansa mittapuun mukaan. Lisäksi Itämeren ravinteikas syvä vesi pääsee esteettä virtaamaan Suomenlahdelle ja lisää vertikaalisen sekoittumisen kautta itäisen Suomenlahden jo ennestään korkeaa rehevyys-tasoa.

Ensimmäiset tutkimustulokset Suomenlahden suuremmasta ravinteisuudesta muihin Suomea ympäröiviin Itämeren osiin verrattuna tehtiin jo tämän vuosisadan alkuvuosikymmenillä (Buch). Nevan suuren ravinnekuorman vaikutus itäisen Suomenlahden rehevyyteen todettiin planktonnäytteistä, jotka otettiin Suomen

Suuriruhtinaskunnan vesiltä, Seiskarin saaren läheisyydestä 1910-luvulla (Leegaard). Helsingin lähivesillä tehtiin samoihin aikoihin perusteellisia tutkimuksia jätevesikuormituksen, rannikon morfologian sekä veden kemiallisen ja biologisen laadun välisistä yhteyksistä (Wittig, Levander). Tutkimusten keskeisenä tarkoituksena oli selvittää Helsingin jätevesille keskitetyt ja mahdollisimman edulliset purkupaikat. Syynä oli jo silloin rantavesien voimakas rehevöityminen jätevesikuormituksen johdosta.

Vesien kuormituksen rajoittamiseen ryhdyttiin Suomessa laajamittaisesti 1960-luvulla. Työn tuloksena orgaaninen, happea kuluttava kuormitus ja erityisesti asutuksen fosforikuorma on vähentynyt 30 vuodessa murto-osaan alkuperäisestä, vaikka käsiteltävät jätevesimäärät ovat samaan aikaan kasvaneet. Toisen suuren fosforikuormittajan, kemiallisen puunjalostusteollisuuden, ravinnekuorma on aktiivilietekäsittelyn myötä alkanut selvästi laskea 1980-luvun jälkipuoliskolta lähtien. Jätevesipäästöjen rajoittamisen tuloksena kuormitettujen vesialueiden tila on parantunut.

Myös rannikkovesissä on alueita, joilla ravinnekuorman voimakas alentuminen on johtanut vesialueen tilan huomattavaan paranemiseen. Viime vuosikymmenten yleinen kehityssuunta on kuitenkin ollut rehevyyden lisääntyminen. Sisimpiä lahtialueita lukuun ottamatta rannikkovesien rehevyystaso ei ole laskenut huolimatta pistemäisen fosforikuorman merkittävästä pienenemisestä. Tähän on olemassa useita mahdollisia syitä:

1. Maa- ja metsätalouden sekä kalankasvatuksen aiheuttama fosforikuorma on kasvanut,
2. Itämeren yleisen ravintetason ja rehevyyden lisääntyminen 1970- ja 1980-luvuilla on heijastunut ulkosaariston ja avointen rannikkovesien tilassa,
3. Toisen keskeisen perustuotantoa rajoittavan kasvinravinteen, typen, kuorma Suomen rannikkovesiin on aivan viime vuosiin saakka jatkuvasti kasvanut, ja
4. Rannikkovesien ekosysteemikierto poistaa tehokkaammin typpeä kuin fosforia tuottavasta vesikerroksesta, jolloin typpi, jonka kuorma rannikkovesiin siis on kasvanut, kehittyy fosforia herkemmin tuotannon minimitekijäksi.

Väitöskirjatyössäni olen arvioinut Suomen rannikkovesiin joutuvan kasviplanktonille käyttökelpoisen typen ja fosforin suhteen yli 3-kertaiseksi perustuotannon optimisuhteeseen 7:1 eli Redfieldin suhteeseen verrattuna. Tästä huolimatta Suomen rannikkovesissä tehdyissä kokeellisissa tutkimuksissa typpi näyttää olevan ensisijainen tuotannon rajoittaja, lukuun ottamatta Perämeren. Suurimman perustuotannon kasvun saa yleensä aikaan typen ja fosforin yhteisliäisy.

Rannikkovedet näyttävät käyttäytyvän toisin kuin suuret järvemme. Esimerkiksi Saimaassa ja Päijänteessä huomattavia pitoisuuksia epäorgaanista typpeä on vapaana vedessä myös kasvukaudella. Sen sijaan epäorgaanisen fosforin pitoisuudet ovat hyvin pieniä, mikä viittaa järvien tuotannon fosforirajoitteisuuteen.

Vesien suojelelun kannalta erityinen mielenkiinto kohdistuu kahteen ravinteita vedestä poistavaan prosessiin: sedimentaatioon ja denitrifikaatioon. Kummankin merkitys koko Itämeren ravinnetasapainossa on osoitettu hyvin merkittäväksi. Itämeren rannikkovesissä tutkimuksia on kuitenkin tehty varsin vähän. Taselaskelmat viittaavat siihen, että ainakin itäisellä Suomenlahdella kyseiset prosessit kykenevät merkittävästi pidättämään ravinnevirtoja ja siten jarruttamaan ulappavesien rehevöitymistä.

Asutuksesta, teollisuudesta ja maataloudesta tuleva ravinnekuorma rehevöittää siis ensisijaisesti rannikkovesiä. Samalla rannikkovedet toimivat Itämeren ulappavesien kannalta luonnon omana puhdistuslaitoksena. Erityisesti juuri Suomen saaristoisten rannikkovesien tilaa parantaisi se, että kotimaista ravinnekuormaa kyettäisiin pienentämään sekä typen että fosforin osalta. Noin 10 % koko Itämeren vastaanottamasta ravinnekuormasta on peräisin Suomesta. Koko Itämeren rehevyytason alentamiseen tarvitaan kansainvälistä yhteistyötä ja perusteellisia vesien suojeletoimia koko Itämeren valuma-alueella.

Pyydän nyt Teitä, Herra Dosentti, maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan määräämänä vastaväittäjänä esittämään ne muistutukset, joihin katsotte väitöskirjani antavan aihetta.

Toxicant distributions and impact models in environmental risk analysis of waste sites



19.1.1996

Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos
Vastaväittäjä: Prof. Aimo Oikari, Jyväskylän yliopisto

Kymmenen vuoden puurtamisen jälkeen väitösrutuuli jännittää mutta sujuu; myös Lean rohkaisu sen alla auttoi. Saan kritiikkiä kaatopaikkavesien kovuuden vaikutuksen puutteellisesta käsittelystä. Huomautukset eivät koske kokonaisuutta eivätkä artikkeleita olennaisesti täydentävää laajaa synteesiosaa tai yleisiä teoreettisia, metodisia ja tulkinman kysymyksiä, kuten olin toivonut. Karonkasta jäivät mieleen esikoiseni lämmin puhe, ja prof. Nuortevan puheessa vakiometafora luonnontaloustalouden vauriot, jotka tuolloin vallitsivat hänen ajatuksiaan.

Väitöksessä selvitin jätealueiden sisältämien haitallisten aineiden toksikologisia terveys- ja ympäristöriskejä. Arvioinnin pohjana oli kemiallisia ja biologisia kenttä- ja laboratoriomittauksia, taustatietoja tutkimusalueista, matemaattis-tilastollisia ja käsitteellisiä malleja, ja laaja kirjallisuus. Työ perustui ympäristöministeriön rahoittaman riskikaatopaikkatutkimuksen tuloksiin. Rahoittajan puoliksi lausuttu toive oli osoittaa riskit suuriksi vauhdittaakseen jätehuollon kehittämistoimia. Riskien suhteellisuus, subjektiivisuus ja kontekstisidonnaisuus sekä riskien ja epävarmuuksien liioittelun ja vähättelyn suhteet nousivatkin tieto-opilliseksi ja eettis-poliittiseksi kysymykseksi – ei silti vielä tutkimuskohteekseni. Väi-

tösaihe on relevantti pragmaattisella mitalla, ja käsitteilytavassa on uutta ja kiinnostavaa. Kuitenkaan en enää pidä työtä tieteellisesti kovin merkittävänä.

Työni on sittemmin suuntautunut monipuolisemmin ympäristö- ja terveysriskeihin, lähinnä niiden määrittämiseen sekä ihmisen luontosuhteen historiallisiin ja tieteentutkimuksen aspekteihin. Siihen, miten ja miksi riskeistä ajatellaan ja tunnetaan, objektiivisesta puolesta riippumattakin – usein eskatologisesti ja katastrofistisesti. On tärkeää mutta sivuutettua, miten kapeasti ja ehdollistetusti ympäristöuhkia ja niistä pelastusta haetaan ja hoetaan. Olin väitöksessä SYKE:n ja ympäröivän kulttuurin sekä omien rajoitusteni vanki. En ole nytkään niistä vapaa. Yhä hallitsevat vakioteemat, totutut näköalat, yhdenmukaisuuden paine. Dogmit jylläävät maailmanparannusinnon siivillä; tieteen idea, skeptisismi, on jopa kirokana. Pyrin ymmärtämään erityisesti tällaisia ilmiöitä. Niiden tutkiminen on keskeistä myös strategisesti, reflektiona ja itsekritiikkinä; kuten yleensäkin kriittinen ajattelu ja pluralismi. Vapaampaa tutkimusta ehdottavalle tosin vastataan kärkkäästi, ettei se kuulu SYKEen – kuin liika vapaus olisi pääongelmamme, ja tajuamatta mihin urautumiseen tämä johtaa.

LECTIO PRAECURSORIA

Miksi ja miten jätealueiden ympäristöriskejä arvioidaan?

Jätteet ja niiden sijoituspaikat aiheuttavat aina ympäristöriskejä. Nämä riskit ja niitä kohtaan tunnettu huoli ovat aiemmin lähinnä liittyneet biologisiin tekijöihin, kuten taudinaiheuttajiin ja tuhoeläimiin, sekä viihtyvyyshaittoihin. Jätteiden määrä on sittemmin kasvanut ja laatu muuttunut. Erityisesti yhteiskunnan teollistuminen ja kemikaalien lisääntynyt käyttö ovat merkinneet olennaista muutosta jätealueiden ympäristöriskeissä. Ne liitetään nykyisin keskeisesti ympäristömyrkkyyhin, kuten raskasmetalleihin ja synteettisiin orgaanisiin aineisiin. Tämän kehityksen myötä jätealueiden ympäristönsuojelullinen ja yhteiskunnallinen merkitys on huomattavasti kasvanut.

Jätealueiden myrkyllisistä aineista johtuvat ympäristöriskit ovat synnyttäneet viime vuosina paljon huolta ja toimintaa monissa maissa. Jätealueiden ja muiden saastuneiden alueiden tutkimus on lisääntynyt nopeasti. Niiden kunnostukseen on arvioitu käytettävän esimerkiksi Yhdysvalloissa, Saksassa ja Hollannissa satoja miljardeja dollareita ja euroja lähivuosikymmeninä. Kuitenkin tiedot riskeistä ovat puutteellisia. Mittaustuloksia on vähän, mutta ydinkysymys on, mitä tulokset merkitsevät. Tätä kuvaa kunnostuksessa usein esitetty kysymys How clean is clean - miten puhdas on puhdas?

Jätealueet sisältävät varsinkin kaatopaikkoja, jotka vaihtelevat talousjätetunkioista yhdyskuntien ja teollisuuden jätteiden läjitysalueisiin ja jätealtaisiin. Useimmat maamme lähes kahdesta tuhannesta kaatopaikasta ovat pieniä sekajätetasoja, joiden rakentamis- ja hoitotaso on ollut nykymittapuun mukaan vaatimaton. Myös suunnittelemattomia jätealueita on syntynyt jätteitä käsiteltäessä ja ympäristön likaantuessa pitkäaikaisten ja äkillisten päästöjen seurauksena. Ympäristöhallinnossa on luetteloitu yli 10 000 mahdollisesti saastunutta maa-aluetta, erityisesti sahoja ja puunkyllästäjä, jätteenkäsittelypaikkoja ja romuttamoja. Osa saastuneista maa-alueista on aiheutunut jätteistä, ja toisaalta maaperän saastuminen voi tehdä siitä jätettä. Monet jätealueet ovat kauan sitten lopetetun toiminnan jäänteitä. Kun historialliset jätealueet ovat vetäneet puoleensa lähinnä arkeologeja, teollisen kulttuurimme tuoreimmat jätökset työllistävätkin erityisesti ympäristöongelmien ratkojia.

Nyky-yhteiskuntaa leimaa tietoisuus riskeistä - vaaroista terveydelle, ympäristölle, omaisuudelle, turvallisuudelle. Ympäristöriskit liittyvät ympäristön tilaa uhkaaviin tai ympäristön kautta ihmistä uhkaaviin tapahtumiin. Väitöskirjassani on keskitytty jätealueiden aiheuttamiin toksikologisiin ympäristöriskeihin. Ne ilmenevät biologisina reaktioina jätteistä leviäviin kemikaaleihin. Nämä reaktiot voivat aiheutua välittömästi tai viipeellä, olla akuutteja tai kroonisia, koskea monia eri eliöitä ja elintoimintoja, sekä ilmetä yksilötasolla ja yhteisötasolla. Ympäristöriskejä aiheutuu esimerkiksi jätetasojen ja altaiden epävakaudesta, mikä voi johtaa sortumiin. Kaatopaikkapalot ovat yhä yleisiä ja aiheuttavat päästöjä ilman kautta, samoin kuin jätteestä normaalisti kehittyvät kaasut. Erityisesti on kiinnitetty huomiota jätteestä suotautuvien vesien aiheuttamaan pintavesien ja pohjavesien likaantumiseen. Nämä riskit riippuvat jätteiden sisältämistä haitallisista aineista. Maassamme muodostuneista ongelmajätteistä arviolta puolet on päätyneet kaatopaikoille. Tämä ongelmajätehuollon ulkopuolelle jäävä osuus on nykyisin paljon pienempi. Jätealueille viedään silti yhä vaarallisia aineita, myös muissa jätteissä kuin ongelmajätteissä.

Riskien arviointi on perusta riskien hallinnalle. Ensi vaiheessa jätealueiden riskitekijöitä tunnistetaan ja niitä asetetaan tärkeysjärjestykseen karkeilla menetelmillä ja tiedoilla. Tämän jälkeen riskejä arvioidaan lähemmin erityisesti niiden vähentämistarpeen määrittämiseksi. Riskinarviointi kytkeytyy yhä useammin myös kunnostuksen ja muiden riskinvähennystoimien toteutukseen. Tällöin selvitetään esimerkiksi kunnostustoimista aiheutuvia työsuojeluriskejä.

Jätealueiden on joskus dramaattisesti esitetty olevan kemiallisia aikapommeja. Eloperäisten jätteiden määntämisessä muodostuva kaasua todellakin saattaa aiheuttaa räjähdysvaaran. Aikapommeilla tarkoitetaan kuitenkin lähinnä vähitellen syntyviä ja viipeellä ilmeneviä haittoja. Jätealue voi olla aikapommi siinä mielessä, että sen sisältämät aineet voivat levitä ympäristöön pitkän ajan päästä ja aiheuttaa äkillisestikin ilmaantuvia riskejä esimerkiksi maankäytön muutosten myötä. Ulkomailla on tällaisissa tapauksissa jouduttu jopa evakuoimaan jätteiden päällä asuneita ihmisiä.

Väitöskirjani ja muiden tutkimusten perusteella on selvää, että jätealueet eivät ole mitään mustia aukkoja, joihin haitalliset aineet täysin häviävät tai joissa ne pidäytyvät loputtomiin. Ne voivat osin hajota ja pysyä jätteessä pitkiäkin aikoja, mutta silti niitä pääsee ajan mittaan ympäristöön. Näin voi tapahtua erityisesti kun aineiden liikkuvuus, esimerkiksi haihtuvuus ja liukoisuus, on suuri, ja kun jätteen ja lähiympäristön ominaisuudet sallivat leviämisen. Toisaalta riskien vähentämisessä voidaan hyödyntää myrkyllisiä aineita pidättäviä ja hajottavia ja muita niihin vaikuttavia prosesseja.

Jätealueilla, joilla on käsitelty kloorifenolipitoisia puunsuojausaineita, erityisesti sahoilla, on todettu polykloorattujen dibentso-p-dioksiinien ja dibentsofuraanien korkeita pitoisuuksia. Nämä yhdisteet aiheuttavat ongelmia muun muassa, koska eräät niistä ovat monille eläimille erittäin myrkyllisiä, ja koska ne ovat ympäristössä ja eliöissä pysyviä ja kertyviä sekä vaikeasti käsiteltäviä. Väitöskirjassani olen tuonut

esiin, että oletukset altistusta ja vaikutuksia koskevissa malleissa vaikuttavat suuresti arvioihin näiden aineiden jätealueilla aiheuttamista riskeistä.

Tutkimuksissa ei ole voitu selvästi osoittaa jätealueiden aiheuttaneen ympäristössä terveyshaittoja ihmisille. Niiden havaitseminen ja syiden osoittaminen on tosin vaikeaa, ja haittojen mahdollisuutta ei voida useissa tapauksissa sulkea poiskaan. Ne saattavat olla piileviä ja ilmaantua viipeellä. Jätealueiden ekologiset vaikutukset voivat olla yleisempiä kuin terveyshaitat, johtuen muiden eliöiden ihmistä suuremmasta altistumisesta ja herkkyydestä. Lajien ja vaikutusten välistä vaihtelua voidaan ottaa huomioon esimerkiksi jakautumiseen ja turvakertoimiin perustuvilla menetelmillä. Kaikkia ekologisia vaikutuksia ei kuitenkaan voida hyvin arvioida. Yhteisötason pitkäaikaisvaikutukset tunnetaan erityisen huonosti; ne saattavat kuitenkin olla ekosysteemin kannalta ratkaisevia.

Jätealueet ovat, nimensä mukaan, paikallinen ongelma. Kaatopaikat peittävät promillen kymmenyksen maapinta-alastamme, ja niiden suojaetäisyysvaatimusten sisältämä aluekin vain noin prosentoin. Tämä ei suinkaan tarkoita, että ne olisivat mitätön ongelma. Paikalliset riskit voivat olla merkittäviä yksilölle tai rajatulle yhteisölle. Jätealueiden päästöt voivat myös ulottua laajemmalle alueelle, jossa ne yhdistyvät muuhun ympäristön kuormitukseen. Jätealueiden aiheuttamaa ympäristökuormitusta ja riskejä ei voida myöskään yksioikoisesti suhteuttaa muihin riskeihin, sillä riskit ovat harvoin yhteismitallisia.

Väitöskirjassani olen osoittanut, että monia haitallisia aineita leviää jätealueilta ympäristöön, ja että niiden päästöt ovat myrkyllisiä koe-eliöille. Tästä seuraavia monitahoisia riskejä ei voida kuvata yhdellä mittarilla ja luvulla. Riskejä on siksi arvioitava monipuolisilla ja tapauksen mukaan valituilla menetelmillä. Jätealueiden toksikologisten riskien arviointimenetelmät ovat kehittyneet nopeasti, ja alan tutkimus on vilkasta. Yhä enemmän on siirrytty kvantitatiiviseen arviointiin. Kvalitatiivinen arviointi on laajentunut riskien tunnis-

tamisesta indeksimenetelmien käyttöön sekä riskien luonnehtimiseen. Terveysriskejä ja ekotoksikologisia riskejä tarkastellaan eriytyneesti mutta myös kokonaisvaltaisesti. Toksikologisella riskinarvioinnilla on yhteyksiä tekniikassa ja taloustieteissä sovellettuun riskianalyysiin, erityisesti kun riskinarviointi liittyy yhä kiinteämmin taloudellisestikin mittavan kunnostustoiminnan päätöksentekoon ja toteutukseen.

Väitöskirjassani korostan jakaumien asemaa riskien arvioinnissa. Tunnusomaista myrkkypitoisuuksien todennäköisyysjakaumille on niiden painottuminen pieniin, jopa mittausherkkyyden alittaviin arvoihin, ja toisaalta korkeiden huippuarvojen esiintyminen. Jakaumat ovat siksi vinoja, alapäästään katkaistuja ja yläpäästään pitkähäntäisiä. Tämä vaikuttaa merkittävästi tilastolliseen käsittelyyn ja riskien suuruuden arviointiin. Toisaalta myrkkujen jakaumia tarkastellaan ajassa ja tilassa sekä väliaineiden välillä. Riskimuuttujien jakaumilla on myös yleisempää merkitystä. Esimerkiksi jakauman hännän vastine riskinhallinnan päätöksenteossa on eettis-poliittinen kysymys siitä, missä määrin poikkeavat, paikalliset tai ajoittaiset riskit on syytä ottaa huomioon keskimääräisten ohella.

Jätealueiden ympäristöriskien arvioinnissa tarvitaan empiirisiä havaintoja ja teoreettisia lähestymistapoja, muun muassa malleja. Mallit ovat ajattelun apuvälineitä – käsitteellisiä, tilastollisia ja mekanistisia – eivätkä rajoitu esimerkiksi yleisiin matemaattisiin leviämismalleihin. Väitöskirjassani olen käyttänyt erityisesti toksisia vaikutuksia kuvaavia malleja. Malli on aina yksinkertaistus todellisuudesta. Einsteinia mukailen: on yksinkertaistettava mahdollisimman paljon muttei liikaa. Biologisilla mittauksilla ja malleilla on tärkeä sija toksikologisten riskien arvioinnissa. Biologisten menetelmien merkitys korostuu jätealueilla selvitetessä tuntemattomien aineeseosten vaikutuksia. Toisaalta näillä menetelmillä ja eritoten yhden lajin akuutin kuolevuuden mittauksilla, esimerkiksi väitöskirjatyössäni käytetyllä vesikirpputestillä, on rajoituksia ja tulosten tulkintavaikeuksia. Niitä onkin syytä täydentää muilla biologisilla menetelmillä ja erityisesti kemiallisilla tutkimusmenetelmillä, jotka

antavat olennaisesti toisistaan poikkeavaa informaatiota riskinarviointiin.

Epävarmuusanalyysi on erityisen tärkeä ja kehittyvä alue jätealueiden riskien arvioinnissa. Epävarmuutta liittyy kaikkiin riskin muodostumisen vaiheisiin ja niitä koskeviin mittauksiin ja malleihin. Jätealueilla epävarmuutta lisää riskien ja niihin vaikuttavien tekijöiden monitahoisuus sekä tiedon puute. Näitä riskejä ei voidakaan arvioida yhtä suurella varmuudella kuin esimerkiksi tilastoitujen onnettomuuksien riskejä. Tietoteoreettisesti on tässä eräiltä osin kyse induktion ongelmasta stokastisten ilmiöiden vallitessa, mihin mm. G.H. von Wright on kiinnittänyt huomiota. Riskianalyttisen kehikon avulla epävarmuustekijöitä voidaan silti tarkastella systemaattisesti ja arvioida niiden suhteellista merkitystä. Näin voidaan välttää yksinkertaistavia käsityksiä sekä riskien varmuudesta että niiden selittämättömyydestä. Tämä on tärkeää esimerkiksi ympäristössä mitattujen ainepitoisuuksien liittämässä jätealueeseen.

Jätealueiden riskien arvioinnissa on tärkeää välttää sekä vähättelyä että liioittelua. Tieteellisen tutkimuksen tulee pyrkiä löytämään tasapaino yhtäältä uusien riskien tunnistamisen ja niitä koskevien rohkeidenkin hypoteesien sekä toisaalta hypoteesien kriittisen arvioinnin välillä. Tässä vaikuttaa kaksi varovaisuusperiaatetta, toisaalta riskien olettaminen 'varman päälle' suuriksi ja toisaalta tieteen perinteinen varovaisuus oletusten testaamisessa ja havaintojen tulkinnassa sekä johtopäätösten teossa. Riskien jakaumien sekä niihin liittyvän epävarmuuden analyysi ja mallintaminen on avain tällaiseen monipuoliseen tarkasteluun. Sen avulla voidaan estää sekä perusteeton huoli ja toiminta että perusteeton huolettomuus ja päättämättömyys, jota ympäristö- ja terveys-riskianalyttikko Adam Finkel on osuvasti kuvannut ilmaisulla 'paralysis by analysis'.

Jätealueiden toksikologisten riskien jatkotutkimustarpeita ovat erityisesti pohjavesien ja ilman pilaantuminen, altistustasot, pitkän aikavälin yhteisvaikutukset sekä riskien yhteydet riskinhallintaan muun muassa jätealueiden kunnostuksessa ja seurannassa. Näissä

ja muissa vastaavissa yhteyksissä voidaan hyödyntää väitöskirjassani esitettyjä malleja, menetelmiä ja tietoja. Jätealueiden aiheuttamia ympäristöriskejä voidaan ja tulee samalla vähentää. Esimerkiksi kaatopaikka-tekniikalla voidaan olennaisesti vähentää päästöjä. Jätealueiden riskien vähentämiseen on Suomessakin ryhdytty huolimatta voimavarojen niukkuudesta. Myös monissa väitöskirjatyöni tutkimuskohteissa on parannustoimia esitetty, suunniteltu, meneillään tai toteutettu. Riskinhallinta perustuu tietojen ja rationaalisen tarkastelun lisäksi arvoihin. Tutkimus on välttämätön muttei yksinään riittävä keino löytää vastauksia kysymykseen, mikä on liian liikaista. Tutkimus ja siihen liittyvä riskien tunnistaminen ja arviointi joka tapauksessa auttaa keskeisesti harkittaessa toimia sekä kohdennettaessa ja toteutettaessa niitä.

Sinuhe egyptiläinen totesi, että tähdistä ja lampaanmaksasta voi puhua ihmisiän kuluttamatta tyhjiin suurta aihetta. Sama koskee jätealueiden toksikologisia ympäristöriskejä. Ne ovat aikamme ongelma, josta ei voida antaa tyhjentävää arviota edes yksittäisten alueiden osalta puhumattakaan kokonaisuutena. Jätealueet tulevat – valitettavasti – olemaan huolenamme ja likaamaan elinympäristöä pitkään. Kuitenkin niistä tiedetään nyt tutkimusten perusteella aikaisempaa enemmän, ja niiden kokonaisvaltaiseen ja yksityiskohtaiseen arviointiin on myös hahmotettu uusia lähestymistapoja.



Hydrological processes contributing to nitrogen leaching from forested catchments in Nordic conditions

14.5.1996

Helsingin yliopisto, Limnologian laitos
Vastaväittäjä: Prof. Paul Whitehead, Readingin yliopisto, UK

Kiinnostus väitöstyöni aihepiiriin syttyi happamointiprojektin (HAPRO) töissä 1980-luvun lopulla. HAPRO oli ensimmäinen merkittävä poikkitieteellinen tutkimusohjelma Suomessa. Itse olin töissä limnologina hydrologian toimistossa, joka jälkepäin ajatellen oli hyvä koulu monitieteiseen ympäristöntutkimukseen. Väitöskirjan tutkimukset liittyivät yhteistyöhön Braunschweigin Teknillisen korkeakoulun kanssa isotooppien ja hydrologisten prosessien alalla, ja toisaalta työhön vaikutti voimakkaasti yhteistyö Linköpingin yliopiston kanssa, aiheena typen huuhtoutuminen metsämaaperästä ja siihen vaikuttavat tekijät. HAPRO:n jälkeen työ jatkui Suomen Akatemian SILMU-tutkimusohjelmassa 1990-luvun alussa ja puolivälissä. Väittelin vuonna 1996 hydrologisten prosessien ja typpivirtojen välisistä kytköksistä. Väitöstyön artikkelien kirjoittaminen oli sekä intensiivistä että työlästä, mutta erittäin kiinnostavaa. Se antoi hyvän pohjan tutkijanuralle.

Olen osallistunut moniin tutkimusohjelmiin (mm. HAPRO, METVE, SILMU, FIGARE), EU-hankkeisiin (mm. DYNAMO, C_NTER, INCA, Euro-limpacs, REFRESH), sekä Akatemian tai TEKESin rahoittamiin hankkeisiin (mm. NICABO, ASSIMENVI, MAASÄÄ, CatchLake) tutkijana ja viimeaikoina hankkeiden vetäjänä. Kansainväliset tehtävät ovat myös kiinnostaneet, esimerkiksi UNESCO IHP, Kansainvälisen hydrologisen liiton IAHS:n tehtävät, ja Eurooppalainen typpiäarviointi ENA. Tutkimushankkeeni SYKE:n erikoistutkijana ovat liittyneet enimmäkseen valuma-alue tutkimukseen: i) ilmastonmuutoksen, metsätalouden tai laskeuman vesistövaikutuksiin, ii) valuma-alueen hydrologiaan ja huuhtoutumisprosesseihin, iii) ravinnekuormituksen arviointijärjestelmiin, iv) integroituu vedenlaadun mallinnukseen, v) uusiin menetelmiin ympäristöntutkimuksessa ja seurannassa, ja vi) hiilen ja typen biogeokemiallisiin kiertoihin. Viimeaikoina on suuntausta ollut myös valuma-alueilta järvi tutkimukseen.

LECTIO PRAECURSORIA

Mr Custos, Mr Opponent, Ladies and Gentlemen

Nitrogen leaching may considerably affect ground and surface water quality and contribute to the eutrophication of watercourses and marine areas. Eutrophication has been one of the main water problems in Europe for decades. Appearing first mainly in lakes receiving domestic or industrial effluents, it is now affecting many coastal areas and lakes in rural areas without identified point sources of pollution. According to recent estimates concerning Finnish lakes, nitrogen acts as a limiting nutrient in almost 30% of lakes, phosphorus in 45% of lakes, and these nutrients together in about 30% of lakes. In marine areas the role of N is even more important as a limiting nutrient. Since the contribution from forests to the total nitrogen load to the watercourses and the sea is significant, it is important to quantify the load of different fractions of nitrogen and to analyze the magnitude of spatial variation and the reasons behind this variation. Changes in nitrate leaching may be a response of the N cycle to factors such as forest management changes, nitrogen deposition and climatic change.

Catchment hydrological processes

In humid regions chemical flux and cycling are intimately linked to the hydrological cycle. Small catchments provide a natural framework for various types of research, e.g. studies concerning nutrient leaching and cycling, mass balances, effects of land use change and hydrological processes. The requirements are that the ecosystem must be a catchment underlain by tight bedrock and that surface and subsurface water divides coincide.

Catchment investigations have evolved significantly over the past century; they have become more sophisticated than comparisons of paired catchment outputs, incorporating multiple basins and catchment manipulation, as well as within-basin process studies. In addition, there is now considerably more emphasis on the environmental aspects of local and global environmental change. The complex interactions between hydrology, chemistry and ecology have ensured that process studies remain a vital element of catchment studies, with catchment outputs providing an integration of within-site processes. A fundamental premise of many hydrochemical studies is that hydrological processes – the source, pathway and residence time of water – in a catchment exert a strong control on the water chemistry. One of the key areas in any attempt to understand variability in catchment outputs is runoff generation. How is water routed through the catchment and how is runoff generated?

Theories of runoff generation in a forested catchment

The contributing area in some way causes an increase of streamflow. The contributing area has the ability to generate saturation overland flow plus return flow, whereas the remainder of the catchment acts mainly as a reservoir during storms to provide baseflow after the storm and to maintain the wet areas. These contributing areas probably play an important role in the reduction of nutrient export, having a potential to capture nitrate leached from upper parts of the catchment, either by nutrient uptake or denitrification.

Typical for forested areas in Nordic conditions is the dominance of till soils which constitute more than 90% of the surface sediments. In till soils, saturated hydraulic conductivity is often high at the soil surface and decreases rapidly with depth. Further, a large proportion of the overall runoff is generated by water recharge from rather shallow soils.

Empirical isotope studies vs. physically based modeling

Two main paths have been followed in the assessment of flow generation processes. The first is based on analyses of the isotopic composition of streamwater during runoff events, which reflects the integrated result of the various processes contributing to streamflow generation. In these tracer studies a separation to two runoff components, event and pre-event water, is usually made. A 'new' event water fraction of runoff provides atmospheric pollutants with a rapid pathway to channels and watercourses, with minor transformations in surface soils. A clear definition of the streamflow generation processes behind these terms is often lacking, i.e. the relative age of the runoff can be calculated, but less is known about the flow paths.

The second path is based on applications of distributed hydrological models, which calculate runoff generated by different processes, and which can be separated into different fractions (e.g. direct flow vs. delayed flow). Several problems have been associated with distributed 'physically based' catchment models. There is a lack of measurement techniques to obtain grid scale properties of the catchment soil. These models are often only calibrated against runoff, i.e. the spatial distribution and the division of flow with different transit times are not tested against field data.

It is clear from the streamflow isotopic signatures that substantial proportions of storm hydrographs consist of pre-event water, at least within the framework of antecedent catchment moisture conditions and prevailing low rain intensities experienced in humid temperate latitudes. The fundamental challenge is still how to explain the discharge of such large volumes of pre-event water. Another problem is how to interpret the hydrograph separation results spatially? Which areas

inside the catchment are the most important sources of 'new', recent meltwater or precipitation?

Factors contributing to nitrogen leaching

Atmospheric nitrogen load

The atmospheric nitrogen load to terrestrial ecosystems in Europe and North America has increased dramatically during recent decades. The main sources are emission of NO_x from combustion processes and emission of NH_3 from agricultural activities, which together now account for 90% of the oxidized and reduced nitrogen in the atmosphere over Europe. The deposition of nitrate N increased in most of the stations monitored in Finland during 1970s-80s, and deposition of ammonium N increased in two-thirds of the stations.

Recent measurements of elevated nitrate leaching from certain high-elevation forests suggest that these forests have reached saturation; cumulative nitrogen deposition inputs have exceeded the capacity of these systems to accumulate nitrogen. Geographical differences in nitrogen export from forested catchments may reflect atmospheric deposition patterns, but they also reflect an effect of geographical variability of physiographic factors, forestry activities and natural dynamics.

Forest management

Forest management practices may upset the nitrogen cycle by decreasing uptake by plants or enhancing mineralization, and may cause accumulation of nitrogen in the soil and increased leaching. The outflow of water and nutrients increases for a number of years after forestry drainage. Drainage is a prerequisite for the utilization of peatlands and wet mineral soils in forestry. Forest draining is one of the largest scale human impacts to have taken place in Finland this century.

Transpiration, interception and hence evapotranspiration are generally reduced by forest harvesting, which produces more soil water available for the remaining plants and/or increased water movement to streams or groundwater. Increased nitrification in the forest floor after cutting may significantly increase amounts of nitrate N available for leaching.

Nutrient cycling and retention of N

There are many gaseous, aqueous and particulate forms of nitrogen and large number of complex pathways involved. Forests constitute large and highly heterogeneous pools of nitrogen. Retention of nitrogen is usually high in forest ecosystems, with the forest floor often acting as a major site. Usually in acid organic soils, nitrate inputs are efficiently retained. Stand age can be a critical factor regulating leaching losses.

Hydrological processes contributing to nitrogen leaching

Part of the variance in streamwater concentration is usually a function of stream flow. This comes about as a result of two different kinds of physical phenomena. One is dilution: a solute may be delivered to the stream at a reasonably constant rate, whereas the flow changes over time. The result of this situation is a decrease in concentration with increasing flow. The other process is wash-off: a solute, sediment, or a constituent attached to sediment can be delivered to the stream primarily from (surface-saturation) overland flow, or from streambank erosion. In these cases, concentrations as well as fluxes tend to increase with increasing flow.

Rapid changes in runoff acidity and nitrate concentrations may occur during snowmelt. In Finland and Sweden, winter precipitation is often in the form of snow, resulting in low winter flows and a pronounced spring flow during snowmelt periods. In Finland, a considerable proportion of the annual precipitation falls as snow, 15–25% of the annual precipitation in the south and about one third in the north. The snowpack is able to store, and after melting, suddenly release large amounts of different substances.

Objectives of this study

The major objective of this thesis was to improve the understanding of the factors affecting nitrogen leaching from forested soils in Nordic conditions, particularly in Finland and Sweden. This was achieved by analysing the impact of catchment hydrology, deposition and forestry activities. Detailed studies of temporal and spatial variation of streamflow generation and transit times of water were conducted, together with an attempt to identify areas contributing to N leaching inside the catchment.

Simulation of a test embankment on a clay foundation according to critical state models

13.12.1996

Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osasto
Vastaväittäjä: Prof. Olli Ravaska

Väitöksen aihe kiinnosti minua koko urani ajan. Vuonna 1966 laadin Lontoossa Imperial Collegessa MSc-tutkinnon lopputyön otsikolla "Earth Dams on Soft Foundations". Kun Taasianjoelle alettiin suunnitella maapatoa pehmeikölle, katsoin että suunnittelu vaatii koepenkereen rakentamisen suunnitellulle alueelle. Koepenger rakennettiin vuonna 1981. Käsittelin suunnitellun padon käyttäytymistä liseniaattityössäni vuonna 1985. Väitöskirjaa valmistellessa 1990-luvulla koepenkereestä oli jo melko pitkäaikainen seurantatieto, jota saatoinkin käyttää uusimpien teorioiden testaamisessa. Väitöskirjan valmistelu toteutui muutaman vuoden kuluessa ulkomaisten (Britannia ja Ruotsi) tarkastajien vaatiessa väitöskirjaan joitakin lisäyksiä.

Väitöstilaisuus sujui hyvin. Pienet kirjoitusvirheet saivat hieman liikaa huomiota. Siksi pääjohtaja Simo Jaatinen (vesi- ja ympäristöhallitus) totesi karonkassa; "Minunkin mielestäni piti olla pieni k eikä iso K" (vastaväittäjä oli kiinnittänyt huomiota vedenläpäisevyysarvoon symboliin, jonka olisi hänen mielestään pitänyt olla iso K).

Varsinaista maapatoa ei rakennettu, joten väitöskirja edisti lähinnä käytetyn teorian kehittämistä ja tuotti vertailuaineiston myöhempiä pehmeikkörakennuskohteita varten.

Väitöskirjan valmistumisen jälkeen työtehtävinäni jatkuivat ympäristörakenteet ja patoturvallisuus. Ympäristörakenteiden rakennusohjeita kehitimme eri osapuolista koostuvissa työryhmissä. Patoturvallisuudessa vedin EU-projektia (RESCDAM), jossa kehitimme patomurtuman aiheuttaman tulva-aallon laskentaa yhdessä ranskalaisten ja italialaisten asiantuntijoiden kanssa. Projektin puitteissa järjestimme kansainvälisen seminaarin Seinäjoella.

ABSTRACT

This report presents the second part of a study aimed at solving the problems involved in constructing an earth dam on a thick clay deposit in conjunction with regulation of the River Taasianjoki. The first part of the study concerned cracking of the dam and discussed how this could be prevented. The properties of the foundation were investigated at Helsinki University of Technology. In the second part, the investigations are supplemented mainly with drained triaxial tests, and the models of the critical state are applied to the whole body of research data. All the tests and calculations of the second part were made by the author at the National Board of Waters and the Environment (later as the Finnish Environment Institute).

The behaviour of the soil layers was studied with the aid of in situ and laboratory tests. A test embankment was constructed at the site in 1980, and its settlement was monitored for fifteen years. The dry-crust clay used for the test embankment was extracted from an area adjacent to the test embankment. The laboratory studies comprised investigations of the dam material, in situ dry-crust clay and the underlying clay layer. The test embankment material was studied in the laboratory with samples taken from the test embankment. According to the laboratory tests, the materials largely obey the models based on the theory of the

critical state. The soft clay layers show the greatest deviation from the models, as the samples underwent continuous volumetric strain when submitted to triaxial compression. The values for the dry-crust clay and the embankment material differed from those predicted by the model in failure stress, probably due to the differences between intact and restructured clays and to the high scatter. The dry-crust clay layer had dried and cracked in situ and was thus difficult to study. The samples taken from the test embankment behaved somewhat differently from those taken from the in situ dry-crust layer. The information produced by the study about the behaviour of different soil layers was sufficiently reliable for it to be applied in developing reference data for the critical state parameters of clay deposits in Finland. A few studies with critical state models have been conducted on soft layers and dry-crust clay in Finland, but the use of test embankments is still imperative in the planning of large dams on thick clay deposits. The critical state theory has shown its usefulness in determining the stress and strain of the dam foundation. However, other techniques must still be used to study the behaviour of the dam structure, e.g. those applied in the first part of this research project, in which the relationship of the stresses and strains of the dam material determined in the laboratory can be applied directly to simulation calculation.



Hydraulic approximation of infiltration characteristics of surface structures on closed landfills

14.5.1997

Tampereen teknillinen korkeakoulu, Ympäristötekniikan laitos

Vastaväittäjä: TkT Kauko Kujala, Oulun yliopisto ja TkT Seppo Saarelainen, VTT

Väitöskirja valmistui vuonna 1997, jolloin jätehuoltoon ja kaatopaikkojen problematiikkaan tarvittiin tutkittua tietoa Suomen olosuhteissa. Samanaikaisesti myös ympäristögeotekniikkaa kehitettiin niin Suomessa kuin kansainvälisesti. Väitöskirjan aihetta valitettaessa monien vaiheiden jälkeen katsottiin, että kaatopaikkojen sulkemiseen tarvitaan tutkittua tietoa, koska EU-määräyksiensä mukaan Suomessa tulotaisiin sulkemaan yli tuhat kaatopaikkaa.

Työssä kehitettiin muun muassa mallinnuksen avulla kaatopaikkojen pintarakenteiden mallirakenteet erikokoisille kaatopaikolle ja käsiteltiin laajemmin myös kaatopaikkojen lopettamisen problematiikkaa. Voin todeta, että työ oli erittäin mielenkiintoinen, koska sen tuloksiin kohdistui suuri mielenkiintoa jo työn aikana niiden osapuolten taholta, jotka tarvitsivat aiheesta tietoa päivittäisessä työssään.

Työ on lisäksi mahdollistanut laajan kansainvälisen tutkimusyhteistyön. Työtä on käytetty muun muassa USA:n yliopistoissa ympäristögeotekniikan opetuksessa. Työstä on pidetty lukuisia esitelmää kansainvälisissä konferensseissa joka maaosassa. Työn avulla syntyneet laajat kansainväliset kontaktit ovat mahdollistaneet Suomen ja SYKEN osallistumisen EU:n rahoittamiin laajoihin eurooppalaisiin ympäristöhankaisiin, mm. TAILAFE/EU-projektiin, jossa kehitettiin eurooppalaisena yhteistyönä Suomessa tällä hetkellä ajankohtaisten kaivospatojen turvallisuutta. Samalla työ oli myös Suomessa ensimmäinen ympäristögeotekniikan alan väitöskirja, jossa sovellettiin perinteistä geotekniikkaa ja ympäristötekniikkaa.

Merkipäivän johdosta haluan kiittää Pj Lea Kauppia, joka on omalta osaltaan ollut vaikuttamassa siihen, että työ on tehty, ja jolla on vaikututtettu ympäristön parantamiseen Suomessa, Euroopassa ja kansainvälisellä tasolla, puhumattakaan laajoista ja antoisista kansainvälisistä kontakteista, jotka työn tehnyt mahdolliseksi. Lisäksi työ on tehnyt mahdolliseksi dosentuurin Oulun yliopistossa, josta valmistuin vuonna 1974.

ABSTRACT

This study deals with hydraulic approximation of infiltration characteristics of surface structures on closed landfills. There are several water balance models available for landfill water balance in different countries but they are not directly usable in Finnish conditions or they are too complicated for practical purposes. With the model developed and tested in this study the different factors in surface structure of landfills can be approximated in Finnish conditions. However, in future it is worthwhile to monitor the results obtained by the developed Landfill Cover Approximation Model (LCAM) and to continue the testing in different situations because in this work it could be tested only in a limited scale. The testing and the simulation proved that the model does not need the pF-curve of waste as an input parameter because the hydraulic conductivity of landfill waste is, according to earlier studies, so great that the hydraulic conductivity of the hydraulic barrier is the critical factor in simulations. The main components which have the greatest effect on the quantity of infiltration into the wastefill are the hydraulic conductivity of the hydraulic barrier, vegetation, snow removal and the drainage layer. In approximations, design diagrams presented in this study can be used and in the exact analysis LCAM can be used. For practical purposes different aspects to be considered in the closing of landfills are also presented. On the grounds of the study, this makes the controlled reduction of leachate waters of closed landfills possible. Designers of waste management systems can analyse all the aspects of landfill closure using the modelling results and principles of greenbuilding presented in this study. Closure of landfills does not need to remain at the minimum level of environmental protection. By choosing an enduse suitable for the site and size of landfills, they can be taken into active use and as part of communal landuse.



Kirsti Lahti

Cyanobacterial hepatotoxins and drinking water supplies: Aspects of monitoring and potential health risks

28.5.1997

Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos
Vastaväittäjä: Dosentti Jussi Meriluoto, Åbo Akademi

Oli vuosi 1985 ja sinilevien myrkyllisyystutkimus alkanut Helsingin ja Turun yliopistoissa sekä Åbo Akademiassa. Samaan aikaan aloitin virkaurani lääkintöhallituksen tarkastajana vastuullani juoma- ja uimavesien mikrobiologiset kysymykset ja valvonnan ohjeistus. Elokuussa litissä lehmiä kuoli juotuaan rantaan ajautunutta sinilevää. Siitä se alkoi – toistuva vastailu toimittajien ja kansalaisten kysymyksiin sinilevien myrkyllisyydestä ja juoma- tai uimavesien turvallisuudesta. Tietoa oli kuitenkin puutteellisesti ja vuoden 1992 alusta vaihdoin roolia ja siirryin mikrobiologiksi vesi- ja ympäristöhallituksen vesientutkimustoimistoon. Työnkuvaani kuului myös tutkimus ja aloitin myös jatko-opinnot Helsingin yliopistossa. Tutkimuskohteeni olivat sinilevät, mikrobiologille syanobakteerit, ja niiden tuottamat toksiinit. Halusin selvittää, miten vesilaitosten vedenkäsittely poistaa leväsoluja; kulkeutuvatko myrkyt käsittelyn läpi; miten kauan toksiinit säilyvät vedessä?

Suomen ympäristökeskuksen Hakuninmaan tiloissa oli upeat mahdollisuudet tehdä kokeellista tutkimusta. Helsingin yliopiston tutkimusryhmä auttoi toksiinimäärityksissä. Kesinä 1993 ja 1994 haimme lautalla näytteitä Tuusulanjärven altaista toksiinien säilyvyyden selvittämiseksi kenttäoloissa. Onnistuimme eristämään maksatoksiinien hajottajabakteereita ja otimme SYKEssä käyttöön vasta-aineisiin ja proteiinifosfataasin estymiseen perustuvat herkät mikrokystiinien osoitusmenetelmät ja

Artemia-testin myrkyllisyyden testaukseen. Väitöskirjan viimeinen osajulkaisu syntyi tekopohjaveden valmistusta jäljittelevien maa- ja sedimenttipatsaiden kyvystä poistaa syanobakteereja ja niiden toksiineja.

Väitöskirjaa kirjoitin kotona iltaisin. Jos oli tuskaa kirjoittaa yhteenvettoa, ongelmia oli myös taiton kanssa: µg:t muuttuivat taitto-ohjelmassa mg:ksi ja siinä riitti tarkistamista. Paino oli itsenäisesti kirjoittanut BER:n Monografian kanteen otsikon väärin, joten kiirettä piti, että uusi painos ehti väitöspäivään. Kevätauringon paistaessa keskiviikkona 28.5.1997 astelin sitten Viikin uuden biokeskuksen auditorioon 2041 kustos Seppo Niemelän ja vastaväittäjä Jussi Meriluodon kanssa. Jännitin aika lailla. En muista tilaisuudesta juuri muuta kuin vastaväittäjän hankalan kysymyksen isomeerin määritelmästä ja lukuisten työtovereiden, kollegojen, sukulaisten ja ystävien joukon, jotka olivat vilpittömästi hengessä mukana koko kahden tunnin ajan! Karonkka illalla Tarvaspään kahvilassa oli sitten rentouttava ja iloinen tapahtuma, jonne Leakin ehti mukaan. Siellä olin varma, että kaikki tuska ja puurtaminen oli kannattanut, ja ihanaa, että se oli vihdoinkin ohi!

Tutkijana jatkoin SYKEssä vielä vuoteen 2001, jonka jälkeen siirryin käytännönläheisimpiin rehevöitymisen vähentämistoimiin Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistyksen toiminnanjohtajaksi.

LECTIO PRAECURSORIA

Arvoisa kustos, arvoisa vastaväittäjä, hyvät kuulijat

Tutkimukseni kohdemikrobeja voi luonnehtia adjektiiveilla – kauniita, ikivanhoja, mutta osa niin myrkyllisiä. Mikroskoopissa nämä syanobakteerit, joita myös sinileviksi kutsutaan, näyttävät hyvin kauniilta. Osa syanobakteerilajeista esiintyy yksittäisinä soluina, toiset muodostavat suoria tai kierteisiä solurihmoja, osa lajeista muodostaa solurykelmiä, joita ympäröi hyytelö tai limakerros. Eräiden arvioiden mukaan syanobakteereja olisi noin 1 000 eri lajia. Väriltään ne ovat useimmiten sinivihreitä, mutta jotkut ovat punaisia tai ruskeita. Syanobakteerit luokiteltiin pitkään leviin kuuluviksi, koska niissä on klorofylli a:ta ja ne pystyvät yhteyttäessään tuottamaan happea levien ja kasvisolujen tavoin. Nykyistä bakteeriluokittelua puoltavat kuitenkin geneettiset ominaisuudet, tuman ja kloroplastien puuttuminen sekä gram-negatiivisille bakteereille ominainen solun ulkomembraani.

Maapallon on arvioitu syntyneen noin 4,6 miljardia vuotta sitten ja ensimmäisten, sauvamaisia bakteerisolujen muistettavien, elävien organismien noin miljardia vuotta myöhemmin. Rihmamaisia syanobakteereja on löydetty yli 2 miljardia vuotta vanhoista fossiileista. Syanobakteerien yleistymisen seurauksena alun perin hapeton maapallo sai hapellisen ilmakehänsä, ja tätä seurasi huomattava eliöstön monipuolistuminen. Kasvisolujen viherhiukkasten eli kloroplastien on geneettisten tutkimusten perusteella todettu muistuttavan syanobakteereita. Evoluution kuluessa syanobakteerien endosymbioosi tumallisten solujen esimuotojen kanssa on johtanut nykyisten kaltaisten levä- ja kasvisolujen syntymiseen.

Syanobakteerien kasvuvaatimukset ovat melko yksinkertaiset ja vuosituhansien kuluessa ne ovat sopeutuneet elämään hyvin erilaisissa ympäristöissä: kuumissa lähteissä, aavikoilla, jäätiköillä, maaperässä, merissä ja makeissa vesissä sekä symbioosissa muiden eliöiden kanssa, kuten sienten kanssa esim. jäkälissä. Tutkimukseni käsittelee pääasiassa makeissa vesissä tavattavia, vedessä vapaasti esiintyviä syanobakteereita. Suotuisissa olosuhteissa osa näistä planktisista lajeista muodostaa runsaita massaesiintymiä vesissä. Tyynellä säällä veden pinnalla voi kellua paksu vihreä leväpuuro, jota kutsutaan myös leväkukinnaksi. Tällöin syanobakteerien kauneus voi tuntua hieman kyseenalaiselta, varsinkin kun massaesiintymän yhteydessä on usein havaittavissa voimakasta mm. maamaista hajua. Kun osa näistä massaesiintymiä muodostavista syanobakteerikannoista vielä tuottaa hyvin voimakkaita eläimille, ihmisille ja jopa kasveille myrkyllisiä yhdisteitä, tahtovat näiden eliöiden monet positiiviset puolet unohtua.

Syanobakteerien tuottamia myrkyjä on montaa eri tyyppiä, joista yleisemmin tutkittuja ovat hermostoon ja maksaan vaikuttavat yhdisteet. Lehmien, hevosten, lampaiden, kissojen, koirien ja ankkujen on jo sata vuotta sitten raportoitu kuolleen juotuaan syanobakteerimassaa. Hermomyrkyjen kyseessä ollessa eläimet kouristelevat ja kuolema seuraa usein hyvin nopeasti vain minuuteista muutamiin tunteihin ja aiheutuu hengityshalvauksesta. Maksamyrkyjen tapauksessa havaitaan kalpeutta, heikkoutta, ruokahaluttomuutta ja ripulia. Kuolema aiheutuu veren pakkautumisesta maksaan ja siitä seuraavasta verenvuotoshokista.

Syanobakteerien tuottamia maksamyrkyjä tunnetaan tällä hetkellä kolmea eri tyyppiä: lähinnä makean veden lajeissa tavattavia mikrokystiinejä, murtovesissä esiintyviä nodulariineja ja Australian ja Japanin trooppisista vesistä eristettyä cylindrospermopsiinia. Vedenhankinnan kannalta Suomessa ongelmallisimpia ovat mikrokystiinit, joita on tunnistettu tähän mennessä rakenteeltaan noin 50 eri muotoa. Yhteistä niille kaikille on seitsemästä aminohaposta muodostunut rengasrakenne, jossa on ainutlaatuinen ADDA-aminohappo ja lisäksi D-glutamiinihappo sekä muita D- ja

L-aminohappoja hieman eri muodoissaan. Murtovedessä meilläkin tavattavat nodulariinitoksiinit poikkeavat mikrokystiineistä siinä, että niiden rengasrakenne on muodostunut vain viidestä aminohaposta, joista myös yksi on ADDA.

Mikrokystiinien haitallinen vaikutus perustuu niiden kykyyn estää eukariotisten solujen seriini/treoniini-proteiinifosfataasi 1 ja 2A -entsyymien toiminta. Tämän entsyymi-inhibition seurauksena tietyt maksasolun tukirangan valkuaisaineet fosforyloituvat liikaa ja seurauksena on solun tukirakenteen pettäminen. Mikrokystiinit eivät pääse onneksi tunkeutumaan kaikkien solujen sisään, vaan ne vaativat erityisen kuljetusmekanismin. Sappihappojen kuljetusreittiä mikrokystiinit pääsevät lähinnä ohutsuolen seinämän läpi ja edelleen maksasoluihin eli hepatosyytteihin, jossa niiden haittavaikutukset ovat todettavissa. Estämällä proteiinifosfataasien toimintaa mikrokystiinit voivat myös kiihdyttää kasvainten muodostumista, koska solut jäävät solujakautumista muistuttavaan tilaan proteiinikinaasien jatkaessa toimintaansa. Eläinkokeissa hiirillä ja rotilla on todettu lisääntyntä kasvainten muodostumista mikrokystiinialtistuksen seurauksena.

Maailmalla on raportoitu joitakin epidemioita, joissa ihmisten sairastuminen on yhdistetty syanobakteerien tuottamien maksamyrkyjen esiintymiseen. Vaikka nämä tutkimukset eivät täytäkään kaikkia tieteellisiä kriteerejä, on vahvoja viitteitä, että kun voimakas syanobakteeriesiintymä raakavesilähteessä on tuhottu kuparisulfaattilla, soluista on vapautunut runsaasti maksamyrkyjä veteen ja nämä ovat kulkeutuneet vedenkäsittelyn läpi juomaveteen aiheuttaen mm. pahoinvointia, vatsakipua ja voimakasta ripulia. Lisäksi on esitetty viitteitä, että Kiinan kaakkoisosissa tietyillä alueilla todettu kohonnut maksasyöpäkuolleisuus olisi yhteydessä juomavesilähteinä käytettyihin oja-, kuoppa- ja jokivesiin, kun taas kaivoveden käyttäjillä maksasyöpään sairastuvuus on vähäistä. Viime vuoden alkupuolella Brasiliassa erään sairaalan dialyysihoidossa olleista potilaista lähes puolet (44 ihmistä) menehtyi maksavaurioihin, jotka aiheutuivat dialyysiveteen kulkeutuneista mikrokystiineistä. Vaikka dialyysi-

hoidossa käytetyt vesimäärät ovat moninkertaiset verrattuna päivittäiseen juomaveden käyttömääriin ja altistustapa erilainen, tulee tämä ikävä tapahtuma lähivuosina antamaan lisätietoa ihmiselle akuutisti myrkyllisistä mikrokystiinimääristä ja mahdollisista pitkäaikaisvaikutuksista, kuten lisääntyneestä syöpäsairastuvuudesta.

Terveydellisen riskin arviointi on vaikeaa ja siinä tulee ottaa huomioon useita eri tekijöitä, kuten aineen vaikutustapa, imeytyminen, akuutit ja pitkäaikaisvaikutukset eri eläinkokeissa, mahdollisten epidemiologisten tutkimusten tulokset, aineen saanto, altistuksen muodot ja kesto, eri ihmisten herkkyserot jne. Näiden tekijöiden selvittäminen vaatii usean eri alan ammattilaisten tutkimustyötä. Olen tässä väitöskirjatyössäni pyrkinyt selvittämään mikrokystiinien juomaveden kautta mahdollisesti aiheuttamaa riskiä siltä osin, miten todennäköistä maksatoksiinien esiintyminen on erityyppisten vesilaitosten käsittelemässä vedessä sekä toksiinien säilyvyyttä vesissä ja niiden toteamismenetelmiä.

Suomessa vesilaitosten jakamasta vedestä 44 % on käsiteltyä pintavettä ja lisäksi 9 % on pintavedestä imeytettyä tekopohjavettä. Osassa vesilaitostemme raakavesilähteitä cyanobakteerien massaesiintymät ovat jokavuotinen ilmiö ja myrkyllisiä esiintymiä on todettu. Monella laitoksella tämä, yhdessä cyanobakteerien aiheuttamien haju- ja makuongelmien kanssa, on lisännyt paineita tehostaa vedenkäsittelyä ja myös siirtyä yhä enenevässä määrin pohjaveden käyttöön. Tämän väitöskirjatyön vesilaitoksia koskevat tutkimukset tehtiin vuonna 1991 ja toksiinien säilyvyys ja biologista hajotusta koskevat käytännön kokeet vuosina 1993–1995. Varsinkin tutkittujen vesilaitosten vedenkäsittelyn osalta viimeisten viiden vuoden aikana on jo tapahtunut paljon myönteistä kehitystä.

Synnyinkaupungissani Raumalla Äyhönjärven loppukesän cyanobakteeriesiintymät toivat myös 1970-luvulla oman pikantin lisämausteensa vesijohtoveden hajuun ja makuun ja laitoksella suoritettiinkin 1980-luvun puolivälissä huomattavia vedenkäsittelyn muutoksia sekä raakavesialtaan fosforipitoisuuden laskemiseen

tähtääviä toimia. Vaikka veden laatu paranikin, esillä oli myös vaihtoehto Säskylän Pyhäjärven veden johtamisesta Raumalle. Tätä vaihtoehtoa ei kaupunkilaisten keskuudessa enää pidetty yhtään niin pöyristyttävänä kuin Rauman vesilaitoksen syntyajoilla 1930-luvulla Rauman kaupunginjohtajana toimineen Oskar Neron ehdotusta, josta kertoo seuraava rakennusmestari Taavi Saurion kirjoittama teksti: *"Usemmas talos, ko ol heone, ol semne vesitynnyr pyärättem bääll. Se ol tammest teht ja siin ol kran, mist sai otetuks kaffe- tai ruakvede. Sitt kom baloruuppar rupes soima, pantti heone se dynri ette ja menttin gilppa palopaikall, kon golm ensimmäist sai palkino. Stää vesitynnyri ei päästett ikän guivaks, ko siihe haetti ai uutt vett ko vanha rupes knaftama. ... Sitt ruvetti viime Raumallekki stää laillist vesirööri hommama. Stää fundeeratti monells sortill. ... Kaupunginjohtajan Raumall ol sillo Oskar Nero. Se pist muuungi, vaikkon oli valla nuarkaine – funderaama, jos vedetäis putk pisi Rauma rauttiä viarusta Pyhäjärvest saakk. Puust se röör olis teht ja pistett muutam bumppa-usasem välihi. ... Sillose raumlaise viissap panivak koko Nero valla hullutten girjoihin go se tomssi paohas. ... Viime gummingim bäätettti, ett ruveta ottama stää vett Äyhönjärvest, ko se kävois nii nätist ja ko stää vaa vähä disleratais ni raari tliis."*

Risk, uncertainty, indeterminacy and ignorance in fisheries management: An analysis of management advice



6.6.1997

Helsingfors universitet, Institutionen för ekologi och systematik
Opponent: Prof. Niels Daan, Netherlands Institute for Fisheries Research

Jag hade arbetat länge med fiskerifrågor, men 1991 flyttade jag till Vatten- och miljöstyrelsen för att utveckla miljökonsekvensbedömning (MKB). Jag fortsatte med fiskerifrågor på kvällar och veckoslut och tack vare arbetet med MKB mognade också tanken på en avhandling kring problemet om vetande. Risk och osäkerhet i förvaltningen av fiskeresurser var exempel på en fundamental osäkerhet som drabbar all planering och förvaltning. Denna insikt utvecklades i takt med att jag i SYKEs begynnelse fick ansvar för att leda enheten för styrmedel. Ett stipendium på några månader gjorde det möjligt att återvända till Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet för att slutföra arbetet.

Jag disputerade på institutionen för ekologi och systematik, vilket var litet udda, eftersom avhandlingen handlade om gränserna för vårt vetande om fiske och fiskbestånd, inte om fiskar som sådana. Men problemställningen var inte okänd för fiskeribiologer. Begrepp som adaptiv förvaltning hade sett dagens ljus och tillämpades uttryckligen inom fiskerifrågor, för att kunskapen om bestånden är så begränsad. Min opponent Niels Daan kände väl till problemet, och därför blev disputationen en genuin diskussion om kunskapens natur och förvaltningens möjligheter att uppnå hållbart utnyttjande.

De renodlade fiskerifrågornas andel har minskat i mitt arbete sedan avhandlingen, men de finns där som en bakgrund i tillämpningar som har sträckt sig över alla olika naturresurser, från jordbruk till skogsbruk, över till miljöskydd och nu senast till klimatfrågor. Lektion har försvunnit i historiens töcken, men mitt tal på karonkan har bevarats. Enligt talet hade SYKE en liten andel i avhandlingens tillblivelse, vilket är sant i den mening att de 7 artiklarna inte uppstod som en del av mitt arbete i SYKE. Men samtidigt måste jag konstatera att den forskningsmiljö som uppstod i och med att SYKE skapades

bidrog till avhandlingens röda tråd och hjälpte mig att hitta de teoretiska begrepp och idéer som kunde binda samman artikelsamlingen. Avhandlingen var nämligen ingen på förhand noga planerad konstruktion. Det var ingen slump att jag avslutade talet till opponent, kolleger, familj och vänner med ett citat av Immanuel Kant: "Aus so krummen Holze, als woraus der Mensch gemacht ist, kan nichts ganz Gerades gezimmer werden". Det krokiga virke som kommer till synes i avhandlingen fortsatte att påverka min karriär och mitt liv på alla plan, och kommer säkert att göra det i fortsättningen också.

SAMMANDRAG

Den centrala frågeställningen i detta arbete gäller fiskerivetenskapens roll vid förvaltning av fiskeresurser och styrning av fisket. En utgångspunkt är att både internationella och nationella målsättningar låter förstå att förvaltningen av fiskeresurser strävar mot en hållbar utveckling. I verkligheten är många fiskerier långt från detta ideal. En del forskare hävdar att hållbar utveckling omöjligt kan uppnås eftersom okunskapen om fiskeresurserna är stor samtidigt som ekonomiska intressen driver fram en hård exploatering av resurser. Bristen på kunskap betyder att förvaltningen inte hinner reglera utnyttjandet innan det är för sent. Vissa pessimister hävdar t.o.m. att de biologiska modeller som förvaltningen stöder sig på antingen saknar grund eller bygger på direkt felaktiga antaganden. Mer optimistiska forskare anser att den metodologiska utveckling som skett inom fiskerive-

tenskapen kan producera bättre råd för förvaltningen. Framför allt har forskningen utvecklat metodik som ger förvaltning och intressegrupper en möjlighet att bättre än hittills analysera risker vid förvaltningsbeslut t.ex. under förhandlingar om fiskekvoter.

I detta arbete har jag närmat mig argumenten kring förvaltningsproblemets natur genom att analysera var bristen på kunskap om fiskeresurser och fiskerier uppstår. Bristen på kunskap kan gälla förändringar i fiskbestånden, t.ex. fiskynglens överlevnad, eller konsekvenser av förvaltningsbeslut för själva fisket. Nya begränsningar i fisket kan exempelvis ha överraskande effekter. För att kunna diskutera frågor kring kunskapsbristen i detalj har jag använt en kategorisering av bristen på kunskap. I detta arbete beskriver begreppet *risk* situationer då de möjliga konsekvenserna eller händelserna är kända samtidigt som deras sannolikhet kan bestämmas. Då *osäkerhet* råder är de möjliga händelserna eller konsekvenserna kända, men deras sannolikhet okänd. *Okunskap* betecknar situationer då man inte ens känner till de möjliga händelserna eller konsekvenserna. *Obestämdhet* förekommer då flera alternativa händelseförlopp är möjliga medan avgörandet mellan dem bestäms av framtida händelser.

All fiskeriförvaltning strävar till att styra utnyttjandet av ekologiska processer. Kunskapen om de ekologiska processerna i fiskbestånd och fiskesamhällen är inte perfekt och därmed står förvaltningen inför risk, osäkerhet, okunskap eller obestämdhet då beslut skall fattas. Denna studie visar emellertid att perspektivet på fiskerier och fiskeriförvaltning blir alltför snävt om man enbart beaktar ekologiska frågeställningar.

Förvaltningen av fiskresurser är en ekonomisk och socio-politisk verksamhet som kan betraktas som en form av samhällsplanering. Studien lyfter fram två uppfattningar om planering: den ena betraktar planeringen som en serie gradvisa ingrepp i utvecklingen medan den andra utgår från klara helhetslösningar med stark betoning på övergripande mål. Den stegvisa planeringen betonar kommunikation mellan alla inblandade parter, möjligheter till revision av målsättningen och en diskussion om både mål och medel. En diskussion om de medel som skall användas för att uppnå fastslagna mål är irrelevant då planeringen utgår från helhetslösningar. Skillnaden i synsätt kan återföras på tolkningen av planeringens rationalitet. Helhetsplanering bygger på en instrumentell mål-inriktad rationalitet som utgår från att beräkningar kan ge de riktiga svaren på alla relevanta frågor. Den stegvisa planeringen betonar kommunikationens roll: planering handlar om att välja, men valet är en överenskommelse, inte resultatet av en uträkning.

I min studie har jag lyft fram kopplingen mellan planeringssynen och bristen på ekologisk kunskap. Denna synvinkel lyfter fram nya typer av brist på kunskap, men också nya källor till information för fiskeriförvaltningen. Bristen på kunskap kan gälla t.ex. socio-ekonomiska förhållanden eller orsakssammanhang, men också frågor om själva förvaltningens målsättning. Det allmänna målet att uppnå en hållbar utveckling är innehållslöst utan en detaljerad analys av vad begreppet innebär för fiskresurserna, för dem som utnyttjar bestånden och för andra intresserade. Ifall fiskeriförvaltningen förnekar detta och ifall fiskeriforskningen låter bli att befatta sig med dessa aspekter av förvaltningsproblematiken kan beslutsfattare drivas in i situationer av okunskap, vid vilka beslut fattas på otillräckliga grunder. Det faktum att förvaltningen av fiskeresurser ofta råkar in i låsta situationer tyder på att fiskeriförvaltningen sett sin uppgift alltför snävt. Det leder till att samma argument upprepas från år till år, trots att alla parter finner situationen ohållbar. Följden är att många viktiga fiskeresurser överexploateras konstant. I värsta fall sker en förbättring först då resursen kollapsar, t.ex. därför att fiskbeståndets förökning misslyckats under en följd av år. I en sådan

situationen blir alla parter tvungna att tänka om och då kan helt nya förvaltningssystem införas.

Detta arbete ger en ny syn på fiskerivetenskapens roll och möjlighet att bidra till en hållbar utveckling av fiskerier genom att samtidigt analysera fiskeriförvaltning som planering och tillgången på kunskap om ekologiska processer och andra relevanta faktorer. Slutsatsen är att den frustration forskningen ofta känt inför överexploateringen av fiskeresurser delvis beror på föreställningen att fiskeriförvaltning alltid bör förverkligas som helhetsplanering på basen av (begränsad) biologisk kunskap. Det är lätt att visa att okunskapen om många fiskbestånd och deras exploatering är så kompakt att inte ens de mest sofistikerade riskanalyser förmår ge fiskeriförvaltningen en tillräcklig grund för entydiga beslut som skulle garantera ett hållbart fiske. Det finns emellertid också exempel på fiskerier som är så enkla och välundersökta att en expertstyrd förvaltning kan fatta beslut utgående från en avvägning mellan olika risker. För att skapa förutsättningar för produktion av relevant fiskerivetenskaplig information bör man för varje fiskeri reda ut vilket slag av brist på kunskap som dominerar samt hur denna brist påverkar de beslut som skall och kan fattas. Ur förvaltningens synvinkel kan detaljkunskap om t.ex. fiskens tillväxt vara meningslös ifall hela fiskets struktur håller på att förändras.

Det är svårt att kategorisera alla olika typer av fiskerier för att entydigt bestämma vilken typ av fiskerivetenskapligt stöd förvaltningen behöver. En sådan kategorisering skulle i själva verket stå i konflikt med en av de centrala observationerna i detta arbete: helhetsplanering utgående från fastspikade målsättningar är möjlig endast i begränsad omfattning i fiskeriförvaltningen. Istället är det möjligt att ställa upp vissa kriterier som bör uppfyllas av det vetenskapliga stödet för förvaltningsbeslut. Kriterierna skall beakta möjligheterna att genomföra målinriktade beräkningar av händelser och konsekvenser och behovet av diskussioner mellan alla inblandade parter om alternativa åtgärder och beslut. Därigenom bör det vetenskapliga stödet för fiskeriförvaltning vara:

- övergripande (beaktar både ekologiska och socio-ekonomiska sidor av utnyttjandet av fiskeresurser),
- fokuserat (skapar inte skeninformation genom att upprepa samma resultat i olika form),
- logiskt uppbyggt (slutsatser kan härledas från premisser, samma grundantaganden används genomgående),
- noggrant (data insamlas och behandlas i enlighet med utvärderad och accepterad metodik),
- praktiskt tillämpbart (de alternativ som framförs förankras i verkligheten),
- förståeligt (de som utnyttjar informationen skall ha en reell möjlighet att se på vilka grunder olika alternativ har jämförts), samt
- neutralt (alternativ skall analyseras och presenteras utan dold eller öppen politisk eller ideologisk vinkling för att kunna stöda en diskussion som också utgår från värderingar).

Dessa kriterier kan anpassas flexibelt till olika situationer och kan användas trots att fiskets variationsrikedom utesluter en entydig tolkning av begreppet hållbar utveckling. Forskningen kan emellertid skapa förutsättningar för en strävan mot hållbar utveckling på ett praktiskt plan genom att stöda de diskussioner som behövs. En förutsättning är att forskningen lyckas ge förvaltningen och andra intressegrupper en uppfattning om hur olika ekologiska och socio-ekonomiska förhållanden hänger ihop, samtidigt som den öppet redovisar för bristerna i vår kunskap om fiskerier.

Simulation des Transportes und der Transformationen von Herbiziden in der ungesättigten Zone des Bodens



13.2.1998

Karlsruhen yliopisto, Hydrologian ja vesitalouden instituutti
Vastaväittäjä: Prof. Dr. Bernd Huwe

Sain perusopintojen päätyttyä stipendin Saksaan ja lähdin viettämään välivuotta laman vaivaamasta Suomesta syksyllä 1992. Väitöskirjan materiaali kasvinsuojeluaineiden mallinnuksesta syntyi vuosina 1993–1996 tohtorikoulun ”Graduierkolleg Ökologische Wasserwirtschaft” puitteissa. Laajassa Weiherbach-projektissa paikallinen maatalouden tutkimuskeskus keräsi monipuolista kenttä- ja laboratorioaineistoa, mutta heiltä puuttui mallintaja. Minulle avautui myös ovi EU-rahoitteiseen pestisidimallintajien verkostoon, mitä kautta käsiini osui Ruotsissa kehitetty MACRO-malli. Itse työ valmistui yliopiston senaikaisten vaatimusten mukaisesti parisataisivuisena monografiana, jonka korjauksia tein poikkeuksellisen kauniina 1997 vuoden kesänä jo SYKEssä aloittuani.

Itse väitös oli talvilukukauden viimeisenä päivänä, joka oli perjantai 13. päivä. Sain pari viikkoa virkavapaata ja valmistin lectiota vastaavan esitelmän, joka 1990-luvun loppupuolella vielä kopioitiin kalvoille ja väritettiin käsin. Väitöstilaisuus ei ollut julkinen. Raadissa istui kustoksen roolissa prof. Erich J. Plate, vastaväittäjänä prof. Bernd Huwe Bayreuthin yliopistosta, 3–4 professoria Karlsruhen yliopistosta sekä muutama kollega samasta instituutista. Suomalaisesta väitöksestä poiketen tilaisuus ei ollut väittelijän ja vastaväittäjän dialogi, vaan enemmänkin suullinen ristikuulustelu: kysyttiin ihan kaavojen johtamisesta mallinnuksen merkitykseen yhteiskunnalle. Karonkka ei Saksassa ole juhlallinen ja rekvisiittaa kuuluu olla. Siihen oli upotettu kaikki kollegoitten tuntemat Suomi-kliseet: tohtorihatussa oli jättimäiset hirovensarvet, vaunu oli verhottu pahoisiin paneleihin ja savusi saunan malliin, minut puettiin kylpytakkiin ja tehtäväkseni sain jakaa saattojoukoille obsleria. Kutsuttuna oli kollegoita, sukulaisia ja ystäviä Saksasta ja Suomesta, makkaroita, hapankaalia, olutta ja muuta saksalaista perustarjottavaa

oli samalla viikolla väitellyt kollega hankkinut molempien puolesta. Puheet pidettiin ja kuulumisia vaihdettiin.

Mitä väitöstyö minulle opetti, mitä se merkitsi ja merkitsee vielä tänäänkin? Ennen kaikkea se oli opinnäytetyö siitä, mitä tieteellinen tutkimus on. Se on myös ollut pääsylippu tehtäviin, joihin tällainen muodollinen pätevyys vaaditaan. Itse pestisideihin en sen koommin ole kajonnut, sillä SYKEssä kiinnostus mallinnusprojekteissa kohdistui enemmän ravinteisiin. Sen sijaan opittu yhteistyön tekeminen mallinnuksen ja kokeellisen tutkimuksen sekä eri tieteenalojen välillä on ollut hyödyksi tähän päivään saakka. Samoin koko mallintajan urani ajan on tärkeänä säilynyt hyvän mallinnuskäytännön noudattaminen. Sitä tarvitaan uskottavan kokonaiskuuvan luomiseksi nykyisestä ja tulevasta veden ja aineiden dynamiikasta viisaiden, ympäristön kohtaloon vaikuttavien päätösten tueksi.

ABSTRACT

The main objective of the present work was to test the transferability as well as the predicting capabilities of the deterministic model using various data sets, and the method of model calibration and validation. Further comprehension on measurement requirements, parameters estimation techniques and process description was complementary striven for. In the framework of the research project „Weiherbachprojekt“ data were obtained on transport and transformation of the two herbicideous active substance isoproturon and pendimethalin in field and laboratory studies. One set of data was used to calibrate the one-dimensional pesticide-specific transport model MACRO. The pre-

diction capabilities of the model were tested applying the calibrated model on the other sets of data, which were collected under varied environmental conditions, e.g. during another season, at a different site or with a different active substance.

With this model it was possible to answer following questions: 1) which soils in the Weiherbach catchment are specially prone to transport of isoproturon, 2) for how long substantial amounts of isoproturon remain at the soil surface from where they might be further transported during a surface runoff event, and 3) under which environmental conditions isoproturon will be leached to a greater extent into the soil profile. Deterministic models are adequate if average and above all comparative statements on the behaviour of pesticides in the unsaturated soil zone are asked for. For the assessment of groundwater pollution risk, however, the description of flow paths and transportations times are needed concomitantly. Therefore stochastic methods should be further developed to allow practical use of this type of models. A model like MACRO can be used to support research and the admission process of pesticides but a precise transport behaviour cannot be predicted and therefore the deterministic models alone are not sufficient to forecast groundwater or surface water pollution risk.

Accumulation and transformation of pulp mill organic discharges in recipient lakes

17.2.1998

Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos

Vastaväittäjä: Dr. Alasdair H. Neilson, Swedish Environmental Research Institute, Sweden

Väitöskirjatyön aihetta ja rahoittajaa haeskellessa tuli vastaan vesi- ja ympäristöhallituksen SYTYKE -projekti, joka selvitti metsäteollisuuden ympäristövaikutuksia. Projektin puitteissa pystyimme malliekosysteemit Lammin biologisen aseman lähellä sijaitseviin järviin. Ekosysteemimallin kykyä ennustaa jätevesien käyttäytymistä oikeassa järvoessä selvitettiin myöhemmin mm. pohjaeläimillä tutkimalla orgaanisten halogeeniyhdisteiden biosaataavuutta sekä mallisedimentillä että tehtaan alapuolisen järven sedimentillä.

Työ kesti noin viisi vuotta. Tuona aikana metsäteollisuus luopui kloorikaasusta valkaisuissa lähes kokonaan, minkä seurauksena jätevesien AOX-päästöt vähenivät murto-osaan. Tutkimusaihe oli siis mennä alta. Työn aikana opin paitsi sen, kuinka nopeasti teollisuus pystyy tarvittaessa reagoimaan julkisuudessa vellovaan keskusteluun, myös olemaan tutkijana suuressa yhteishankkeessa, jossa oli rahoittajina kansallisia instituutioita ja teollisuutta, tekijöinä yliopistoja ja tutkimuslaitoksia. EU-tutkimusraha yleistyivät vasta myöhemmin. Paljon tutummaksi minulle on kuitenkin tullut rahoittajan eli teollisuuden edustajan rooli vastaavissa hankkeissa, kun olen jo yli kymmenen vuotta työskennellyt metsäteollisuudessa.

En ruvennut tutkijaksi, mutta väitöskirja johti nykyiselle uralleni asiantuntijatyöhön. Jouduin aluksi venymään ympäristöasioiden ohi humaanitoksikologian puolelle sekä muualla – olen ohjannut yhden markkinoinnin alaan kuuluvan gradun – mutta nyt olen pääsemässä jälleen juurilleni, kun työn alla on tuotteiden vesijalanjälki.

SUMMARY

At the time of the present study, biological treatment of waste waters had been established at all pulp mills in Finland. Secondary treatment removed 95% of the BOD, 50% of TOC and 40 to 60% of the AOX. I asked the question, what was the subsequent fate of the remaining half of the organic matter of BKME in the recipient water, in particular the bioaccumulation tendency and the biodegradability. The organic matter of BKME is a mixture of organic compounds of mostly unknown structure.

The short-term biodegradation potential of BKME organic carbon was evaluated by laboratory analyses of the aerobic mineralization of this matter. Natural lake water in Finland is low in hardness and buffering capacity. Hard and well buffered media, enriched with nutrients are widely used in standard biodegradation test designs such as OECD 1992 and ASTM 1992c. To deal with question, how much biodegradation depends on the environment where it is being measured, we modified the protocol of the OECD CO₂-evolution test. Aerobic biodegradation of the same lots of BKME was studied both in standard media and in lake water. Two different lake waters were tested, very humic (280 mg Pt L⁻¹) and less humic (17 mg Pt L⁻¹) to simulate the conditions of degradation in a real lake. The results showed that only 10 to 13% of the TOC in biologically treated BKME was biodegraded within 24 days at 15 °C in any of the media, humic and clear lake water and buffered synthetic medium. The pass level for 28 d CO₂-yield of readily biodegradable chemical is

60% of the theoretical CO₂-production in this protocol. Secondary wastewater treatment thus had been effective in removing almost all readily biodegradable substrates from the wastewater.

The BKME of the mills studied contained 300 mg L⁻¹ of TOC, persistent towards short-term (< 1 month) biodegradation. To study the long-term (1 year) biodegradability of this fraction under conditions simulating the recipient lake, mesocosm enclosures were used. We placed 30 individual 2 m³ outdoor mesocosms in two lakes (61°13'N; 25°08'E) of very different contents of humus. Such enclosures enabled several experimental designs. For instance, different BKMEs were weathered simultaneously in one lake. We diluted the BKMEs with lake water to final concentrations of 0%, 2% and 10% (v/v), and weathered a period of 2 years. Oxygen and temperature stratifications developed in the mesocosms similarly to the lakes from which the water was taken. An important advantage of the mesocosms as a tool for the study of biodegradation was that the sediment in the mesocosms was formed de novo from the BKME and from the primary production in the lake water-BKME mixture held in the mesocosms, with no exogenous input.

Mesocosm setup allowed for mass balance calculation of organic halogen. Less than 3 mg of Cl accumulated in the reference mesocosms within one year. Since the area of each mesocosm enclosure was ca. 1 m², this result indicates that the natural background

deposition in the Finnish lake ecosystem was ca. 3 mg m⁻² a⁻¹. This is negligible amount of organic halogen compared to mesocosms holding lake water diluted BKME, where up to 990 mg of Cl accumulated after one year of weathering. Mill C-BKME had been treated in anaerobic and aerobic lagoons and contained more nutrients than Mill A-BKME, which had been treated in an activated sludge plant. Mill C-BKME had more eutrophication potential and generated more sediment in the mesocosms (up to 260 g d.w. m⁻³ of BKME) than Mill A-BKME (up to 50 g d.w. m⁻³ of BKME). The mesocosm setup thus was less suited for calculating the mass balance of BKME organic carbon, because a large amount of TOC was synthesized by the algae during the outdoor exposure of the enclosures.

The clear and humic lake waters differed in transparency and seasonal stratification, but were surprisingly similar as recipients of BKME as far as AOX removal was concerned. Within one year up to 60% of input AOX, placed in the mesocosms, became removed from the water column in both lakes. Sorption to the walls of the attached biofilms of the enclosures, plus evaporation to the atmosphere summed to < 3% of the removal.

Daylight enhanced the AOX removal during the first months of mesocosm exposure. Photodegradation did not explain the total removal, since 30 to 40% of the AOX became degraded also in the dark mesocosms, indicating a major role of biodegradation. Slower initial but similar final four-season degradation of AOX was observed in the enclosures started in the cold season as compared to those started in the warm season. The total removal resulting from the weathering in different lakes and of different wastewaters, after incubating 275 to 393 d ranged from 2000 to 17000 mg of AOX-Cl m⁻³ of BKME. The accumulation of AOX from the wastewater column into the sediment averaged 401 mg BX-Cl m⁻³ of BKME when the enclosures were filled in November. When the enclosures were filled in June, on the average 117 mg of BX-Cl m⁻³ of BKME accumulated into the sediment. These mass balance calculations indicated that the sediment accumulation tendency of AOX was 3 times greater from wastewa-

ters discharged in the winter as compared to those discharged in the summer. The impact of the season of discharge was even more distinct for tetrahydrofuran soluble halogen: sediment accumulation in winter was 84 mg of EOX-Cl m⁻³ of BKME and in summer 23 mg of EOX-Cl m⁻³ of BKME.

The above mass balance of organic halogen mineralization can be used to calculate the annual discharges of the whole country. A total of 1700 tons of AOX was discharged in 1995. Of this 700 to 1000 tons can be expected to have mineralized to inorganic chloride one year later. The median value of accumulation from 2 to 13% (v/v) of wastewater (in lake water) into the sediment of daylight exposed mesocosms over one year was 1% (n=14). Using this value, around 17 tons of the annual AOX discharge can be expected to accumulate into recipient sediments.

When the recipient lake sediments downstream of a pulp mill were analyzed, up to 600 times more EOX was found per gram of dry weight, than upstream. Therefore, organic bound halogen was a useful chemical marker of the distribution of BKME in recipient waters.

The use of chlorine chemicals in the mills decreased strongly in 1990's, but a legacy of the past organochlorine discharges is lying in the bottom sediments of the recipients. What are the environmental properties of these sediment accumulated organic halogens? Does anaerobic degradation occur? What is the bioaccumulation of this matter? The environmental behavior of organic molecules in the aquatic environment will depend on their molecular size and size distribution, hydrophobicity (i.e. partitioning between the aqueous environment and the lipid phase of biota), on the nature and the quantity of the covalent bonds other than C-C, in case of BKME especially C-Cl and C-S.

The BKME is a mixture of thousands of individual compounds, most of which are of unknown structure. Size-exclusion chromatography was chosen as the method to analyze and to compare the molecular size distributions of EOX in the discharged BKME before and after weathering in lake waters, as well as of the

EOX accumulated into sediments. The peak of the molecular weight distribution of organic halogens was 300 to 600 g mol⁻¹ in BKME before exposure to lake water. The molecular size distribution in the water column did not change detectably during the observation period of one year weathering in humic or in clear water mesocosms. The peak of the molecular size distribution of the organic halogen in the sediments was between 1000 to 2000 g ml⁻¹ in the four combinations of BKME of two different mills weathered in two different lakes. The same was true for the recipient lake sediment 8 km downstream of a large pulp mill.

The octanol-water partition coefficient (K_{ow}) often correlates with the bioaccumulation tendency of chemicals in the environment. We modified a standard, based on the elution behavior in the reversed-phase HPLC, to measure K_{ow} s of BKME. The polarity of tetrahydrofuran extractable halogens corresponded to a log K_{ow} < 1. That of the downstream sediment contained EOX corresponded to > 4.5.

The conclusion from the above results is that the incorporation of BKME organic halogens into the sediment involved a decrease in polarity and an increase of the size of molecules. Two explanations for this findings are 1) a selective adsorption of the larger and less polar halogenated molecules from the BKME, or 2) that the BKME organic halogens underwent chemically or biologically catalyzed condensation while being incorporated into sediment. Our mass balance calculations from the mesocosms showed that the experimental data do not exclude either of the explanations.

The bioaccumulation of chemicals from sediment does not occur similarly to that from water. Therefore we measured the bioaccumulation of cyclohexane-isopropanol extractable halogen from sediment by exposing the benthic worm *Lumbriculus variegatus* directly to sediment. The concentrations of organic halogens found in the lipids of the worms were 600 to 1400 ug of Cl g⁻¹ lipids after exposure of 28 d to BKME influenced sediment. The worms exposed to non-recipient sediments contained 40 to 200 ug of Cl g⁻¹ of lipids.

The results were similar for exposures of *L. variegatus* to BKME-influenced mesocosm sediments and for exposure to the sediment of lake downstream of a pulp mill. The sediment-to-biota accumulation factor was 0.4 to 0.7. This is similar order of magnitude to the BSAF reported for recalcitrant, bioconcentrating compounds such as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin and 2,3,7,8-tetrachlorodibenzofuran.

The recent changes in pulp bleaching processes decreased the organic halogen discharges from 12000 tons (year 1989) to 1700 tons (year 1995) in Finland. The trend goes towards total chlorine free (TCF) bleaching. We therefore searched for a chlorine-free marker for BKME discharges. A typical Finnish modern kraft pulp mill, producing 1400 t of bleached kraft pulp per day, used 16 t of sulfur per day (1995). The total amount of sulfur discharged in waste waters was 12 t d⁻¹. To assess the usability of sulfur as a chemical marker for studying the aquatic fate of BKME discharges we developed an assay for solvent extractable sulfur compounds (EOS), which is applicable to lake waters and sediments. The method was a modification of the microcoulometric titration used for the assay of the organic halogens.

We found that the solvent extractable sulfur discharged from the mill cited above was 0.16 t S d⁻¹ (0.12 kg S ton⁻¹ of pulp). Therefore 1.3% of the discharged sulfur in BKME represented solvent soluble sulfur compounds. The discharge load of solvent soluble sulfur was thus only 1/12 of that of solvent soluble halogen. From 0.6 to 0.8 mg of EOS accumulated g⁻¹ of organic matter in the sediment downstream of a pulp mill. The corresponding figure for the upstream sediment was 0.7 mg EOS g⁻¹ of organic matter. We analysed the molecular size distribution of the EOS in the wastewater and that accumulated in the sediment, and found a shift towards higher molecular weight from the BKME (300 to 600 g mol⁻¹) to the sediment (1000 to 2000 g mol⁻¹). This shift was similar to that observed for the EOX, suggesting that the sulfur and the chlorine may have been bound to same carbon skeletons. However, since the total amount of EOS downstream and upstream of the pulp mill were not different, EOS is not a usable

chemical marker for the environmental fate monitoring of BKME.

The present study demonstrated a half life of about one year for the organic halogens entered as waste waters of two bleached kraft pulp mills into mesocosms, which were simulating receiving water column. A small part of the organic halogen, removed from the water column, accumulated into the sediment leading to elevated concentrations of organic halogen downstream of the pulp mill compared to sediments unaffected by pulp mills. This organic halogenated matter was mostly of hydrophobic nature and large in molecular size. The seasonal variation had a major impact on the fate of BKME organic matter in Finnish lakes. The initial rate of degradation, as well as the final sediment deposition of the organic halogens were dependent on the season of discharge.

Bioremediation of chlorophenol-contaminated sawmill soil

29.4.1998

Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos
Vastaväittäjä: Prof. Rudolf Müller, Hampurin-Harburgin teknillinen korkeakoulu

Aika SYKE:ssä väitöskirjan teossa oli oikein mukavaa aikaa elämässäni. Paljon yhteistyötä, useita artikkelien kanssakirjoittajia ja sahalla vierailuja sisältänyt työ sahamaan kompostoinnista valmistui ja vastaväittäjäksi saapui professori Rudolf Müller Hamburgin-Harburgin yliopistosta. Suomalaisen väitöstilaisuuden kuviot olivat hänelle uusia, ja hän kyseli protokollan kulusta. Kustoksena toiminut professori Mirja Salkinoja-Salonen kertoi, että väitös alkaa puolelta päivin ja kestää yleensä noin kello kahteen. Kuvasta, jossa poistumme hanhenmarssia väitöstilaisuudesta, paljastuu vastaväittäjän saksalainen täsmällisyys: seinäkello näyttää tasan kahta iltapäivällä.

Myöhemmin arvon vastaväittäjä tunnusti vuokraneensa frakin ja pitäneensä kyseistä pukua päällään ensimmäistä kertaa elässään.

Muodollisuudet jäivät taakse karonkassa, jonka aluksi rentouduttiin saunomalla ja sitten järjestettiin varjoväitöstilaisuus: yliopiston osastollani ei nimittäin päässytäkään niin helpolla kuin yhdellä väitöstilaisuudella, vaan karonkassa joutui osoittamaan paitsi väittelijä taitonsa, tietonsa ja yhteistyökykynsä myös väitöstyön ohjaajat oman ohjaamistapansa.

Väitöksen jälkeen pääsin Michiganin valtionyliopistoon professori James Tiedjen ryhmään postdociksi pariiksi vuodeksi. Sieltä ura kulki tietotekniikan ja bioinformatiikan pariin kymmeneksi vuodeksi. Nykyään teen taas sydäntäni lähinnä olevaa ympäristötutkimusta uusiutuvan polttoaineen kehitystyössä. Tässä välissä olen päivittänyt ympäristötietojani suorittamalla ympäristösuunnittelijan AMK-tutkinnon kestävän kehityksen alalta. Uusien asioiden jatkuva oppiminen ja havaitseminen tekee elämästä ja työstä mielenkiintoista. Ympäristöllä on meille vielä paljon opetettavaa.

ABSTRACT

The present study focused on the biodegradability, mobility and transformation reactions of organic halogen compounds in contaminated sawmill soil during bioremediation by composting. The fate of chlorophenols and microbiology of bioremediation was studied in the laboratory, during pilot-scale composting in the field, as well as during full-scale implementation. Several research tools were used: 1) identification (*metabolic fingerprinting and whole-cell fatty acid composition*) and characterization (*biodegradation tests, community structure*) of the microorganisms that degrade chlorophenols, 2) analyses of the chemical nature and metabolism of organic chlorine compounds in soil (*GCIECD, HPSEC, radiorespirometry*), 3) environmental conditions affecting bioremediation (*nutrients, temperature, oxygen, pH, humidity*), and 4) both environmental (*toxicity to bacteria, bioavailability to the exposed earthworms*) and occupational health effects (*amounts of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/IFs) and pathogenic microorganisms in soil, composts and airborne particles*) of bioremediation.

The use of straw compost and remediated soil as inocula for bioremediation of chlorophenol-contaminated soil were evaluated. According to laboratory experiments, it was possible to change minor dehalogenation in studied inoculants (consortia in straw compost and bioremediated soil) to very efficient mineralization of pentachlorophenol by three months of enrichment in

percolators. During pilot-scale composting in the field, more than 90% of the chlorophenols were removed. The biodegradation of chlorophenols was efficient and fast and not depending on the inocula. Frequent mixing and control of the nutrient level enhanced the chlorophenol degradation activity of the indigenous microbes in the contaminated soil. In a parallel bench-scale experiment, an average of 60% mineralization of radiolabeled pentachlorophenol ($[^{14}\text{C}]\text{PCP}$) was obtained in four weeks in 1 kg-piles with or without inocula. This result suggested that a major part of the chlorophenols was completely mineralized. Based on the gained experience and good results from the pilot-scale composting, the full-scale implementation was started in July 1995. Although the initial chlorophenol concentration was high, effective degradation was observed (72 to 89% removal of chlorophenols) already after three months of composting. However, during the full-scale composting, the revival of chlorophenol-degrading microorganisms after the winter was not very successful.

The toxicity assessed by luminescent bacteria tests decreased during the composting, and it followed the chlorophenol concentrations in the pilot-scale compost piles. Organic chlorine compounds appeared in high molecular weight fractions indicating that the wood preservative Ky-5 had bound to the soil organic matter during the long exposure time in the contaminated

soil. No major polymerization occurred during the composting, but the polymerized fraction was not either degraded or remobilized. Large amounts of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs), originating from the wood preservative were found in the compost piles, but their concentrations did not significantly change during the bioremediation process.

The bioavailability of organic halogen compounds from contaminated sawmill soils was studied using earthworms from kitchen compost (*Eisenia andrei*) as model organisms. The earthworms incubated in sandy soil accumulated twenty times higher concentrations of tetrahydrofuran extractable halogen compounds than the earthworms incubated in organic soil, although the soils had equal content of organic halogen compounds. This indicated that soil organic matter diminished the bioaccumulation potential of halogen compounds to the earthworms.

Changes in the microbial community during bioremediation were studied using the carbon source utilization patterns in suspensions of compost matrices. The results suggested that fast-growing microbes responsible for utilization of easily available substrates, measured by respiratory activity and substrate utilization patterns, originated mainly from the added bulking agents, straw compost and bark chips. The best indicator of the actual chlorophenol degradation efficiency was the number

of microbes growing on plates with pentachlorophenol as the sole carbon source. The chlorophenol-degraders originating from contaminated soil seemed not directly to contribute to the substrate utilization pattern, but probably had benefited from the enhanced general microbial activity in the composts by cometabolism or synergism.

The release of microbes and contaminants during the mixing of the compost windrows was followed. Air particle samples were collected during the mixing of the full-scale compost windrows using Andersen Non-viable and Viable ambient particle sizing samplers. The concentrations of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) were determined in different particle sizes. The results showed that the congener distribution of PCDDIFs was similar in collected air particle fractions to that found in the compost windrows, and the level of PCDD/Fs was significantly higher than the atmospheric background value. From the collected airborne microbes, 40 bacteria were isolated and identified. Most of the isolated bacteria were gram-positive and spore-forming. None of the identified airborne bacteria is known to demonstrate pathogenic potential. The overall level was low compared to the level found when composting municipal waste.

Factors governing sedimentation and pelagic nutrient cycles in the northern Baltic Sea

8.5.1998

Helsingin Yliopisto, Ekologian and systematiikan osasto

Vastaväittäjä: Prof. Victor Smetacek, Alfred Wegenerin polaarimerien tutkimuslaitos, Saksa



Itämeren rehevöityminen ja sinileväkukinnat olivat ajankohtaisia ympäristöongelmia 1980-luvulla. Yhdeksi keskeiseksi kysymykseksi nousi, mikä oli typpikuormituksen merkitys leväkukintojen säätelyssä. Uudet paradigmat ulappaekosysteemin ravintoverkon (erityisesti mikrobien ja eläinplanktonin) merkityksestä rehevöitymisen säätelyssä innostivat kokeellisen ekosysteemitutkimukseen. Tarvittiin kokonaisvaltaista ekosysteemitutkimusta selvoittamaan eri eliöryhmien merkitystä ravinteiden kulkeutumiselle ja vaikutukselle meriekosysteemissä. Tässä kontekstissa väitöskirjani keskeiseksi kysymykseksi nousi, miten ulappaekosysteemin ravintoverkon rakenne ja toiminta säätelevät levätuotannosta pohjalle vajoavan orgaanisen aineen määrää ja laatua.

Väitöskirjani aiheen muotoutumiseen olivat vaikuttaneet useat henkilöt: Timo Tamminen ja PELAG-ryhmä



Tutkija Heiskanen vesinäytteenotossa läntisellä Suomenlahdella, Tvärminnen Storgaddenin selkävesillä PELAG-projektien alkuaikoina vuonna 1988, jolloin veneet oli puuta ja tutkijat rautaa.

tekivät väitöskirjatyöni mahdolliseksi. Timon myötä tulin vesi- ja ympäristöhallitukseen jatko-opiskelijaksi vuonna 1992. Tärkeitä inspiraation lähteitä olivat vastaväittäjäni prof. Victor Smetacek'in esitelmät ja artikkelit planktonleväyhteisöjen toiminnallisen monimuotoisuuden merkityksestä valtameren biogeokemiallisille kierroille. Sedimentaatiotutkimuksen pariin minut oli ohjannut Juha-Markku Leppänen jo gradua tehdessäni Merentutkimuslaitoksella. Lisäksi ohjaajani prof. Paul Wassmann (Tromssan yliopisto) ja hänen tutkimusryhmänsä innostivat eri merialueiden toimintaa vertailevaan ekosysteemitutkimukseen.

Väitöstilaisuus 8.toukokuuta 1998 oli Eläinmuseon luentosalissa ja kustoksena oli Itämeren ekologian professori Åke Niemi. Vastaväittäjäni prof. Victor Smetacek aloitti keskustelun toteamalla, että koska kaikki väitöskirjani 9 artikkelia oli jo julkaistu tai painossa ja siten niitä olivat jo arvioineet useat vertaisarvioijat, niin hänellä ei ollut enää paljoa sanottavaa itse artikkeleista. Sen sijaan hän ehdotti, että keskustelisimme laajasti, mikä säätelee valtameren tuotantoa ja miten ihmisen oikea ja vasen aivopuolisko vaikuttavat luovuuteen. Muistan erityisesti nauttineeni tästä maailmoja syleilevästä dialogista. Tosin minulle jäi epäselväksi oliko Victor ollenkaan lukenut kirjoituksiani. Väkirikas karonkka pidettiin Kulosaaren kasinolla.

Väitöskirjani alkusanoissa kirjoitin: "The number of years that I have been able to work with my colleagues in the most inspiring research group PELAG, have given me perspective and belief that ... plankton organisms have a strong impact on sedimentation and nutrient cycling in the pelagic ecosystem. Therefore along with my wish that this work contributes to the understanding of the eutrophication process in the Baltic Sea, this thesis is also an appreciation of the beauty and diversity of plankton".

LECTIO PRAECURSORIA

Leväkukintojen ja planktonravintoverkon vaikutus ravinteiden sedimentaatioon pohjoisen Itämeren ulappaekosysteemissä

Sukeltajille ja muille vesillä liikkujille on tuttua, että Itämeren rannikkoalueilla vesi on lähes aina sameaa ja kirkkaan veden jaksot ovat lyhyitä. Veden samennuksen aiheuttaa hiukkasaine, joka ajoittain, kuten keväällä, voi vajota varsin nopeasti pois pintakerroksesta, kun taas toisina jaksoina se voi jäädä pitkäksi ajaksi keijumaan pintakerrokseen. Hiukkasten vajoamisnopeuksia säätelevät useat fysikaaliset ja biologiset tekijät, joiden yhteisvaikutuksesta vedessä keijuva aines voi jopa muutamassa päivässä hävitä syvyyksiin ja viedä samalle mukanaan merkittävän osan veden ravinteista.

Aika ajoin valtaosan vedessä keijuvasta aineesta muodostavat ulappaekosysteemin mikroskooppisen pienet planktoneliöt ja niiden tuotannosta peräisin oleva orgaaninen aines. Toisaalta rannikon läheisyydessä suuri osa voi olla peräisin maalta jokivesien mukana kulkeutuvista hiukkasista tai laskeutua ilman kautta. Lisäksi rantavyöhykkeeltä ja sedimentin pinnalta virtausten tai aallokon irrottamaa eli resuspentoitunutta hiukkasainetta voi ajoittain olla paljon vedessä.

Planktonekosysteemistä tai rantavyöhykkeeltä peräisin oleva eloperäinen aines on pääasiallinen ra-

vinnonlähde syvännealueiden eliöyhteisöille, mutta samalla hajotessaan se voi aiheuttaa hapettomuutta sedimenttien pinnalla. Tässä lektiossa tulen etupäässä käsittelemään ulappaekosysteemin planktoneliöiden vaikutusta vajoavan hiukkasaineen määrän ja laadun vuodenaikaiseen vaihteluun.

Ulappaekosysteemin vuodenaikaisuus, eliöyhteisöt ja vaikutus vajoavan aineksen määrään ja laatuun

Tutkimuksen aikana mitattiin vajoavan hiukkasaineen määrää ja laatua pohjoisella Itämerellä, Suomenlahden suualueella, kolmen kevät ja kesäjaksan aikana, käyttäen yksinkertaisia sedimentaatiiosylintereitä. Yhdistettyjen sedimentaatiomittausten ja vesinäytteenoton avulla pyrittiin arvioimaan, kuinka suuri osuus ulappaekosysteemin vuotuisesta tuotannosta lopulta kanavoituu sedimentaatioon eli vajoamishävikkiin ja mitkä tekijät säätelevät sen määrää. Ja laatua eri vuodenaikoina.

Vuodenaikojen vaihtelu ulappaekosysteemin mikrokooppisten pienten eliöiden elämässä on voimakasta, vaikka enimmäkseen ihmissilmälle näkymätöntä. Eliöyhteisöjen kehitys eli sukkessio keväästä syksyyn sisältää voimakkaita vaihteluita sekä kasviplanktonlevien, toisenvaraisten mikrobien ja äyriäisplanktonin määrässä että eloperäisen aineen tuotannossa. Kevään kasviplankton "kukinta" eli planktonlevien massaesiintymä ja kesän sinilevien eli cyanobakteerien massaesiintymät ovat ulkoisen ravinnekuormituksen kanavoitumisen kannalta tärkeimpiä tuotantopaksoja pohjoisella Itämerellä.

Suurin osa kevätkekukinnan biomassasta muodostuu ketjumaisia kolonioita muodostavista piikuorisista piilevistä sekä siimallisista, liikuntakykyisistä panssarilevistä. Huhtikuussa valomäärän lisääntyessä ja jäiden lähtiessä alkaa kasviplanktonin kevätkekukinta. Piilevien runsaus on yleensä suurin kukinnan alkuvaiheessa, kun vedessä on vielä suurin ravinteita talven jäljiltä. Toukokuun alussa kun pintakerroksen typpivarannot alkavat loppua, monet piilevälajit alkavat muodostaa nopeasti vajoavia lepoitiöitä, tai vajoavat sellaisenaan eli vegetatiivisina soluina syvyyskerroksiin. Tutkimuksen aikana

havaittiin, että jopa 30–60 % piilevien määrästä, voi vajota tuottavan pintakerroksen alapuolelle päivittäin, mikä tarkoittaa, että samalle kun niiden kasvunopeus on suuri, valtaosa tuotetusta piileväbiomassasta vajoaa syvyyskerroksiin. Vajoamisnopeus voi olla keskimäärin 5–10 m päivässä (tai hetkellisesti jopa 70 m päivässä, kuten varsinaisella Itämerellä on havaittu), mikä on mahdollista vain kun mikrokooppisen pienet levät takertuvat toisiinsa muodostaen suuria, jopa silmin nähtäviä aggregaatteja.

Piileväkukinnan jälkeen vajoavan eloperäisen hiukkasaineen määrä alkaa nopeasti kasvaa, saavuttaen huipun yleensä toukokuun lopussa. Panssarilevien määrä on yleensä suurimmillaan hieman piilevien kukintahuipun jälkeen toukokuun alkupuolella. Pintakerroksen lämpiämisen myötä sekoittuvan kerroksen syvyys pienenee ja liikuntakykyiset panssarilevät saavat kilpailuedun piilevien suhteen, jotka ovat riippuvaisia sekoittumisesta pysyäkseen valoisassa pintakerroksessa.

Pohjoisella Itämerellä, ja Suomenlahden rannikkoalueilla vallitsevat panssarilevälajit ovat ketjumaisia kolonioita muodostava Peridiniella catenata ja yksisoluihin Scrippsiella hangoei, joka muodostaa suvullisen lisääntymisen kautta lepoitiötä eli kystejä. Kukinnan loppuvaiheessa kystien määrä vedessä voi olla suuri ja ne vajoavat nopeasti pois vähäravinteisesta pintakerroksesta. Tämän tutkimuksen aikana havaittiin, että voimakkaan panssarileväkukinnan jälkeen kystien osuus vajoavasta aineesta voi olla merkittävän suuri, arviolta jopa lähes puolet vajonneesta orgaanisesta hiilestä.

Useille keväisille kasviplanktonleville on tyypillistä selviytymisstrategia, johon kuuluu nopea kasvu kevään ensi vaiheessa, kun ravinteiden määrä on suuri ja sen jälkeen nopea vajoaminen lepoitiöinä tai kysteinä pois vähäravinteisesta pintakerroksesta säilyäkseen lepotilassa pohjassa seuraavaan kevätkekukintaan asti. Näin ollen kevätlevien elämänkierrat vaikuttavat merkittävästi ravinteiden ja tuotetun orgaanisen aineen nopeaan vajoamiseen pois tuottavasta kerroksesta kevätkekukinnan jälkeen.

Vaikka panssarilevät muodostavat usein valtaosan kevään kasviplankton biomassasta, niiden kasvullisten solujen osuus vajoavasta aineesta on yleensä varsin pieni. Näin ollen suuri osa keväisten panssarilevien biomassasta hajoaa vesipatsaassa muodostaen suhteellisen hitaasti vajoavaa orgaanista detritusta. Nopeasti vajoavat piilevät tuovat siis tuoreimman ravintopulssin sedimenttien eliöyhteisölle.

Keväällä eläinplanktonin, ja varsinkin äyriäisplanktonin, määrä vedessä on talven jälkeen vähäinen. Kevätkekukinnan loppuvaiheessa täysikasvuisten hankajalkaisäyriäisten määrä alkaa kasvaa, mutta tuolloin valtaosa kevään kasviplankton kukinnasta on jo vajonnut pois pintakerroksesta. Vaikka äyriäisplanktonin kehitysnopeudessa voi olla vuosien välisiä eroja, niiden laidunnus ei kuitenkaan kykene säätelemään kevätkekukintaa, vaan suurin osa kevään tuotannosta sedimentoituu.

Kesällä pintakerroksessa on vähän epäorgaanisia ravinteita ja ne ovat pääasiassa sitoutuneet eloperäiseen aineeseen. Ajoittain kuitenkin pohjanläheisistä vesikerroksista kumpuava syvävesi tuo runsaasti ravinteita pintaan mahdollistaen mm. sinilevien massaesiintymisten muodostumisen. Lisäksi sinilevien kyky sitoa ilman kaasumaista typpeä mahdollistaa niiden kasvun Itämeren vähätyppisillä selkävesillä.

Ulappaekosysteemin typpitase keväällä ja kesällä Kevätkekukinnan aikana tuotettavan eloperäisen aineksen määrä riippuu suurelta osin talven aikana vesipatsaaseen vapautuneiden ravinteiden pitoisuuksista. Vajoavan hiukkastypen määrän todettiin yleensä vastaavan melko hyvin vesipatsaan talvenjälkeistä typpivarantoa. Erityisesti typpiravinteet ja niiden riittävyys määräävät kukinnan keston, kun taas fosforia jää yleensä aina kevätkekukinnan jälkeen pintakerrokseen. Kevätkekukinnan suuruudesta ja levien vajoamishävikin määrästä riippuu, kuinka suuri osa veden typpi- ja fosforivarannosta vajoaa ja kuinka paljon jää pintakerrokseen kesän planktoniyhteisön käytettäväksi.

Valtaosa (> 50 %) vuotuisesta kasviplanktonin tuotannosta tapahtuu yleensä kevätjakson aikana. Tut-

kimuksen aikana arvioitiin, että suuri osa (30–60 %) keväällä tuotetusta orgaanisesta aineesta vajoaa pohjalle, joskin vuosien välillä on ilmeisesti melkoista vaihtelua. On kuitenkin ilmeistä, että kevätkukinnan merkitys määrällisesti ja laadullisesti tärkeimpänä orgaanisen aineen lähteenä syvien pohjien eliöstölle on merkittävä.

Kevätkukintaa seuraavan ns. kirrkaan veden jakson aikana, kasviplanktonyhteisössä vallitsevat n. 1–2 kertaluokkaa kevään planktonleviä pienemmät leväsolut. Eläinplankton pystyy kuluttamaan valtaosan kasviplanktonin tuotannosta, ja vajoamishävikki on vähäinen. Kasviplanktonbiomassaan sitoutuneet ravinteet kierrätetään tehokkaasti ns. "mikrobisilmukassa", eikä eloperäistä "ylijäämää", joka voisi vajota pois pintakerroksesta, juurikaan muodostu. Suuri osa kasviplanktonin käyttämistä ravinteista on peräisin toisenvaraisten eliöiden kierrätyksestä, mutta myös ulkoiset ravinnelähteet ovat ajoittain merkittäviä. Mittausjaksojen aikana todettiin, että resuspension tuoman hiukkasaineen merkitys on suuri kesäjaksen aikana, joskin sen osuuden arviointi kokonais sedimentaatiosta oli suhteellisen hankalaa.

Ravinnekuormituksen vaikutus planktonravintoverkkoon ja vajoamishävikkiin

Tutkimuksen aikana haluttiin myös selvittää, miten ravinnelähteet kanavoituvat planktonekosysteemissä kesällä, kun veden mikrobieliöyhteisön monimuotoisuus on suurimmillaan ja trofiatasojen vuorovaikutukset ovat nopeita. Ravinnelähteen ja kalanpoikasten saalistuksen vaikutusta kesän kierrätetyn tuotannon planktonyhteisöön tutkittiin kahtena kesänä suurissa kokeellisissa altaissa, jotka kelluivat ankkuroituna saariston suojassa Tvärminnen edustalla. Koe-altaat olivat 30 ja 50 m³ muovisäkkejä, jotka oli täytetty tutkimusalueen pintavedellä. Tyypeä ja fosforia lisättiin pintaveden alapuolista ravinnepitoisuutta vastaava määrä.

Tulokset osoittivat, että kesän kierrätetyn tuotantotason aikana monimuotoisen planktonyhteisön vaste ravinnelähteen oli nopea. Kasviplanktonyhteisössä alunperin vallitseva silmälevälaji muodosti kukintojen

sarjan heti ravinnelähteen jälkeen. Eläinplankton kykeni kuitenkin laiduntamaan suurimman osan kasviplanktonbiomassasta. Vaikka sedimentaatio kohosi säikeissä, joihin oli lisätty ravinteita, kuitenkin vain alle 2 % vesipatsaan hiukkashiilimäärästä vajosi päivittäin.

Toisen säkkikokeen aikana todettiin, että typen ja fosforin vajoamishävikissä oli eroa. Lisätty fosfori pidättyi tehokkaasti vesipatsaan hiukkasaineeseen, kun taas typpilähteenä suhteellisesti suurempi osa poistui vajoamalla. Koska kokeen aikaista kasviplanktonituotantoa rajoitti selvästi veden epäorgaaninen typpimäärä, oli ilmeistä, että planktonyhteisön typpirajoitettisuutta ylläpiti mm. typen fosforia suurempi vajoamishävikki. Leväsolujen rakenneaineisiin kuten proteiineihin sitoutuneet typpiyhdisteet eivät ehdi hajota ja vapautua vajoavista leväsoluista yhtä nopeasti kuin fosforiyhdisteet, jotka ovat solujen sisällä enimmäkseen jo valmiiksi liukoissa muodossa. Kukintojen aikana vajoava levämassa kuljettaa siten suhteessa enemmän tyyppiä kuin fosforia pois pintakerroksesta, mikä edesauttaa typpirajoitettisuuden kehittymistä. Toisaalta myös toisenvaraisten eliöiden laidunnusaktiivisuus ilmeisesti vahvistaa typpirajoitettisuutta, koska ne pidättävät assimiloitua ravinnosta kudoksiinsa suhteellisesti enemmän tyyppiä kuin fosforia.

Sinileväkukinnot: Oire Itämeren rehevöitymistaudista

Loppukesän rihmamaisten sinilevien eli syanobakteerien massaesiintymät ovat viime vuosina herättäneet runsaasti huomioita. Ne ovat kuitenkin luonnollinen osa pohjoisen Itämeren vuodenaikaiskiertoa, vaikka muodostavatkin joinakin kesinä poikkeuksellisen laajoja massaesiintymiä. On vaikea sanoa onko sinileväkukintojen yleistymisen pysyvä ilmiö vai onko kyseessä vain muutaman vuoden poikkeuksellisista yhteensattumista johtuva runsastuminen. Myrkyllisen Nodularia-sinilevän runsas esiintyminen on kuitenkin huolestuttavaa, koska se selkeästi haittaa rannikkoalueiden virkistyskäyttöä ja voi pahimmillaan johtaa vakaviin myrkytystapauksiin. Ravinnekuormitus lisää myös sinilevien esiintymistodennäköisyyttä. Ulappaekosysteemin ravinnekiertojen kannalta

sinilevien merkitys on kuitenkin vähäisempi kuin kevätkukinnan.

Tämän tutkimuksen aikana oli kahtena kesänä voimakkaita sinilevien massaesiintymiä, jotka muodostivat silminnähtäviä ja laajoja pinnalla kelluvia lauttoja. Sinilevien biomassan kokonaismäärä oli kuitenkin tutkimusjaksojen aikana pienempi kuin kevätkukinnan leväbiomassa. Vaikka kasviplanktonin perustuotanto ja biomassa kohosivat sinileväkukintojen aikana, kesäjaksen perustuotannon osuus koko kasvukauden perustuotannosta oli kumpanakin vuonna alle 40 % (josta siis sinilevien tuotanto oli vain osa). Kukinnan aikana sinilevärihmojen vajoamishävikki on vähäinen, koska ne pystyvät säätelemään kaasurakkuloiden avulla kelluvuuttaan. Vain alle 2 % vesipatsaan Aphanizomenon-sinilevän biomassasta vajosi päivittäin ja Nodulariaa havaittiin sedimentaatiolintereissä vain satunnaisesti vähäisiä määriä. Koko kesäjaksen perustuotannosta alle 30 % arvioitiin vajoavan tuotavasta kerroksesta. Koska eläinplankton ei ilmeisesti myöskään käytä sinileviä tehokkaasti ravintonaan, niin valtaosa sinilevien biomassasta hajoaa pintakerroksessa.

Loppukesän sinileväkukintojen kohtalo onkin selkeästi erilainen kuin kevään pii- ja panssarileväkukinnan, joiden merkitys sedimenttien hapenkulutukselle ja sisäisen ravinnekuormituksen määrälle on ratkaiseva. Voidaan siis sanoa että, Itämeren rehevöitymiskehityksen oireyhtymässä varsinainen "tauti" on ravinnekuormituksen kanavoituminen suuriksi kevätkukinnoiksi, jotka pohjalle vajotessaan voivat lisätä sedimenteistä peräisin olevaa sisäisen ravinnekuormituksen määrää, kun taas kesän voimakkaat sinileväkukinnot ovat taudin oire ja merkki siitä, että kuormituksen taso ja vesiekosysteemin vastaanottokyky ovat vakavasti ylittyneet.



DNA-polymorphisms and mapping of the pig major histocompatibility complex gene region and SINE-fingerprints in artiodactyls

16.9.1998

Helsingin yliopisto, Biotieteiden laitos
Vastaväittäjä: Dos. Johanna Vilkki, Maatalouden tutkimuskeskus

SUMMARY

Studies included in the present thesis have investigated both the level of DNA polymorphism and the structure of the genomes of several artiodactyl species. The first approach was to study the pig major histocompatibility complex (MHC) class I gene region. The aim was to improve the general level of knowledge of this gene region in pig and more specifically, to identify restriction fragment length polymorphism (RFLP) class I haplotypes that would reveal additional variation compared to serologically detected polymorphism. Further, the main purpose of these studies was to clarify if the number of class I genes varies in different pig class I haplotypes.

The goal of the second entity was to develop genetic markers for the construction of a linkage map in the pig. This approach focused on development of Type I coding region RFLP markers for the pig chromosome 7. The Type I markers were chosen because they, in addition to basic location mapping, provide a framework for comparative mapping. The mapping approach focused on the pig chromosome 7 as the pig MHC (*SLA*) gene region has been mapped to this chromosome.

In the third approach, the distribution of short interspersed nuclear element (SINE) and simple sequence repeat (SSR) loci was investigated in the cattle, sheep, moose, white tailed deer, reindeer and pig genomes. In addition, the sequence of the Bov-tA SINE elements from cattle, sheep, white-tailed deer and reindeer was analyzed. Both the SINE and SSR-fingerprints and

sequence data from the Bov-tA elements were used to construct phylogenetic trees. Moreover, the level of polymorphism of the element/tandem repeat fingerprints was examined and further analyzed using single-strand conformation polymorphism (SSCP) analysis.

The present study showed that the number of class I genes varies in different pig class I haplotypes. Further, some serologically defined haplotypes were divided into RFLP subtypes indicating the level of complexity of this gene region. Three novel serological haplotypes were described and altogether 17 different RFLP haplotypes segregated in the analyzed families. Moreover, the chromosomal orientation of the pig *SLA* gene region was defined; the class I region being telomeric and the class II region centromeric with the class III region in the middle. Two new genes, the transporter associated with antigen processing 1 (*TAP1*) and prolactin (*PRL*), were mapped to the pig chromosome 7 using the RFLPs detected in the present study. Loci homologous to the human heat shock protein 70 (*HSP70*) genes were also identified in the pig genome.

Phylogenetic trees were obtained from inter-SINE and inter-SSR fingerprints providing a considerable amount of true information on mammalian relationships, of time scales of <30 million years. Sequence comparison of the Bov-tA element in different artiodactyls showed that the element was already widespread in the common ancestor of the bovids and cervids and

further, as indicated by inter-SINE fingerprints, probably also existed in the ruminant-suiform ancestor. In addition, in a limited set of samples, using only one of the four SINE primers, two- and three-allelic SSCP polymorphisms were detected in two separate loci, respectively.

Algal-available phosphorus originating from agriculture and municipalities

25.9.1998

Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos

Vastaväittäjä: Paul Boers, Institute for Inland Water Management and Waste Water treatment



Väittelin kuulaana syyskuisena perjantaipäivänä, pikukuflunssassa, vuonna 1998. En tekisi sitä uudestaan, ja peruspainajaiseni muuttuikin tuosta hetkestä alastomana koululuokassa -tyyppisestä väitös alkaa kohta, enkä ole kirjoittanut lectiota, ja sitä paitsi olen alaston -tyyppiseksi.

Väittelemisessä on hyvät ja huonot puolensa. Yhdenkään muun juhllisuuden järjestämiseen en ole joutunut käyttämään niin paljon aikaa – kotoa ja töistä saadusta suuresta avusta huolimatta. Toisaalta yhdenkään toisen päivän aikana en ole saanut niin paljon huomiota. Vaikka jälkimmäinen on tosi kiusallista, se on myös mukavaa. Rahallista tasetta en ole laskenut, mutta sitä mustaa pukua ja niitä mustia kenkiä käytän yhä, tosin enempi surullisissa yhteyksissä.

Vaikka toisin luulin, väittelyn varsinainen idea ja lopputulema ei ole muu kuin se, että väittelyn jälkeen kukaan ei enää kysy ”milloin väittelet?”.

LECTIO PRAECURSORIA

Maatalous ja yhdyskunnat leville käyttökelpoisen fosforin lähteinä

”I don't want knowledge, I want certainty”

Tieteen pyrkimyksenä on kehittää yhä parempia ja parempia teorioita, jotka kuvaavat, selittävät ja ennustavat entistä totuudenmukaisemmin maailman rakenteita, olioita ja säännönmukaisuuksia. Lopullista totuutta voidaan kuitenkin pitää vain tutkimuksen ideaalisena raja-arvona; siihen pyrimme mutta tuskin koskaan sitä saavutamme. Tiedon kasvua onkin kuvattu seuraavasti: ongelma, ongelman teoreettinen ratkaisuyritys, tämän ratkaisun kritiikki, uusi ongelma. Uudet havainnot voivat aina olla ristiriidassa vanhan teorian kanssa. Psykologisessa mielessä tieteellisen työskentelyn sanotaan vaativan kykyä edetä vähittäisin askelin, kykyä liittää oma toiminta muiden tuottamaan tietoon ja kykyä pidättäytyä välittömän palkitsevuuden etsinnästä. On sanottu, että tutkijan on siedettävä asettautuminen realiteettien määräämiin totuudellisuuden kriteereihin. Hieman yksinkertaisemmin ilmaistuna: tiede muodostaa yrityksen toiveista riippumattoman todellisuuden ymmärtämiseen.

Soveltavan tutkimuksen päämääränä on tuottaa uutta tietoa kohteista, joilla on käytännön merkitystä. Soveltavan tutkimuksen tuloksia voidaan arvioida sen mukaan, kuinka tosia ne ovat, mutta myös sen

perusteella, mitä hyödyllistä niillä voidaan tehdä. Erään näkemyksen mukaan tieteelliset ongelmat ovat aina käytännöllisiä päätöksenteko-ongelmia, ja tieteen tulokset näihin ongelmiin liittyviä toimitusosituksia. Näkemys on kapea, mutta kuvaa silti jotain olennaista soveltavasta tutkimuksesta, jossa lähtökohtana oleva tutkimusongelma on usein sellainen, että sen torjuminen tai vähentäminen vaatii huomattavia voimavaroja. Tutkijan voidaan siis ajatella toimivan eräänlaisena päätöksentekijän neuvonantajana. Ilkka Niiniluotoa mukailen tutkijan tehtävänä on tällöin eritellä käytännölliseen ongelmaan liittyviä olennaisia hypoteeseja, arvioida näiden hypoteesien uskottavuutta tai luotettavuutta tutkimusaineiston valossa sekä ratkaista, mikä kyseessä olevaan ongelmaan liittyvistä toimintavaihtoehdoista on suositeltavin käytännöllisiin päämääriin liittyvien arvostusten valossa.

Vesien rehevöitymistä pidetään eräänä laajimmista vesivaroihin liittyvistä ongelmista niin Suomessa kuin muuallakin Euroopassa. Vesien rehevöitymisellä tarkoitetaan perustuotannon kasvua vesiympäristössä. Planktonlevät ovat merkittäviä vesien perustuottajia, ja rehevöitymisen myötä ne yleensä runsastuvat. Samalla myös rihmalevien ja vesikasvien määrä voi lisääntyä. Rehevöityminen vaikuttaa koko akvaattiseen ravintoverkkoon, ja se voi haitata vesien virkistyskäyttöä, vähentää vedestä elantonsa saavien toimeentuloa sekä tuottaa ongelmia vesihuollolle ja muulle vedenkäytölle; rehevöitymisellä voi mm. taloudellisia ja kansanterveydellisiä ulottuvuuksia. Rehevöityminen on eräänlainen teknisen kehityksen sivutuote, vain harvoin toimimme ensisijainen tarkoitus. Se on yleensä seurausta liiallisesta ravinnekuormituksesta.

Ihminen on nopeuttanut monen kasvinravinteiden kiertoa, ja usein tämän kierron loppupiste, tai ainakin välivaihe on vesiympäristö. Havainnollisena, tosin rankasti yksinkertaistettuna esimerkkinä voidaan esittää, että jokainen suomalainen tuottaa vuosittain ravinteita määrän, jolla voitaisiin kasvattaa runsas kilo planktonleviä. Tämä levämäärä riittäisi tekemään 400 kuutiota, siis noin uimahallialtaan tilavuuden täysin ravinteetonta vettä sellaiseksi, että se kasviplanktonmäärän perusteella luokiteltaisiin reheväksi.

Rehevöityminen on yleensä liitetty kahden kasvien makroravinteiden, fosforin ja typen kuormitukseen. Kaikki ravinnekuormitus ei kuitenkaan ole biologisesti käyttökelpoista eikä siten aiheuta rehevöitymistä. Erityisesti fosforilla on taipumus esiintyä muodoissa, joiden käyttökelpoisuus on alhainen. Biologinen käyttökelpoisuus ei kuitenkaan ole aivan yksiselitteinen käsite. Sitä voidaan tarkentaa tarkastelemalla käyttökelpoisuutta tietyn eliöryhmän kannalta, jolloin voimme puhua esimerkiksi viljelyskasveille käyttökelpoisesta fosforista tai leville käyttökelpoisesta fosforista. Lisäksi voimme jakaa käyttökelpoisen fosforin suoraan, välittömästi, potentiaalisesti ja aktuaalisesti käyttökelpoiseen fosforiin sen mukaan miten nopeasti ja millaisissa ympäristöoloissa fosfori tulee käyttökelpoiseksi.

Fosforia kulkeutuu vesiin monista eri lähteistä; luonnonhuuhtouman lisäksi mm. maa- ja metsätaloudesta, asutuksesta, teollisuudesta ja kalankasvatuksesta. Tänä päivänä tarkastettava työ käsittelee kahta merkittävää päästölähdettä, maataloutta ja yhdyskuntia. Kumpikin niistä edustaa inhimillisen yhteisön perustoimintoja; maatalous lähinnä ruoantuotantoa ja yhdyskunnat asutusta ja pienimuotoista teollista toimintaa. Yhdyskuntia voidaan pitää perinteellisenä pistekuormittajana; juuri asutuksen ja teollisuuden kuormittamisessa vesissä ensimmäiseksi havaittiin rehevöitymisen oireet. Sen sijaan maatalous on vasta viime vuosikymmeninä identifioitu vesistöjen merkittäväksi ravinnekuormittajaksi.

Tällä vuosisadalla Suomen väkiluku on kaksinkertaistunut ja väestö on pitkälti keskittynyt taajamiin. Yhdyskuntien, siis yli 200 asukkaan taajamien aiheut-

tama vesien fosforikuormitus nousi aina 1970-luvun alkuun asti yhä suuremman osuuden kasvavasta väestöstämme liittyessä viemäriverkostojen piiriin. Liittymäärä on edelleen noussut, kattaen nykyisin noin 80 % väestöstämme. Viimeisen 25 vuoden aikana yhdyskuntien fosforikuormitus on kuitenkin pienentynyt lähes kymmenenteen osaan 1970-luvun alun tasosta. Tämä johtuu siitä, että olemme alkaneet yhä enemmän investoida jätevedenpuhdistukseen. Suurin osa yhdyskuntiemme jätevedenpuhdistamoista toimii ns. rinnakkaissaostustekniikalla, jossa fosfori poistetaan rauta- ja alumiiniyhdisteillä saostamalla. Yhdyskuntien kuormitus on alentunut myös sen vuoksi, että kuluttajina olemme valinneet vähän tai ei lainkaan fosfaatteja sisältäviä pesuaineita. Nykyisin yhdyskuntien osuus ihmisen aiheuttamasta fosforin kokonaiskuormituksesta on vain 5 %.

Maatalouden voimaperäistyminen on lisännyt siitä aiheutuvaa fosforikuormaa ja maatalous onkin ylivoimaisesti suurin vesiemme fosforin lähde vastaten 60 %:sta ihmisperäisestä kuormituksesta. Maaperämme sisältää luontaisesti melko vähän kasveille käyttökelpoista fosforia. Kemiallisten lannoitteiden käyttö yleistyivät Suomessa sotien jälkeen. Lannoitteilla onkin voitu suuresti nostaa sekä sadon määrää että laatua, mutta valitettavasti myös vesiin päätyvää ravinnekuormitusta. Lannoituksen lisäksi ympäristöhaittoja aiheuttaa maatalouden voimakas erikoistuminen.

Tarkastelkaamme hetken ajan lannoitefosforin pitkäaikaista monihaaraista elinkaarta. Se saa alkunsa siitä kun kallioperämme apatiittifosfori muunnetaan teollisessa happokäsittelyssä kasveille käyttökelpoisempaan muotoon. Valmis lannoite asetetaan pellon pintakerrokseen, jossa se vähitellen liukenee. Suomessa vallitsevilla happamilla maalajeilla on suuri kykyä pidättää fosforia, ja niinpä lannoiterakeesta vapautuva fosfori sitoutuu maahiukkasten pinnalle, tarkemmin ilmaistuna raudan ja alumiinin hydratoituneisiin oksideihin. Enemmän tai myöhemmin osa lannoitefosforista poistuu maasta sadon mukana, osa jää maahan, mutta muuntuu kasveille käyttökelpottomampaan muotoon, ja osa huuhtoutuu liuenneessa muodossa tai eroosion myötä maahiukkasiin sitoutuneena ve-

siin. Viljelyskasveista fosfori siirtyy ihmiseen, joko suoraan erilaisina kasviselintarvikkeina tai mutkan kautta eläinkunnan tuotteina rehu-karja -väylää pitkin. Kulutustottumuksistamme riippuen syömämme fosfori on alkuperältään joko kotimaista tai ulkomaista. Tosiaankin: vaikka alkuainefosfori onkin myrkkyy, myös me ihmiset tarvitsemme fosfaattimuodossa olevaa fosforia; hyvistä fosfaatinlähteistä vain kalan ja riistan voidaan ajatella suurimmaksi osaksi sisältävän muuta kuin lannoiteperäistä fosforia. Lopulta suuri osa käyttämistämme fosforista johdetaan viemäreitä pitkin jätevedenpuhdistamolle, jossa keskimäärin 93 % siitä otetaan talteen ja käytetään esimerkiksi viherrakentamisessa, pienen osan päätyessä myös takaisin peltoon. Loput 7 % jatkaa matkaansa vesiä rehevöittämään. Tämä fosforinkierto näkyy muun muassa kohonneina peltojen pintamaan ja vesien pohja-aineksen fosforipitoisuuksina.

Yhdyskuntien pistekuormitukseen verrattuna maatalouden hajakuormituksen hallitseminen on melko ongelmallista. Kun yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoja on yhteensä 560, aktiivisia maatiloja on noin 90 000. Kun taajamissa jätevesi kerätään viemäreitä pitkin jätevedenpuhdistamolle, missä puhdistusprosesseja voidaan tarkasti säädellä, ja josta puhdistettu jätevesi ohjataan purkupuutkeä pitkin vesistöön, maataloilla ei ole vastaavaa vedenkäsittelyjärjestelmää eikä edes eri lähteiden merkitystä fosforihuuhtouman muodostajina aina tunneta. Lisäksi maatalouden on huolehdittava toimeentulonsa ohella, ei vain vesiensuojelusta, vaan yhä enevässä määrin myös toimintojensa vaikutuksista maaperän ja ilman laatuun, biodiversiteettiin ja maisemaan.

1980-lukua koskevien arvioiden mukaan maatalouden fosforin hajakuormitus on 2000–4000 tonnia vuodessa. Viime vuosina kuormitus on ilmeisesti hieman laskenut. Ottaen kuitenkin huomioon, että kuormitus on todennäköisesti ollut varsin korkea jo melko pitkään, ja että esitetyn kuormitusarvion alaraja on samaa suuruusluokkaa kuin yhdyskuntien fosforikuormitus suurimmillaan ollessaan, voidaan kysyä, ovatko maatalouden vesistövaikutukset täysin verrannollisia siitä aiheutuvan kokonaisfosforikuormituksen suuruuteen.

Toisin sanoen: kuvaako perinteellisesti vesiensuojelussa käytetty kriteeri, kokonaisfosfori, riittävän hyvin kuormituksen rehevöittävä vaikutusta?

Levät pystyvät suoraan käyttämään hyväkseen lähinnä vain liuenneessa muodossa olevaa fosforia. Niin maatalouden kuin yhdyskuntienkin fosforikuormitus koostuu myös monesta sellaisesta fosforimuodosta, joka ei ole suoraan käyttökelpoista leville. Missä määrin nämä fosforimuodot voivat tulla käyttökelpoisiksi? Palatakseni tehtävääni tutkijana, minulla oli siis kaksi kilpailevaa hypoteesiä: (1) vesiensuojelutoimet tulee kohdentaa kokonaisfosforikuormituksen vähentämiseen ja (2) vesiensuojelutoimet tulee suunnata vain tiettyihin fosforijakeeseen. Jälkimmäisen vaihtoehdon osoittauessa todennäköisemmäksi, täytyisi minun myös selvittää, mistä käyttökelpoiset fosforijakeet ovat peräisin. Selvitin näiden kahden hypoteesin uskottavuutta mm. laboratoriossa tehdyin levätestein. Testiolot olivat suuresti yksinkertaistettuja. Tein esimerkiksi kaikki testit käyttäen vain yhtä planktonlevälajia niistä yli 2000 levälajista, joita vesissämme on havaittu. Lisäksi tutkin vapautumista vain yhdenlaisissa ympäristöoloissa. Mitä yksinkertaisempi koe, sitä suurempi on epävarmuus siitä, missä määrin koetulokset ovat sovellettavissa monimuotoisiin luonnonoloihin. Jos tätä epävarmuutta lähdetään puhtaan empiirisillä koejärjestelyillä vähentämään, joudutaan loputtomien lisätarkistusten suohon. Fosforin käyttökelpoisuus olisi esimerkiksi voitu testata yhden levälajin sijasta niillä useilla kymmenillä planktonlevälajeilla, joita vesissämme esiintyy runsaana. Lisäksi testiorganismeina olisi voitu käyttää myös muita vesien perustuottajia. Nämä testit olisi sitten voitu toistaa vaikkapa kymmenessä tyypillisessä ympäristöolosuhteessa. Arvelen tosin, että tällainen tutkimus olisi loppunut jo alkuvaiheessaan rahoituksen puutteeseen.

Koeolojen suunnittelu samoin kuin kokeista saatujen tulosten soveltaminen on helpompaa, jos on käytävissä jokin teoria siitä, mitkä asiat ovat olennaisia tutkittavan ilmiön kannalta. Tänäkin tarkastettavassa työssä keskeisellä sijalla oli kemiasta ja maaperätieteestä lainattu sorptio-desorptio -teoria, tosin myös muita näkökulmia otettiin huomioon. Koeolot valit-

tiin teoreettisen tiedon perusteella niin, että fosforin vapautuminen tutkittavista näytteistä olisi mahdollisimman voimakasta, pitäen kuitenkin testiolot realistisina vastaanottavissa vesissä vallitseviin oloihin nähden. Pyrin siis selvittämään sen fosforin määrää, joka normaalioloissa voi tulla leville käyttökelpoiseksi. Nimitän tällaista fosforia potentiaalisesti leville käyttökelpoiseksi fosforiksi. Epävarmuudesta en luonnollisestikaan täysin päässyt eroon, ja voisinkin heti luetella lukuisan joukon lisäkokeita, joilla esittämiäni tulosten totuudellisuutta voitaisiin testata ja tarkentaa.

Mikä sitten on neuvoni päätöksentekijöille? Kumpi edellä mainituista hypoteeseista ja toimintavaihtoehdoista on suositeltavampi? Tulokseni viittaavat siihen, että kokonaisfosforikuormitus ei ole paras kriteeri rehevöitymisen vähentämisessä. Koska eri fosforimuotojen käyttökelpoisuus leville vaihtelee suuresti, vesiensuojelutoimet tulisi kohdistaa kaikkein käyttökelpoisimpiin fosforijakeisiin. Yhdyskuntien osalta Suomessa on melko hyvin onnistuttu vähentämään juuri leville käyttökelpoista fosforia. Tämä johtuu siitä, että jätevesissä pitkälti samat fosforimuodot ovat sekä biologisesti aktiivisia että kemiallisesti reaktiivisia, ts. saostuvat helposti rauta- ja alumiiniyhdisteillä. Sen sijaan maatalouden vesiensuojelussa eräiden toimien tarkoituksenmukaisuutta saatetaan joutua tarkistamaan. Paras kuormituksen vähentämistoimi maataloudessa vaikuttaisi olevan lannoituksen vähentäminen. Tämä lienee edellä esitetyn perusteella loogista; kohdistamme toimet syihin emme seurauksiin. Se, missä määrin lannoitusta pitäisi ja voidaan vähentää, on määritettävä sekä ympäristö- että kasvinviljelyasiantuntemuksen pohjalta.

Soveltavassa tutkimuksessa siis pyritään ratkomaan käytännön kannalta olennaisia ongelmia, antamaan toimintasuosituksia ongelmien korjaamiseksi. Toisaalta tieteen keinoin on vaikea saada lopullista varmuutta juuri mistään. Näin syntyy mielenkiintoinen ristiriita. Eräänlaisia ääripäitä ristiriidan ratkaisussa edustavat seuraavat toimintatavat: (1) emme tee mitään, sillä olemme epävarmoja toimien vaikuttavuudesta, ja (2) toimiin säännätään jo silloin kun tutkimus on vasta alussa, olettaen, että lisätutkimukset tuottaisivat vain

marginaalista hyötyä, tarpeettomia lisätarkennuksia. Tämän ristiriidan joutuvat osaltaan ratkaisemaan niin yksittäiset tutkijat, tutkijaryhmät ja tutkimuksen rahoittajat kuin päätöksentekijät ja toiminnan täytäntöönpanijat. Joudumme kysymään, mikä on se tiedontaso, jolloin voimme turvallisesti mielin uhrata huomattavia voimavaroja kulloisenkin ongelman hoitamiseksi? Milloin tiedämme tarpeeksi? Vesiensuojelussa tilanne on edellä esitettyä yksinkertaisempi, sillä rehevöitymisen torjumiseksi ja vähentämiseksi tarkoitetut toimet ovat jo pitkään olleet käynnissä. Kysymys on toimien riittävydestä ja oikeellisuudesta.



Structural development of the Finnish national hydrometric monitoring network

27.11.1998

Teknillinen korkeakoulu, Vesitekniikan laboratorio
Vastaväittäjä: Prof. Juhani Virta, Helsingin yliopisto

Ennen väitöskirjatyön aloittamista toimin pitkään vesihallituksessa ja vesi- ja ympäristöhallituksessa hydrologisiin mittauksiin liittyvissä operatiivisissa tehtävissä. Väitöstutkimukselle syntyi pohjaa, kun aloin miettiä miksi ja kenelle me tätä työtä teemme. Kun vesientutkimuslaitoksen johto sitten asetti tavoitteita leikata kuluja ja kehittää yhteistyötä vesi- ja ympäristöpiirien kanssa, pohdinta konkretisoitui. Huomasin että hydrologisten havaintoverkkojen suunnittelusta julkaistiin hyviä kansainvälisiä tutkimuksia ja lähdin mukaan pohjoismaisten hydrologisten laitosten yhteistyöhön. Esimieheni Seppo Mustonen ja Risto Lemmelä lisäsivät myös sopivasti painetta ja tukivat tutkimuksen yhdistämistä hydrologisen palvelun kehittämiseen. Näin pitkään kestänyt väitöskirjatyö käynnistyi vuoden 1990 tienoilla ja johti tulokseen vuonna 1998.

Itse väitöstilaisuus ja karonkka sujuivat hyvin ja päivästä muodostui pitkä ja vaiherikas. Toivoin ulkomaista vastaväittäjää mutta kustos, professori Pertti Vakkilainen, päätyi Helsingin yliopiston professoriin Juhani Virtaan. Juhani tuntee hydrologiaa hyvin ja on miellyttävä herrasmies, joten aivan hyvä näinkin. Mielestäni en joutunut väitöstilaisuudessa kovin lujille, mutta toki on haaste esittää keskeiset asiat ja vastata kysymyksiin niin että

sekä ammattilaiset että alaa vähemmän tuntevat voivat seurata tilaisuutta. Yleisöä oli melko paljon sekä omasta talosta, korkeakoulusta että muualtakin. Ilokseni myös Lea oli seuraamassa tilaisuutta. Karonkka vietettiin "suvun tradition mukaan" niin että nautimme ensin intiimin päivällisen pienessä piirissä ja liityimme sitten Teräpääskyssä suureen joukkoon, johon kuului sukulaisia, tuttavuuksia ja työtovereita.

Minulle oli tärkeää, että väitöskirjatyö tehtiin käytännön tarpeisiin. Sen perusteella määriteltiin vesistöseurannan yleiset kriteerit, eriytettiin perusohjelmasta aluekeskusten intressissä olevat mittaukset ja supistettiin varsinaista seurantaa. Vuosisäästöksi laskettiin 2,5 miljoonaa markkaa vuoden 1996 hintatasolla. Väitöskirjatyö ja sen pohjalta jatkunut yhteistyö avasi lukuisia kansainvälisiä kontakteja, jotka ovat tuoneet kiinnostusta työhön ja rikastuttaneet suuresti elämää. Sain hienon luottamuksen osoituksen vuonna 2009, kun tulin valituksi maailman ilmatieteen järjestön (WMO) Euroopan alueen hydrologisen ohjelman johtajaksi. Tämä työ jatkuu vuoden 2013 syksyyn. Järjestimme juuri Saksassa ensimmäisen Euroopan hydrologisen foorumin, jonka aihe oli hydrologisten seurantajärjestelmien suunnittelu ja kehittäminen!

YHTEENVETO

Tutkimus kohdistui Suomen valtakunnallisen hydrometrisen seurantaverkon kehittämiseen. Verkko koostuu vesistöjen vedenkorkeus- ja virtaama-aseamista ja sen koordinoinnista vastaa nykyisin Suomen ympäristökeskuksessa toimiva hydrologinen organisaatio. Tutkimusohjelma käynnistyi vuonna 1991, jolloin verkko käsitti 721 asemaa. Niistä 381 mittasi vedenkorkeutta, 145 virtaamaa ja 195 molempia muuttujia. Verkon koordinoinnista vastaava hallinto rahoitti 320 aseman toiminnan. Muista asemista vastasivat ulkopuoliset vesistöjen käyttäjät kuten vesivoimateollisuus ja vesihuolto-organisaatiot.

Työllä oli kaksi päätavoitetta: (1) seurannan tavoitteiden sekä verkon rakenteen selkeyttäminen ja (2) kustannustehokkuuden parantaminen. Ensimmäinen tavoite johtui pääosin siitä, että valtakunnallisen hydrometrisen seurantaverkon lisäksi Suomessa toimii kolme muuta hydrometristä mittausjärjestelmää. Nämä ovat alueellisten ympäristökeskusten ylläpitämät alueelliset hydrometriset verkot, vesistöjä käyttävien organisaatioiden sektorikohtaiset verkot sekä Suomen ympäristökeskuksen koordinoima valtakunnallinen pienten hydrologisten alueiden verkko. Kustannustehokkuuden parantamisen tavoite aiheutui pitkälti julkisen rahoituksen kiristymisestä; toisaalta nähtiin, että verkon vuosikymmeniä jatkunut kasvu ja puutteellinen koordinaatio erityisesti alueellisen seurannan kanssa antoivat selviä kehittämismahdollisuuksia.

Varsinainen tutkimus jakautui kolmeen osaan. Aluksi määriteltiin tutkittavan verkon rooli osana Suomen hydrometristä seurantajärjestelmää. Samalla kuvattiin eri asematyyppejä avulla ne yleiset ominaisuudet, jotka tämän verkon asemilla tuli olla. Toisessa vaiheessa luotiin säännöstö asemien ryhmittelemiseksi ja tutkittiin, mitkä valtakunnallisen hydrometrisen verkon asemista täyttivät tälle verkolla asetetut uudet kriteerit. Kolmas vaihe kohdistui virtaaman alueellista estimointia palveleviin asemiin, joita ei käsitelty tutkimuksen toisessa vaiheessa. Näitä asemia arvioitiin etupäässä tilastollisten menetelmien avulla. Lopputuloksena oli lähinnä alkuperäistä valtakunnallista hydrometristä verkkoa supistamalla muodostettu uusi verkko. Alkuperäisen verkon supistaminen otettiin työn lähtökohdaksi kahdesta syystä: ensiksi verkon katsottiin käsittävän melko kattavasti valtakunnallisen seurannan kannalta tärkeät kohteet; toiseksi sen tiedettiin sisältävän toisarvoisia kohteita, joita oli mahdollisuus karsia kiristyvässä rahoitustilanteessa.

Heti tutkimuksen alussa tehtiin kauaskantoinen päätös ryhmitellä valtakunnallisen hydrometrisen seurantaverkon havaintoasemat verkon rakenteen analysoimiseksi. Ryhmittelykriteeriksi valittiin seurannan tavoite verkon koordinaattorin näkökulmasta (monitoring objective). Tällä käsitteellä kuvataan minkä tyyppistä informaatiota seuranta tuottaa; loppukäyttäjän käyttötarkoitus (toimiala) ei suoranaisesti vaikuta ryhmittelyyn. Asemat jaettiin seurannan tavoitteen perusteella viiteen ryhmään soveltaen tutkittavaan verkkoon pohjoismaiden kesken käytettyä luokitte-
 lua. Ryhmät olivat: (1) vesitaseasemat (water balance stations), jotka palvelevat suurten ja merkittävien järvien ja vesistöalueiden yleistä seuraintarpeita, (2) alueellisen estimoinnin asemat (spatial estimation stations), joiden avulla voidaan tuottaa virtaaman tilastollisia tunnuslukuja mielivaltaisille pieneköille, säännöstelemättömille valuma-alueille, (3) operatiiviset asemat (operational stations), jotka palvelevat vesistöjen käyttötoiminnan operatiivisia tarpeita, (4) hankeasemat (planning and inventory stations), joita käytetään hankesuunnitteluun tai pienten vesistöjen hydrologisten ominaisuuksien selvittämiseen ja (5) tutkimusasemat (research stations), joita käytetään

tutkimushankkeissa, usein yhdistettynä intensiiviseen mittausohjelmaan.

Edellä kuvattu ryhmittely oli hyvä seurantaverkon sisäisen rakenteen kuvaaja, mutta sillä oli tärkeä lisäarvo hydrometrisen seurantajärjestelmän eri verkkojen profiloinnissa. Ne ominaisuudet, jotka kuvasivat tuotettavan hydrometrisen informaation laatua, osoittautuivat hyväksi kriteereiksi määritellä eri seurantaverkkojen rooli. Tämän mukaisesti valtakunnallisen hydrometrisen verkon tehtäviksi määriteltiin suurten järvien ja vesistöjen seuranta sekä virtaaman alueellinen estimointi. Vastaavat asemaryhmät olivat vesitaseasemat, suurten vesistöjen operatiiviset asemat sekä alueellisen estimoinnin asemat. Pienten vesistöjen operatiivisten asemien sekä hankeasemien katsottiin kuuluvan pääsääntöisesti alueellisiin tai sektorikohtaisiin hydrometrisiin verkkoihin. Tutkimusasemien katsottiin puolestaan kuuluvan valtakunnalliseen pienten hydrologisten alueiden verkkoon. Näin muodostunut malli hyväksyttiin jatkotyön lähtökohdaksi eri hydrometrisen verkkojen koordinaattoreiden kesken. Samalla voitiin pitkälti toteuttaa tutkimukselle asetettua tavoitetta, jonka mukaan valtakunnallisen hydrometrisen verkon tavoitteita ja rakennetta tuli selkeyttää.

Tutkimuksen ensimmäiseen vaiheeseen liittyi vielä täydentävä osa, jossa seurannan tietotarpeita lähestyttiin loppukäyttäjien näkökulmasta. Käyttäjien tarpeet (user needs, monitoring purposes) ryhmiteltiin 14 toiminnan kesken ja niille arvioitiin tarvittavan tiedon volyyymiin verrannolliset painot. Edelleen arvioitiin, millä seurantakäytännöllä (monitoring practice) eri tietotarpeet voitaisiin parhaiten tyydyttää. Kolmelle vaihtoehdoiselle tiedon tuottamistavalle (pitkäaikainen seuranta, lyhytaikainen seuranta, simulointi valuntamalleilla) määriteltiin käyttötarpeittain tämän mukaiset painot. Arviot yhdistettiin stokastisella simuloinnilla, joka tuotti todennäköisyysjakaumat eri seurantakäytäntöjen kokonaistarpeesta. Optimijakaumaksi koko hydrometrisen seurantajärjestelmän tasolla saatiin seuraavat osuudet: pitkäaikainen seuranta 41 %, lyhytaikainen seuranta 31 %, simulointi valuntamalleilla 28 %. Arviointeihin liittyvistä epävarmuustekijöistä

huolimatta tulos osoitti kiistatta, että sekä molemmilla varsinaisilla kenttämittauskäytännöillä että mallisimuloinnilla on erittäin tärkeä osa hydrometrisen tiedon tuottamisessa. Nykyinen seurantakäytäntö rakentuu tuloksen perusteella liikaa pitkäaikaisen seurannan varaan eikä hyödynnä riittävästi muita mahdollisuuksia.

Kun säännöstö asemien ryhmittelemiseksi viiteen luokkaan seurannan tavoitteen perusteella oli luotu, sitä sovellettiin tutkittavaan verkkoon. Tulos oli, että tiukasti säännöstöä soveltamalla ainoastaan 419 asemaa 721:stä täytti valtakunnalliselle verkolle määritellyt uudet kriteerit. Kun jokaisen aseman osuutta vielä arvioitiin erikseen, päädyttiin tulevan valtakunnallisen verkon pohjaan, joka muodostui 400 asemasta. Tyypiltään asemat edustivat vesitaseasemia (170), alueellisen estimoinnin asemia (81) ja operatiivisia asemia (149). Näin verkon rakenne heijasti uusia valtakunnalliselle verkolle määriteltyjä tehtäviä. Ylivoimaisesti suurin ”hylättyjen” asemien ryhmä koostui 254:stä operatiivisesta asemasta, jotka sijaitsivat joko uomissa tai pienissä järvissä. Miltei kaikki nämä asemat jatkavat kuitenkin toimintaansa valtakunnallisen seurannan ulkopuolella. Toisen merkittävän ryhmän muodostivat 41 hankeasemaa, jotka joko lakkautettiin tai siirrettiin alueellisen seurannan piiriin. Valtakunnalliseen hydrometrisen verkkoon ei kuulunut yhtään varsinaista tutkimusasemaa.

Tutkimuksen kolmannessa vaiheessa käsiteltiin alueellisen estimoinnin asemia, joita oli 81. Tähän ryhmään sovellettiin kahta hydrologisten verkkojen suunnitteluun soveltuvaa tilastollista menetelmää: klusterianalyysia ja NAUGLS-menetelmää (Network Analysis Using Generalised Least Squares). Edellisessä menetelmässä lasketaan valittujen virtaaman tunnuslukujen korrelaatioita asemien välillä. Hyvin keskenään korreloivat kohteet muodostavat klustereita, joiden asemista osa voidaan samankaltaisuuden perusteella poistaa verkosta. NAUGLS on kehitetty erityisesti hydrologisten verkkojen suunnitteluun ja sen tavoite on maksimoida verkon alueellinen estimointikyky taloudellisten ja toiminnallisten reunaehto-
 jien puitteissa. Käytännössä tämä tapahtuu vertaamalla

eri asemakombinaatioiden kykyä estimoida valittuja virtaaman tunnuslukuja painotetulla regressiotekniikalla. NAUGLS ryhmittelee tarkasteltavat asemat paremmuusjärjestykseen niiden ennustevirheen jäännösvarianssin perusteella.

Tilastolliset testit kohdistettiin ainoastaan 40–50:een alueellisen estimoinnin asemaan. Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin kaksi ryhmää: uudet asemat, joiden virtaaman aikasarja oli testaamisen kannalta liian lyhyt sekä Pohjois-Suomessa sijaitsevat asemat, joiden lukumäärä oli niin pieni, että alueellisen estimoinnin asemien vähentämistä ei haluttu edes harkita. Teoriassa tilastolliset testit olisivat suosineet molempia asemaryhmiä niiden uutuuden tai ”harvinaisuuden” perusteella.

Klusterianalyyseissä testattiin neljää virtaaman tunnuslukua: keskivirtaamaa, vuosittaista keskiylivirtaamaa, vuosittaista keskialivirtaamaa sekä kolmen edellisen arvon kombinaatiota, jossa kaikilla tekijöillä oli sama paino. Tutkittava alue (Etelä- ja Keski-Suomi) jaettiin testattavien asemien suuren lukumäärän (50) vuoksi kolmeen osaan, joihin analyysiä sovellettiin itsenäisesti. Yleinen tulos oli odotetusti se, että alhaisimmat korrelaatiotasot muodostuivat alivirtaamien kesken. Kolme muuta tunnuslukua tuottivat keskenään likimain saman tasoisia korrelaatioita. Asemien karsintaan potentiaalinen klusteri määriteltiin niin, että siinä on kaikissa neljässä osatestissä sama asemakombinaatio ja että klusteri muodostuu vähintään korrelaatiotasolla $r = 0,50$ alivirtaamatestissä ja $r = 0,75$ kolmessa muussa testissä. Tämän mukaisia klustereita muodostui 12 ja niissä oli yhteensä 30 asemaa.

NAUGLS-analyysi oli vielä laajempi. Siinä testattiin seitsemää virtaaman tunnuslukua, jotka olivat: keskivirtaama, kevään keskiylivirtaama, kevätylivirtaama 1/20 (toistumisaika 20 vuotta), talven keskialivirtaama, talvialivirtaama 1/20, kesän keskialivirtaama ja kesäalivirtaama 1/20. NAUGLS-prosessin aikana tutkittiin kaikkiaan 78 asemaa, joista 49 oli potentiaalisella toimenpidealueella sijaitsevia alueellisen estimoinnin asemia. Laaja koejärjestely johtui siitä, että menetelmä antaa paljon tietoja testattavista asemista ja tätä

ominaisuutta haluttiin käyttää hyväksi. Kuten edellä on todettu, NAUGLS järjestää asemat paremmuusjärjestykseen kriteerinä ennustevirheen jäännösvarianssi annetun verkon toimintajakson päätyttyä. Kaikissa seitsemässä virtaaman tunnusluvun mukaisessa testissä tutkittiin kahta toimintajaksoa: viisi ja 10 vuotta. Jakson pituudella ei todettu olevan juuri lainkaan vaikutusta asemien paremmuuteen; jäännösvarianssi kylläkin pieneni selvästi jakson pitenemisen johdosta. Myös keskiääriarvojen ja 1/20-ääriarvojen parittaisissa vertailuissa asemien paremmuus säilyi kutakuinkin samana: yli 10 sijaluvun muutokset paremmuusjärjestyksessä olivat poikkeuksia. Vieläkin yleisemmin voitiin todeta, että asemat saivat keskimääräisen ”hyvyysarvon”, joka heijasteli hyvin kaikkien testien linjaa. Tulos johtui pitkälti siitä, että NAUGLS antaa parhaan potentiaalisen asemille, joilla on suhteellisen lyhyt aikasarja ja joiden sijainti on edustava.

Tilastollisten testien pohjalta laadittiin päätöksänsäntöt alueellisen estimoinnin asemien karsimiselle. Testitulosten lisäksi otettiin huomioon kaksi tekijää: asemien käyttö muihin tarkoituksiin kuin virtaaman alueelliseen estimointiin sekä asemien hydraulisista ominaisuuksista aiheutuva virtaaman mittauksen epätarkkuus. Tarkkuusnäkökulma nousi tärkeäksi verkon rakenteellisen analyysin myötä: alueellisen estimoinnin asemat muodostavat eräänlaisen ”kalibrointijärjestelmän” ja tämä rooli edellyttää mahdollisimman korkealaatuista tiedon tuotantoa. Päätöksänsäntöjen mukaan toimintaansa jatkamaan hyväksyttiin ne asemat, joilla oli hyvä tai tyydyttävä NAUGLS-analyysin hyvyysarvo tai joilla oli alueellisen estimoinnin lisäksi muita merkittäviä käyttötarkoituksia. Klusterianalyysin tulos otettiin edelleen huomioon niin, että jokaisesta klusterista tuli olla mukana ainakin yksi asema ja kaikki klustereiden ulkopuoliset asemat hyväksyttiin niiden ”omaleimaisuuden” perusteella. Kuuden aseman tietotuotannossa todettiin selviä laadullisia puutteita ja niiden toiminta päätettiin lopettaa. Lopputulos oli se, että 81:stä alueellisen estimoinnin asemasta päätettiin lakkauttaa eri perustein 10.

Tutkimuksen kuluessa valtakunnallista hydrometristä seurantaverkkoa täydennettiin kahdeksalla asemalla,

joista verkkoa koordinoiva hallinto rahoitti yhden. Koko prosessin tuloksena muodostui uusi seurantaverkko, jossa oli 398 asemaa. Sen vuosittaisten kokonaiskustannusten laskettiin olevan 5,2 milj. mk (Suomen ympäristökeskuksen ja alueellisten ympäristökeskusten suorat ja välilliset kulut vuoden 1996 hintatasossa). Alkuperäisen verkon vastaavat kulut olivat 7,7 milj. mk, joten kustannukset alenivat 32,5 %. Uuden ja alkuperäisen verkon alueellista kattavuutta verrattaessa todettiin, että järvien vedenkorkeuden seurannassa verkon kattama järvipinta-ala väheni ainoastaan 2–3 %. Tämä johtui siitä, että valtakunnallisen seurannan piiristä poistui vain pieniä järviä. Virtaaman seurannassa verkon kattama valuma-alue väheni vastaavasti vain noin 2 %.

Tutkimuksen katsottiin saavuttaneen hyvin sille asetetut päätavoitteet. Valtakunnallisen hydrometrisen seurantaverkon rakennetta pystyttiin selkeyttämään ja seurannan tavoitteet voitiin määritellä tulevaa toimintaa ajatellen. Samalla luotiin aikaisempaa selkeämpi työnjako valtakunnallisen ja alueellisen seurannan kesken. Kustannustehokkuus parantui selvästi; vaikka virallisia tavoitteita ei asetettu, tulos oli odotettua parempi.

On tärkeää, että hydrometrisen seurannan tarpeita ja tavoitteita arvioidaan myös tulevaisuudessa. Jatkuvuus on seurannassa tärkeää, mutta muuttuva toimintaympäristö ja uudet mahdollisuudet antavat varmasti aiheen tarkistaa nyt tehtyjä ratkaisuja. Myös arvioita eri seurantakäytäntöjen ja mallitekniikan soveltamisesta voidaan epäilemättä kehittää. Kun virtaaman alueellisen estimoinnin asemien toiminta-aika kasvaa, tilastollisten tarkastelujen piiriin voidaan sisällyttää uusia kohteita. Valtakunnallista hydrometristä seurantaverkkoa on todennäköisesti vielä syytä täydentää hieman suurehkojen järvien ja valuma-alueiden osalta. Hydrometrian suuret tulevaisuuden haasteet liittyvät koko ympäristöntutkimuksen kenttään, missä eri tieteenalojen yhteistyötä vaaditaan maailman suurten vesi- ja ympäristöongelmien ratkaisuisissa.

Bacterial and viral dynamics in microbial food webs of planktonic ecosystems

9.12.1998

Helsingin yliopisto, Yleisen mikrobiologian laitos

Vastaväittäjä: Prof. Morten Søndergaard Kööpenhaminan yliopistosta



Väitöskirjatyöni koostui Timo Tammisen PELAG-ryhmässä tehdystä tutkimuksesta. Väitöskirjan aihe löytyi gradu-työtäni viimeistellessä. Olin tutustunut Timon PELAG-ryhmäläisiin Toärminnessä ja siellä ollessamme Timo kyseli josko minua kiinnostaisi selvittää virusten merkitystä planktonekosysteemissä. Kiinnostihan se ilman muuta. Ohjaaja työlle löytyi Norjasta: Gunnar Bratbak oli ensimmäinen, joka julkaisi artikkelin virusten esiintymisestä vesiekosysteemissä. Gunnarin lisäksi tein tiiviisti töitä myös Mikal Heldalin kanssa.

Timon ryhmässä sai työskennellä mukavien ja inostavien tutkijoiden joukossa. Töitä tehtiin kesäisin Toärminnen eläintieteellisellä asemalla. Työntäyteiset kenttäjaksot sujuivat näytteenoton, laboratoriotyön ja tulosten analysoinnin parissa jalkapalloilua, saunomista ja illanviettoja unohtamatta. Välillä kävin hakemassa vauhtia tutkimustyöhön Norjasta Mikalin ja Gunnarin luota.

Väitökseni pidettiin Helsingin yliopistolla Viikin kampuksella. Laitokseltamme ei tainnut silloin vielä juurikaan valmistua tai väitellä erityisesti ympäristömikrobiologiaan erikoistuneita tutkijoita. Mirja Salkinoja-Salonen oli aikaisempina opiskeluvuosinani tehnyt minuun suuren vaikutuksen ja kiinnostukseni ympäristömikrobiologiaan kasvoi Mirjan opissa. Väitöstilaisuudessa kustoksena toimi silloinen professori Timo Korhonen ja vastaväittäjänä Morten Søndergaard Kööpenhaminan yliopistosta.

Väitöskirjatyön jälkeen siirryin vesitutkimuksesta maalle: toimin tutkijana Kirsten Jørgensenin ryhmässä SYKEN laboratorioyksikössä Hakuninmaalla, jossa tutkimme öljyhilivedyillä pilaantuneen maaperän luontaista puhdistumista. Vuonna 2004 jätin tutkijan työt ja siirryin ympäristöalan konsultointiyhtiöseen Golder Associates Oy:hyn. Työni käsitti aluksi pääasiassa pilaantuneen maaperän ja pohjaveden tutkimuksia ja kunnostussuunnittelua, erityisesti ns. *in situ* -menetelmiä käyttäen. Myöhemmin olen ilokseni saanut palata välillä vesillekin erilaisissa sedimenttejä koskeissa hankkeissa. Tutkija-

taustani on mahdollistanut mitä erilaisimpia hankkeita haitta-aineiden hajottamisesta nanoraudan avulla kaliooperän geokemiallisiin prosesseihin. Kaikki mitä opin ja mistä sain kokemusta tutkijana, on osoittautunut erittäin käyttökelpoiseksi nykyisessä työssäni.

ABSTRACT

The effect of increased nutrient loading on bacterial and viral dynamics in planktonic ecosystems was studied using a small-scale (5 l) experiment with amino acid and phosphorus additions, and using a large-scale (50 m³) experiment with nutrient (N, P) and sucrose enrichments. Furthermore, bacterio- and viroplankton dynamics was followed in the Gulf of Finland and in a meromictic lake in Norway. During the study in the Gulf of Finland, two methods to estimate bacterial production, tritiated thymidine incorporation rate (TTI) and frequency of dividing cells (FDC), were compared. TTI was transformed to cell production rate using empirical conversion factors derived from batch cultures of marine bacterial assemblages. Using data from the same cultures, FDC was related to observed bacterial growth rates. Conversion factors for TTI varied largely, which was partly due to the different methods used to calculate the factor. Viral lysis of bacteria may have reduced the cell densities in the batch cultures, and affected the conversion factors. FDC was not found to correlate with bacterial growth rates in batch cultures, and when applied to a field study in the Gulf of Finland this method resulted in higher bacterial production estimates than TTI method. In the large-scale mesocosm experiment in 1993, bacterial mortality due to viral infection was estimated using the decay rate of virus particles as the virus production rate, and the

fraction of bacteria that contained mature virus particles. During the experiment, virus-induced mortality ranged from 8 to 808% (average 239%) or from <0.2 to 13% (average 7.5%) of total bacterial loss when using the decay rates or fraction of infected cells, respectively. Due to these large differences between the methods it was not possible to conclude how large fraction of bacteria were lysed by viruses in this experiment. In the nutrient enrichment experiments sucrose and amino acid addition stimulated bacterial growth. These manipulations also increased virus particle production. Virus multiplication was not found to be stimulated by nutrient (N, P) enrichments. In the large-scale nutrient enrichment experiment in 1993, as well as in the Gulf of Finland in spring 1994, the carbon fixed by blooming phytoplankton was channelled mostly elsewhere than to bacteria. In 1994, a relatively greater material flux through the bacteria took place in summer and late summer when compared to spring. During the growth season of 1994 in the productive water layer, bacterial carbon production was estimated to be 40% of net primary production. Thus, annually pelagic bacteria may process most of the carbon fixed by phytoplankton. High bacterial production when compared to primary production could be explained also by significant input of allochthonous carbon or recycling of carbon several times through bacteria. The dynamics of single bacterial strains was studied in a meromictic lake in Norway. Ten different bacterial strains were isolated and their abundances followed using polyclonal antibodies for immunostaining. These bacterial strains were found during 1 to 3 week periods in two consecutive springs, which indicates that bacterioplankton may experience an annual species succession comparable to that of phytoplankton. Both viruses and protistan grazers could be responsible for the disappearance of the strains that were followed.

Integrated models for the assessment of air pollution control requirements

21.5.1999

Teknillinen korkeakoulu, Teknillisen fysiikan ja matematiikan osasto

Vastaväittäjä: Prof. Leen Hordijk, Ympäristön- ja ilmastotutkimuslaitos, Wageningenin maatalousyliopisto, Wageningen, Alankomaat

Palattuani puolen vuoden ulkomaan harjoittelusta aloitin itsenäisyyspäivän jälkeen vuonna 1987 työskentelyn kaukokulkeutuvien ilmansaasteiden vaikutusten mallintamisen parissa. Happamoitumisprojektissa alkaneiden julkaisujen myötä aihepiiri laajeni kriittisiin kuormituksiin ja ilmansaasteiden kokonaismallinnukseen, jotka liittyivät läheisesti päätöksentekoon kansainvälisen ilmansaasteiden kaukokulkeumasopimuksen alla (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution). Ne muodostivat selkärangan väitöskirjassani.

Vuonna 1999 seisoin puolustamassa koottuja teesejäni Teknillisen korkeakoulun luentosalissa F1, jonka penkeillä olin aloittanut opintoni. Vastaväittäjäkseni oli valittu Leen Hordijk, joka oli ollut kehittämässä ilmansaasteiden RAINS-kokonaismallia sen alkuvaiheissa IIASA-tutkimuslaitoksessa (International Institute for Applied Systems Analysis). Kahden tunnin jälkeen Leen näytti vihreää valoa, valvoijani professori Rainer Salomaa hymyili tyytyväisenä, ja väittelijän kannalta se väitöksen viihteellisempi osio saattoi alkaa.

Väitöksen jälkeen mallinsin IIASA:ssa Itävallassa reilun vuoden ajan pienhiukkasten terveysvaikutuksia; saatoin soveltaa menetelmäosaamistani kansainvälisesti uudessa ja haasteellisessa aiheessa. Sovitimme pienhiukkaset myös SYKEN mallikehikkoon, jossa myös kehitimme päästöjen alueellista laskentaa ja jota sovelsimme mm. elinkaarianalyysiin. Vuonna 2003 siirryin työskentelemään Geneveen Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan talouskomissioon (United Nations Economic Commission for Europe) kaukokulkeuma-sopimuksen sihteeristöön, jonka prosesseihin liittyen tutkimustyöni oli alkanut 16 vuotta aiemmin. Vuonna 2010 siirryin ECE:n esikuntaan ohjelmasuunnittelu-, seuranta- ja arviointitehtäviin: tässä oli eräänlainen taitekohta (tai piste) sille ilmansaasteisiin liittyvälle tutkimukselliselle uralle, jonka parissa olin viettänyt täyspäiväisesti lähes neljännesvuosisadan.

LECTIO PRAECURSORIA

Yhdennetyt mallit ilmansaasteiden päästörajoitusvaatimusten arvioinnissa

Ilmansaasteet ovat merkittävä ongelma ihmisten terveydelle ja elinympäristön laadulle useissa maissa. Ihmisen toiminta on voimakkuudessaan ja laajuudessaan johtanut tilanteisiin, joissa ilmaan pääsee lyhyessä ajassa runsaasti epäpuhtauksia. Esimerkkinä tästä on fossiilisten polttoaineiden tehokas käyttö. Kun näitä ihmisperäisiä päästöjä on paljon, voivat ne vaikuttaa haitallisesti suoraan ympäristöön. Myös pienemmät epäpuhtauksien altistukset ja kuormitukset voivat pitkän aikaa kestäessään johtaa haitallisiin seuraamuksiin.

Ilmansaasteiden haitallisia vaikutuksia voidaan välttää esimerkiksi laimentamalla epäpuhtauksia alhaisiin pitoisuuksiin. Tähän päästään rakentamalla korkeita piippuja, jolloin epäpuhtaudet kulkeutuvat ilmavirtausten mukana laajoille alueille. Tämä muutoin kätevä tempu johtaa siihen, että paikallinen ilmansaasteongelma voi muuttua kansainväliseksi kysymykseksi. Kaukana päästölähteestä voi sijaita herkkiä kohteita, joilla laimentunutkin epäpuhtauksien kuormitus on liiallista. Noin kolmekymmentä vuotta sitten havaittiin Norjan joissa kalakuolemia. Niiden osoitettiin merkittävässä määrin johtuvan Iso-Britannian rikkiyhdisteiden päästöstä ja niiden kaukokulkeuman aiheuttamasta happamoittavasta kuormituksesta Norjassa.

Happamoituminen onkin viime vuosikymmeninä ollut vakava ympäristöongelma Euroopassa ja

Pohjois-Amerikassa. Metsä- ja järviökosysteemien seurannalla on havaittu kemiallisia muutoksia, joita pelkät ilmastolliset ja muut luontaiset vaihtelut eivät ole täysin pystyneet selittämään. Metsämaiden osalta Euroopassa havahduttiin metsäkuolemiin pari vuosikymmentä sitten. Niitä selittämään laadittiin erilaisia selitysehdotuksia, joiden joko yksinään tai yhdessä oletettiin olevan perussy syy muutoksiin. Tällä hetkellä vahvimmat selitykset liittyvät ilmastovaihtelujen aiheuttamiin muutoksiin ja pitkään jatkuneeseen ihmisperäiseen happamoittavan laskeumaan. Erityisesti rikkipäästöjen aiheuttama kuormitus on huuh-tonut pintamaasta ravinteita, jotka eivät sen jälkeen ole enää kasvuston käytössä eivätkä neutraloimassa happamoittavaa laskeumaa. Rikkipäästöjen lisäksi typenoksidien ja ammoniakityypen päästöt osallistuvat osaltaan happamoitumiseen. Useat toiminnot aiheuttavat näitä päästöjä, erityisesti polttoaineiden käyttö voimantuotannossa ja teollisuudessa, liikenne ja eläinten lanta.

Happamoittavan rikin ja typen yhdisteiden päästöt ovat yleisesti laskeneet 1970-luvun puolivälin jälkeen. Valtiot ovat keränneet tietoja alueellaan olevista päästöistä ja raportoineet ne kansainvälisille organisaatioille. Rikkipäästöt kokonaisuudessaan ovat vähentyneet Euroopan alueella noin puoleen vuodesta 1980 lähtien. Suomen omien rikkipäästöjen vähentäminen on ollut tätäkin voimakkaampaa. Typen osalta sekä päästöjen että laskeumien kehitys on ollut selvästi tasaisempaa. Euroopassa rikkiä laskeutuu mallitarkastelujen perusteella omia päästömääriä vähemmän; rikki näyttää siis kuuluvan Euroopan vientituotteisiin. Suomi sen sijaan on rikin nettotuojia. Tämä johtaa siihen, että on Suomen edun mukaista edistää voimakkaasti kansainvälisiä päästöjä vähentäviä toimia.

Euroopassa keskeinen järjestö päästövähennysneuvotteluissa on ollut Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio. Se on antanut tukeaan myös kaukokulkeumasopimukselle. Kaukokulkeumasopimukseen perusosa allekirjoitettiin vuonna 1979, ja siihen kuuluu Euroopan maiden lisäksi Kanada ja Yhdysvallat. Kaukokulkeumasopimuksella on laaja organisaatio, joka kokoaa päästöjä, kulkeutumista ja vaikutuksia koskevaa tietoa päätöksenteon tueksi. Viime vuosina Euroopan unionin vaikutus päästöjen tarkkailussa ja raportoinnissa on kasvanut voimakkaasti.

Tällä hetkellä käynnissä olevat neuvottelut happamoitavien päästöjen vähennyksistä keskittyvät erityisesti typen yhdisteiden vähentämistarpeeseen. Keskusteluja käydään sekä kaukokulkeumasopimuksen että Euroopan unionin piirissä. Tarkasteluissa on mukana happamoitumisen lisäksi sekä typen rehevöittävä vaikutus että alilmakehän otsonin, jota muodostuu typenoksideista ja haihtuvista orgaanisista yhdisteistä. Tuloksena on erittäin monimutkainen kokonaisuus, kun käsiteltävänä on useita epäpuhtauksia ja useita haitallisia vaikutuksia.

Kuinka monimutkaista järjestelmää ja päästöjen vähentämistarpeita voidaan tarkastella? Kansainvälisesti on yleensä aluksi sovittu haitallisten aineiden tasapäästövähennyksistä. Siinä kukin maa vähentää esimerkiksi 30 % rikin kokonaispäästöistään, kuten oli laita vuoden 1985 ensimmäisessä rikkipöytäkirjassa. Jos vaikutusten perusteella näytetään tarvittavan lisää vähennyksiä, on syytä ottaa huomioon sekä maksettavaksi tulevat kustannukset että saavutetut ympäristöhyödyt eri maissa. On myös mahdollista sopia etukäteen siitä suojelutasosta, joka halutaan saavuttaa. Sitten tutkitaan, missä voidaan tehdä suurimmat päästövähennykset kaikkein edullisimmin. Tällöin päästään niisanottuihin vaikutuslähtökohtaisiin päästövähennystarkasteluihin. Tätä lähestymistapaa käytettiin ensimmäistä kertaa, kun neuvoteltiin rikkipäästöjen lisävähennyksistä kaukokulkeumasopimuksen piirissä. Vuonna 1994 solmittiin toinen rikkipöytäkirja, jonka avulla Euroopassa pienennetään kriittisen kuormituksen ylityksiä puoleen nykyisestä. Myös Suomessa tehtiin sekä tarkistustyötä että omia kansallisia laskelmia

neuvottelujen taustaksi. Osana tätäkin työtä laadittiin useita eri osatekijöitä kuvaavia kokonaismalleja, joilla koko ketju päästöistä ilmakehän kulkeutumisen kautta vaikutuksiin pystyttiin hallitsemaan.

Näitä suuria kokonaisuuksia käsitteleviä mallijärjestelmiä on kehitetty edelleen uusiin tarpeisiin. Edellä mainittu kriittisen kuormituksen käsite on hyvin keskeinen tavoite päästövähennyksiä arvioitaessa. Kriittisellä kuormituksella tarkoitetaan sitä epäpuhtauksien aiheuttamaa kuormitusta, jonka ekosysteemi kestää pitkällä aikavälillä ilman haittavaikutusten esiintymistä. On selvää, että etukäteen on määriteltävä, millaiset kemialliset ja muut muutokset ovat haitallisia nykytietämyksen mukaan. Euroopassa on pystytty sopimaan yhteisistä menetelmistä ja aineistoista, joilla kriittisten kuormitusten arvot lasketaan ja kuvataan karttoina. Näin menetellen päästöjen vähennyksestä neuvottelemisen on helpompaa, kun tavoitellaan samanlaisia ympäristöhyötyjä kaikkialla. Ja vaikka lopulliset tavoitteet osoittautuisivatkin liian kunnianhimoisiksi monien epävarmuustekijöiden vuoksi, niin suhteellisetkin parannukset hyödyttävät kaikkia. Tämä yhteistoiminta on tärkeää, sillä kustannukset kasvavat huomattavasti päästöjä edelleen pienennettäessä. Arviot nyt neuvoteltavissa olevista päästövähennyskustannuksista Euroopassa liikkuvat kymmenissä miljardeissa euroissa vuosittain. Yksi euro on noin kuusi markkaa.

Kriittisten kuormitusten avulla voidaan tarkastella, kuinka hyvin on pystytty vähentämään haitallisten vaikutusten riskiä. Suomessa rikin aiheuttaman happamoittavan laskeuman kriittinen kuormitus oli suurimmillaan kaksikymmentä vuotta sitten mallitarkastelujen perusteella. Tuolloin kriittinen kuormitus ylittyi neljänneksellä maamme metsämaiden ja järvien pinta-alasta. Tähän hetkeen mennessä se on laskenut merkittävästi. Odotettavissa olevat päästövähennykset sekä niihin osaltaan vaikuttava maiden oma ja Euroopan unionin lainsäädäntö johtaa yhä pieneneviin kriittisten kuormitusten ylitykseen. Vaikka käyttöön otettaisiin nykyisin parhaat mahdolliset tekniset vähentämiskeinot, ei silti päästäisi kaikkialla alle rikin kriittisten kuormitusten. Lisäksi on muistettava, että

myös typen yhdisteet osaltaan aiheuttavat happamointumista, erityisesti alueilla, joissa typpi ei enää pysty sitoutumaan kasvustoon eikä maaperään.

Kuinka tähän myönteiseen kehitykseen on päästy? Koko kansainvälisen neuvottelukoneiston ensisijainen ajava voima on halu parantaa elinympäristöämme ja suojella sitä haitallisilta vaikutuksilta. Nykyaikaisin tietokonemallein on pystytty hallitsemaan valtavaa tietoaainestoa. Malleilla on voitu kuvata erilaisia kehityskulkuja tulevaisuudessa, lähtien erilaisista ratkaisuista vähentää epäpuhtauksien päästöjä. Koko tämän tutkimustyön aikana on luotu ja ylläpidetty yhteyksiä päätöksentekijöihin, jotka viime kädessä joutuvat tekemään poliittisia ratkaisuja. Kanssakäyminen ei aina ole helppoa. Tarkasteltavista epäpuhtauksista ja vaikutuksista on oltava riittävästi tietoa. Teknisten tulosten ja joskus vaikeaselitteisten epävarmuuksien tulkitseminen käytännön toimien tasolle vaatii aikaa ja kärsivällisyyttä molemmilta osapuolilta. Yhdennetyt arviointimallit ovat osoittautuneet käyttökelpoisiksi työkaluiksi, kun eri tieteenalojen ja päätöksentekokoneiston edustajat pohtivat yhdessä parhaita tapoja ilmansaasteiden haittavaikutusten säätelemiseksi.

Myönteinen kehitys ei kuitenkaan saa herpaannuttaa tutkijoita eikä päätöksentekijöitä jatkuvasta työstä. Edessä on vielä suuria haasteita. Tekniset kysymykset koskevat päästövähennysten tarkoituksenmukaista ajoittamista, epävarmuuksien tulkitsemista, yksittäisten ja kokonaismallien todentamista sekä typen vaikutuksen tarkempaa kuvausta. Arviointeihin ja päätöksentekoon liittyvää kanssakäymistä on tutkittava ja on etsittävä myös uudenlaisia neuvottelukeinoja yhteisten tavoitteiden saavuttamiseksi. Kehitys kulkee kohti yhä kansainvälisempää ja monitieteisempää yhteistyötä, jossa päätöksentekijöiden tietotarpeet korostuvat.



Microbiological indicators of soil pollution in boreal forest ecosystems with special reference to the soil respiration of the humus layer

11.6.1999

Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos
Vastaväittäjä: Rauni Ohtonen, Department of Ecological and Environmental Sciences, University of Helsinki, Lahti

LECTIO PRAECURSORIA

Tulin vesi- ja ympäristöhallituksen Hakuninmaan laboratorioon pystyttämään maaperämikrobiologista tutkimusta ympäristön yhdenneksen seurannan puitteissa. Tarkoituksena oli löytää mikrobiologisia menetelmiä ympäristön tilan seurantaan varten. Testasin erilaisia mittausmenetelmiä raskasmetalleille ja happamoittavalle laskeumalle altistuneissa maissa ja arvioin menetelmien luotettavuutta ja käytettävyyttä. Työn edetessä havahduin siihen, että aineistoa oli kertynyt riittävästi väitöskirjaa varten, minkä sitten sainkin puserrettua kasaan esimiesten tuella ja kannustavien työtovereiden avustuksella.

Väitöstilaisuus pidettiin aurinkoisena kesäpäivänä 11.6.1999 Helsingin yliopiston päärakennuksen Auditoriumissa XIV. Vastaväittäjänä toimi Rauni Ohtonen ja kustoksena Pekka Kauppi. Väitöstilaisuudesta on jäänyt mukava muisto muutenkin kuin ajan kultaavasta vaikutuksesta johtuen. Vastaväittäjä ei keskittynyt liikaa yksityiskohtiin ja sai mielestäni pidettyä yllä luultavasti yleisöäkin kiinnostanutta akateemista keskustelua.

Väitöskaronka vietettiin suureholla joukolla SYKEN ruokalassa, josta siirryttiin myöhemmin jatkoille Tervopääskyyn. Omasta mielestäni juhlat olivat onnistuneet ja hauskat, kuten väitöskaronkat tapaavatkin olla. Mieleeni on jäänyt erityisesti hetki, kun lähdin SYKEstä kohti kotia aamuauringon paistaessa. Olo oli kepeä, olihan väitös kunnialla takana ja kesäloma edessä.

Herra Kustos, Arvoisa vastaväittäjä, Hyvät läsnäolijat

Metsien kunnan havaittiin heikentyneen laajoilla alueilla Keski-Euroopassa 1970-luvun lopussa. Metsätuhoille tyypillisiä merkkejä olivat puiden lehtimassan vähentyminen eli harsuuntuminen ja sitä edeltävät latvuksen värioireet. Kaukokulkeutuneet ilman epäpuhtaudet yhdistettiin oireiden syntyyn. Tämä kehitys aiheutti huolestumista myös Suomessa, luetaanhan meillä metsätalouden piiriin kuuluvaksi 26 milj. hehtaaria, eli 86 % maa-alasta.

Eri hypoteesit metsävaurioiden syistä korostivat joko happaman laskeuman ja maaperän liukoisen alumiinin, kaasumaisten epäpuhtauksien, typpilaskeuman tai ravinnepuutosten merkitystä tuhojen aiheuttajana. Myöhemmin on painotettu metsävaurioiden kompleksista luonnetta, jossa ilman epäpuhtauksien vaikutukset kytkeytyvät ilmastollisiin tekijöihin, paikallisiin kasvuoloihin, bioottisiin ja abioottisiin tuhoihin ja metsien käytön historiaan.

Huoli sairastuvista ja kuolevista metsistä käynnisti useissa Euroopan maissa 1980-luvulla metsien terveydentilan tutkimus- ja seurantaohjelmia, joissa havainnoitiin metsätuhoja indikoivia puuston oirei-

ta. Näiden ohjelmien puitteissa tehty tutkimus on osoittanut, että pahimmat uhkakuvat sairastuvista ja kuolevista metsistä eivät onneksi ole toteutuneet. Nykyään pitkäkestoisia seurantaohjelmia voidaan hyödyntää saastumisen vaikutusten tutkimisen lisäksi myös saastekuormituksen vähenemisen vaikutusten havainnointiin. Haitallisten aineiden päästöjä ilmakehään pyritään vähentämään kansainvälisin sopimuksin. Sopimustavoitteisiin pääsy vaatii teollisuudelta usein huomattavia investointeja puhdistustekniikkaan ja tuotantomenetelmien muuttamiseen vähemmän päästöjä aiheuttaviksi. Kalliiksi tulevia päästörajoituksia on helppo perustella, jos voidaan selvästi osoittaa, miten vähentynyt saastekuormitus on parantanut ympäristön tilaa. Voidaan sanoa, että ympäristön seurannan tuottama tieto on yksi ympäristöpoliittisen päätöksenteon keskeisistä edellytyksistä.

Ympäristövaikutusten seurannalla tarkoitetaan fyysikaalisten, kemiallisten ja biologisten muuttujien säännöllisesti toistuvaa havainnointia. Tavoitteena on erottaa ihmisen aiheuttamat muutokset luontaisista muutoksista ja selvittää niiden suuntaa, nopeutta ja laajuutta. Metsäekosysteemi ei ole staattinen ja muuttumaton, vaan sen ominaisuudet muuttuvat metsikön kehityksen myötä. Näin ollen tutkijan on vaikea erottaa

pitkällä aikavälillä tapahtuvat luontaiset muutokset ihmistoiminnan aiheuttamista muutoksista.

Ympäristön tilan seurantaohjelmiin on haluttu sisällyttää kemiallisten ja fysikaalisten seurantamuuttujien lisäksi myös biologisia indikaattoreita.

Yleensä uimarannalla aurinkoa ottavat henkilöt tai perhekunnat pyrkivät jakautumaan mahdollisimman tasaisesti käytettävissä olevalle ranta-alueelle. Etäisyys vieraisiin ihmisiin pyritään pitämään soveliaan pitkänä. Eräällä ulkomaisella rannalla, havaittiin että auringonottajat olivat kokoontuneet useiden kymmenien henkilöiden tiiviiksi ryhmiksi. Kun tutkittiin syytä tähän erikoiseen käyttäytymiseen, selvisi, että rannalle oli vuotta aikaisemmin ajautunut öljylautta, joka nyt oli peittynyt hiekkakerroksen alle. Kohdissa, joihin ihmiset olivat kerääntyneet, hiekkakerros oli niin paksu, että ihmiset eivät tahrineet itseään öljyyn. Tämä on hyvä esimerkki bioindikaatiosta. Esimerkki osoittaa, että ilmiöiden syy ja seuraussuhteet voivat olla tavattoman moninaisia ja ennalta arvaamattomia. Hyvä biologinen seurantamuuttuja integroi lukuisten ympäristömuuttujien vaikutuksen yhteen ja voi antaa ennakkovaroituksen ekosysteemissä tapahtuvasta muutoksesta, jonka luonnetta ei ole voitu ennalta arvata.

Meitä ympäröivä maailma on jatkuvassa muutostilassa. Esimerkkinä tästä voidaan mainita, että nyt tarkastettavan työn valmistumisaikajaksona maapallon ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on noussut 352 miljoonanosasta 367 miljoonasaan. Myös mikrobiologiset tutkimusmenetelmät kehittyvät ajan kuluessa. Ympäristövaikutusten seuranta pohjautuu pitkään mittauksien aikasarjoihin. Seuranta tutkimuksessa mitattavan muuttujan tulisi olla sikäli ajaton, että tutkimusmenetelmien kehitys ei jättäisi sitä vanhanaikaiseksi. "Keep it simple" on tunnetun jääkiekkovalmentaja Juhani Tammisen ohje. Tämä ohje pätee useille elämänalueille. Tietty yksinkertaisuus on hyvästä myös seurantamuuttujalle, koska tällöin mittauksen luotettavuus ja toistettavuus säilyy myös tulevaisuudessa.

Maa koostuu mineraalipartikkeleista, orgaanisesta aineksesta, vedestä ja siihen liuenneista suoloista, kaasuista ja elävistä organismeista, kuten bakteereista, sienistä, levistä ja maaperäeläimistä. Nämä fysikaaliset, kemialliset ja biologiset ominaisuudet määräävät myös maan laadun ja viljavuuden toimissaan monimutkaisissa vuorovaikutuksissa keskenään. Maan fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien mittaamista on jo kauan käytetty maan laadun kuvaamiseen. Sen sijaan maan biologinen osa on usein jätetty vähemmälle huomiolle, vaikka sillä on keskeinen merkitys maaekosysteemin toiminnassa. Maan biologisten ominaisuuksien tiedetään vaikuttavan maan kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin ja tätä kautta kasvien kasvuun, mutta nämä vuorovaikutukset tunnetaan huonosti. Koska mikro-organismeilla on tärkeä rooli maaperän toiminnassa, on esitetty, että maan biologiset ominaisuudet voisivat toimia maan laadun indikaattoreina.

Elämä ympärillämme kaikessa monimuotoisuudessaan rakentuu aineiden jatkuvan kierron ja energian virtauksen varaan. Maaperän mikrobien merkitys seurantamuuttujana perustuu siihen, että metsäekosysteemissä maan mikrobisto ja pieneliöt hajottavat kuolleen orgaanisen aineen ja vapauttavat siihen sitoutuneet ravinteet uudelleen kasvien käyttöön. Muutokset mikrobitoiminnassa heijastuvat ravinnekiertoon ja tätä kautta koko ekosysteemin toimintaan.

Aikana, jona nyt tarkastettavaa työtä on tehty, maa- ja mikrobiologiset tutkimusmenetelmät ovat kehittyneet huomattavasti. Mikrobisyhteisön rakenteen tutkimuksen tarkkuutta 1990-luvun alkupuolella voidaan havainnollistaa esimerkiksi, jossa ulkoavaruudesta tuleva jättiläinen ottaa kaksi suurta näytepalaa maapallostta. Puristettaessa näytteitä, toisesta valuu runsaasti klorofylliä ja toisesta hemoglobiinia. Näiden tietojen perusteella näytteenottaja raportoi esimiehelleen maapallon monipuolisesta eliölajistosta.

Nyt, vuosikymmenen lähestyessä loppuaan, meillä on käytössämme tehokkaita molekyylibiologiaan,

bakteerifysiologiaan ja mikrobien kemiallisen rakenteen analysointiin perustuvia tutkimusmenetelmiä, joiden avulla voimme havainnoida maamikrobien yhteisörakennetta ja lajisuhteita. Tällä alalla riittääkin työsarkaa, onhan DNA:n reassosiaatioon perustuvalla menetelmällä arvioitu, että yksi gramma maata sisältää noin 10 000 erilaista mikrobilajia. Tulevaisuudessa nämä mikrobien yhteisörakenteen ja lajisuhteiden tutkimusmenetelmät tulevat hyödyttämään myös ympäristön tilan seurantaa.

Pyydän nyt teitä arvoisa professori tiedekunnan määräämänä vastaväittäjänä esittämään ne muistutukset, joihin katsotte väitöskirjani antavan aiheita.

Phytoplankton assemblages reflecting the ecological status of lakes in Finland

26.11.1999

Helsingin yliopisto, Ekologian ja systematiikan laitos
Vastaväittäjä: Prof. Eva Willén, Uppsala University, Sweden

Väitöstutkimus koostui seitsemästä osajulkaisusta. Julkaisussa I–IV käsiteltiin kasviplanktoniyhteisön kehitystä kuormitetuissa -, säännöstellyissä - ja tekojärvissä. Vanhin aineisto oli professori Heikki Järnefeltin julkaisuista 1900-luvun alkuvuosilta, sittemmin voimakkaasti kuormitetusta Tuusulanjärvestä. Kaikkiaan tulokset kattoivat noin sadan vuoden ajanjakson. Prof. Järnefeltin käyttämät analyysimenetelmät sain tietooni hänen kollegoiltaan FT. Toini Tikkaselta ja rouva Ainikki Naulapäältä. Metsälannoituksen vaikutuksia tummavetisen metsäjärven kasviplanktoniyhteisöön ja pohjoisten tekojärvien pitkänaajan kehitystä ja säännöstelyyn aiheuttamia muutoksia kasviplanktoniyhteisössä tarkasteltiin eripituisina ajanjaksoina. Yksittäisten lajien ja leväryhmien massaesiintymiä ja niistä aiheutuvia ongelmia käsiteltiin julkaisuissa V–VI ja julkaisussa VII tarkasteltiin neljälle boreaalille järviyypille ominaista kasviplanktonilajistoa.

Alun perin tarkoitukseni oli tehdä väitöskirjatyöni professori Järnefeltin Tuusula-aineistosta ja Uudenmaan ympäristökeskuksen keräämästä seuranta-aineistosta, joka mikroskoipoitiin SYKEssä. Päädyimme kuitenkin ohjaajani MMT Pertti Heinosen kanssa laajempialaiseen tarkasteluun, joka toteutettiin ns. nippuväitöskirjana. Hydrobiologian professori Åke Niemen patistamana tein varsinaisen väitöskirjan, jossa tarkastelin julkaisuissa

saatuja tuloksia. Istuin pari talviviikkoa Tvärminnen tutkimusasemalla – iltaisin ypyöyksin – ja tahkosin sisulla julkaisuista yhtenäistä punaista lankaa. Nämä viikot olivat varsinaisia oppiviikkoja! Väitöstilaisuudessa, joka oli englanninkielinen suomenkielistä lectiota lukuun ottamatta, oli vastaväittäjänä professori Eva Willén ja kustoksena professori Åke Niemi. Väitöstilaisuus oli Kaisaniemen kasvitieteellisen puutarhan upeassa päärakennuksessa, jossa itse asiassa kuuntelin ensimmäiset opintoihini liittyvät luentoni. Olin opintoja aloittaessani lähes neljäkymmentä ja kolmen lapsen äiti – lapsirukkani – näin jälkepäin ajateltuna!

Väitöskirjan laatiminen syvensi ja laajensi näkemystäni kasviplanktoniyhteisöjen herkkyydestä ilmentää vesiympäristössä tapahtuvia muutoksia, ja samalla korostui oikean ja vertailukelpoisen lajimäärityksen tarpeellisuus. Sain väitöskirjatyöstäni myös rohkeutta järjestää ryhmäni kanssa sekä kotimaisia että useita pohjoismaisia työkokouksia, joissa keskityttiin makean veden kasviplanktonianalyysin yhdenmukaiseen lajimääritykseen ja analyysimenetelmien vertailtavuuteen useiden vuosien ajan. Niinpä EU:n vesiputedirektiiviin liittyvät sisävesien luokittelutyöt voitiin toteuttaa käyttäen laajoja, vertailukelpoisia, yhteispohjoismaisia dataja.

LECTIO PRAECURSORIA

Arvoisa vastaväittäjä, arvoisa kustos, arvoisat kuulijat

Kahta täysin samanlaista järveä ei ole olemassa, eikä myöskään kahden eri järven kasviyhteisö ole koskaan täysin samanlainen, vaikkakin on olemassa tiettyjä yleispäteviä järviyryhmiä, joissa perusolosuhteet ovat toistensa kaltaiset.

Suomalaisille järville on ominaista järvien reittiveilu, usein tumma veden väri ja pitkäkestoinen jääpeite. Lukuisia suomalaisia järviä säännöstellään, samoin kuin pääosin energiatuotannon tarpeisiin rakennettuja tekojärviä, joita on runsaat kolmekymmentä.

Vaikka jokainen järvi on erilainen, niitä voidaan kuitenkin ryhmitellä esimerkiksi valuma-alueen laadun, maantieteellisen sijainnin ja fysikaalis-kemiallisten sekä biologisten ominaisuuksien perusteella.

Kirkasvetisille, vähäravinteisille järville on tyypillistä karut kallioiset rannat tai hiekkarannat kuten harjualueilla sekä pohjoisimmassa Lapissa. Veden väri on sen sijaan hyvin tumma etenkin peruskallioalueilla, missä pääosa järvien valuma-alueesta saattaa olla suota. Runsaasti humusta sisältävät vedet ovat usein luonnostaan happamia. Graniittikallioiden tai vähäravinteisten metsämaiden järvet saattavat olla herkkiä happamoitumaan.

Rannikkoalueiden hedelmällisillä savitasangoilla järvet ovat yleensä matalia, tuulille avoimia ja jo luon-

nostaan reheviä. Maanviljelys, metsätalouden erilaiset toimenpiteet, teollisuuden ja asutuksen jätevesipäästöt sekä hajakuormitus ovat kiihdyttäneet näiden järvien rehevöitymistä, etenkin 1950-luvulta lähtien. Sinilevien aiheuttamat haitat ovat rehevöitymisen myötä lisääntyneet.

Vapaan veden pieneliöstön bakteerit, leväsienet, levät ja eläimet jäävät paljain silmin havaitsematta, paitsi silloin kun joku ryhmä, useimmiten sinilevät, runsastuvat silminnähtäviksi massaesiintymiksi. Vapaasti vedessä keijuvat mikroskooppisen pienet levät, eli kasviplankton, muodostavat merkittävän osan vesien perustuottajista ja niiden arvioidaan tuottavan yhteyttäessään noin 70 % ilmakehän hapesta. Makeiden vesien kasviplankton koostuu nielulevistä, panssari-siimalevistä, tarttumalevistä, kultalevistä, piilevistä, ns. limalevistä, silmälevistä ja viherlevistä. Sinilevät eivät ole varsinaisia leviä, vaan bakteerien kaltaisia syanobakteereja eli syanoprokaryootteja, jotka kasvien ja levien tavoin tuottavat yhteyttäessään happea. Sinileviä käsitellään siksi osana kasviplanktonia.

Järven ekologista tilaa voidaan luonnehtia mm. sen kasviplanktonin koostumuksen ja määrän perusteella. Rehevyydeltään, veden väriltään ja altaan ominaisuuksiltaan erilaisilla järviryhmillä on niille tyypillinen kasviplanktoniyhteisö, jonka kasvukauden aikainen sukkessio vaihtelee järviryhmästä toiseen.

Oligotrofisissa, eli vähäravinteisissa järvissä kasviplanktonin kokonaismäärä on alhainen. Eri kasviplanktoniryhmien osuus on tasapainoinen kultalevien, nielulevien ja piilevien ollessa tärkeimmät ryhmät. Kahdessa ensin mainitussa leväryhmässä on suhteellisen runsaasti autotrofisia lajeja, jotka pystyvät tarpeen mukaan siirtymään heterotrofiaan eli toisenvaraiseen ravinnonottoon. Osa näistä lajeista kuuluu ns. oligotrofian indikaattoreihin. Sinilevien osuus on alhainen, mutta sinileviä on aina vähäravinteistenkin vesien kasviplanktoniyhteisössä. Jos kasviplanktonia tarkastellaan lajiston perusteella, pienikokoiset siimalliset levät, etenkin kultalevät ovat tyypillisiä vähäravinteisille vesille.

Happamiksi luokiteltavissa järvissä, joiden pH on noin 5,5, kasviplankton on määrällisesti verrattavissa oligotrofisten järvien kasviplanktoniin. Lajisto on lukumääräisesti pienempi kuin oligotrofisissa järvissä, ja tyypillisiä ovat muutamat panssari-siimalevät ja muutamat viherlevät. Piilevät ja silmälevät eivät sen sijaan menesty happamissa vesissä.

Tyypillinen suomalainen järvi on ruskeavetinen. Pääasiassa piilevien ja nielulevien muodostama kasviplanktonbiomassa voi olla jopa kolminkertainen vähäravinteisiin järviin verrattuna. Suojaisessa tummavetisessä metsäjärvestä piileviä havaitaan kuitenkin vain keväisin, kerrostumisen myötä siimalliset nielu- ja kultalevät ovat vallitsevina. Sinilevien osuus kasviplanktonista on alhainen, joskin vähäisiä sinileväesiintymiä on havaittavissa satunnaisesti. Koristelevät ja, etenkin alkusyksystä, limalevä *Gonyostomum semen* ovat tummavetisten järvien tyypillisiä lajeja. Metsäjärven valuma-alueen lannoituksesta aiheutunut lyhytaikainen ravinnekuormitus ei vaikuttanut tummavetisen metsäjärven kasviplanktonin koostumukseen. Ravinteiden kertyminen alusveteen ei lisännyt esimerkiksi sinilevien määrää, mutta *Gonyostomum semen*-limalevän voitiin havaita lisääntyneen.

Mesotrofisissa eli lievästi rehevöityneissä järvissä kasviplanktonilajisto on monipuolisempi, ja samalla piilevien osuus on kasvanut. Kasviplanktonbiomassa saattaa olla kahdeksankertainen vähäravinteisiin järviin verrattuna. Nieluleviä on melko runsaasti, mutta sinilevien osuus on alhainen. Valtaosa sinilevistä on tyyppä sitovia *Anabaena*- ja *Aphanizomenon*- sukuihin kuuluvia lajeja. Sinilevät runsastuvat yleensä vasta loppukesällä ja alkusyksyllä.

Rehevissä, eli eutrofisissa järvissä kasviplanktonin määrä on jo huomattavan korkea, mutta koostuu edelleen pääasiassa piilevistä, joskin sinilevien merkitys on myös huomattava. Sinileviä on mesotrofisiin järviin verrattuna runsaammin. Ei-tyypä sitovia sinileviä on jonkin verran enemmän kuin tyyppä sitovia sinileviä. Myös viherlevien osuus biomassasta on suurehko, vaikka ne ovat solukooltaan yleensä pieniä. Silmäleviä

tavataan etenkin rehevimmissä järvissä. Piilevien mutta myös kultalevien massaesiintymät saattavat aiheuttaa maku- ja hajuhaittoja alkukesästä. Sinilevät runsastuvat jo alkukesästä, ja massaesiintymiä havaitaan usein jo heinäkuun alusta lähtien. Syyskierron aikana piilevien osuus biomassasta on huomattava.

Hyvin rehevissä, hyper-eutrofisissa järvissä kasviplanktonin määrä vaihtelee voimakkaasti kasvukauden aikana ja eri vuosien välillä. Kasviplanktoniyhteisö on yksipuolistunut ja on pääosin ”suurikokoisten” sinileväyhdyskuntien dominoima. Tyyppä sitovat ja ei-sitovat sinilevät ovat lähes yhtä runsaina näissä erittäin rehevissä vesissä. Sinilevät alkavat runsastua usein jo kesäkuussa, ja piilevämaksimi usein vasta lokakuussa.

Tuusulanjärvi kuuluu niihin suomalaisiin järviin, joiden kasviplanktonilajistoa on tutkittu jo 1800-luvun lopulla ja kasviplanktonbiomassasta on tietoja 1920-luvulta lähtien. Ravinnekuormituksen rehevöittäjä Tuusulanjärvi on ollut alun perin luonnostaan rehevä. Vanhimman kasviplanktonaineiston lajikoostumus kuvastaa tätä luonnostaan rehevää vaihetta. Tuusulanjärvestä tavattiin vielä 1910-luvulla useita vähäravinteisille vesille tyypillisiä lajeja, jotka vähenivät tai hävisivät pitkäaikaisen, voimakkaan ravinnekuormituksen aikana 1950–1970-luvuilla. Näitä vähäravinteisille vesille tyypillisiä lajeja on havaittu uudelleen vasta 1990-luvulla, kun veden laatu on parantunut vesiensuojelutoimenpiteiden ja järven kunnostuksen ansiosta. Joidenkin lajien ilmaantuminen kasviplanktoniyhteisöön on tosin seurausta muutoksista taksonomiassa. Vaikka Tuusulanjärven ravinnepitoisuudet ovat edelleen korkeat, ja vaikka kasviplanktoniyhteisö on edelleen pääosin sinilevien muodostama, heijastaa kasviplanktonin määrä ja koostumus parantunutta veden laatua. Sinileväyhteisössä toksisten eli myrkyllisten lajien määrä on laskenut aiemmasta. Osa kasviplanktoniyhteisön muutoksista on havaittavissa melko pian sen jälkeen kun järven ravinnekuormitus on vähentynyt, toisaalta muutokset jatkuvat vielä useiden vuosikymmenien aikana.

Tekojärvet eroavat toisistaan veden laadun, altaiden morfologian ja valuma-alueiden puolesta. Nuorten tekojärvien kasviplanktonyhteisössä on myös padotujen jokien että veden alle jääneiden suoalueiden lajistoa. Heterotrofisten eli eläinkuntaan kuuluvien siimaeliöiden määrä on suhteellisen suuri. Tekojärvien ikääntyessä niihin huuhtoutuvien ravinteiden määrä laskee, ja kasviplankton vähenee. Mikäli tekojärviä säännöstellään voimakkaasti, kuten Lokkaa ja Porttipahtaa vuosina 1977–1983, huuhtoutuu veteen lisää ravinteita ja etenkin piilevät runsastuvat silikaattipiin pitoisuuksien kohotessa. Lokan tekojärvestä on lämpiminä kesinä ajoittain havaittu runsaita sinilevien massaesiintymiä. Sen sijaan Porttipahdan tekojärvestä sinilevien massaesiintymistä ei ole havaintoja. Piilevät ovat tärkein leväryhmä molemmissa tekojärvissä.

Kasviplanktonin määrän ja koostumuksen perusteella suomalaiset suuret ja keskisuuret järvet ovat lievästi karuuntuneet 1990-luvulla. Samalla on sinilevien määrä laskenut, vaikka sinilevien massaesiintymät ovat samaan aikaan herättäneet runsaasti huomiota. Toisen merkittävän leväryhmän eli piilevien määrä on myös laskenut lievästi rehevöityneiden järvien ryhmää lukuun ottamatta.

Euroopan Unionin vesipuitedirektiivi edellyttää voimaan tultuaan vesien ekologisen tilan selvittämistä, jatkuvaa seuranta ja vesien kunnostamista niiden alkuperäistä ekologista tilaa vastaavalle tasolle, jossa ihmistoiminnan vaikutus on vähäistä. Tämän alkuperäisen tilan määrittämiseen voidaan käyttää myös kasviplanktonaineistoja, joista vanhimmat ovat peräisin 1800- ja 1900-lukujen vaihteesta.

Seurantaan kuuluva kasviplanktonanalyysi tehdään valomikroskoopilla, jolloin lajit tunnistetaan leväsolujen rakenteen, muodon ja mittojen avulla. Laskettu solumäärä muunnetaan biomassaksi. Kasviplanktonin määrä voidaan mitata myös levien sisältämän a-klorofyllin avulla kemiallisin menetelmin. Kasviplanktonin tunnistaminen edellyttää perehtyneisyyttä alan kirjallisuuteen, tutkijoiden yhteistyötä sekä menetelmien interkalibrointia, joka mahdollistaa

aineistojen yhteiskäytön ja vertailtavuuden. Vaikka kehitetään uusia menetelmiä kasviplanktonin biomassan ja koostumuksen arviointiin, ne eivät täysin korvanne mikroskoopilla tapahtuvaa määrittystä. Hyvin lähelle arkipäivää tulee pintavettä käyttävien vesilaitosten raakaveden ja etenkin lähtevän veden kasviplanktonseuranta. Pelkästään a-klorofyllin mitaukset eivät kerro kasviplanktonin koostumusta ja levien mahdollista haitallisuutta.

Suomessa on pitkä, katkeamaton kasviplanktonin tutkimustraditio, jonka sisävesillä aloitti professori Heikki Järnefelt. Tämän tradition ylläpitämisestä tulisi huolehtia kouluttamalla ja työllistämällä nuoria tutkijoita riittävästi. Kasviplanktonin tunnistaminen vaatii monen vuoden harjaantumisen kiinteässä yhteistyössä ns. vanhemman polven kanssa.

Olen lectiossani selvittänyt väitöskirjani, jota tänään säädösten mukaan julkisesti puolustan, perustaustoja. Väitöskirjani käsittelee kasviplanktonyhteisöjä Suomen järvien ekologisen tilan kuvaajina.

Pyydän teitä, arvoisa dosentti Eva Willén, matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan määräämänä vastaväittäjänä esittämään ne huomautukset, joihin katsotte väitöskirjani antavan aiheita.

Environmental factors and aquatic macrophytes in the littoral zone of regulated lakes: Causes, consequences and possibilities to alleviate harmful effects



29.6.2000

Oulun yliopisto, Biologian laitos

Vastaväittäjä: Dr. Arnold Pieterse, Royal Tropical Institute (KIT), Amsterdam, The Netherlands

Oulun yliopiston biologian opiskelu 1970-luvun lopulla oli suuntautunut hyvin voimakkaasti vesibiologiaan Tapani Valtosen, Kalevi Kuuselan ja ennen kaikkea Erkki Alasaarelan innoittamana. Ehkä kuvaavaa on, että allekirjoittaneen lisäksi miltei samalta vuosikurssilta väiteltävät vesibiologiasta Timo Muotka, Ari Huusko, Erkki Jokikokko, Pertti Tikkanen ja Anne Laine. Itse suuntauduin vesikasveihin jo gradussa Urho Mäkirinnan ohjauksessa. Samanaikaisesti myös vesihallitus alkoi hitaasti muuttaa suuntaa vesien rakentajasta tutkimuslaitokseksi. Pohjanmaaprojektissa selvitettiin Erkki Alasaarelan johdolla jokirakentamisen sotkuja ja seuraavaksi mielenkiinto suuntautui säännöstelyihin järviin. VTT innostui vesiasioista ja vesitekniikkaryhmä vetäjäksi palkattiin kukas muu kuin Alasaarela. Rauno Ruuhijärven tuella saatiin Suomen Akatemiasta mittava tutkimusohjelma ECOREGU (1984–86), jonka tarkoituksena oli selvittää järvisäännöstelyn vaikutuksia, ja koska itse olin tehnyt töitä opiskelujen ohessa Kemijärven säännöstelyn parissa, minut oli helppo rekrytoida.

ECOREGUA seurasi kunnostukseen keskittyvä RES-TOREGU, jossa kokeiltiin rantojen uudelleen kasvittamista ja kehitettiin ns. ekologisen säännöstelyn periaatetta. Useimmissa hankkeissa oli mukana voimayhtiöitä ja ympäristöhallintoa, mutta hyvin keskeisesti vuodesta

1995 alkaen myös SYKE. Monipuolinen yhteistyö erityisesti Mika Marttusen kanssa johti Päijänteen ja muiden suurjärvien säännöstelykehittämisselvitäisiin. VTT:llä väitöskirjan teko oli kuitenkin hankalaa, koska rahoitus oli koko ajan hankittava itse ja osajulkaisut sovitettava niihin. Viimeisen osajulkaisun kirjoittamiseksi sulkeuduin kuukaudeksi autotallin vintille ilman internet-yhteyksiä. Siinä se sitten syntyi.

Koko VTT Vesi- ja ekotekniikan ryhmä Oulussa siirtyi SYKEen uuden vuosituhanen alussa ja niin kirjoitin väitöskirjan yhteenvedon talon väkenä. Käytännössä Toivosen Heikki auttoi paljon neuvoillaan loppuvaihetta. Väitös pidettiin englanniksi ja päivä oli Oulun historian lämpimin kesäkuun päivä lämpömittarin noustessa yli kolmenkymmenen. Kustos, emeritusprofessori Paavo Havas, sanoikin kahden ja puolen tunnin jälkeen yllättäen että eiköhän lopeteta – aika harvinaista, mutta hän oli jo ikämies.

Väitöksen jälkeen säännöstelytyöt huipentuivat vielä Suomen Akatemian SUNARE-hankkeessa, jossa olin vetäjänä. Siinä on syntynyt jo neljä väitöskirjaa. Säännöstelyjärviaineistoilla SYKE on päässyt mukaan moniin kansainvälisiin hankkeisiin ja kestäväen säännöstelyn periaatteita on sovellettu myös kehitysmaissa.

LECTIO PRAECURSORIA

Vesistön säännöstelyllä tarkoitetaan vesistön tai sen osan vedenkorkeuksien ja virtaamien muuttamista jatkuvien toimenpitein vesien erilaisten käyttömuotojen kannalta luonnontilaista edullisemmaksi. Vesilain 8 luvun 1 pykälän mukaan säännöstelyn tavoitteena voi olla vesivoiman käytettäväksi saaminen, lisääminen tai käytön tasoittaminen, uiton tai liikenteen edistäminen, veden nesteenä käyttäminen, kastelu, vesistön puhtauden säilyttäminen, virkistyskäyttö, kalanviljely, maankuivatus tai muu tällainen tarkoitus.

Suomessa on toteutettu noin 220 järven vedenpinnan säännöstelyhanketta, joihin on myönnetty lupa. Hankkeissa mukana olevia järviä on yhteensä noin 310 ja niiden yhteenlaskettu pinta-ala keskivedenkorkeudella on miltei 12 000 km². Maamme järvistä on siis säännöstelty lukumäärän suhteen vain 0,2 % (Raatikainen 0,05 ha) tai 7 % mikäli käytetään EU mukaista järviluokittelua (50 ha).

Pinta-alallisesti on kyseessä kuitenkin liki 40 % Suomen vesistöjen pinta-alasta, jolloin voidaan puhua eräästä merkittävimmistä vesistöjen tilaan vaikuttavista tekijöistä. Suomen järvikarttaa tarkastelemalla voidaan todeta miltei kaikkien suurimpien järvien Saimaata ja Pielistä lukuun ottamatta olevan säännösteltyjä.

Vesistöjen säännöstelyhankkeista palvelee 40 % ensisijaisesti vesivoimataloutta, noin 25 % tulvasuojelua, noin

25 % vedenhankintaa, noin 4 % vesien virkistyskäyttöä ja noin 2 % vesiensuojelua. Yleensä säännöstelyt palvelevat samalla useita tavoitteita. Vesivoimatalouden ja tulvasuojelun tarpeet ovat useinkin yhteneviä, tulvahaittojen estäminen on korostunut rantojen virkistyskäytön ja rantarakentamisen lisääntyessä. Vesivoimalaitosten rakentaminen on yleensä ollut mahdollista säännöstelyjen toteuttamisen ansiosta ja niiden avulla saatavan lisäenergian osuus vesivoiman tuotannosta on karkeasti noin neljännes.

Suomen ilmastossa ja vesistöissä veden virtaama jakautuu epätasaisesti johtuen lumen sulamisvesien suuresta osuudesta veden kokonaismäärästä. Veden virtaama on suurimmillaan keväällä ja alkukesällä, monissa vesistöissä on toinen virtaamahuippu syysateiden tullessa ja haihdunnan ollessa jo pieni. Sähköntarve noudattaa sen sijaan suurelta osin päinvastaista trendiä: erityistä tarvetta nopeasti säädettävään vesivoimaan esiintyy erityisesti talviaikana, jolloin myös energian hinta on korkeimmillaan. Alkukesällä sähköntarve on sen sijaan pieni, joten säännöstelemättömänä virtaama jouduttaisiin juoksuttamaan voimalaituskoneiden ohitse. Vesivoiman muuttuminen viime vuosikymmeninä perusvoimasta säätövoimaksi on entisestään korostanut riittävän säätövaran merkitystä. Säännöstelyssä on siis kysymys pitkälti järven varastotilavuuden lisäämisestä ja edelleen sen juoksuttamisesta hyödynsaajan kannalta edulliseen aikaan.

Pohjois-Suomessa vesistöjen säännöstely on yleensä voimakasta ja toteutettu pääosin vesivoiman tuotannon lisäämiseksi ja tulvahaittojen vähentämiseksi. Tyypillisessä säännöstelyssä kesäaikaista vedenpintaa on nostettu noin puolella metrillä yleensä varastotilavuuden lisäämiseksi, kun taas talvella vedenpintaa lasketaan 2–3 metriä. Tarkasteltaessa säännöstelyvoimakkuuden suhteen kymmenen kärjessä listaa havaitaan kaikkien järvien olevan Lapin ja Oulun läänin alueelta, siis Pohjois-Suomessa. Vasta sijalta kolmetoista löytyy keskisuomalainen Ähtärinjärvi. Keskimäärin veden pinta vaihtelee 1,5 metrin vaihteluvälillä, maksimissaan säännöstely on liki seitsemän metriä, minimissään vesi vaihtelee eräissä säännöstelyjärvisä vain parikymmentä senttiä vuodessa. Vastaavasti voidaan todeta,

että myös luonnontilaisissa järvisä on tavattu jopa vuotuista yli kolmen metrin vaihtelua. Säännöstely ei siis välttämättä lisää lainkaan vedenpinnan vaihtelua.

Sanomattakin on selvää, että voimakas vedenkorkeuden säännöstely aiheuttaa muutoksia järviluonnossa. Säännöstelyn alussa toteutettu vedenpinnan nosto aikaansaa vuosisatojen tai –tuhansien aikana tiettyyn vedenpintaan sopeutuneessa rantavyöhykkeessä merkittäviä muutoksia. Rannoilla käynnistyy suuria eroosioprosesseja, joissa vanha maaperän orgaaninen aines huuhtoutuu pois ja lajittuneesta aineksesta koostuvilla rannoilla tapahtuu merkittävää kulumista ja aineksen siirtoa. Ranta hakee uutta muotoaan. Muutokset rantavyöhykkeellä ovat merkittäviä; vanha rantakasvillisuus voi hävitä jopa kokonaan tai ainakin sen sijainti muuttuu. Veden alle jäänyt kuivan maan kasvillisuus sen sijaan häviää yleensä kokonaan. Uusi muodostunut pohja voi olla aluksi autio ja tyhjä, mutta hitaasti prosessien tasaannuttua sen kansoittaa uusi eliöyhteisö.

Toki sortuvia rantoja voidaan tavata myös luonnontilaisten vesistöjen rannoilla, mutta silloin on kysymys jostakin erikoistapauksesta kuten vedenpinnan noususta altaan epätasaisen kallistumisen myötä.

Talvella edellä mainitun sähköntarpeen kasvaessa vettä sitten juoksutetaan voimakkaasti ja rannan jääpeite painuu pohjaa vasten aiheuttaen sekä pohjalietteen jäätymistä ja puristumista jäämassan painon alla. Syyskutuisten kalojen, kuten siian ja muikun rantavyöhykkeelle lasketusta mädistä tuhoutuu suurehko osa. Suurikokoisia pohjaeläimiä syövien kalojen ruokapöydässä tapahtuu köyhtymistä, kun pohjaeläimistöön koostumuksessa tapahtuu muutoksia niin määrässä kuin laadussakin. Monet rantavyöhykkeellä viihtyvät kasvit kuten suurikokoiset pohjalehtiset etunenässä tummalahnanruoho ja nuottaruoho kärsivät jääpeitteen vaikutuksesta ja jälleen on kyse muutoksista niin laadussa kuin määrässäkin.

Keväällä, kun järvi on valmis vastaanottamaan tulvavedet, ei tapahdukaan normaalisti toukokuulle ajoittuvaa tulvaa, vaan tulva siirtyy keskikesään ja

saattaa jäädä korkeudenkin suhteen hyvin vaatimatomaksi. Kevätkutuiset kalat, joista tyypillisin on joka suomalaiselle tuttu hauki, eivät pääse kutupaikoilleen veden ollessa alhaalla ja ääritapauksissa kutupaikkana olevia sarakoita ei luonnottoman vedenkorkeuden vaihtelun seurauksena ole olemassakaan. Myös kalastajalle alhaiset vedenkorkeudet keväällä ovat hankalia vesille menomatkan muututtua pitkäksi ja totuttujen kalastustapojen osoittauduttua ongelmalliseksi. Kuiva rantavyöhyke ei miellytä myös aikaisen mökkiläisen silmää, tosin tässäkin vanhana merenrannan asukkaana aina joskus ihmettelyn järviasujan aggressiivisuutta paljaan rannan suhteen, koska merenpinnan vaihtelu paljastaa joskus kymmeniä metrejä lietteikköjä erityisesti keväisin.

Kesän, mikäli tässä yhteydessä kesäksi luetaan aktiivisen virkistyskäyttö kauden aika, vedenpinnan vaihtelu on säännöstelyjärvisä yleensä selvästi luonnontilaista vähäisempää. Virkistyskäyttäjän ja voimantuottajan edut ovat tässä yhteydessä hyvin samansuuntaiset. Toisaalta rantaluonnon kannalta on myös tässäkin kyse usein haitallisesta muutoksesta, koska vuosituhansien aikana rantaluontomme on sopeutunut laskevaan veden pintaan, joka synnyttää rannalle tyypillistä vyöhykkeisyyttä.

Syksyllä erityisesti voimalaloutta varten säännöstelyn järven vedenpinta pyritään nostamaan varastotilavuuden kasvattamiseksi ylärajalleen, jolloin usein jo luonnontilaisesta muuttunut kasvipeitteetön rantavyöhyke voi joutua syysmyrskyjen nostattaman aallokkoeroosion kohteeksi.

Kuten edellä olen todennut, erityisesti vaikutukset ovat havaittavissa rantavyöhykkeellä, joka on vedenpinnan vaihtelun kohteena ja joka toimii rajana järven ja veden välillä. Tämän tutkimuksen pääkohteena onkin juuri rannan kasvipeite, jota voidaan yleisesti kutsua ranta- ja vesikasvistoksi. Kysymyksessä on ryhmä, jonka tutkimus on laajalti laiminlyöty aina viime vuosiin asti, vaikka se soveltuu erinomaisesti erityisesti pitkäaikaisen seurannan kohteeksi. Kasvit pysyvät vuodesta toiseen paikallaan eikä vuodenaikaisesta vaihtelusta ole ongelmia, kunhan vain keskittää

havainnoinnin loppukesään. Niiden kerääminen on suhteellisen helppoa ja pääryhmät sekä monet tärkeät indikaattorilajit on helpohko tunnistaa. Tässä kuten muissakin biologin suusta tulleissa lauseissa piilee kuitenkin kääntöpuoli – tunnistamisen helppous on varsin suhteellinen käsite. Järven kasvillisuutta ja siinä tapahtuvia muutoksia voi jopa havainnoida kaukaa lentokoneesta ja jopa kaukokartoitusatelliitista käsin, mikä tarjoaa suuria etuja muihin eliöryhmiin nähden. Historiallisia ilmakehä-aineistoja löytyy jopa ennen toista maailmansotaa. Tässäpä etu muihin menetelmiin nähden; kuka voi katsoa ilmasta kasviplanktonlajeja leväkukintoja lukuun ottamatta ja eipä taida olla kalakantojen seuraaminen valokuvista mahdollista; toki suurkalan saajat ovat kovia ottamaan kuvia, mutta seuranta voi hieman vääristyä.

Kasvillisuus kuvaa myös erittäin hyvin välillisesti rantavyöhykkeen tilaa. Edellä jo mainitut isokoiset pohjalehtiskasvit ylläpitävät maksimaalista pohjalehtituotantoa ja niiden määrää seuraamalla voidaan tehdä näitä ruokapöytäarvioita. Toisaalta saraikko toimii kevätkutuisten kalojen kutualueena ja syyskutuisten kalojen vastakuoriutuneiden poikasten lastenkammarina. Rannan käyttäjiä puolestaan viehettää jonkinasteinen kasvipeite; tosin tässäkin mieltymykset vaihtelevat, koska osa käyttäjistä ei siedä ruohonkorttakaan kun taas osa pitää kaunista kasvipeitettä toivottavana. Välillisten indikaattoreiden käyttämistä voi perustella myös silläkin tosiasialla, että esimerkiksi kalakannoista on hyvin vaikea tehdä suoria johtopäätöksiä. Valtaosassa säännöstelyjärvissä on suurehkoja velvoiteistutuksia ja usein kalakanta on huomattavasti paremmassa kunnossa kuin läheisissä luonnontilaisissa järvissä.

Väitöskirja tutkimus on toteutettu pääosin Kuhmon Ontojärven, jonka vedenpinnan suurin sallittu säännöstelyväli on 4,4 metriä. Vertailujärvenä on käytetty säännöstelemätöntä Lentuaa. Vertailujärven käyttö on suurelta osin pakon sanelemaa, koska luonnontilaisia vertailuaineistoja ei useimmissa tapauksissa ole. Säännöstelyt on toteutettu miltei tyystin 40-luvun lopulta 60-luvun puoliväliin ulottuvalla ajanjaksolla, jolloin mitään laaja-alaisia ympäristönvaikutusarvi-

oita ei tehty. Säännöstelyä edeltävää rantavyöhykettä koskevaa aineistoa ei Kemijärveä lukuun ottamatta juurikaan ole olemassa eikä sitä edes ole osattu vaatia.

Tutkimus lähtee pitkälti liikkeelle perinteisesti ympäristömuuttujien erittelyllä ja kasvillisuustutkimuksella. Säännöstelyn alussa vuonna 1951 toteutettu vedenkorkeuden nosto on käynnistänyt voimakkaan eroosion, joka on vaikuttanut suurikokoisten ilmaversoiskasvien kuten järviruo'on ja -kortteen vähenemiseen. Talvella pohjaan laskeutuva jää aikaansaa pohjasedimentin laaja-alaisen jäätymisen, jonka vaikutuksesta erityisesti suurikokoiset pohjalehtiskasvit tummalahnanruoho ja nuottaruoho ovat Ontojärvestä miltei tyystin hävinneet.

Jäljelle jäänyttä kasvipeitettä voidaan nelivuotisen seuranta tutkimuksen perusteella pitää kuitenkin melko vakaana ja sopeutuneena ankariin olosuhteisiin.

Soveltavassa tutkimuksessa ei mielestäni voida jäädä ongelmalliseen tilanteeseen murheen keskelle, vaan pyritään etsimään ratkaisua rantavyöhykkeen heikentyneeseen tilanteeseen. Säännöstelyn haitallisia vaikutuksia rantavyöhykkeellä voidaan lieventää joko muuttamalla säännöstelykäytäntöä tai aktiivisten kunnostustoimien avulla. Perinteiset ns. insinööri-kunnostustoimet pitävät sisällään rannan suojauksia kiviheitokkeen avulla; menetelmä on tehokas, mutta ei välttämättä sovellu hiekkarantojen luonteeseen.

Rannan kunnostuskokeiluja tehtiin Ontojärvellä, jossa rantavyöhykkeelle istutettiin eri kasveja pyrkien samalla suojaamaan istutusalue aallokon kuluttavalta vaikutukselta. Ranta oli kuitenkin liian ankara elinympäristö useimmille istukkaille ja vain pienehkö määrä pajupistokkaista ja pullosaroista pystyi selviytymään kahdeksan vuoden seurantajakson ajan.

Säännöstelykäytännön vapaaehtoisella kehittämisellä on pystytty vaikuttamaan rantavyöhykkeen kannalta haitallisimpiin vedenkorkeuksiin. Kuhmon järvissä havaittuja kasvipeitteen ja vedenkorkeuden vaihtelun välisiä riippuvuussuhteita hyväksi käyttävää ns. ekologisen säännöstelykäytännön mallia on menestysellisesti käytetty säännöstelyjen kehittämisessä

Oulujoen ja Iijoen vesistöalueen järvissä. Tämän lisäksi laskentamenetelmiä on sovellettu lukuisiin muihin vesistöalueisiin Inarinjärveltä, Kemijärven, Ähtärinjärven kautta Päijänteelle ja sen alapuolisille järville sekä edelleen Kallaveden-Unnukan ja Kokemäen vesistöalueen järville.

Tätä kaikkea kehitystyötä on edistänyt ennen kaikkea Vesilain muutos vuonna 1994. Se on tehnyt myös vanhojen säännöstelylupien tarkistuksen mahdolliseksi, mikäli vesistön käyttö on oleellisesti muuttunut.

Selvityksiä on tekeillä miltei viitisenkymmentä eri puolilla Suomea ja useissa tapauksissa myös väitöstutkimuksessa kehitetyt menetelmät ovat olleet apuna. Euroopan Unionin kuluvana kesänä mahdollisesti voimaan tuleva vesipolitiikan puitedirektiivi nostaa vesistöjen rantavyöhykkeen seurannan erityisasemaan, voisipa suorastaan sanoa sille kuuluvaan erityisasemaan. Tutkimuksessa kehitetyt menetelmät soveltuvat erinomaisesti puitedirektiivissä mainittujen ns. voimakkaasti muutettujen vesistöjen tilan arvioimiseen.

Tämän tutkimuksen aikana on ollut havaittavissa voimakas ympäristötietoisuuden kasvu. Aloittaessa nuorena opiskelijana ensimmäisiä säännöstelyjä koskevia kirjallisuusselvitystä otin yhteyttä valtion viraston kokeneeseen säännöstelyjen asiantuntijaan. Aikani säännöstelyn vaikutuksista keskusteltuani, hän totesi lopuksi, että ”kuules nyt, säännöstelyllä ei ole järven biologiaan mitään merkittävää vaikutusta”. Puheenvuorosta on kulunut 18 vuotta, nyt olemme erään tutkimusvaiheen päätöksessä ja tuntuu, että läheskään kaikkia vaikutuksia ei ole selvitetty ja olemme aloittamassa taas uutta vaihetta.



An approach for evaluating the effects of source separation on municipal solid waste management

24.11.2000

Teknillinen korkeakoulu, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos
Vastaväittäjä: Prof. Dr. Bernd Bilitewski, Dresden University of Technology

Väitöskirjan laatiminen oli motivoiva ja hyvin itsenäinen jakso työurallani. SYKE oli erinomainen paikka tehdä jatko-opintoja. Tieteellinen tutkimus oli keskeinen osa työnkuvaani, mutta samalla minulla oli mahdollisuus osallistua jätealan kehittämiseen muutoinkin. Suomessa laadittiin 1990-luvun loppupuolella ensimmäistä valtakunnallista jätesuunnitelmaa ja asetettiin valtakunnallisia hyödyntämistavoitteita. Tavoitteiden asettamiseen liittyi paljon avoimia kysymyksiä, joihin halusin väitöskirjallani vastata. Mitä ratkaisuja korkeisiin kierrätystavoitteisiin pääseminen vaatii? Kuinka paljon nousevat kustannukset? Mitkä ovat päästöhyödyt? Oli hyvin motivoivaa olla mukana valtakunnallisessa suunnittelussa ja huomata, että oma tutkimus tuottaa tietoa, jolle on tarvetta.

Ajatus väitöskirjan laatimisesta syntyi vuoden 1995 paikkeilla. Olin kuitenkin jo opiskeluaikana ajatellut jatko-opintojen mahdollisuutta. Väittelin marraskuussa vuonna 2000. Jälkeenpäin ajatellen työ valmistui yllättävän nopeasti ja hyvä niin. Väitöskirjan laatija ei ole koskaan vapaalla, vaan ajatukset pyörivät aika usein omassa tutkimusaiheessa. Siksi on hyvä, että työ tulee valmiiksi kohtuullisessa ajassa.

Väitöskirjalla oli minulle suuri merkitys. Olin halunnut osoittaa itselleni, että pystyn siihen ja tuntui hyvältä saavuttaa tämä tavoite. Väitöskirjatyö vaatii paljon suunnitelmallisuutta ja kykyä hallita laajoja kokonaisuuksia. Samalla se pakottaa oppimaan asioiden nopeaa omaksumista ja eri asioiden välisten yhteyksien oivaltamista. Näitä taitoja olen tarvinnut jatkossakin työelämässä. Siirryin väitöskirjan valmistumisen jälkeen toimitusjohtajaksi kunnalliseen jätehuolto-yhtiöön, Itä-Uudenmaan Jätehuoltoon, jossa tutkimustyön aikana kertyneitä tietoa ja taitoja on voinut soveltaa käytäntöön.

ABSTRACT

An approach was developed for integrated analysis of recovery rates, waste streams, costs and emissions of municipal solid waste management (MSWM). The approach differs from most earlier models used in the strategic planning of MSWM because of a comprehensive analysis of on-site collection systems of waste materials separated at source for recovery. As a result, the recovery rates and sizes of waste streams can be calculated on the basis of the characteristics of separation strategies instead of giving them as input data. The modelling concept developed can also be applied in other regions, municipalities and districts.

This thesis consists of four case studies. Three of these were performed to test the approach developed and to evaluate the effects of separation on MSWM in Finland. In these case studies the approach was applied for modelling: (1) Finland's national separation strategy for municipal solid waste, (2) the effects of separation on MSWM systems in the Helsinki region and (3) the efficiency of various waste collection methods in the Helsinki region. The models developed for these three case studies are static and linear simulation models which were constructed in the format of an Excel spreadsheet. In addition, a new version of the original Swedish MIMES/Waste model was constructed and applied in one of the case studies.

The case studies proved that the approach is an applicable tool for various research settings and circumstances

in the strategic planning of MSWM. The following main results were obtained from the case studies:

- A high recovery rate level (around 70%wt) can be achieved in MSWM without incineration.
- Central sorting of mixed waste must be included in Finland's national separation strategy in order to reach the recovery rate targets of 50%wt (year 2000) and 70%wt (year 2005) adopted for municipal solid waste in the National Waste Plan. The feasible source separation strategies result in recovery rates around 35-40%wt with the present separation activity of waste producers.
- The costs of MSWM will increase in Finland when recovery rate targets of 50%wt and 70%wt are aimed at. The increase in total costs seems to stay around 30-40% when the total recovery rate is increased from the level of 20-30%wt to the level of around 70%wt in the Finnish city regions. If the smallest properties (e.g. properties smaller than 10 households) participate in on-site collection of source-separated materials, the increase in the total costs can be reduced by using simultaneous collection of several waste types instead of separate collection.
- Separation reduces most emissions caused by MSWM, e.g. nutrient load, greenhouse gas load and ozone formation according to the case study performed in the Helsinki region. However, the results obtained do not reveal the effects of separation on the total amounts of emissions because emissions outside MSWM system were excluded from the study.

Snow monitoring using microwave radars

19.1.2001

Teknillinen korkeakoulu, Avaruustekniikan laboratorio
Vastaväittäjä: J.C. Shi, University of California Santa Barbara, USA

Väitöskirjani käsitteli lumen sulamisen alueellista havainnointia käyttäen mikroaaltotutkaa. Menetelmä täydentää SYKEssä kehitettyä optisiin satelliittikuviin perustuvaa lumen alueellisen esiintymisen luokittelujärjestelmää. Hyöty mikroaaltotutkasta saavutetaan, kun optisia kuvia ei ole saatavilla sateen, valaistuksen tai pilvien takia. Nykyään molemmat menetelmät ovat operatiivisessa käytössä ja tiedot assimiloidaan osaksi SYKE:n vesistömallia.



Avaruustekniikan professori Martti Hallikainen (vas.), Jarkko Koskinen ja vastaväittäjä J.C. Shi.

LECTIO PRAECURSORIA

Honored Custos, Honored Opponent, Ladies and Gentlemen

Lumi on tärkeä osatekijä monissa ympäristöömme vaikuttavissa prosesseissa. Lumipeitteellä on olennainen merkitys säteilytasapainossa ja lämmönvaihdannassa maan ja ilmakehän välillä. Lisäksi lumen ja ilmakehän välinen vuorovaikutus pyrkii vahvistamaan ilmastollisia anomaliaita. Tällä hetkellä ymmärtämys tästä vuorovaikutuksesta on vähäinen. Informaatio globaalista lumipeitteestä ja sen rakenteesta on tärkeitä ilmaston tutkimuksessa ja säätilan ennustuksessa.

Joka talvinen lumipeite esiintyy lähes pelkästään pohjoisella pallonpuoliskolla ja sen laajuus vaihtelee 30–40 miljoonan neliökilometrin välillä. Pohjois-Euroopassa merkittävä osa sateesta tulee lumena. Suomessa tämä on noin 27 % kokonaissademäärästä. Lumi on myös tärkeä energian lähde ja lumen kertymisen kartoitus ja sulamisen seuranta ovat erittäin tärkeitä tietoja hydrologiassa, vesivoimayhtiöille ja tulvien ehkäisyssä.

Lumen kartoituksella Suomessa on jo pitkät perinteet, jotka juontavat alkunsa aina 1800-luvun lopulle saakka. Varhaisimmissa tutkimuksissa tutkittiin sadantaa ja lumen syvyyttä, mutta jo 1920-luvulla tutkimuksissa keskityttiin lumen tiheyden ja vesiaron havainnointiin. Samoihin aikoihin julkaistiin ensimmäiset tutkimukset lumen sulamisen vaikutuksesta kevättulviin ja kasvillisuuden vaikutuksesta lumen sulantaan.

Aina vuodesta 1936 lähtien on Suomessa tehty ns. linjamittauksia lumen vesiaron määrittämiseksi. Mittauslinjat ovat muutaman kilometrin pituisia ja ne on pyritty sijoittamaan ympäri Suomea siten, että ne sisältäisivät mahdollisimman paljon erilaisia maatyyppejä ja toimisivat mahdollisimman edustavina näytteinä kyseiselle alueelle. Nykyään näitä mittauslinjoja on pitkälti toistatavaa ja niillä tehdään lumen syvyys- ja tiheysmittauksia kerran kuussa. Näiden tietojen pohjalta laaditaan interpoloimalla hilapisteverkon avulla lumen vesiaronkäyrät koko Suomen alueelta. Lisäksi näitä mittauksia käytetään syötteinä hydrologisessa mallissa, jonka avulla pyritään seuraamaan ja ennustamaan lumen kertymistä ja sulamista.

Olellaisena puuttana tällaisessa menetelmässä on kuitenkin spatiaalisesti harva pisteverkko ja ajallisesti suhteellisen pitkä näytteiden ottoväli. Ongelmia muodostuukin usein lumen sulamiskaudella, jolloin vaihtelut ovat nopeita eikä niitä pystytä ennakoimaan tarpeeksi tarkasti. Kaukokartoituksen avulla voidaan tehdä mittauksia, jotka ovat spatiaalisesti tasaisesti jakautuneita eivätkä näin ollen kärsi interpolaation aiheuttamista virheistä. Lisäksi mittauksien päivitys on mahdollista aina satelliitin ylläpidon yhteydessä – jopa useita kertoja päivässä.

Kaukokartoituksessa käytetään satelliitteihin tai lentokoneisiin sijoitettuja mittauslaitteita. Kaukokartoitusinstrumentit käyttävät sähkömagneettisia aaltoja. Aallonpituuden mukaan ne voidaan jakaa optisiin eli näkyvän valon, infrapuna- ja mikroaaltoalueella toimiviin instrumentteihin. Lisäksi mittauslaitteet

voidaan jakaa aktiivisiin, kuten tutkat, ja passiivisiin, kuten kamerat ja radiometrit. Aktiiviset instrumentit mittaavat kohteeseen lähettämäänsä ja siitä takaisinheijastunutta säteilyä, kun taas passiiviset instrumentit mittaavat kohteen emittoimaa tai auringon kohteesta heijastunutta säteilyä tietyllä aallonpituusalueella.

Optisen alueen instrumentteja on jo muutaman vuoden ajan pyritty käyttämään operatiivisesti lumen alueellisen laajuuden kartoituksessa. Ongelmana kuitenkin on, että keväällä, jolloin havainnoille on kiireisin aika, sääolot, pilvet ja valaistusolosuhteet usein estävät satelliittia saamasta kuvaa kohteesta. Lisäksi optisella alueella signaalin huonon tunkeutumiskyvyn takia metsät, joita Suomen maa-alasta on noin 70 %, haittaavat myös mittauksia. Mikroaallot ovat riippumattomia valaistusolosuhteista, eivätkä ne ole herkkiä sääilmiöille. Mikroaaltojen tunkeutumiskyky mahdollistaa mittausten tekemisen myös metsäisiltä alueilta. Mikroaalloilla mitattu vaste riippuu instrumentin parametreista (kuten mittauskulma, taajuus, polarisaatio) ja kohteen ominaisuuksista (kuten pinnan karkeus, kohteen dielektriset ominaisuudet).

Euroopan avaruusjärjestön ERS-1-satelliitin laukaisun jälkeen on mikroaaltotutkan sopivuutta lumen sulamisen seurantaan tutkittu useissa tutkimuksissa. Satelliitin pääinstrumenttina oli 5.3 GHz taajuudella toimiva synteettisen apertuurin tutka. Tällä taajuudella lähetetty mikroaaltosäteily tunkeutuu useita metrejä kuivaan lumeen, mutta jo varsin pienet kosteudet lumessa huonontavat dramaattisesti tutkasignaalin tunkeutumiskykyä. Tutkasignaali läpäisee ilman ja

kuivan lumen rajapinnan helposti ja takaisin siroava signaali aiheutuu pääosin lumikiteiden aiheuttamasta tilavuussironnasta ja lumen ja maan välisestä rajapinnasta. Normaalisti tutkan mittaama takaisinsironta kasvaa hieman lumen vesiaron kasvaessa, johtuen kasvavasta tilavuussironnasta ja pienenevästä jäätyneen maan kontribuutiosta. Märästä lumesta taas pääosa takaisinsironnasta tapahtuu lumen pinnasta. Koska märän lumen pintaa voidaan pitää varsin sileänä verrattuna tutkasignaalin aallon pituuteen, heijastuu suurin osa tutkasignaalista peilimäisesti lumenpinnasta ja näin ollen tutkan mittaama takaisinsironta pienenee. Tämän ominaisuuden takia onkin ERS satelliitin SAR tutka osoittautunut varsin potentiaaliseksi instrumentiksi seuraamaan lumen sulamista. Vertaamalla sulamisajan mittauksia lumettoman maan ja märän lumen referenssimittauksiin voidaan seurata lumen sulamista alueellisesti yksinkertaisen lineaarisen interpolaation avulla.

Tutkakuvien avulla voidaan laskea lumikarttoja, joista ilmenee alueellinen lumenpeitto eli pälviprosentti. Lisäksi hyödyntämällä Teknillisen korkeakoulun avaruustekniikan laboratoriossa tehtyjä referenssitutkamittauksia ja sirontamalleja voidaan mittauksia analysoida myös metsäisillä alueilla. Tällöin tutkasignaalista pyritään estimoimaan se osa takaisinsironnasta, joka on aiheutunut puustosta ja erottamaan lumipeitteestä tulleesta takaisinsironnasta.

Tutkamittauksista laskettuja lumen sulamiskarttoja on verrattu maastossa suoritettuihin referenssimittauksiin ja optisilta kuvilta laskettuihin reflektansseihin.

Kummassakin tapauksessa korrelaatio tutkamittausten ja muun aineiston kanssa on ollut hyvä.

ERS-satelliittien SAR-tutkan rajoittavana ominaisuutena voidaan kuitenkin pitää pientä kuvakokoa, sillä 100 km kertaa 100 km kuvalta voidaan tehdä vain valuma-alueittaista lumen sulamistulkintaa. Uudemmissa SAR-tutkissa kuten Kanadalaisessa RADARSAT-satelliitissa ja Euroopan Avaruusjärjestön tänä kesänä laukaistava ENVISAT-satelliitissa voidaan tutkakuvalla peittää jopa 500 km kertaa 500 km alue, jolloin pääosa Suomea voidaan sovittaa kahteen kuvaan. Lisäksi tulevaisuuden tutkajärjestelmissä tulee olemaan useampia taajuuksia ja polarisaatioita, jolloin myös lumen vesiaron määrittäminen tulee mahdolliseksi. Lisäksi uudentyyppiset SAR-kuvien analysointimenetelmät, kuten polarimetria ja interferometria luovat kokoajan uusia mahdollisuuksia SAR-tutkan hyödyntämiseksi hydrologiassa.



Responses of headwater lakes to air pollution changes in Finland

1.6. 2001

Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos

Vastaväittäjä: Richard F. Wright, Norwegian Institute for Water Research, NIVA

Ilmaperäinen kuormitus oli osoittautunut pienissä latvajärvoissä niin happamoitumisen kuin raskasmetallien kertymisen syyksi. 1980-luvulla kansainväliset sopimukset ja niiden myötä tehdyt toimenpiteet alkoivat purra. Tällöin oli aika katsoa, miten ne olivat vaikuttaneet. Kiitos SYKE:n ja sen edeltäjän, minulla oli onni ja mahdollisuus suunnitella seuranta- ja toisaalta hitaana reaktioltani (pl. pallopelit) myös odottaa, että kypsä hedelmä putoaa syliin: 1990-luvun lopulla toipuminen alkoi näkyä kevyilläkin tilastollisilla menetelmillä, joita sovelsin väitöstyössä. Itse jatko-opiskelu ei etukäteen oikein innostanut, mutta tieteenfilosofia ja itse työ kyllä lopulta imivät mukaansa – ja kyllä siinä kollegat ja vaimokin potkivat, palloilutermein ilmaistuna, ”sukille”. Kuitenkin jälkepäin ”monitoroiden” työt väittelyn jälkeen satojen kemikaalien parissa eivät ole enää koskaan tuntuneet yhtä fokuoituneelta.

Väitöskirja-aiheen rinnalla minulla oli onni tehdä muutakin tiimityötä, ainakin kahdella saralla: 1. Arktisten alueiden kontaminoituminen ja 2. Pohjoismainen tilastolliseen otantaan perustuva järvien kemian ja kalaston kartoitus. Nämä molemmat ovat auttaneet ymmärtämään ilmiöiden ja ongelmien yleistämisessä, suhteuttamisessa (jopa globaalissa) ja kustannustehokkuudessa – vaikkapa vesidirektiivien puitteissa. Niinpä karonkassa olikin sellainen joukkue, että pidin noin tunnin kiitospuheen – ainoastaan harmitti etten rikkonut etikettiä ja kiittänyt vaimoani aiemmin kuin viimeisenä....

Summa summarum – haitallisten aineiden seuranta ja arviointi on se punainen lanka, jota olen kerinyt viime vuosikymmenet – muistaen aina välillä nostaa katseen ylös kartoittamaan uusia aineita ja maisemia (valokuvien, maalaten) ja siten saattamalla asiat oikeisiin mittasuhteisiin.



Juha Kämäri, Lea kauppi ja Jaakko Mannio karonkassa.

LECTIO PRAECURSORIA

Kreikkalaiset luonnonfilosofit tunsivat neljä alkua-ainetta: Maan, Veden, Ilman ja Tulen. Kaikkia näitä elementtejä ihminen on kautta aikojen pyrkinyt hallitsemaan - vaihtelevalla menestyksellä. Siitä on tänäänkin, ja tässä työssä kysymys. Kun nuo elementit asetetaan järjestykseen TULI -ILMA -MAA -VESI, saadaan yksinkertainen mutta hyvin kuvaava ketju ilmansaasteiden vaikutuksista järviin. Ilmansaasteissa kyse on ympäristöongelmasta, joka lähes poikkeuksetta liittyy ihmisen energian - siis tulen - käyttöön. Kyse on pohjimmiltaan siitä, että lähinnä kivihiilen ja öljyn poltosta sekä metallien käsittelystä peräisin olevat aineet joutuvat epäluonnollisen nopeasti uuteen paikkaan, jossa ne aiheuttavat liian suurena pitoisuutena ongelmia eliöille.

Metallien käytön historia tunnetaan kohtalaisen hyvin, koska se on oleellinen osa ihmiskunnan kulttuuria. Rooman valtakunnan kukoistuksen aikana, Kristuksen syntymän aikoihin maailman lyijyn tuotanto oli peräti 80 000 tonnia vuodessa! Terveysvaikutukset näiden päästölähteiden lähellä ovat varmasti olleet vakavat, ja niistä on dokumentteja.

Sen sijaan se, että ilman kautta levisi lyijyä ja kuparia jopa tuhansien kilometrien päähän jo silloin, on paljastunut vasta viimeaikoina jäätikköjen, turvesoiden ja järvien pohjakerostumien perusteella. Rooman luhistuminen näkyy myös näissä sedimenttikerrostumissa lyijyn vähenemisenä.

Vastaavalla tavalla, mutta huomattavasti rajumpana piikkinä näkyy myös lyijyllisen bensiiniin käyttö ja tästä nalkutuksenestoaineesta luopuminen. Oleellista eliöiden kannalta on kuitenkin se, että lyijyä on päästöjen lopettamisen jälkeenkin maaperässä paikoin jopa 1000 kertaa enemmän kuin luonnontilassa.

Metallien fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia tuntevat ajattelevat, ettei lyijystä enää ole ongelmaksi, koska se on niin tiukasti sitoutuva, sekä humuskerrokseen että mineraaliainekseen. Näin saattaa ollakin, mutta entä sama kysymys muille vahvasti ilmaperäisille raskasmetalleille, jotka tiedetään helpommin liikkuviksi: elohopea ja kadmiium:

- Onko niillä vaikutuksia maaperän pieneliöihin?
- Kulkeutuvatko ne pinta- ja pohjavesiin?
- Mitkä prosessit säätelevät pidättymistä ja vapautumista?
- Nousevatko pitoisuudet vielä viiveellä?
- Onko mahdollisesti ravintoon kertymisellä terveysvaikutuksia?

Ympäristöongelmana ilmansaasteista alettiin puhua laajemmin 1960 ja 70-luvuilla, kun happamoitumisilmiötä todettiin Ruotsin ja Norjan järvissä. Hurjimman ja tietoisesti liioitellun esimerkin olen löytänyt professori Ilmo Helan erinomaisesta Studia generalia -luennosta "Nykyinen käsityksemme biosfääristä" vuodelta 1970, jolloin Ruotsissa oli jo lyhyitä aikasarjoja sekä sadeveden että järvien happamuudesta:

"Jos pessimistisesti olettaisimme, että järvien pH jatkuvasti alenisi samassa tahdissa kuin sadeveden pH on jo pitkään alentunut ja että siis tämänkin aleneminen jatkuisi, päätyisimme ennustamaan arvokalojen, mm. lohikalojen häviävän vesistöistämme noin vuonna 1973, ja kaiken normaalin elämän kuolevan vesistämme noin vuonna 1982, jolloin pH saavuttaisi arvon 4. Maaperän neutraloivan vaikutuksen vuoksi meidän ei onneksi tarvitse pelätä näin pikaista katastrofia."

Viimeinen lause osoittaa Helan tienneen, mikä on happamoitumisessa avainkysymys – maaperän ominaisuudet. Joka tapauksessa hänen suosituksensa tutkimuslaitoksen johtajana osuu suoraan maaliin:

"Ilman saastumisen aiheuttamien vahinkojen estämiseksi tarvitaan ensiksikin tietoa ja asiantuntemusta, ja toiseksi asetuksia ja hallinnollisia säädöksiä sekä näiden lisäksi varoja ja suuren yleisön varauseton tuki. Monet toimenpiteet ovat toteutettavissa vain kansainvälisten sopimusten avulla. Onhan suuri osa meidänkin maamme alueelle ilmaitse tulevasta saasteesta peräisin Länsi-Euroopan tiheään asutuista ja pitkälle teollistuneista maista."

Näin siis kaksi vuotta ennen YK:n ensimmäistä ympäristökokousta Tukholmassa ja viisitoista vuotta ennen ensimmäistä ilmansuojelusopimusta rikkipäästöjen vähentämiseksi. Nyt, toiset viisitoista vuotta myöhemmin voimme todeta, että rikkipöytäkirjalla on onnistuttu vähentämään päästöjä kymmenessä vuodessa puoleen, ja tällä on ollut selvästi todettava myönteinen vaikutus järviin koko Fennoskandiassa, missä vauriotkin ovat olleet laajimmat. Tämä on tänään tarkastettavan työnkin tärkeimpiä johtopäätöksiä. ECE:n ilmansuojelusopimus onkin ollut eräs kaikkein onnistuneimmista kansainvälisistä ympäristösopimuksista. Kun tämä sanotaan, pitää muistaa että vain rikin ja eräiden raskasmetallien vähentämisessä on onnistuttu huomattavasti, ja että näitäkään ongelmia ei ole lähimainkaan ratkaistu kehittyvissä maissa, esimerkiksi Kaukoidässä.

Happamoituminen on ollut todellinen ongelma tuhansissa järvissä meilläkin. HAPRO-projektin perusteella meille syntyi kohtuullisen hyvä käsitys niin happamoitumisen prosesseista kuin levinneisyydestäkin Suomessa. Meillä ei ole kuitenkaan ole ollut tarvetta laajamittaisiin kalkituksiin, mikä mielestäni on ollut oikea, ja harkittu ratkaisu. Ruotsissa tässä asiassa tapahtui selvä ylilyönti vielä niinkin myöhään kun 90-luvulla. Norrbottenin läänissä kalkittiin satoja luonnostaan humuksen vuoksi happamia ruskeita vesistöjä pelkän pH-luvun perusteella.

Merkillistä, että näin tapahtui maassa, jossa jo 20 vuotta sitten tiedettiin, että *"näytä minulle anionisi, niin kerron kuka olet"*. Kemisti ymmärtää, että pH-luku on vain seurausta muiden aineiden keskinäisistä suhteista, joskin biologi lisää että vetyioneilla on toki

fysiologisia vaikutuksia. Minusta pH-lukua voi jossain määrin verrata lämmön mittaamiseen potilaalta. Se voi kertoa että jotain on vialla, muttei yksinään kerro mitään kuumeen syistä. Ruotsin tapauksessa voidaan kysyä, olikohan naapurin pojalla vilttikuumetta?

En panisi tälle yksityiskohdalle muuten painoa, mutta kun ne vesistöt - jos ne kalkittiin kunnolla - käsittääkseni nyt ovat kauempana niin sanotusta luonnontilasta kuin jos niiden olisi annettu palautua Pohjois-Ruotsin kohtalaisen matalasta happokuormasta vain odottamalla ilmansuojelutoimien purevuutta.

Järvet ovat näyttelleet merkittävää osaa ilmansaasteiden vaikutusten ensimmäisinä hälytyskelloina ja järvien pohjakerrostumat erinomaisina arkistodokumentteina.

Erityisesti pienet, ylänköalueilla sijaitsevat järvet – tai alppijärvet ja tundralammet ovat osoittautuneet erinomaisiksi ympäristön muutosten indikaattoreiksi muutenkin kuin happamoitumisen osalta. Koska ne ovat eristyksissä ja valuma-alueilla on vähän ihmisten toimintaa, ne ovat ulkoilma-laboratorioita: suljettuja ja yksinkertaisempia rakenteeltaan ja toiminnaltaan kuin suuremmat järvet – tai metsäekosysteemit. Latvajärvistä on todettu niin raskasmetallien, pysyvien orgaanisten myrkkujen ja radioaktiivisen laskeuman, kuin myös ilmastomuutoksen ja haitallisen ultraviolettisäteilyn lisääntymisen vaikutuksia hyvin varhaisessa vaiheessa. Näinollen niissä voidaan myös yrittää selvittää globaali muutosten yhteisvaikutuksia.

Meillä on 60 tuhatta yli hehtaarin kokoista järveä ja niistä yli neljä tuhatta puolen neliökilometrin järveä. EU:n vesipolitiikan mukaan meillä tulee olla edustava käsitys näiden ekologisesta tilasta, unohtamatta virtaavia vesistöjä. Tämä tulee olemaan valtava haaste, jota on jo kliseenä toistettu. Menemättä yksityiskohtiin, voidaan sanoa, että tästä katsauksesta ei tulla selviämään ilman tilastollisella otannalla suoritettuja kartoituksia, joiden avulla tänäänkin tarkastettavassa työssä voidaan esittää kansallisella tasolla joitakin lukumääräarvioita järvien tilasta. Meillä on hyvä ja pohjoismaisesti vertailukelpoinen käsitys maamme järvien peruskemiasta, muttei virtaavista vesistä. Kun

ajatellaan vaikeampia haasteita, niin biologinen tietämys on paljon - saarekkeisempaa, ja useiden uusien kemikaalien esiintymisestä meillä ei ole edes käsitystä.

Viittaan tässä johdannossa pysyviin orgaanisiin myrkyihin kuten PCB, dioksiinit ja PAH-yhdisteet sekä metyylielohopeaan, vaikka niitä ei työssäni käsitellä. Syitä on ainakin kaksi: ne ovat kiistatta ilmansuojeluongelmia ja niiden aiheuttamat ongelmat ovat kroonisempia ja vaikeammin ratkaistavia kuin rikkidisteiden aiheuttama happamoituminen. Se, että kuormitus kotimaassa ja räikeimmät vaikutukset on saatu kuriin on toki saavutus, muttei mikään lopullinen ratkaisu. Itämeren hylkeet voivat paremmin kuin 20 vuotta sitten ja kalojen elohopeapitoisuus teollisuuden alapuolisissa vesissä on vähentynyt.

MUTTA orgaaniset myrkyt ja elohopea eivät suostu hautautumaan, edes järven pohjalle. Niiden ominaisuuksiin kuuluu haihtumisen mahdollisuus, ja nyt ne kulkeutuvat erityisesti arktisille alueille, jossa ne kondensoituvat ja kertyvät tehokkaasti ravintoketjussa. Ilmastomuutoksen suunta ei näytä siltä, että Helsingin kaduilla kävelisi jatkossakaan jääkarhuja - mutta jos kävelisi, niillä saattaisi hyvinkin olla lisääntymisvaikeuksia. Ei kulttuurishokin vuoksi, vaan siksi että kertyvien orgaanisten myrkkujen pitoisuudet ovat yleisesti jääkarhuilla maailman huippua. Elohopeaa on puolestaan viimeisten tulosten perusteella metsäjärvien haukimammassa ihan yhtä paljon kuin omassa graduaineistossani 80-luvun alkupuolella. Ja Itämeren silakassa on paljon dioksiinia, jonka alkuperää emme tunne. Olen pahoillani.

Vesistöjen tutkimuksessa ja seurannassa tulee jatkossa olemaan monenlaisia haasteita, jotka kulmineituvat siihen, että kuormituksen ja vasteen välillä ei enää löydy selkeää yhteyttä. Tästä esimerkkeinä ovat mm. elohopea, osa klassisista ja uusista orgaanisista myrkyistä, ravinteiden sisäinen kierto ja ilmaperäinen tyyppi. Ottamatta kantaa ovatko ne yhtä haitallisia ympäristön kannalta kuin vanhat synnit pistekuormituksesta tai ilmaperäinen rikki, niin varmasti niiden tutkimus ja seuranta tulee olemaan vaikeampaa. Sitäpaitsi, laskulle ei löydy maksajaa, jos syyllinen ei ole

osoitettavissa! Paitsi ehkä, jos vaikutukset ulottuvat ihmisen terveyteen.

Laajalevintäisten ympäristöongelmien tutkimus ja seuranta vaatii pienemmästä havaintojoukosta ekstrapolointia alueelliselle tasolle, koska kaikkia kohteita ei voida tutkia. Toisaalta eri ympäristöpaineiden yhteisvaikutusten tutkiminen edellyttää tietointensivistä, prosesseihin pureutuvaa yhdenmukaista tarkastelua. Tämä kallis yhtälö edellyttää todennäköisesti integroitua seuranta- ja joillakin alueilla ja erilaisten seurantojen integrointia laajemmalla alueella. Tämä kehitys ei tule tietenkään tapahtumaan vain kansallisella tasolla verkkojen punomisena, vaan näen, että tavoitteet kietoutuvat yhteen tiettyjen kansainvälisten sopimusten välillä, jolloin niiden puitteissa tapahtuva tutkimus ja seurantakin tulee yhdentymään. ECE:n ilmansuojelusopimus, Arktinen AMAP, UNEPin orgaanisten myrkkujen sopimus, merisopimukset OSPAR ja HELCOM sekä ilmastopopimus.

Luonnonfilosofeihin verrattuna meidän faktatietomäärämme on valtava, mikä luo tietysti myös tuskaa. Tilanne ei kuitenkaan näytä niin synkältä kuin Keskiajalla ennen vuotta 1500, jolloin alkemistit kuvittelivat, että universumi koostuu pääasiassa kahdesta alkuaineesta: rikistä ja elohopeasta!

Air pollutants and energy pathways: Extending models for abatement strategies

8.6.2001

Teknillinen korkeakoulu, Teknillisen fysiikan laitos
Vastaväittäjä: Prof. Joe Alcamo, University of Kassel



Väitöskirjatyöni syntyi SYKEssä aikavälillä syksystä 1994 kesään 2001. Toimin tutkijana ja sittemmin erikoistutkijana ilmansaasteiden laskeuma- ja vaikutusmallien kehittämisessä. Tulin silloiseen vesi- ja ympäristöhallitukseen töihin vastavalmistuneena uusien energiateknologioiden diplomi-insinöörinä. Tutkimusryhmässä oli vahva ja aktiivinen tieteellisen työn perinne, ja oli luontevaa aloittaa oman alan jatko-opinnot ja kirjoittaa tieteellisiä artikkeleita työstä.

Lea Kauppi oli alkuun yksikkömme päällikkö, kunnes korkeamman tason haasteet kutsuivat uudessa SYKEssä. Läheisiä kollegoitani ja esimiehiäni, jotka erityisesti tukivat ja inspiroivat tieteellistä työtä, olivat mm. Matti Johansson, Martin Forsius, etävahevistuksemme Max Posch, sekä myöhemmin Tim Carter. Kesän 1997 sekä vuosina 1998–1999 olin kehittämässä vastaavaa Euroopan mittakaavan mallinnusta IIASA:ssa.

Väittelyn jälkeen elämäni raamit ja tempo muuttuivatkin nopeasti. Keväällä 2002 siirryin erikoistutkijaksi ja tiimivetäjäksi VTT:lle ilmastonmuutoksen hillinnän pariin. Perhe alkoi kasvaa nopeaan tahtiin, ja samalla työtehtävät vaihtuivat enemmän omasta tutkimuksesta esimiestyöhön ja nuorempien tutkijoiden tukemiseen.

Sama trendi jatkui luontevasti, kun siirryin Aalto-yliopistoon energiatalouden professoriksi syksyllä 2010. SYKEN tutkimusryhmämme vahva tieteen perinne on ollut keskeinen tausta sille, että olen omaksunut aktiivisen tieteellisen tekemisen omakseni, ja nautin suuresti siitä, että saan nyt itse olla kasvattamassa uutta sukupolvea samaan suuntaan!

ABSTRACT

This study presents the development and applications of regional and local scale models for use in integrated assessment of air pollution effects in conjunction with large-scale models. A regional deposition model called DAIQUIRI (Deposition, AIr QUALity and Integrated Regional Information) for integrated assessment purposes in Finland was constructed, and regional matrices for nitrogen oxides and ammonia were developed from the results of the regional air quality model of the FMI. DAIQUIRI produced similar estimates of deposition from Finnish sources as the original model, and long-term trends and the average level of deposition estimated with DAIQUIRI were found comparable with the monitored deposition levels and trends. For the mid-nineties situation, the regional nitrogen modeling resulted in 9% to 19% (depending on the region compared) larger estimates of areas with acidity critical load exceedances than when using European scale nitrogen deposition modeling.

In this work, also a method for estimating the impacts of local NO_x emissions on urban and sub-urban ozone levels was developed and tested. The study concentrated on representing the destruction of ozone by fresh NO emissions in urban areas for future use in integrated assessment modeling of ozone control strategies. Correlation coefficients between measured daytime ozone values in the study area were found to improve from 0.64 (correlation between urban and surrounding rural measurements) to 0.85, on the average.

The average correlation between daytime large-scale model estimates and urban site measurements was found to improve from 0.37 to 0.58.

In the study, also integrated assessment model applications were carried out at European, national and local levels. The synergies between control strategies for CO₂ and acidification and ozone formation in the case of the UN/FCCC Kyoto protocol and the air quality targets of the EU were assessed with the help of coupled models. With two alternative energy scenarios reflecting the Kyoto targets for CO₂, reductions of sulfur and NO_x emissions between 12% and 22% and 8% to 12%, respectively, were estimated by 2010 in the EU-15 with the present emission control legislation. Due to the lower activity levels generating less emissions and the cleaner energy forms used, 35–43% cost savings in further technical emission controls required for achieving the EU air quality targets would be achieved with the scenarios studied.

Case studies for Finland indicated that there has been a decrease of 60% in the area at risk of acidification from 1990 to 1995, and that the declining trend is expected to continue due to the recent international emission reduction agreements within the UN/ECE and the EU. Implementation of the Kyoto protocol in Finland and in the whole of EU-15 (with the present emission legislation) could bring up to 8% more reduction of ecosystems at risk of acidification in Finland by 2010

than the recent UN/ECE protocol. An uncertainty analysis of acidification integrated assessment modeling in Finland indicated that critical loads dominate the uncertainty. Estimates are becoming more robust, as the general level of deposition is decreasing. In Finland, further efforts to reduce the overall uncertainty should be mainly directed to more accurate description of critical thresholds. In areas affected by major nearby emission sources, also uncertainties in emissions and deposition are significant. The models and their applications presented in this study contributed to identifying the problem characteristics and have supported environmental policy development at international, national and regional levels.



Heikki Kotiranta

The Corticiaceae of Finland

7.9.2001

Helsingin yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Vastaväittäjä: Prof. Nils Hallenberg, Göteborgin yliopisto

LECTIO PRAECURSORIA

In this study I have presented the Corticiaceae of Finland. But what are the Corticiaceae? A question which cannot be easily answered. However, they have at least one common feature - they are all fungi, but classified in different orders. Anyway it is obvious that the group I'm dealing with is very heterogeneous.

Most of the species are wood-rotting and grow on fallen trunks, branches, twigs and other woody materials like the "relatives" polypores do, but are normally not as strong decayers as polypores. Perhaps only some forty (40) species of the Corticiaceae are of great importance in the decaying processes of large trunks. On the other hand, it seems that the importance of their role in the decaying processes of small trunks, branches, boards and other wooden structures plus some large herbs and ferns are even more important than that of polypores. It is mainly due to the fact that many of the Corticiaceae species are small in size and really do not need a large host for nourishment. There are also species which are apparently humus decayers and also mycorrhiza formers (e.g. *Byssoctricium*). So far, relatively few species are found in Finland which are pathogenic on other fungi (like *Syzygospora* spp.), but the amount of these species will most probably rise in the near future, when the researchers have time to focus their interest on this fascinating group.

By now 372 species have been recorded from Finland but I know that there are many more. Even on my table

in the working room there are some new to Finland and some undescribed species, which unfortunately appeared so late that I could not consider them in these papers.

The habitats of Corticiaceae are naturally very diverse. Outdoor there are a few places where you cannot find Corticiaceae species if there is some kind of organic material. The largest diversity is most probably to be found in old-growth forests with plenty of different-sized decaying wood of different host species in different biotopes. Also luxuriant grass-herb forests and brook sides, remnants of collapsed wooden buildings and semiurban and even urban growth sites harbor an unexpectedly rich mycota if really carefully studied. Burned areas are inhabited by some species of equal numbers, compared with unburned areas (e.g. *Botryobasidium vagum* and *B. subcoronatum*), but also some species which are on charred wood more common than elsewhere (e.g. *Sistotrema brinkmannii*, *Crustoderma dryinum*, *Phanerochaete magnoliae/raduloides*, *Leucogyrophana romellii*, *Ceratobasidium cornigerum* (which "normally" grows on herbs), and *Cylindrobasidium evolvens*).

Besides polypores some Corticiaceae species can be used as indicators of the habitat. Commercially used forests inhabit very rarely species like *Chaetodermella luna*, *Crustoderma dryinum*, *Cystostreum murraii*, *Gloiodon strigosus*, *Hyphodontia curvispora*, *Laurilia*

sulcata, *Odonticum romellii*, *Phlebia cornea*, *Phlebia serialis*, *Pseudomerulius aureus* or *Sistotremastrum suecicum*. If many of these species are found from the same area, it is in more or less natural state and worth protecting as an old-growth forest. This method has also been successfully used when values of different forest areas have been assessed for nature protection. For sure there are many other species, which could be used, as well, but unfortunately they are often so rare and small, that they cannot be found during relatively short investigations. Moreover, they are not always easy to identify.

As the amount of species is high, there are also species which seem to have a very wide distribution area in the world like *Hyphodontia sambuci* (in a wide sense anyway) which grows all over the world. At least many of the species found in Finland grow also in Siberia and Russian Far East and also in the United States and Canada. It may be because the Corticiaceae species are normally not restricted to only one host tree species or to only one host tree genus. For example *Laurilia sulcata*, which in Finland grows solely on spruce, in Siberia grows mostly on larch-species (*Larix* spp.) and even on aspen trees (*Populus* spp.).

One aim of this study was to compile a check list of the Finnish Corticiaceae species so that the threatened species could be evaluated according to the new IUCN criteria. The new red list is ready now, but so far

published only in the internet. According to that list there are four (4) Regionally extinct species (*Aleurodiscus fennicus*, *Amaurodon mustialaënsis*, *Amaurodon viridis* and *Phlebia bresadolae*), 13 Critically endangered species, 12 Endangered species, 27 Vulnerable species, 38 Near threatened species, over 210 Least Concern species which are without any threat (at least now) and 70 Data Deficient species. The last group of which we do not have enough data for evaluating the threat category is important. It shows that still many more investigations are needed in different parts of Finland as well as elsewhere. An overwhelming majority of the DD-species are found in Finland once or twice only. It seems that they are rare also in, e.g. Sweden and Russia. Very few of the DD species are put in that category due to taxonomical problems.

As I have already mentioned, there are still many species which are not reported from Finland as well as species new to science. I am fully aware that we cannot ever find all the species we have, but we must try and do our best to make as complete lists and, later, distribution maps we can. Without these lists and maps we cannot evaluate the possible threats of the species. The mapping is naturally not possible without the help of so called "amateurs" whose level is very high in Finland thanks to enthusiastic teachers in mycology. The amateurs are good field mycologists and nowadays I do not have to check dozens of kilograms of *Fomitopsis pinicola*'s anymore, but interesting

specimens from different parts of Finland. While we collect the material of distributions we also get the data of ecology and biology. The large ecological projects carried out by Finnish mycologists and ecologists in differently managed forests (also non-managed) also help us to understand the ecological requirements of our species and the whole mycota. The problem here is the huge amount of collections, because Corticiaceae species can very seldom be identified by naked eye in the field. In identification the most practical tool is the microscope.

When describing new species scientist widely use mating tests and DNA sequence methods nowadays. However, they are time consuming, not very cheap yet, and a good laboratory as well as trained laboratory stuff are needed. However, I'm sure that in the future I am also going to work with scientists familiar with these techniques. And it is not always good that there are scientists working only with DNA techniques. For instance one group of researchers who were not familiar with their object made sequences of one Myxomycete species and got very strange results. Then one mycologist checked their object and found that it was not a Myxomycete but a *Penicillium*. So, because I am not familiar with the techniques and I have had too little time to contact the right persons, I have worked solely with HER. She is my microscope: silent, shows beautiful views, never argues with me even after twelve hours' sessions and is warm in the early cold winter

mornings. Of course I must handle her also gently, which I do with pleasure with both hands. With the aid of her I have made all the drawings in the thesis and everyone (hopefully) can see that now after the ten years' companionship the results are better than when we started our relationship in 1990.

Mr. Opponent, I now call upon you to present your critical comments on my thesis.

Cumulative geological, regional and site-specific factors affecting groundwater quality in domestic wells in Finland

28.9.2001

Turun yliopisto, Geologian laitos

ABSTRACT

Groundwater quality in domestic wells and the reasons for problems in this respect are described on the scale of an individual household well using an extensive database of 1421 wells. The water quality in these wells is compared with that reported in the late 1950's in order to assess long-term changes, and a comparison is made between the dug wells (N = 1096) and the bedrock wells (N = 325). The possibility of seasonal changes is assessed by comparing analyses of water taken from the same 423 wells at three seasons of the year. Only 37.2% of the wells fulfilled all the hygienic and technical requirements and recommendations for drinking water. Statistical evaluation of the water quality analyses and background data obtained from questionnaires and geological maps points to five water quality factors contributing to the conclusions reached in the survey: salinity, redox, pH, pollution and contamination. These correspond to a combination of specific geological, regional and site-specific factors which together are manifested as cumulative effects

operating at particular locations. All the layers of factors are represented to various extents in each well. Well owners can modify the site-specific factors and ameliorate their effects by keeping their wells in a good state of repair, addressing problems of insufficient aeration and eliminating any nearby sources of pollution. Such measures can affect the microbiological quality of the well water, the amounts of nitrogen compounds contained in it, its turbidity, KMnO_4 consumption and in part its Al, Fe and Mn concentrations, but it is not possible to influence the state of oxidation in the aquifer (affecting turbidity, colour, KMnO_4 consumption, Fe and Mn, SO_4 and NO_3) or any of the extra-regional factors such as the chemical composition of the soil and bedrock or present or relict marine influence (F, Al, SO_4 , Cl, Na, K, Mn, Fe, alkalinity, pH and total hardness). The seasonal variation in quality variables in individual wells is likely to be greater than the seasonal variation in the aquifers, which emphasises the vulnerability of the wells.



Genetically modified pseudomonas associated with plants: Aspects for environmental risk assessment

24.5.2002

Helsingin yliopisto, Biotieteen laitos

Vastaväittäjä: Prof. Ole Nybroe, Department of Ecology and Molecular Biology, Section of Genetics and Microbiology Royal Veterinary and Agricultural University, Tanska

Valmistuin keväällä 1991 filosofian maisteriksi ja olin saanut opiskelusta tarpeekseni. Silloin lupasin itselleni, ettei minusta tule jatko-opiskelijaa. Mutta toisin kävi, ja olen siitä ikuisesti onnellinen.

Valmistumiseni keskellä 1990-luvun lamaa aiheutti kuitenkin sen, että työtä tuoreelle mikrobiologille ei juuri ollut. Sain kuitenkin määräaikaisen työpaikan Helsingin yliopiston yleisen mikrobiologian laitokselta, joka silloin sijaitsi Ruskeasuolla. Työtehtävät liittyivät ympäristöbakteerien DNA:n muuntuvuuteen. Muutaman kuukauden päästä esimieheni ilmoitti, että kyseinen työpaikka olikin jatkokoulutuspaikka. Eipä sitten ollut muita vaihtoehtoja kuin ryhtyä jatko-opintoja suorittamaan. Kun rahoituskuvio muutama vuosi myöhemmin yliopistossa kävi yhä epävarmemmaksi, tartuin tilaisuuteen ja otin määräaikaisen pestin SYKEssä, Kirsten Jørgensen geeniteknikalla muokattuja ympäristöbakteereita käsittelevässä hankkeessa.

Huomasin heti, että SYKEN laboratorio oli oikea paikka minulle ja sille tielle jäin.

Kun väitöspäivä läheni, kehitin itselleni uuden moton: jos pärjääät tässä, pärjääät missä vain... Jännitystä lisäsi se, että GMO:ta vastustava järjestö (Kansalaisten Bioturvayhdistys) halusi videoida väitöstilaisuuteni. Onneksi tilaisuuden kustos kielsi tämän minun pyynnöstäni. Olin kovin iloinen siitä, että Lea, Mikael Hildén ja silloinen tutkimusjohtaja Juha Kämäri kunnioittivat väitöstilaisuuteni läsnäolollaan.

Käytännön hyötyä väitöskirjan aiheesta minulla on ollut työssäni vain vähän. Tärkeämmäksi koen ne asiat, jotka itse väitöskirjatyo opetti minulle, kuten pitkäjänteisyyttä, rohkeutta tarttua asioihin ja ymmärrystä siitä, että totuus on katsojan silmissä. Näistä asioista minulla on ollut korvaamatonta hyötyä nykyisissä työtehtävissä.

SUMMARY

Bacteria belonging to the genus *Pseudomonas* can be used as biological control agents in association with plants, for protection against plant diseases or frost damage. Biological control is considered to be more environmentally friendly than the use of traditional chemical agents. In planned commercial products, there is however, often a need to improve the used bacterial strains by genetic engineering techniques. Because little is known about the behaviour and impact of introduced genetically modified bacteria in the environment, legislation requires a risk assessment to be performed, proving the strain to be safe to use, before genetically modified bacteria are allowed to be released into the environment. In this work, the survival and impact of introduced *Pseudomonas* bacteria were studied in two habitats likely to be the target for future biological plant protecting agents; the leaf surface and the roots. The bacteria were genetically modified by tagging with marker genes to facilitate monitoring. Experiments were performed in laboratory setups mimicking environmental conditions.

Introduced *Pseudomonas* bacteria survived on the leaf surface regardless of the prevailing humidity. In soil and in the root system of birch, the introduced bacteria did not survive as large populations. In particular, at high soil temperatures, the bacteria disappeared when

measured by plating techniques, but were detected using molecular techniques. This indicates that the introduced bacteria had lost their culturability soon after introduction. The live, remaining population could be reactivated in laboratory conditions. On the leaf surface, the introduced bacteria stayed culturable.

A selective marker gene devoid of any antibiotic resistance coding genes was successfully used for monitoring of the introduced strain in soils. The most sensitive monitoring method used was plate counting, but this method records only culturable cells. Methods that monitor non-culturable bacteria should therefore also be used to complete the picture of the survival of genetically modified bacteria in soil. This monitoring was complicated by the low recovery and impurities in DNA- and protein extracts from soil samples. The molecular techniques should be improved to increase sensitivity of the methods and to obtain a more complete picture of the survival of introduced bacteria.

The leaf surface acted as a hot-spot for gene transfer by conjugation in certain conditions and gene transfer to indigenous bacteria was observed. Conjugation was promoted by nutrients and the leaf surface itself, to which bacteria attached in micro-aggregates. The conjugation rate was dependent on the method used

for introducing the bacteria, which recipient bacteria were investigated and the prevailing humidity conditions. In soils, observed impacts of the introduced strain included some changes in bacterial and fungal communities, nutrient utilization, and denitrification potentials. The ecological significance of these results is difficult to establish without further research on microbial ecological principles in soil and on plants. In addition, experiments on the likelihood for these events to occur in the environment is needed. The results presented in this work, demonstrate the behaviour of introduced *Pseudomonas* bacteria in plant associated environments. Monitoring methods using culturing techniques are sensitive, but additional methods are required in environments such as soil, where the introduced bacteria can turn non-culturable. Molecular techniques should then be used in combination with culturing techniques. The results emphasize some possible changes introduced bacteria may pose on the environment. Both gene transfer to indigenous bacteria and changes in microbial communities were observed as a result of introduction of *Pseudomonas* bacteria to plant associated environments. In future evaluations of genetically modified plant protecting agents, the likelihood and impact of these changes should not be neglected.

Microbiological tests and measurements in the assessment of harmful substances and pollution

6.8.2002

Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos

Vastaväittäjä: Prof. José V. Tarazona, National Institute for Agriculture and Food Research and Technology, Spain

ABSTRACT

New chemicals are produced in increasing numbers. In Finland every year about 28 000 different products are manufactured or imported which can be classified as harmful. These products contain about 5000 different harmful substances. We also receive harmful compounds in airborne emissions. Substances are further transformed in industrial processes, in waste management and in the environment by human activities and natural processes. However, only rather limited monitoring data is available about the environmental concentrations of these compounds (concerning about 20–40 substances). The environmental risks of harmful substances can be recognized, assessed and managed by : 1) measuring concentrations in the environment, 2) testing the effects on biota in toxicity tests and 3) monitoring ecosystem changes in the environment. Microbes have a key role in the environment as degraders in the carbon and nutrient cycles. They also have the capability to transform and degrade many harmful man-made substances. Microbes have a strong effect on the exposure of other biota to chemical substances. Hence they can be regarded as primary targets for harmful effects of chemicals or active transformers of chemicals in the environment.

The objective of this study was to evaluate the usefulness and applicability of microbial toxicity tests, biodegradation tests and microbial biomass and activity measurements in the environment for the environmental hazard identification and risk assessment of chemicals, effluents and contaminated soils. The study considers both aquatic and soil environments. The effects of modern pulp mill bleaching effluents on biota were assessed by a set of different biotests and by chemical analysis. The effluents and their long term effects on aquatic microbial processes were also studied in outdoor mesocosms. In one part the biodegradation kinetics of carbon-14-labeled model compounds in standard tests and in environmental conditions were measured and compared. The effects of several pesticides on soil microbes were tested and assessed in laboratory tests and in field trials. The applicability of microbial toxicity tests in the assessment of soil pollution and bioremediation processes was also studied in comparison with chemical analysis. The results of the study can support the development and selection of test methods for environmental risk management and regulatory decisions.



Helena Valve

Social learning potentials provided by EU rural development programmes: A comparative study on three institutionalisation processes

14.3.2003

Tampereen Yliopisto, Aluetieteen ja ympäristöpolitiikan laitos
Vastaväittäjä: Prof. Philip Lowe, University of Newcastle, UK

Tarina jatko-opinnoistani seuraa jonkin matkaa tarinaa Suomen ympäristökeskus -nimisestä valtion tutkimuslaitoksesta. SYKE:n perustaminen saattoi liikkeelle huhun, jonka mukaan rakenteilla oli oikea tutkimuslaitos. Tähän työhön myös meidät yhteiskuntatieteilijät kutsuttiin mukaan. Tämä oli kiehtovaa, mutta myös hieman hämmentävää. Mitä se sellainen yhteiskuntatieteellinen ympäristötutkimus, tai ohjauskeinotutkimus, kuten silloin sanottiin, oikein on? Joka tapauksessa, ohjauskeinonäkökulman mukaisesti, ryhdyin tekemään väitöskirjaa ohjauskeinosta: ympäristövaikutusten arvioinnista. Eri näiden vaiheiden jälkeen kohdennus kuitenkin muuttui.

Väitöskirjani käsittelee vallankäyttöä, mutta myös pehmeämpiä teemoja, kuten "sosiaalista oppimista". Karonkassani Lea toivoikin, että SYKEstä kehittyisi tällaisen oppimisen tyyssija. Olen sittemmin kirjoittanut hyvin kriittisesti siitä, miten tätä käsitettä sovelletaan. Tutkiessani sitä, miten yhteiskuntatieteen käsitteet ja metodit tuottavat ympäristöpolitiikan kohteita huomasi, että oppimisen ylistyksen huumassa todellisuus esitetään jonaikin hyvin järjestäytyneenä: ikään kuin maailmaa voisi hallita keskitetysti yhtenäisten – ja oppivien – prosessien avulla. Tällaisessa (kuvitteellisessa) maailmassa pehmeät ohjauskeinot vaikuttavatkin riittävältä. Tutkimusmenetelmämme siis lähettävät jo sinällään poliittisia viestejä. Tällaisten havaintojen tekemiseen ja omien lähtökohtien uudelleenarviointiin jatko-opinnoista alkanut tutkija-ammatin antaa hyvät eväät ja mahdollisuuden. Kenties SYKE on kuin onkin oppimisen yhteisö – ja pehmeä ohjaus täällä aivan riittävä!

LECTIO PRAECURSORIA

Mr Custos, Mr Opponent, Ladies and Gentlemen,

Solving of environmental problems is closely related to solving the problems faced by rural areas and rural people. In Finland this connection is very familiar. For example, we know that eutrophication of lakes is to a significant extent caused by farming.

On the other hand, having faced the threat of losing meadows and open landscapes, we have become aware of the role which rural activities play in the production and maintenance of various cultural, aesthetic and biological values.

In Finland EU membership changed the means by which rural livelihood is supported. We also gained access to the structural funds of the EU. Together with national sources these funds finance projects which are assumed to create or safeguard jobs and to enhance the competitiveness of less developed regions. During the period 1994–1999 the funding system had six official Objectives. The so-called Objective 5b allocated funding to rural regions.

The accession of Finland to the EU – and the introduction of the structural funds – took place at a time when the Act on environmental impact assessment

procedure had just come into force. It became mandatory to assess the environmental impact of large investments and plans in advance. Partly as a result of this new Act the environmental authorities faced a difficult question: how should the environmental impact of the new structural funding programmes be assessed?

Since my task at the Finnish Environment Institute at the time was to develop the practices of environmental assessment, I inevitably came across this question. I started to look for an answer by contacting experts with experience of the integration of regional and environmental policies.

The views of the experts turned out to be fairly coherent. I was told that to study the impact of a programme is to study the impact of the individual projects which are financed through the programme. This could be done, for example, by making environmental assessments of project initiatives compulsory.

However, I kept wondering if such an approach is adequate. Shouldn't we be at least interested in knowing how the initiatives come about? After all, it is hard to make really significant changes to more or less complete project proposals.

The question of the environmental impact of rural and regional development programmes is still very topical indeed. The EU continues to consider how to reform its Common Agricultural Policy. That something needs to be done seems obvious. One potential way out of the political and economic crises the policy is facing is to increase the role and intensity of rural development measures at the expense of agricultural subsidies. If this happens, we shall perhaps have even more extensive rural programmes to assess than what we have just now.

Human existence is based on the use of natural resources. However, the relationship between the quantity and quality of natural resources on the one hand and the conditions of human subsistence on the other is by no means linear. Nor do the restrictions set for the use of

natural resources decrease rural welfare in a directly proportional manner.

This non-linearity challenges the making of environmental policy. For example, it becomes unfeasible to try to solve the conflicts between nature conservation and rural well-being by leaning solely on optimisation calculations. Such an approach is in many ways problematic. One of the key questions that arises is that how can we know that we are evaluating the relevant alternatives? Couldn't there be even more optimal options beyond our current imagination?

I claim that the answer is yes and therefore we should concentrate on promoting conditions in which the creation of new solutions and the commitment of various actors to the common challenge is most likely to take place. When we succeed in this, we can say, using the terminology of my study, that the potential for social learning is high.

In my thesis I study three processes of programme institutionalisation by evaluating the social learning potential the programmes created. The case study regions were East Anglia in the UK, Gävleborg in Sweden and South Ostrobothnia in Finland.

When studying the processes of institutionalisation I lean on the analytical tools provided by French sociologist Pierre Bourdieu. In his texts Bourdieu stresses the importance of social categories for the use and accumulation of power. To categorise, he reminds us, meant originally "to accuse publicly"; that is, to authoritatively announce what is the identity of an individual or, simply, to state who he or she is.

In my thesis I ask whether the rural development programmes produced – or reproduced – social categories which could be viewed as beneficial for social learning – and, as a consequence, also for the integration of environmental and rural policy concerns.

Comparison of the three institutionalisation processes reveals how the distinct political and historical circumstances affected the likelihood that the programmes

would promote social learning and which categories became relevant in the construction of such potential. However, the similarities between the cases were also considerable. The funding system imposed some categories of thinking and acting in a very influential way. Unfortunately these categories were unfavourable for social learning.

Nevertheless, the extent to which the rural development programmes generated social learning potential was not wholly predetermined either by the quality of the programmes or by the region-specific circumstances. The actors who were responsible for the construction of interaction conditions could make a difference. Moreover, a programme could inspire new actors to take part in rural development and to demand policy changes.

It is clear that the role and impact of a policy scheme cannot be understood by only studying its material outcomes such as final projects. Instead we need to ask how a scheme affects the social conditions in which its outcomes are produced.

A policy scheme affects who can contribute to the implementation process and how. It can do that directly, for example, by addressing the right to participate to a particular group of actors. Moreover, all policy instruments produce categories which affect our views as to what is possible, acceptable and desirable – and for whom. As a result, means of public intervention provide political and symbolic assets for policy implementation, but also for other social contests.

The politics of policy instruments should be taken seriously in the study and development of environmental and rural policies. In an ideal case public intervention generates space for consensus-seeking public deliberation. Although we must abandon the very straightforward management strategies of the "social engineering" –type, "the return of the political" opens up new perspectives and opportunities for collective action.

Sources and fate of mercury in aquatic ecosystems

4.6.2003

Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos
Vastaväittäjä: Prof. Marc Lucotte, Institut des sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal (UQAM), Montreal, Canada

LECTIO PRAECURSORIA

Herra kustos, arvoisa vastaväittäjä, hyvät kuulijat

Aloitus

Elohopea on ihmiselle myrkyllisin raskasmetalli. Se on luonnossa normaalisti esiintyvä alkuaine, mutta ihminen on aikaansaanut sen liikkeellelähden.

Suunnilleen tähän tapaan aloitti nykyinen emeritus professori Pekka Nuorteva luentonsa elohopeasta ympäristönsuojelun peruskurssilla 80-luvun alussa.

Historiaa

Elohopea, ainoa tavanomaisessa lämpötilassa nestemäisenä esiintyvä metalli, on ollut ammoisista ajoista lähtien ihmisen ihmettelyn kohteena. Antiikin aikana elohopean nimenä oli kreikan kielessä HYDRARGYROS, nestemäinen hopea, ja latinassa ARGENTUM VIVUM, elävä hopea. Keskiajalla, alkemian ja astrologian valtakaudella, elohopea yhdistettiin Merkurius-jumalaan ja hänen mukaansa nimettyyn Merkurius-planeettaan. Merkurius, kreikkalaisten Hermes, oli vilkasliikkeinen jumalien sanansaattaja ja kauppiaiden suojelija, joka tunnetaan siivillä varustetuista jalkineistaan ja päähineestään. Pian elohopea sai nimen mercurius ja alkemian kehittyessä muodostettiin elohopeaan liittyvät ja sen yhdisteitä tarkoittavat sanat yleensä mercurius-sanan johdannaisina. Sanasta mercurius on muodostettu myös moniin kieliin adjektiiveja, joiden merkityksenä on elohopeaan liittyviä ominaisuuksia kuten haihtuva, epävakainen, oikullinen, vikkellä "kuin elohopea".



Työn ohjaaja Matti Verta, Petri Porvari ja vastaväittäjä Marc Lucotte siirtymässä vesireittinä väitöstilaisuudesta yliopistolta SYKEen.

Elohopean lähteitä, kulkeutumista ja muuntumista käsittelevässä väitöskirjassa tutkin elohopealasteumaa Etelä-Suomessa, metsämaan ja järvien merkitystä elohopean kiertämisessä sekä kalojen elohopeapitoisuuksia tekoaltaissa.

Väitöskirjan tulokset tuottivat uutta tietoa elohopean käyttäytymisestä ja kiertämisestä elohopeaa koskevan ympäristöpoliittisen päätöksenteon tueksi. Valuma-alueen osoitettiin selvästi olevan tärkeä metsäjärvien metyyli-elohopean lähde. Metsänhoitotoimenpiteiden vaikutus valuma-alueelta liikkeelle lähtevään elohopeaan vaatii sen sijaan lisätutkimuksia. Tekoaltaiden ilmastovyöhykkeestä riippumaton, pitkäkestoinen elohopeasaastuminen on johtanut petokalajensyönnin rajoituksiin alueilla, joilla kalaa käytetään runsaasti ravintona.

Väitöstilaisuus oli mieleenpainuva. Ehkä hieman poiketen "normaalista" tilaisuudesta québeciläinen vastaväittäjä halusi tietää muun muassa, miten tulokset vaikuttavat EU-tason päätöksentekoon ja mitkä ovat vaikutukset kansanterveyteen. Pystyin vastaamaan ehkä viiteen ensimmäiseen kysymykseen, jonka jälkeen "hyydyin", ja sitten lähes koko loppuajan tuijotimme vastaväittäjän kanssa toisiamme.

Karonkka oli vastaväittäjälle mieleenpainunut ja lämminhenkinen tilaisuus. Vieläkin, lähes kymmenen vuoden jälkeen, hän jaksaa mainita kuinka hyvät ruuat oli tarjolla ja kuinka hienoissa puitteissa Suomessa juhliin.

Neljä vuotta väitöksen jälkeen sain Suomen Akatemian kolmiavuotisen tutkijatohtoriapurahan, josta työskentelin yhden vuoden Montréalissa, Québecin yliopistossa vastaväittäjän kutsumana post doc -tutkijana.

Kiinalaiset tunsivat elohopean jo noin 2500 vuotta eKr. ja elohopeaa on löydetty myös egyptiläisestä haudasta noin vuodelta 1500 eKr. Vapaa elohopea on luonnossa harvinaista ja sitä on aikaisemmin valmistettu kuumentamalla sinoberia, punertavaa elohopeasulfidia. Dioskorides Pedanios (noin 60 jKr.) kertoi, että sinoberikaivosten työläiset suojasivat suunsa ja nenänsä elohopeapitoisen ja vahingollisen pölyn hengittämiseltä. Samoihin aikoihin Plinius vanhempi (23–79 jKr.) varotti elohopean myrkyllisyydestä.

Elohopeaa on käytetty aikaisemmin uskonnollisissa seremonioissa sekä voiteisiin sekoitettuna kauneuden ja sairauksien hoidossa. Varhaisimmat tiedot elohopean käytöstä sairauksien hoitoon ovat peräisin assyrialaisen resepteistä noin vuodelta 2000 eKr.

Suomessa elohopeaa käytettiin lääkkeenä myös kansanomaisessa parannustoiminnassa. Esimerkiksi Heinävedellä, kansanuskomuksen mukaan tyttäret saivat kasvonsa kauniiksi, kun pesivät ne lähteestä otetulla vedellä, johon oli pantu pisara elohopeaa. Pesuvesi oli viskattava rakennuksen pohjoispuolen seinään.

Länsimaiseen lääketieteeseen elohopea tuli keskiajalla ja sillä hoidettiin mm. kuppaa. Tosin potilaat saivat hoidosta oireita, joita olivat olivat ikenien tummuminen ja turpoaminen, niiden märkivät haavaumat, pahanhajuinen hengitys sekä hampaiden irtoaminen. Yleisoireita olivat hikoilu, oksentelu ja ripuli sekä pahimmassa tapauksessa virtsanerityksen tyrehtyminen. Sivuvaikutukset olivat pelättyjä, minkä vuoksi oli tapana sanoa: "Parempi tauti kuin hoito".

Elohopean käyttö ja merkitys lisääntyivät erityisesti 1600-luvulta alkaen tieteen ja teollisuuden kehittymisen seurauksena. Vähitellen valmistettiin yhä uusia epäorgaanisia ja myöhemmin myös orgaanisia elohopeayhdisteitä sekä lääketieteen että teollisuuden käyttöön.

Teollisuudessa elohopeaa on käytetty laajamittaisesti mm. kloorikaasun ja lipeän valmistuksessa ruokasuolasta. Samoin elohopeayhdisteitä on käytetty estämään

paperinvalmistuksessa mikrobeista johtuvaa puu- ja paperimassan limoittumista. Teollisuuden prosesseissa käytettyjä epäorgaanisia ja orgaanisia elohopeayhdisteitä on joutunut suurina määrinä maaperään, vesistöihin ja ilmaan.

Ensimmäiset metyylielohopean haitalliset vaikutukset todettiin 1950–60-luvulla Japanissa, Minamatassa. Muovitehtaasta mereen johdettu epäorgaaninen elohopea aiheutti ensimmäisen suuren elohopeakatastrofin kun saastuneesta merenlahdesta pyydettyä kalaa ja muita mereneläviä syöneet ihmiset sairastuivat. Tuhannet ihmiset kuolivat ja jopa kymmenen tuhannen ihmisen arvellaan kärsineen metyylielohopeamyrkytyksestä.

Irakissa todettiin vuonna 1971 myrkytyskatastrofi, kun ihmiset käyttivät elohopeayhdisteillä peitattua siemenviljaa ravinnoksi. 459 ihmistä kuoli ja tuhannet saivat pysyviä hermostovaurioita.

Suomessa ensimmäiset merkit elohopeasaastumisesta havaittiin 1960-luvun lopulla kloori-, sellu- ja paperiteollisuuden saastuttamien vesistöjen kaloissa. Joillakin näistä alueista jouduttiin antamaan suosituksia kalojen käytön rajoittamiseksi ravintona päästöistä aiheutuneiden kohonneiden elohopeapitoisuuksien vuoksi.

Elohopean lähteet, leviäminen, metyyloityminen ja vaikutus eliöihin

Elohopeaa esiintyy maaperässä, sedimenteissä ja orgaanisessa aineessa ympäri maapalloa. Yleensä luonnossa esiintyvä elohopea on tiukasti sitoutunut eikä ole vaaraksi eliöstölle. Ihmistoiminta kuten kaivostoiminta ja edelleen elohopean hyötykäyttö erilaisissa tuotteissa sekä fossiilisten polttoaineiden poltto on saanut elohopean liikkeelle ja kiertoon. Luontaisesti elohopeaa vapautuu tulivuorten purkauksissa tai esimerkiksi metsäpalojen yhteydessä. On arvioitu että luontaiset päästöt ovat samaa luokkaa kuin ihmistoiminnasta aiheutuvat päästöt.

Elohopea on levinnyt ympäri maapalloa ilmakehän kautta. Globaali leviäminen on seurausta elohopean ominaisuudesta esiintyä myös höyrynä, mikä merkit-

see että kerran ilmasta alas laskeutunut elohopea voi palata takaisin ilmakehään ja kiertoon.

Metallisena elohopeana ilmassa esiintyvän elohopean pitää ensin muuntua biosaatavaan muotoon ennen kuin se voi tunkeutua ravintoketjuun. Tähän tarvitaan avuksi mikrobeja, jotka muuntavat epäorgaanisen elohopean orgaaniseksi metyylielohopeaksi. Tätä prosessia kutsutaan metyyloitymiseksi. Metyyloitymistä tapahtuu vedessä, vesistöjen pohjasedimenteissä ja maaperässä. Metyylielohopea kertyy ja rikastuu vesiekosysteemissä kaloihin. Tämän seurauksena suurimmat pitoisuudet tavataan petokaloissa ja kaloja syövässä eläimissä. Ihmisten saama metyylielohopea on yleensä kokonaan peräisin kalaravinnosta. Metyylielohopea on hermomyrky ja se kiinnittyy esimerkiksi aivoihin hyvin tehokkaasti.

Elohopea ja sen yhdisteet vaikuttavat haitallisesti ensisijaisesti hermostoon, munuaisiin ja sikiöön. Metallisen elohopean vaikutukset aiheuttavat mm. vapiinaa, henkisen tasapainon järkkymistä, päänsärkyä ja muistin menetystä. Kehittyvä sikiö on erityisen herkkä metyylielohopean vaikutuksille. Metyylielohopea aiheuttaa hermoston kehityshäiriöitä kuten viivästyntä kävelyn ja puheen kehittymistä. Viimeaikaiset Färsearilla tehdyt tutkimukset ovat osoittaneet, että hyvinkin alhainen altistus saattaa vaurioittaa lapsia, joiden äidit ovat altistuneet raskauden aikana metyylielohopealle ravinnon kautta.

Elohopeatutkimuksen kehitys

Ensimmäiset suomalaiset elohopeatutkimukset tehtiin 1960-luvun lopulla. Silloin tutkimus keskittyi lähinnä teollisuuden suorien päästöjen saastuttamiin vesistöihin.

1980-luvulla huomattiin Suomen ja Kanadan tekoaltaiden kaloissa korkeita metyylielohopeapitoisuuksia. Metyyloitynyt elohopea oli peräisin veden alle jääneestä maaperästä ja kasvillisuudesta. Uusissa tekoaltaissa metyyloitymiselle muodostuu erittäin suotuisat olosuhteet.

Kanadassa, USA:ssa, Ruotsissa ja Suomessa aloitettiin laajoja elohopean kiertoon ja käyttäytymiseen liittyviä tutkimuksia. Myöhemmin 90-luvulla tutkimus keskittyi erityisesti elohopean metylaatioon. 1990-luvun lopulla tutkimus jatkui voimakkaana USA:ssa ja Kanadassa. USA:n ympäristövirasto laati laajan ja kattavan elohopearaportin kongressille 1997. YK:n Euroopan talouskomission ilmansaasteiden kaukokulkeutumista koskevaan yleissopimukseen lisättiin 1998 raskasmetalleja koskeva sopimus. Sen tarkoituksena on laskea elohopean, lyijyn ja kadmiumin päästöjä alle vuoden 1990 tason. Myös YK:n ympäristöohjelma aloitti vuonna 2000 Aktisen neuvoston pyynnöstä maailmanlaajuisen elohopea-arvioinnin kansainvälisen toimintaohjelman pohjaksi. Tutkimus käynnistettiin vuonna 2001. Tämän vuoden alussa UNEP:n hallintoneuvosto esitti luettelon toimenpiteistä, jotka kohdistuvat merkittäviin maailmanlaajuisiin elohopean haittavaikutuksiin.

Tämän tutkimuksen tulokset

Suomessa tehty elohopeatutkimus 1990-luvun puolivälin jälkeen on ollut vähäistä. Lähes ainoat hengen- tuotteet ovat täällä tänään arvioitavana. Tutkimusten rahoittajien, EU mukaanlukien, ja ministeriöiden silmissä elohopea ei liene enää ollut ongelma Suomessa.

Elohopeasaastuminen on toki vähentynyt esimerkiksi 70-luvun tilanteeseen verrattuna merkittävästi. Piste- mäinen elohopeakuormitus vähentyi radikaalisti, kun elohopean käyttö teollisuuden prosesseissa lopetettiin. Myös ilmalaskeuma on vähentynyt, mikä taas on seurausta Länsi-Euroopassa tehdyistä ilmansuojelutoimista ja lukuisten entisissä itäblokin maissa sijaitsevien saastuttavien teollisuuslaitosten sulkemisesta.

Suomen tekoaltaiden kalaston elohopeapitoisuudet ovat myös laskeneet, ja samanlainen kehitys on ollut havaittavissa teollisuuden kuormittamissa järvissä.

Sen sijaan metsäjärvien kalastossa pitoisuudet ovat pysyneet 1980-luvun tasolla. Miksi näin on käynyt saattaa selittyä tänään esillä olevan työn viimeisen osajulkaisun tuloksista. Siinä havaittiin metsänkä- sittelyn nostavan merkittävästi valuma-alueelta ulos

lähtevää kokonais- ja metyylielohopeakuormaa sekä pitoisuuksia. Avohakkuun ja maanmuokkauksen vaikutukset havaittiin vielä usean vuoden jälkeen käsittelystä. Erityisen mielenkiintoista oli havaita vaikutukset metyylielohopeapitoisuuksiin ja –kuor- maan, jotka nousivat pienellä viiveellä verattuna kokonaiselohopeaan.

Sitä seikkaa nostaako lisääntynyt elohopeakuorma alapuolisten vesistöjen kalojen elohopeapitoisuuksia ei ole vielä selvitetty mutta tästä on saatu viitteitä Kanadassa tehdyissä tutkimuksissa.

Valuma-alue tutkimukset osoittivat myös valuma-alueen laadun vaikuttavan ulospurkautuviin metyylielohopeapitoisuuksiin ja –kuormiin. Suovaltasilta alueilta tulevat pitoisuudet ja kuormat ovat suurempia kuin mineraalimailta tulevat. Kokonaiselohopealle ei valuma-alueiden välisiä eroja juuri havaittu.

Valuma-alueella näyttäisi olevan merkittävä osuus järveen tulevasta ulkoisesta kokonais- ja metyylielohopeakuormasta. Kun valuma-alue on suuri järven pinta-alaan verrattuna korostuu valuma-alueen merkitys entisestään.

Tekoaltaiden kalojen elohopeasaastumisen vertailu Suomessa ja muualla osoitti että kalojen elohopeapi- toisuuksien kehitys eri puolilla maailmaa muistuttaa toisiaan ilmastovyöhykkeestä riippumatta. Elohopea- saastuminen tekoaltaissa kestää noin kaksikymmentä vuotta.

Lopetus

Vaikka ihmistoiminnasta johtuva elohopeakuor- mitus on globaalisti vähentynyt monilla alueilla, ei elohopeaongelmaa ole vielä ratkaistu. Kuten tämä väitöskirja osoittaa, boreaalisella metsävyöhykkeellä metsänkäsittelemällä saattaa olla paikallisesti huomattavakin vaikutus ulospurkautuviin kuormiin ja mahdollisesti järvikalojen elohopeapitoisuuksiin.

Aasiassa yhä lisääntyvä fossiilisten polttoaineiden käyttö ja esimerkiksi espanjalaisilta kaivoksilta Ete- lä-Amerikkaan kullanhuhdonnan käyttöön vietävä

elohopea saattavat pitää ilmalaskeuman samalla tasolla vielä pitkään.

Koska elohopeaa on ympäristössä myös luonnostaan ja koska sen kulkeutumisreitit ovat mutkikkaita, elohopeaongelmaa pidetään yhtenä tämän vuosisadan vaikeimmin ratkaistavista ympäristömyrkyongelmista.

Pyydän teitä, Arvoisa Professori, tiedekunnan määräämänä vastaväittäjänä esittämään ne muistutukset, joihin katsotte väitöskirjani antavan aihetta.

Mr Opponent, I now call upon you to present your critical comments on my dissertation.

Dynamics of sediment phosphorus in the brackish Gulf of Finland



13.6.2003

Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristötieteen laitos
Vastaväittäjä: Helinä Hartikainen, Helsingin yliopisto

Nuorna limnologian opiskelijana haeskelin gradu-työn aihetta keväällä 1994. Otin puhelimen käteen yksiökämpässäni ja soitin silloiseen vesi- ja ympäristöhallitukseen. Kerroin kiinnostuksestani ravinteisiin ja Venäjä-hankkeisiin. Puheluni ohjattiin Juha Sarkkulalle. Juha selvitti, että Venäjän vesiltä on kerätty laajat sedimenttiaineistot ja että aineisto olisi riittävä gradu-työhön. Mielessä oli ollut siistimmät hommat, joten vedin puhelinta korvaltani parisensikymmentä senttiä ja noitaisin hiljaa. Painoin sitten puhelimen takaisin korvalleeni ja sanoin "olen erittäin kiinnostunut juuri tästä tutkimusaiheesta".

Intoa riitti jatkaa sedimentin fosforitutkimusta gradun valmistuttua 1995. Useat tutkimusmatkat T/A Muikkulla Venäjän vesillä Heikki Pitkäsen johdolla ja Sandmanin Olavin sedimenttitutkimuksen saattelemana toivat sopivasti vaihtelua istumatyöhön. Välillä meitä saatteli Venäjän rannikkovartiosto. Venäjän puolella saimme eräänä aamupäivänä yhteydenoton rannikkovartiostolta, jossa kutsuttiin Muikkua. Kettusen Jukka vastasi englanniksi ja vastaus tuli venäjäksi. Tolkutonta keskustelua jatkui tovi ja lopulta tuli tyylysti: "Gudbai Muikka!". Tämän jälkeen laivalla vallitsi epätietoisuus.

Kesäkuun kolmastoista seisoitin sitten yksin Helsingin yliopiston päärakennuksen portailla ja pohdiskelin, miten se taksikuski kykenikin suhtautumaan niin epäempaattisesti yrityksiini purkaa väitöstilaisuusjännitystä. Kello kävi ja lopulta marssiittiin Elorannan Pertti kustoksena, Hartikaisen Helinä vastaväittäjänä ja minä väittelijänä auditorio XII:ta kohti. Ovi auki, yleisö seisomaan ja väittelijä puhujakorokkeelle.

Karmonkassa Seppälän Timon Huippumiehet-yhtyeen tukemana esitin Junnu Vainion suomeksi sanoittaman "Hyvää huomenta Suomi" kappaleen. Minä tein sen minkä aikamies vain voi.

LECTIO PRAECURSORIA

Arvoisa Kustos, arvoisa vastaväittäjä ja arvoisa yleisö

Pohjois-Karjalassa Enon kunnassa tehtiin Suomen ensimmäinen järvenlasku, kun talonpoika Nuutinen laski Sarvinkijärven pintaa vuonna 1743. Nuutisella oli kova tarve saada lisää laidunmaita. Pinnanlasku onnistui liiankin hyvin: koko järvi kuivui ja järven paikalla on tällä hetkellä Sarvingin kylä. Kuivatetun järven pohja tuotti hyvin heinää, mikä innosti viljelijöitä järvenlaskuihin myös muualla maassamme. Nuutinen ja hänen varhaiset seuraajansa eivät tosin vielä tienneet, että saatua satoa lisäsi suurelta osin järven pohjasedimentissä runsaana esiintynyt kasveille käyttökelpoinen fosfori.

Luonnossa fosfori esiintyy pääasiallisesti fosfaattimuodossa. Tässä muodossa fosfori on hyvin reaktiivinen ja se sitoutuu helposti erilaisiin yhdisteisiin. Fosfori toimii energian siirtäjänä kaikilla elämän tasoilla ja se on välttämätön alkuaine kaikelle elämälle maapallolla. Eliöiden energiansiirtoprosessit kuten yhteyttäminen, aineenvaihdunta, hermoston toiminta ja lihastoiminta vaativat fosforia. Myös kaikkien eliöiden soluissa esiintyviin geenien rakennusosiin DNA:han sekä myös RNA:han tarvitaan fosforia. Lisäksi fosforiyhdisteet ovat välttämättömiä sekä typen sidonnassa että typen kierrossa. Fosfori siis osaltaan mahdollistaa kasvien typen sidonnan ja liittyy näin ollen tuon toisen pääravinteen läheisesti fosforiin. Fosforilla on myös keskeinen rooli biologisen tuottavuuden säätelyssä eri ekosysteemeissä. Biologisesti käyttökelpoisen fosforin

määrä vaikuttaa osaltaan siihen, millä nopeudella ilmakehän hiilidioksidia sidotaan eloperäiseksi aineeksi. Fosfori vaikuttaa näin hiilen sitoutumiseen, hautautumiseen maaperään sekä sedimenttiin ja tätä kautta sillä on vaikutusta kasvihuoneilmiöön.

Nämä tiedot fosforin merkityksestä kaikelle elämälle ovat johtaneet valtaviin tieteellisiin ponnistuksiin, joissa tutkimuskohteena on ollut fosfori ja fosforiinkin maailman tutkituin alkuaine hiilen ohella. Edellä esitettyjen tietojen valossa on avarakatseista nähdä fosfori myös muuna kuin vesistöjä rehevöittävästä ravinteena.

Luonnossa fosforilla on taipumus esiintyä muodossa, joka on heikosti käyttökelpoista perustuottajille. Esimerkiksi kiviaineksessa fosforia on sitoutuneena suuria määriä apatiittiin eli kalsiumfosfaattimineraaleihin, mutta tässä muodossa niiden suora merkitys on melko vähäinen kasveille. Fosforin hidas rapautuminen maaperästä on tärkein luonnollinen käyttökelpoisen fosforin lähde. Tämä fosfori ei kuitenkaan ole riittänyt ihmiselle, joka on parantanut viljelykasveista saatavaa satoa lisäämällä viljelymaahan fosforilannoitteita. Lannoitteiden käyttö ei ole mikään uusi keksintö, sillä eläinten lantaa käytettiin lannoitteena useita tuhansia vuosia ennen ajanlaskumme alkua. Varsinaista lannoitteiden käyttöä harrastivat vasta karthagolaiset eli puunilaiset noin 200 vuotta ennen ajanlaskumme alkua. He keräsivät linnun lantaa ja siirsivät sen pelloilleen.

Todellisen mullistuksen lannoitteiden käytössä aiheutti vuonna 1842 kehitetty menetelmä, jolla apatiittinen fosfori saatiin liukoiseksi rikkihapolla. Näin apatiittisen fosforin käyttökelpoisuutta kasveille saatiin parannettua huikeasti. Menetelmän kehittäminen johti laajaan apatiittimineraalien etsintään sekä niiden tehokkaaseen hyväksikäyttöön lannoitteena. Apatiittimineraalien hyödyntäminen jatkuu hyvin laajassa mittakaavassa vielä nykypäivänäkin. Maailmassa tuotetusta fosfaattifosforista noin 85–90 % käytetään lannoitteisiin, vaikka sitä tarvitaan muun muassa pesuaineissa, eläinrehuissa ja teollisuudessa.

Me ihmiset muokkaamme teollisesti jossakin päin maailmaa olevan apatiittiesiintymän fosforin käyttökelpoiseen muotoon ja voimme siirtää sen käytännöllisesti katsoen mille tahansa maapallon viljelykelpoiselle alueelle. Viljelemämme kasvit käyttävät lannoitefosforin kasvuunsa. Näitä viljelykasveja hyödynnämme joko suoraan tai sitten lihan tuotannon kautta. Näin olemme siirtäneet käyttökelpoista fosforia alueille, jonne se ilman ihmistä tuskin koskaan päätyisi. Niinpä esimerkiksi Itämeren piirissä olevat asukkaat käyttäessään ravinnon tuotantoon fosforia tai ostaessaan jossain päin maailmaa tuotettua ruokaa kulutustottumustensa mukaan kuormittavat Itämerta fosforilla, joka ei välttämättä ole ollut edes Itämeren valuma-alueella, eikä se sinne ilman ihmistä olisi todennäköisesti koskaan päätynytkään.

Suomeenkin tuotaisiin suuria määriä lannoitefosforia, ellei meillä olisi omasta takaa Euroopan suurimpia apatiittiesiintymiä. Valtaosa Suomen peltojen tuotannosta on riippuvaista lannoituksesta, ja jollemme lannoittaisi peltoja syyllistyisimme ryöstöviljelyyn eli köyhdyttäisimme maata fosforista. Harrastamamme lannoituksen ansiosta tässäkin salissa olevien sotien jälkeen syntyneiden henkilöiden ja varsinkin kasvuiässä olevien kehossa olevasta fosforista valtaosa on todennäköisesti lannoiteperäistä, ellei sitten salissa olevista henkilöistä joku syö runsaasti riistaa tai kalaa; pettua syöviä henkilöitä tuskin löytyy. Meihin suomalaisiin fosfori tulee suurelta osin Siilinjärven kaivokselta, sillä me suomalaisethan syömme pääasiassa kotimaassa tuotettua ruokaa.

Vesiekosysteemiin tuleva fosforivirta voidaan jakaa kahteen eri lähteeseen eli luonnonhuuhtoumaan ja ihmistoiminnasta aiheutuvaan kuormitukseen. Fosforin tehokkaan käytön seurauksena on ollut fosforin lisääntynyt kulkeutuminen vesistöihin. Globaalisti ihminen on noin kolminkertaistanut fosforin luonnontilaan verrattuna ja on arvioitu, että Itämereen tuleva fosforikuormitus olisi 8-kertaistunut 1900-luvulla. Fosforin lisääntyminen on osaltaan johtanut vesistöjen rehevöitymiseen eli perustuotannon kasvuun vesiympäristössä ja vesivarojen rehevöityminen onkin koko maailmaa koskettava ongelma sisävesissä ja monilla rannikkoalueilla.

Suuri tieteellinen mielenkiinto on kohdistunut fosforin kiertoon ekosysteemissä. Nykyisin merkittävä osa näistä tutkimuksista kohdistuu rajapinnoille. Kun tarkastelemme fosforin kulkeutumista mereen, ensimmäinen rajapinta on maaperän ja veden välillä. Maaperän fosforin rapautuminen onkin ollut merkittävä tutkimuskohde. Toinen tarkastelun kohde on mantereen ja meren välinen rajapinta. Näissä tutkimukset ovat kohdistuneet fosforin eri muotoihin jokivedessä, niiden muutoksiin ja sedimentoitumiseen jokisuistoissa eli estuaareissa. Yksi merkittävimmistä fosforin hautautumispaikoista on merten pohjasedimentit. Fosforin päädyttyä mereen kolmas tarkastelun kohde on sedimentin ja veden välinen rajapinta. Tällä rajapinnalla tutkimukset ovat erityisesti kohdistuneet mikrobiologisten ja biogeokemiallisten prosessien selvittämiseen. Mielenkiinnon kohteena ovat olleet fosforin sitoutuminen kiintoaineeseen sekä vapautuminen liuenneessa muodossa huokosveteen ja siitä takaisin vesikerrokseen. Oma tutkimustyöni käsittelee pääosin juuri tätä sedimentin ja veden rajapinnalla tapahtuvaa fosforin vapautumista.

Tarkastellaanpa sitten fosforin kulkeutumista mereen ja sedimentissä tapahtuvia fosforiin liittyviä prosesseja. Valtaosa jokiveden mukana tulevasta mereen päätyvästä fosforista on sitoutuneena kiintoaineeseen. Merivedessä oleva liuennut fosfori sitoutuu tehokkaasti eloperäiseen kiintoaineeseen tuottavan kauden aikana. Tämä hiukkasmainen aine sedimentoituu eli laskeutuu meren pohjan pinnalle. Jolleivät pohjan-

läheiset virtaukset kykene nappaamaan mukansa tätä hiukkasta, pohjan pinnalla oleva hiukkanen alkaa hautautua, kun uutta kiintoainesta laskeutuu sen päälle. Merenpohjalle kertyy näin suuria määriä fosforia sisältävää kiintoainetta. Tarvitaan kaksi välttämätöntä peräkkäistä tapahtumaa, että hautautunut fosfori kykenee vapautumaan pohjasta takaisin veteen: Ensimmäiseksi tarvitaan fosforin muuttuminen kiintoainemuodosta liukoiseen muotoon ja toiseksi tarvitaan kuljetusmekanismi, joka siirtää liunneen fosforin pohjan läheiseen veteen.

Suomenlahden veden fosforipitoisuudet ovat kasvaneet selvästi 1990-luvun puolivälin jälkeen. Suomenlahden mittasuhteet huomioden tätä pitoisuuden kasvua on vaikea tai oikeastaan lähes mahdotonta selittää ulkoisen kuormituksen muutoksilla, sillä ulkoisen kuormituksen on arvioitu vähentyneen noin 30–40 % 1990-luvulla. Tämän vuoksi syytä fosforipitoisuuden kasvuun on etsittävä Suomenlahden sisäisistä mm. merenpohjalla tapahtuvista prosesseista.

Miksi pohjasedimentistä vapautuvan fosforin määrä voi vaihdella vuosien välillä? Tätä selittää lähinnä kaksi päätekijää: rehevöityminen ja muutokset hydrodynaamisissa tekijöissä. Ensimmäiseksi: vesistön rehevöityessä pohjan pinnalle laskeutuu entistä suurempi määrä eloperäistä ainetta ja sedimentin hapenkulutus lisääntyy. Tämä johtaa hapen loppumiseen sedimentistä sillä seurauksella, että pohjasta alkaa vapautua suuria määriä fosforia. Toiseksi: hydrodynaamiset tekijät voivat voimistaa veden kerrostuneisuutta. Voimistunut kerrostuneisuus estää veden vapaan kierron pohjaan saakka. Sedimentin hapenkulutus pysyy edelleen korkealla tasolla, mutta tehokasta happilisyä pohjanläheiseen vesikerrokseen ei enää tule ja happitila pohjalla heikkenee sillä seurauksella, että pohjasta alkaa vapautua fosforia. Rehevöityminen on yleensä hydrodynaamisiin tekijöihin verrattuna hidas prosessi.

Tarkastellaanpa teoreettisesti, miten kerrostuneisuuden voimistuminen sulfaattipitoisessa murto- ja merivedessä voi heikentää sedimentin fosforinpidätyskykyä. Pohjasedimentin eloperäinen aines kuluttaa happea

ja happipitoisuus pohjanläheisessä vedessä pienenee kerrostuneisuuden vuoksi. Happi kulutetaan ensimmäiseksi loppuun sedimentistä, mikä mahdollistaa hapettomissa olosuhteissa tapahtuvan mikrobiologisen sulfaatin pelkistykseen aivan sedimentin pinnassa. Tässä sulfaatin pelkistyksessä muodostuva rikkivety pelkistää fosforia sitovia rautaoksideja. Sedimentin raudan ja rikkivedyn välisessä kemiallisessa reaktiossa muodostuu kiinteitä rautasulfideja, jotka hautautuvat sedimenttiin, kun taas rautaoksideista vapautunut fosfaatti jää liuenneessa muodossa huokosveteen ja vapautuu pohjanläheiseen veteen. Näin rauta jää kiinteänä yhdisteenä sedimenttiin kun taas fosforia vapautuu suuria määriä veteen. Eli: kerrostuneisuuden voimistuminen mahdollistaa epätoivotun anaerobisen mikrobiologisen sulfaatin pelkistymisen sedimentin pinnassa, mistä seuraa rautaoksidien pelkistyminen ja rautaoksideihin sitoutuneen fosforin vapautuminen pohjanläheiseen veteen.

Fosfori pysyy pohjanläheisessä vesikerroksessa kesäisen lämpötilakerrostuneisuuden aikana, mutta loppusyksystä tapahtuva veden sekoittuminen tuo alempiin vesikerroksiin kerääntyneen fosforin koko vesimassaan. Jos fosforia on vapautunut pohjasta paljon sekoittumisen jälkeen, pintavedessä on fosforia niin runsaasti, että seuraavana keväänä kevätkukinnan yhteydessä typpiyhdisteet kulutetaan loppuun. Tällöin pintaveteen jää ylimäärin fosforia, mikä suosii loppukesän sinileväkukintoja. Pohjasta veteen vapautuva fosfori ei siis aiheuta sinileväkukintoja niinkään sinä kesänä, jolloin se vapautuu veteen, vaan vasta seuraavana kesänä, jolloin pohjasta vapautunut fosfori pääsee sekoittumisen jälkeen pintakerrokseen.

Murto- ja merivesissä runsaana esiintyvällä sulfaattilla voi olla suuri ekologinen merkitys. Sulfaatti voi muun muassa osaltaan selittää sen, miksi murto- ja merivesissä perustuotanto on pääsääntöisesti typpirajoitteinen, kun taas vähän sulfaattia sisältävät järvet ovat pääsääntöisesti fosforirajoitteisia.

Suomenlahdella suurimman fosforivaraston muodostaa sedimentti. Lähes kaikki sedimentin fosforista on sitoutunut kiintoaineeseen ja suurelta osin rautayhdis-

teisiin, jotka voivat pelkistyä hapettomissa oloissa ja menettää näin hyvän fosforinsidontakykynsä. Suomenlahden kerrostuneisuus on voimistunut pohjanläheisten vesikerrosten suolapitoisuuden nousun myötä 1990-luvun puolivälin jälkeen. Tämä puolestaan on heikentänyt Suomenlahden pohjasedimentin tilaa ja myös pohjaeläinkannat ovat voimakkaasti heikentyneet. Toisaalta myös aikaisemmin 1960- ja 70-luvulla suolapitoisuudet pohjanläheisissä vesikerroksissa olivat 1990-luvun alkupuolta korkeampia, mutta tuolloin yhtä suurta fosforipitoisuuden nousua ei havaittu. Olisiko nykyinen Suomenlahden sinileväkukintoja suosiva tila sittenkin sekä kerrostuneisuuden voimistumisen että suuren kumulatiivisen ravinnekuormituksen seuraus. Valitettavasti en pysty antamaan vastausta tähän kysymykseen, sillä mittauksia pohjasedimentistä vapautuvista ravinteista ei noilta voimakkaan kerrostuneisuuden aikaisemmilta vuosilta ole.

Mitä vesistösuojellisia toimenpiteitä Suomenlahdella pitäisi tehdä sedimenttitutkijan näkökulmasta? Ulkoinen kuormitus on aina primaarisyy suurelle sisäiselle kuormitukselle. Ulkoisen ravinnekuormituksen vähentäminen johtaa pitkällä aikavälillä väistämättä sisäisen kuormituksen vähentymiseen, vaikka hydrodynaamisten olosuhteiden muutokset aiheuttaisivatkin suuria eroja sisäisen kuormituksen määrässä eri vuosien välillä. Mitään pikaista fosforipitoisuuden alenemista Suomenlahden ulappa-alueella ei kuitenkaan ole odotettavissa, vaikka ulkoisen fosforikuormituksen määrää vähennettäisiin merkittävästikin.

Pyydän Teitä, Arvoisa Professori, maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan määräämänä vastaväittäjänä esittämään ne muistutukset, joihin katsotte väitöskirjani antavan aiheita.



Life cycle impact assessment based on decision analysis

29.8.2003

Teknillinen korkeakoulu, Systemianalyysin laboratorio
Vastaväittäjä: Prof. Anne-Marie Tillman, Chalmersin teknillinen yliopisto, Ruotsi

LECTIO PRAECURSORIA

Life cycle impact assessment (LCA) appears to be a valuable tool for promoting environmental protection and its use has increased dramatically in recent years. LCA is a method for assessing the environmental considerations of a product or service throughout its entire life cycle. A complete life cycle includes everything from raw material extraction, processing, transportation, manufacturing, distribution, use, re-use, maintenance and recycling to final disposal.

The overall framework for LCA is well established due to the international co-operation in Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) and the International Organization for Standardization (ISO). Nowadays LCA can be considered as a four-step process. In goal and scope definition, the problem and the aims of the study are defined. In this step, a functional unit of the work (e.g. one tonne hot rolled steel bar) is chosen, for which the inventory and impact assessment results will be presented. In inventory analysis, data about environmental interventions (emissions, resource extractions and land use) during the life cycle of the product or service is collected. However, it is usually difficult to analyse the inventory results against the aim of the study. In impact assessment, the inventory data is compared and aggregated from the point of view of environmental impacts in order to help interpretation.

LCIA is typically divided into five phases: selection of impact categories, classification, characterisation, normalisation and weighting. In the selection of im-



Kustos Raimo P. Hämäläinen, Jyri Seppälä ja vastaväittäjä Anne-Marie Tillman.

Väitöskirjani oli luonnollinen välietappi tieteelliselle työlleni, joka lähti liikkeelle SYKE:n perustamisen aikoina. Teimme silloin YM:n toimeksiannosta metsäteollisuuden elinkaaritarkastelun, minkä aikana perehdyin elinkaari-arviointiin. Toin työhön päätösanalyysiin perustuvan ympäristövaikutusten arviointimenettelyyn, mikä oli uutta elinkaariarviointiyhteisössä. Olin oppinut päätösanalyysin jatko-opintojeni aikana Raimo P. Hämäläisen oppitulosissa ja ympäristövaikutusten arviointi erilaisten mallien kautta oli minulle tuttua tekemistä jo 1980-luvulta. Yhdistin nämä näkökulmat ja sen pohjalta syntyi lisensiaattityöni. Näin vaihdoin lisensiaattityöni aiheen ympäristöriskianalyysistä elinkaariarviointiin.

Jatkoin lisurin tieteellistä työtä entiseen malliin työni ohella. Pääsin mukaan SETACin piirissä tehtävään kansainväliseen elinkaariarvioinnin vaikutusarviointityöhön. Niinpä vuonna 2003, jolloin vihdoinkin ja viimein sain väitöskirjani pakettiin, minulla oli toistakymmentä tieteellistä artikkelia valmiina. Väitöskirjani kattoi osan tästä asiantuntemusalueestani. Itse väitöskirjani oli teoreettinen, päätösanalyysiin ja LCA:han pureutuva synteesi. Väitöskirjassani en purkanut perinteistä vaikutusarviointityötäni, josta minut taidetaan paremmin tunnustaa kansainvälisesti. Toisaalta olen törmännyt monta kertaa ulkomaisissa konferensseissa henkilöihin, jotka tunnustavat minut nimenomaan väitöskirjani aihealueesta.

Esimiestyöni takia moni hyövä artikkeliajatus, joka oli muhnut pääkopassa väitöskirjani synnytystuskun seurauksena, ei ole saanut päivänvaloa. On hienoa, että tänä päivänä näen työyhteisössäni henkilöitä, jotka voivat viedä asiaa eteenpäin uusin ajatuksin, ja olen voinut olla tukemassa heidän kehittymistään.

impact categories (e.g. climate change and acidification), indicators for the categories (e.g. radiative forcing in climate change, H⁺ release in acidification) and models to quantify the contributions of different environmental interventions to the impact categories are selected. The second phase, classification, is an assignment of the inventory data to the impact categories. In characterisation the models make an aggregation of interventions possible within each impact category. Values of interventions are changed to impact category indicator results by characterisation factors, and thereby the number of factors taken into account in the interpretation of results can be reduced from tens or even hundreds to about 10 to 15. From a decision maker's perspective, impact category indicator results are more manageable forms than interventions but due to their proxy characteristics they are difficult to interpret. In order to obtain a more comprehensive view of impact category indicator results, normalisation can be conducted. This phase relates the magnitude of the indicator results in the different impact categories to reference values. A reference value is the impact indicator result calculated on the basis of an inventory of a chosen reference system (e.g. all society's activities in a given area and over a specified period of time).

Normalisation can further help the interpretation of impact category results but in practice comparative evaluations require data about trade-offs between different category indicator results in order to choose the best alternative. The trade-offs are determined as weighting factors (weights) in the weighting phase. Furthermore, in the LCA terminology weighting includes aggregation of indicator results (i.e. results from characterisation and normalisation) into a single value representing an overall impact value. For this reason, weighting is desirable in many LCA applications, although determination of weights is based on value choices.

Although there is an approximate consensus on the procedural framework of LCIA, there are many controversial issues concerning the spatial and temporal aspects required to keep LCIA as practical and scientific tool at the same time. The development of LCIA is still in progress.

Few attempts have been made hitherto to explore systematically the theoretical bases of different stages of LCIA and how these stages are related to each other. My thesis aims at illustrating the basic theoretical foundations for life cycle impact assessment on the basis of decision analysis. Decision analysis is a set of methods of systems analysis and operations research which can be applied in supporting extensive decisions.

In the thesis, the focus is in so-called Multi-Criteria or Multi-Attribute Decision Analysis methods developed to structure and model multidimensional decision problems. Multidimensional decision problems means that decision-makers try, for example, to minimize the costs and environmental effects and maximize positive social impacts in order to identify and select preferred alternatives. In the LCIA context this kind of methods can be applied because the aim of LCA applications often is to minimize different impacts caused by products in the same time.

In the thesis multiattribute value theory (MAVT) was chosen as a theoretical basis for LCIA. There are two reasons for this. Firstly, this MADA method has well established theoretical foundations based on axioms compared with the other popular MADA methods. Secondly, in the thesis it was shown that the typically used calculation rule to aggregate environmental intervention data into a total impact value corresponds directly to MAVT.

In this thesis, the role of decision analysis in LCIA is shown to be broader than discussed in earlier LCA literature. The starting point is a solution in which the decision analysis framework also includes the mandatory phases of LCIA, i.e. selection of impact categories, classification and characterisation.

Selection of impact categories and classification in LCIA is presented to correspond to a structuring phase of decision analysis. A value tree used in the case studies of the Finnish forest industry and the Finnish metals industry is pointed out as a valuable decision analysis tool to structure impact assessment. From the point of view of this structuring, characterisation is described as an exercise in which MAVT can be used to help

to choose the appropriate characterisation factors and calculation rule for characterisation. This is a central issue in the thesis because other authors have not presented the possibilities of decision analysis in characterisation.

In the thesis it is shown that a typical characterisation equation corresponds to an additive weighting model of MAVT. If the assumption of additive aggregation model does not hold, multiplicative or multilinear models may be still be appropriate. This issue is not elaborated in the LCA community and therefore the other models have not yet been used in any LCIA applications. In the future, the use of different models should be studied in order to produce correct category indicator results.

The framework is flexible and suitable for different impact assessment approaches developed in LCIA. In the work it was shown that site-dependent characterisation methods can easily be fitted into the framework. In the case study of the Finnish forest industry, a Finland-specific characterisation model utilising the results of other tools, such as air quality and transport models and even expert judgements, was developed and used. In the thesis it is also shown how the site-specific aspects could be taken into account for several countries at once in order to provide a better basis for the future work of impact assessment toolboxes.

According to ISO, characterisation factors should be based on scientifically derived knowledge. In the absence of scientifically based characterisation factors, MAVT offers rules to determine subjective characterisation factors. Such factors are determined according to the same theory as impact category weights. In both case studies, characterisation factors based on expert judgements were used together with scientifically based characterisation factors in order to produce indicator results of all relevant impact categories related to products under study.

In the guides of LCIA it is recommended that, in normalisation, category indicator results of a product system and a chosen reference system should be calculated by the same characterisation factors.

However, in this thesis it is shown that for producing correct category indicator results, characterisation factors can vary in normalisation depending on the shapes of damage (or value) functions and on the used intervals of interventions in the determination of characterisation factors. This finding should be tested in particular in the context of site-dependent characterisation factors for regional impact categories (e.g. acidification, tropospheric ozone formation). In addition, the assumption of an additive aggregation rule should be checked in the calculation of indicator results of reference systems.

MAVT can offer a clarification of whether or not to use normalisation in weighting. In LCIA, different category indicator results are typically aggregated into a single score by multiplying normalized category indicator results with the corresponding impact category weights and summing up the results. From the viewpoint of MAVT, this means that linearity between interventions and effects holds and that there are no thresholds (i.e. below a certain magnitude of intervention zero damage exists). However, this assumption has a weak scientific basis. In the case of thresholds, MAVT leads to the aggregation solution where a normalisation value (denominator in normalisation) differs from the value used in the traditional normalisation. However, this second type of aggregation rule is not elaborated in any LCIA methods. In the DAIA model the use of this equation is avoided by using “only above threshold” values for interventions in country-specific characterisation instead of amounts of interventions.

According to MAVT, in the determination of impact category weights there is a need to take into account the range of category indicator results used in the calculation of normalisation value in the aggregation equation. On the other hand, the feasible range of category indicator results can be directly derived from the feasible range of attributes (interventions) used for the determination of characterisation factor. In addition, there is a need to test the validity of the difference independence assumption in the context of impact categories although the assumption holds in the context of interventions within each impact category. The finding that characterisation, normalisation and weighting are related to

each other in the way mentioned above is new in the LCA literature.

In multiattribute decision analysis it is typical that alternative specific ranges in attributes are taken into account in the weighting. However, in the case of LCIA it is better that the ranges are greater than the attribute ranges of alternatives. In this way, it is easier for the decision makers to make judgements concerning trade-offs in the context of impact categories. Furthermore, wide ranges allow that there is no need for a case-by-case impact category weighting task in specific LCA studies. This also means that in the case of linear conditions characterisation factors for the calculation of impact category indicator results of a product system under study are the same as used in normalisation. If linearity does not hold, there is a need to determine the own characterisation factors for the calculation of normalisation value in order to obtain wide ranges for weight elicitation.

In practice, weighting models used in LCIA have been based on linear assumptions. The linearity leads to a convenient solution to calculate the total impact from the various impact categories, as was illustrated in the case of the Finnish metals industry where global, regional and local environmental problems were assessed in the same framework. However, the scientific bases for the linearity are relatively weak. The framework developed can help the methodological development in which it is attempted to take the non-linearity aspects of impact assessment into account.

In both case studies, impact category weights were obtained from the experts working with environmental issues by using decision analysis elicitation techniques. The results showed that weights derived from individual persons differ widely partly due to different opinions, and partly due to biases originating from the behaviour of the experts and the procedures and techniques used in the elicitation. It was not possible to quantify the biases. The decision analysis experiences emphasise that in order to eliminate biases an analyst must be aware of the biases related to different techniques, and a good interaction between the analyst and the decision maker is needed. Although the techniques, knowledge

and experiences in decision analysis can be utilized, further LCA-specific research is needed to avoid biases in the determination of weights.

Experiences and techniques for the sensitivity analysis of multi-criteria decision models can be utilised in LCIA. Because impact category weights are difficult to determine or their values are controversial, the sensitivity techniques based on no information, order information or partial information regarding the weights appear to be attractive for LCIA purposes. In the context of the case study of the Finnish forest industry, the so-called ratio estimation method for the elicitation of impact category weights was applied and developed so that interval-valued ratio judgements could be used in the uncertainty analysis of the model.

Although decision analysis offers a full framework for weighting in LCIA, there is no need to conduct a complete quantitative assessment. There are experiences that the qualitative or partial assessment can be definitely appropriate for many multi-objective decision making problems. As by-products the problem structuring can provide a learning process among participants, or the LCIA process can mitigate conflicts between stakeholders. On the other hand, MAVT offers measurement techniques for subjective judgements in situations in which “objective” data is missing. This permits quantitative analysis in which all important impact factors are taken into account. This kind of subjective assessment can be carried out in order to define the contributions of different factors to the final result. The assessment can enhance finding of the most serious data gaps.

MAVT is not the only approach for decision analysis impact assessment. In the future there is a need for research to study the strengths and weaknesses of the different decision analysis methods for LCIA purposes.

In this thesis, some methodological weaknesses in the current LCIA practice were identified with the help of MAVT and several possibilities to elaborate more accurate LCIA were proposed. In the future there is a need to demonstrate quantitatively the differences between LCIA conducted according to MAVT and LCIA conducted according to the current practices.

Modelling studies on soil-mediated response to acid deposition and climate variability

3.12.2003

Teknillinen korkeakoulu, Systeemianalyysin laboratorio
Vastaväittäjä: Prof. Bernard J. Cosby, University of Virginia, USA



Väitöskirjani käsitteli ilman epäpuhtauksien ja ilmastonmuutoksen vaikutuksia maaperän ja veden laatuun. Käytin työssäni dynaamisia malleja, staattista herkkyysanalyysiä ja neuroverkkoihin perustuvaa laskentaa. Väitöskirja koostui yhteenvedosta ja seitsemästä julkaisusta.

Tulin 1990 SYKE:n edeltäjään, vesi- ja ympäristöhallituksen vesientutkimuslaitokseen Lea Kaupin alaiseksi Juha Kämärin aloitteesta mallintamaan happamien sulfaattimaiden vedenlaatua. Siinä vaiheessa olin valmistelemaan lisensiaattityötäni maaperän happamoitumismallista Suomen Akatemian assistenttina. Akatemian rahoituksen olin saanut väitöskirjan tekemiseksi, joka sitten valmistui suunniteltua myöhemmin vuonna 2003. Väliin tulivat SYKE:n töiden lisäksi kahden lapsen syntymisiin liittyvät vapaat ja osa-aikatyö sekä myös toiseen ammattiin, Alexander-tekniikan opettajaksi kouluttautumiseen liittyvät työaikajärjestelyt. Alexander-tekniikasta kiinnostuin siksi, että se matemaattisen mallintamisen tavoin edustaa systeemianalyttistä lähestymistapaa. Systeemiajattelussa tutkitaan miten organismi, järjestelmä tai kone reagoi erilaisiin herätteisiin ja näin voidaan havaita sellaisia aikaisemmin tuntemattomia järjestelmän ominaisuuksia ja piirteitä, jotka eivät tulisi näkyviin pelkästään kohteen toimintaa seuraamalla.

Pitkäaikainen esimieheni Martin Forsius on johdonmukaisesti edistänyt systeemiajattelun periaatteiden soveltamista SYKE:ssä käyttämällä matemaattista mallinnusta ympäristön muuttujien seurannan rinnalla. Hän myös kannusti minua 2000-luvun alussa palaamaan väitöskirjan yhteenvedon työstämiseen eri mallinnusmenetelmien sovellusten pohjalta. Väiteltäväni työni pääpaino on edelleen mallinnuksessa, mutta viime aikoina olen panostanut enemmän myös tulosten viestittämiseen. Työtehtäviini on esimerkiksi kuulunut typen laskeumien raja-arvojen

ylitysten arviointi Suomen Natura 2000 -alueilla ja osallistuin Tim Carterin vision pohjalta rakennetun Ilmasto-opas.fi -työkalun kehittämiseen. Viitisen vuotta väittelyni jälkeen minulle myönnettiin Helsingin yliopiston kvantitatiivisen ympäristöekologian dosenttuuri. Olen kolmena syksynä opettanut metsäekologian professorin Annikki Mäkelän systeemianalyysin kursseilla.

LECTIO PRAECURSORIA

It's all connected. That's what I was told by environmental scientists when I first started looking at ways to describe the soil system in terms of a dynamic model. It's all connected, and so it is not possible to reduce it into separate parts. Of course, they were partly right. This becomes evident for instance when you walk in an old forest and see, let us say, a rotting black tree trunk, overgrown with brilliant green moss. In this example, how can we know where the tree ends and where the moss or the soil begins? How do we define boundaries in a world where no borders exist?

Environmental studies concern phenomena such as acidification and climate change. They operate on long time scales and extend widely in space. The mechanisms are very complex. They involve processes of physics, chemistry, biology, hydrology and geology. The underlying processes operate on time-scales of hours or shorter. Some of their features can be studied on the plot or catchment scale. These processes result, however, in consequences that can only be understood



Vastaväittäjä Jack Cosby, Maria Holmberg ja kustos Raimo P. Hämäläinen.

in a wider scale of time and space. As the processes are partly driven by human activities, the consequences can only be controlled through long-term human actions on scales of continental or intercontinental dimensions. This means that we need some way to integrate what we know about how these various processes operate. This integrating tool is most useful if it can tell us something about the past, present and future of the environmental system we are studying. It has been

clear for some time now that model-based reasoning is a very good candidate for this integrating tool.

How then can we study the impact of acidification and climate change on forest soil and water leaching from the soil? In my thesis I present three kinds of mathematical methods, with seven applications, to study these questions. First, dynamic models, then static sensitivity analysis and last, empirical modelling with artificial neural networks. On TV the other night, there was an interview the author John Koetzee. It was clear that he was struggling with every sentence. He could not see the point of condensing his work into a few words. Without any other comparison intended, I must admit I recognize his struggle. Science is, of course, both more restricted and more explicit than fiction. That means it is quite reasonable of you to expect me to condense my results into a few concrete sentences. First, as a result of this work it became clear to me that we cannot do without process oriented, mechanistic soil models. Second, long-term detailed observations of forest soil are crucial. Third, good communication between modellers and environmental scientists is the skeleton that brings structure and substance to model-based reasoning in environmental studies.

Let me elaborate a little on these three points. I found that a simple dynamic model structure was sufficient to show the combined impact of acid deposition and forest growth on the soil.

Although statistical or black-box models such as artificial neural networks are well suited for reproducing non-linear patterns of stream water concentrations of total organic carbon, total nitrogen and total phosphorus, they are not always informative enough, especially for predictive purposes.

This is not to say that we cannot make political decisions and take action on the basis of much simpler analysis than detailed process oriented models. In my thesis I report a successful application of piece-wise linear functions, formulated in the form a decision

matrix tree, to estimate groundwater acidification risk. This simple format is well suited for combining quantitative information with qualitative understanding of the behaviour of environmental systems. We need data on moisture, temperature, soil solution concentrations, gas fluxes etc. These data are needed both to back up the development, testing and evaluation of mechanistic or statistical models and to build up the theoretic framework as to how the soil processes operate.

Important progress in the theory of cation exchange in the 1950's was followed by intense discussion about the role of hydrogen ions and aluminium in soil acidity in the 1960's. This development in soil science laid the foundation for a theoretical framework in which it became possible to study the impact of acidifying substances on soils. When I began to work on soil acidification models in the 1980's, I was fortunate to be able to build upon this collective expertise.

Today, the frontiers of soil science are expanding very quickly as a result of innovations in the field of in situ measurements and molecular biology. I look forward to the great potential these new methods provide as regards more detailed and longer time series of soil properties. Twenty years from now, there may be long, detailed and valuable time series of soil properties from Finland. Let's work towards that.

In the 1980's there was a slight reluctance towards modelling studies among those doing experimental and monitoring work. I don't blame them, since at that time there was, admittedly, an atmosphere of "no, problem, we'll fix it all" among the modellers. Successful modelling studies then slowly changed the mood among empirical people, who saw a possibility of synthesising their large data sets with the help of models. In the 1990's then, you could hear overly optimistic requests from the data community: "Just model it, we give you all the data, what else do you need?" Now, fortunately, a more moderate approach is growing in both the empirical and the modelling community. Modellers contribute their methodological

skills and people trained in the substance fields contribute their unique understanding of the processes behind the observations, not only their data. You may argue that that's a waste of resources, why can't we have models that process people can use themselves or even develop, or why can't we have modellers that have the full and deep understanding of the phenomena they are modelling. Darwin was also on these lines, and said that a good observationist is a good theoretician. I agree and at the same time it is clear that people of Darwin's calibre are very few. So then, in the more common case of a researcher who is not as able as Darwin was, I would say, rather, that we waste resources if we overload both modellers and environmental scientists with requirements that they should be proficient in the other field as well. This prevents them from developing their specific skills to their best. So I suggest rather train both modellers and empirical scientists to understand one another and to collaborate. We need a thoroughly and deeply bilateral co-operation if we want to utilise the full potential of model-based reasoning in environmental studies.

What is the most crucial ingredient of good communication between modellers and environmental scientists? It is even simpler than you suspect. It is time. We need to spend time to be able engage in a true dialogue, to communicate in a way that enhances collaboration. Without plenty of time we tend to be entrenched in our preconceived ideas about our own work and that of the other party's. If you claim you do not know how to find enough time, I'll assure you there are plenty of ways of finding time, and that is the scope of completely another lecture. So I'll conclude here. In meeting the challenge of refining mechanistic soil models, of extending soil observations to support those models and of improving the communication between modellers and environmental scientists, we are facing issues that are crucial for the future of model-based reasoning in the environmental field. I feel privileged to be part of that process.

Studies on the planktonic brackish water microprotozoans with special emphasis on the role of ciliates as grazers



3.12. 2004

Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Tohtori John Dolan, Laboratoire d'Océanographie de Villefranche, Ranska

Nuorena biologian opiskelijana suunnittelin, että minusta tulee piennisikästutkija. Näin televisiosta ohjelman biologismiehestä joka hyppeli pellolla myyrien perässä (kirjaimellisesti). Aurinko paistoi ja linnut liversivät ja homma vaikutti kaikin puolin mahtavalta. Lisäksi myyrät ja hiiret ovat söpöjä ja karvaisia, mikä oli silkkaa bonusta. Opiskelun alkuaikoina istuinkin kaikilla mahdollisilla eläintieteen luennoilla ja luin innosta puhkuen kirjallisuutta eläinten käyttäytymisestä. Sitten kaikki muuttui kertaiskusta ja ajatukseni menivät kokonaan uusiksi, kun hydrobiologian suuntautumisvaihtoehto perustettiin. Mahtavat opettajat, professori Åke Niemi ja hänen assistenttinsa Heikki Salemaa todennäköisesti harrastivat jonkinlaista aivopesua, en muuten osaa asiaa selittää.

Ryhdyin hydrobiologian pääaineopiskelijaksi ja morfologis-ekologinen eläintiede muuttui sivuaineeksi. Alkueliöhommiin päädyin sattumalta. Professori Niemi tarjosi gradupaikkaa hankkeesta, jossa seilattiin Neuvostoliittolaisella, valtamerikäyttöön suunnitellulla tutkimusaluksella pitkin Itämeren Itämeren kuukauden ajan. Graduni tein laivalla keräämäni aineiston pohjalta pohjoisen Itämeren ripsieläimistä, ja jatkoin samojen eliöiden parissa erilaisissa tutkimushankkeissa monta vuotta. Aika kauan kesti ennen kuin tajusin, että itse asiassa olen jatko-opiskelija ja minun pitäisi saada kasaan jokin kokonaisuus, jonka nimi on väitöskirja. Olin ollut projektihommissa asiaa sen enempiä murehtimatta ja tehnyt kenttätöitä ja istunut

mikroskoopin ääressä vuosikaupalla, eikä siitä ollut sen kummempaa siunaantunut. Lopulta tajusin alkaa miettiä jotakin omaa aihetta ja ryhdyin tutkimaan ilmiötä nimeltä mikсотрофия. Valinta oli helppo, koska tunsin entuudestaan mikсотрофияtutkimuksen uranuurtajan, yhdysvaltalaisen Diane Stoeckerin, ja päädyinkin yhdeksi kesäksi hänen laboratorioonsa Chesapeake Bayn rannalle yhdessä vanhan opiskelutoverini Riitta Aution kanssa.

Väitöstilaisuudesta ja karonkasta ei kovin paljoa ole jäänyt mieleen. Sen muistan, että vastaväittäjäni ei omistanut tummaa pukua, ja joutui lainaamaan kravattinkin – turhaan, sillä kustos ei kelpuuttanut hänen virttynyttä vaaleanruskeaa samettitakkiaan ja harmaita housujaan, vaan puki tohtori Dolanin kaapuun, mikä antoi tilaisuudelle oman pikantin Tylypahkasävyyksensä. Väitöksen lopuksi Dolan taisi sanoa jotakin siihen suuntaan kuin *“... I hope you will continue looking into places where you actually shouldn't be...”* -ilmeisesti viitaten havaintoihini syvien vesikerrosten yksisoluisista eliöistä. Karonkassa oli paljon ihmisiä mukana juhlimassa tuota etappia ja Tammisen Timon luotsaama bändi tanssitti juhlakansaa aamuun asti.

Väitöskirjan teon jälkeen ripsieläimet jäivät yhä enemmän taka-alalle ja siirryin pikkuhiljaa tutkimaan myrkyjä tuottavien panssarisiimaleviä ja niiden merkitystä planktisessa ravintoverkossa.

ABSTRACT

The ecology of brackish water planktonic microprotozoans was studied between 1989 and 2002 in the southwest coastal waters of the northern Baltic Sea, in the open waters of the Baltic Proper and in the Choptank River, a tributary of Chesapeake Bay, USA. The studies combined monitoring data on the vertical distribution of various ciliate species and experimentally derived species-specific information on their role as grazers in planktonic food webs. The vertical distribution of the mixotrophic dinoflagellate *Dinophysis acuminata* and its photosynthetic efficiency at different depths were examined during a two-year study.

In the course of three research cruises, in 1998, 1999 and 2001, it was found that the deep-water basins of the Baltic Proper were inhabited by distinct microprotozoan communities. In 1998 and 1990, large unidentified ciliates were detected under low oxygen conditions at the Bornholm and Gotland Deep stations, where traces of H₂S were also found. These deep water communities are presumably connected to the upper pelagic system by one-way transport only, that is, by receiving settling organic matter from surface layers.

In 2001, a dense community of phototrophic dinoflagellates, mostly *Dinophysis acuminata*, was recorded at 77m depth in the Gotland Deep. During the following summer, the photosynthetic efficiency of *D. acuminata* was studied from the coastal thermocline layer and from the nitracline (75-80 m) in the Gotland Sea. These measurements showed photosynthetic activity in all the

populations studied, with differences in their photosynthetic carbon uptake rates. Overall, photosynthesis of the *D. acuminata* populations was saturated at light levels between 250 and 500 $\mu E m^{-2}s^{-1}$. The maximum photosynthetic activity in the populations originating below the thermocline, and also in one artificially darkened population, was markedly lower than that in the populations originating from the upper water layers, possibly reflecting their history, e.g. the time spent in different light environments.

Species-specific clearance rates and the prey size selectivity of natural ciliate communities were experimentally studied by using a suspension of different sized wheat starch particles as food. The experiments revealed two different feeding strategies, specialistic and generalistic, in the nine oligotrich ciliates studied. The clearance rates for the most common particle sizes ranged from 1.9 to 11.4 $\mu l cell^{-1} h^{-1}$.

The functional response of a planktonic ciliate, *Strombidium* sp., feeding on a non-toxic strain of the dinoflagellate *Pfiesteria piscicida* was experimentally studied with four different prey concentrations of stained live prey, non-toxic zoospores (NTZ). The data gathered were used to calculate predator-prey specific ingestion and clearance rates. The ingestion rates ranged from 0.68 to 14.26 NTZ ind⁻¹h⁻¹, and with a predator-prey specific handling time of 2.83 min the maximum

particle uptake rate, U_{max} was 21.18 NTZ ind⁻¹h⁻¹. At the lowest *Pfiesteria* NTZ concentrations, the feeding efficiency of *Strombidium* sp. was reduced, possibly indicating threshold feeding. It was concluded that the formation of non-toxic *Pfiesteria piscicida* blooms requires periods of low grazing pressure or a means to escape grazing.

Samples for studying the ciliate communities of the open Baltic Sea were taken in 1998 and 1990 from two transects extending from the Kattegat to the entrance of the Gulf of Finland. The abundance of ciliates (the photoautotrophic ciliate *Mesodinium rubrum* excluded) was highest close to the surface, where maximum values ranged from approx. 7 000 to 20 000 cells l⁻¹ in different areas. The dominant groups of heterotrophic ciliates were small strobilidiids, strombidiids and prostomatiids. *Mesodinium rubrum* was most abundant in the surface water, but during both cruises concentrations of this ciliate were also found in deeper layers in the daytime (down to 80 m). Community grazing was estimated by a size-dependent, mostly experimentally derived, exponential function. It was estimated that in 1988, the ciliate community cleared close to 50% of the water volume daily, whereas in 1990, the highest values were up to 125% cleared daily. In both years, the communities were dominated by small ($\leq 30 \mu m$) ciliates, which were also responsible for most of the grazing.

Correlation analysis revealed three distinct ciliate associations in the data of both years. Some of these groups may represent true feeding guilds bound together by utilization of the same resources, whereas others may be kept together by abiotic factors or the internal dynamics (e.g. predator-prey relationships) of the association.

The northern Baltic Sea microprotozoan communities show fluctuations in abundance and species composition not only seasonally but also spatially. Different ciliate species may be held together by utilization of the same food resources or by predator-prey relationships, and may form associations in different parts of the water column. Communities in the deep water layers may be overlooked when biological sampling is targeted at the upper part of the water column. The study showed that, due to their species-specific feeding characteristics, suspension-feeding ciliates may not always form a single functional group in terms of their role as grazers in the planktonic food web. However, owing to the generally high cell-specific clearance efficiencies of planktonic suspension-feeding ciliates, they can at times be significant grazers in planktonic communities.

Heikki Mäkinen

Vesienhoidon hallinta Suomessa: Vesipolitiikan puitedirektiivin toimeenpano vuorovaikutteisen suunnittelun näkökulmasta

27.5.2005

Helsingin yliopisto, Maantieteen laitos

Vastaväittäjä: Prof. Olavi Heikkinen, Oulun yliopisto

Suurimmat mielenkiinnon kohteeni – jos penkkiurheilu jätetään laskuista – ovat aina liittyneet historiaan, yhteiskunnallisiin asioihin ja maantieteeseen. Aloitin poliittisen historian opiskelut Helsingin yliopiston valtiotieteellisessä tiedekunnassa syksyllä 1987 ja valmistuin valtiotieteiden maisteriksi pahimpaan lama-aikaan 1991. Havitteleman ulkoministeriön virkamiesputken pää oli tuolloin tukossa, ja niinpä päätin jatkaa opiskeluja maantieteen parissa.

Tullessani töihin SYKE:n Ympäristön tila -yksikköön tammikuun alussa 1998, olin ehtinyt haalia suunnittelu-maantieteestä filosofian maisterin tutkinnon ja päättää, että kahdella perustutkinnolla opinnot ovat nyt takana. Kaikkea sitä kuvittelinkin! Mies, joka heitti tiukan periaatepäätökseni romukoppaan, oli silloinen esimieheni Pertti Heinonen. Ei ollut niin pientä asiaa toimitettavaksi hänen huoneessaan, etteikö tilaisuus olisi päättynyt kysymykseen: ”Niin Heikki, mitenäs ne sinun jatko-opintosi?” Muutaman kuukauden pidin pintani ja koetin livahtaa paikalta, mutta lopulta puolustus murtui. Otin yhteyttä maantieteen laitokselle ja ilmoitin yllättäen virinneestä halukkuudestani jatko-opiskelijaksi. Oman kapasiteettini rajoitukset tuntien paalutin jatko-opintoja ajatellen kuitenkin kaksi periaatetta: Jatko-opintoja on saatava tehdä työkseen ja väitöskirjaan mennään lisensoitujen työn kautta. Kun näistä sovittiin, alkoi vastaan pyristelyni laantua ja into kasvaa.

Pääosan työajastani SYKE:ssä olin Vesivarayksikössä Antti Lehtisen luotsaamassa vesienhoitoryhmässä. Vaikeaa kuvitella, mikä olisi voinut olla parempi työympäristö, kuin Antin juurevan hämäläisellä otteella luotsaama ryhmä. SYKE oli monella tapaa erinomainen paikka jatko-opintojen tekemiseen. Ehkä keskeisin asia tässä suhteessa oli se, että jatko-opinnoille oli aina korkeimman johdon tuki. Itse koin monesti tuon Lean jatko-opintomyönteisyyden



Heikki Mäkinen, kustos Mauno Kosonen ja vastaväittäjä Olavi Heikkinen.

tarjoavan selkänöjan, johon saatoin omassa työajan käytössäni mielenrauhani perustaa. Tietenkin kiitos ajankäyttömahdollisuuksista kuuluu kaikille esimiehelleni. On myös erinomaista, että ainakin tuolloin oli käytettävissä Suomen Akatemian rahoitusapparaatti, josta SYKE sai osan palkkarahoistani. Tuollaisia tukimuotoja tarvitaan jatkossakin.

Työtövereiden tulokulma väitöskirjan tekoon oli omanlaisensa. Se piti jalat tiukasti maassa ja muistutti

väitöskirjan ulkopuolisen todellisuuden olemassa olosta: Intensiivisen kirjoitusjakson keskellä päätin yrittää varmistaa oman työrauhani kiinnittämällä suljettuun työhuoneeni oveen lapun, jossa luki ”Kaino toive: Älä avaa, jos ei ole ihan pakko”. Ei kulunut kovinkaan kauaa, kun oveen alettiin kolkutella. Sinne oli ilmestynyt uusi lappu: ”Kuolen ikävään. Astu sisään, niin jutellaan”.

LECTIO PRAECURSORIA

Arvoisa kustos, arvoisa vastaväittäjä, hyvät läsnäolijat

Vesienhuoltoasioiden hoidolla on Suomessa pitkät ja vakiintuneet perinteet. 1960-luvulta asti jatkunut vesilain mukainen toiminta on tuottanut kansainvälisestikin arvioituna hyvän tuloksen. Suomen liittyminen Euroopan unioniin vuoden 1995 alussa toi vesiasioidenkin sääntelyn pelikentälle tukun uusia elementtejä - direktiivejä. Näistä laaja-alaisin on vesipolitiikan puitedirektiivi - tuttavallisemmin (vpd) - joka tuli voimaan joulukuussa vuonna 2000. Vpd yhdenmukaistaa EU-alueen pinta- ja pohjavesien tarkastelua. Vesien tila määritellään lähinnä biologisilla ja kemiallisilla mittareilla ottaen samalla huomioon luonnolliset valuma- ja muodostumisolosuhteet. Vpd korostaa valuma-alueittaisen kokonaisnäkökulman ja vuorovaikutteisen suunnittelun merkitystä vesienhoidossa. Vpd:n keskeiset osat pannaan Suomessa täytäntöön vesienhoidon järjestämisestä annetulla lailla sekä sitä täsmentävillä asetuksilla.

Maantieteilijälle keskeinen lähestymiskulma asioihin lähtee alueista. Vpd:ssä alueellinen näkökulma tarkoittaa keskeisimmältä osaltaan valuma-aluekokonaisuuksien hahmottamista ja niiden ymmärtämistä toiminnallisiksi kokonaisuuksiksi, joita on hoidettava ja seurattava koko kokonaisuus huomioon ottaen. Valuma-alue on Kuusiston Suomen kartastossa esitettävän määritelmän mukaan tietyn uomaverkoston kohdan yläpuolinen, vedenjakajan rajaama alue, joka määritellään tavallisesti järven luusuaan, jokien yh-

tymäkohtaan, valtakunnan rajalle tai meren rantaan. Suomen jako 74 päävaluma-alueeseen perustuu kahteen viimeksi mainittuun määrittelytapaan. Vpd:n määritelmän mukaan valuma-alueella tarkoitetaan aluetta, josta kaikki pintavalunta virtaa puron, järven, joen tai suistoalueen kautta mereen. Vpd:n mukaan EU:n jäsenvaltioiden on perustettava alueelleen valuma-aluepohjaisia vesienhoitoalueita direktiivin kansallisen toimeenpanon suunnittelualueiksi. Suomen 74 päävaluma-alueella on jaettu seitsemään vesienhoitoalueeseen.

Suomessa on noin 189 000 yli viiden aarin suuruista vedenkokoumaa eli järveä, joista noin 56 000 on yli hehtaarin laajuisia. Yli tuhannen neliökilometrin järviä on kolme: Saimaa, Inari ja Päijänne. Sisävesiemme kokonaisalaksi on arvioitu noin 33 350 neliökilometriä eli hieman yli yksi Belgiallinen.

Vesilain määritelmän täyttäviä jokia on Suomessa lähes 20 000 kilometriä. Pohjavesialueita on puolestaan noin 6600 kappaletta. Vesienhoidolle riittää siis tehtäväkenttä, vaikka vetemme ovatkin kansainvälisessä vertailussa yleisesti ottaen varsin hyvässä kunnossa.

Vesienhoidon voidaan ajatella olevan kaikkea sitä toimintaa, jolla vesien tilaa pyritään ylläpitämään. Vesienhoitoon kuuluvat siten paitsi vesiluonnon suojeleminen ja kunnostus myös kestävä vesivarojen pitkän ajan suojeleminen perustuvan vedenkäytön edistäminen sekä tulvien ehkäisy siltä osin kuin nämä liittyvät vesien laatuun ja käyttökelpoisuuteen. Vesienhoito on huomattavasti varsinaista vesistöä laajemmalla alueella tapahtuvaa toimintaa. Vesistön tilaan vaikuttavat sen valuma-alueella tapahtuvat prosessit, ja niinpä myös vesienhoidossa on kiinnitettävä huomiota kokonaisvaltaiseen valuma-alueittaiseen lähestymiseen.

Suomessa vesienhuoltoasioiden huippukausi koettiin 1970-luvun alusta aina seuraavaan vuosikymmenen puoliväliin asti, kun koko maahan laadittiin vesienkäytön kokonais suunnitelmat. Kokonais suunnitelmia laadittaessa suurimmat vesistöalueet käsiteltiin kokonaisuuksina tai jaettiin useampaan eri osaan. Pienempiä vesistöalueita yhdistettiin hallinnollisia

aluejakoja mukailleen useampia samoihin suunnittelualueisiin. Toimintamalli muistutti siis varsin paljon vpd:n mukaista jakoa vesienhoitoalueisiin.

Vesienkäytön kokonais suunnittelun kanssa rinnakkaisena prosessina alettiin vesienhallinnossa laatia 1970-luvun alussa vesienhuoltoasioiden tavoiteohjelmia, jotka oli tarkoitettu ohjaamaan vesienhallinnon ja sen piirihallinnon toimintaa sekä vesienhuoltoasioiden toteutusta yleensä vesiin ja niiden käyttöön kohdistuvassa toiminnassa. Kokonais suunnitelmien pohjalta laadittiin myöhemmin osaan maata vesistökohtaisia vesienkäytön ja vesienhuoltoasioiden yleissuunnitelmia.

Minulta on kysytty: ”Kuinka kauan väitöskirjan tekemiseen meni aikaa?” En ole osannut vastata. En ole osannut vastata siksi, etten ole kyennyt määrittämään sen enempää prosessin tai projektin alkua kuin loppuakaan. Loppu alkaa vähitellen hämmöttää horisontissa – toivottavasti – mutta mihin alkupiste olisi asetettava? Onko se yhtä kuin maantieteen laitoksen jatkokoulutusseminaariin ilmoittautuminen? Vai mahdollisesti se päivä, jolloin Suomen akatemialta tuli osarahoituksen myöntökirje. Vai onko mentävä huomattavasti kauemmaksi, ehkä jopa peruskoulun toiselle luokalle, jolloin karttakepin tahdittamana opettelimme Pohjanmaan joet pohjoisesta etelään listaavan lorun.

Miksi otin tämän esille? Siksi, että se kuvaa nyt tarkastettavana olevan tutkimus- tai pitäisikö sanoa tulkintatyöni luonnetta. Tulkintaprosessilla ei ole absoluuttista lähtökohtaa, sillä kaiken ymmärryksen perustana on tulkitsijan oma esiymmärrys. Tulkinnan edetessä tämä esiymmärrys muuttuu ja vaikuttaa uusiin tulkintoihin, jotka puolestaan muovaavat uutta ymmärrystä. Oma Suomen vesistöihin liittyvä esiymmärrykseni on ollut jatkuvassa muutoksessa. Vielä Suomen ympäristökeskuksessa työskentelyni ensimmäisinä vuosina esittelin yllpeästi hamasta lapsuudesta asti päässäni säilynyttä Pohjanmaan jokien listausta, kunnes joku työtoverini totesi lähes

lakonisesti listalta puuttuvan melkein puolet Oulu- ja Kyrönjokien välillä todella sijaitsevista joista. Nyt tiedän sitä paitsi senkin, ettei ole suinkaan itsestään selvää, mikä se joki oikeastaan on. Kolmekymmentä vuotta sitten en juurikaan problematisoinut joen määrittelyä. Tämä omasta esiyymmärryksestäni.

Tutkimuskohdettani puolestaan kuvaa toteamus, jonka mukaan sen – siis vpd:n ja sen toimeenpanoprosessin päämäärä - ei ole prosessin ulkopuolella, vaan siinä sisään rakennettuna. Tavoitteet eivät ole muuttumattomina olemassa, vaan suunnitteluprosessissa muotoutuvia ja sellaisina muuttuvia.

Mainitut lähestymistavat liitetään usein ns. hermeneuttiseen prosessiin. Hermeneuttinen prosessi on syklinen, mistä seuraa, että määritykset säilyttävät aina tietyn väliaikaisuuden leiman. Tulkintaprosessilla ei ole absoluuttista päätepistettä. Syklisyyden ja syklisen – aina tarkasteltavien ilmiöiden alueellisen perusyksikön määrittelyn tasolle asti ulottuvan iteroinnin ajatus sopii hyvin vpd- prosessin ja projektin käsitteisiin, kuten kuuden vuoden välein laadittavan hoitosuunnitelman olemuksen määrittelyyn.

Mielestäni vpd:tä kuvaa hyvin väite, että tulkittavaa ilmiötä on mahdollista ymmärtää vain sen yksittäisten elementtien ja kokonaisuuden välisen dialogin kautta. Mitä paremmin kokonaisuutta ymmärretään, sitä paremmin ymmärretään myös sen osien merkitys ja päinvastoin. Tulkinta on käynnistynyt siitä, että kokonaisuutta tulkitaan osiensa perusteella, mutta prosessin edetessä yksittäisten osien merkitys jatkuvasti muuttuu ja tarkentuu kokonaisuuden ymmärtämisen perusteella.

Hallinta on julkisten ja yksityisten toimijoiden yhteistyötä ja vuorovaikutusta, jota säätelevät ylipaikallinen normitus sekä paikalliset käytännöt ja jossa mukana on myös kansalaisnäkökulma. Hallintaan kuuluu ajatus tiettyä yhteistä intressiä varten kootuista ryhmistä pikemminkin kuin uuden hallinnon ja institutionalisoitujen rakenteiden luomisesta. Tässä suhteessa vpd:n

toimeenpano noudattelee hyvin hallinnan periaatteita. Toimeenpanon yksi lähtökohta Suomessa on ollut uuden hallinnon rakentamisen välttäminen. Direktiivin edellyttämät hallinnolliset järjestelyt toteutetaankin olemassa olevan hallinnon rakenteen avulla ilman uusia hallinnollisia toimijoita. Hallinta-ajattelua osoittaa myös eri intressiryhmien osallistaminen jo vpd:n toimeenpanon metasuunnitteluun eli suunnittelun suunnitteluun. Vpd:n toimeenpanon metasuunnittelua on harjoitettu valtakunnantasolla jo muutamia vuosia, kun lakia vesienhoidon järjestämisestä ja sen edellyttämiä asetuksia on valmisteltu laajapohjaisessa toimikunnassa.

Hallinnan näkökulmasta katsottuna on olennaista, ettei vpd:llä pyritä yhdenmukaistamaan suunnittelukäytäntöjä liikaa vaan antamaan tiettyjä yhteisiä periaatteita, joiden käytäntöön soveltaminen jää toimintaan osallistuvien osapuolten ratkaistavaksi. Hallinnon keskeinen tehtävä prosessissa on tukea osaltaan vuorovaikutteisten suunnittelukäytäntöjen luomista ja mahdollistaa eri osapuolten osallistuminen. Vpd luokin puitteita monitasoiselle hallinnalle mutta on kuitenkin luonteeltaan lähinnä mahdollistava eikä ota kantaa vuorovaikutteisiin suunnittelukäytäntöihin tai näiden institutionaalisiin edellytyksiin.

Vpd:ssä korostetaan, että sen onnistuneen täytäntöönpanon edellytyksinä ovat tiivis yhteistyö ja yhtenäinen toiminta yhteisön, jäsenvaltioiden ja paikallisella tasolla sekä kansalaisille ja vedenkäyttäjille tiedottaminen, heidän kuulemisensa ja osallistumisensa. Vpd:n mukaan jäsenvaltioiden on kannustettava kaikkia asianomaisia osallistumaan direktiivin täytäntöönpanoon ja erityisesti sen edellyttämien vesienhoitoaluekohtaisten hoitosuunnitelmien laatimiseen.

Osallistumiskysymysten esille nostaminen vpd:ssä on linjassa EU:ssa viime vuosina omaksutulle tavoitteelle parantaa kansalaisten vaikutusmahdollisuuksia heidän omaa ympäristöään koskevissa asioissa. Vpd heijastelee myös EU:n ympäristöpolitiikan paradigmoja, joihin kuuluu muun muassa kumppanuus elinkeinoelämän

kanssa, viranomaisten ja teollisuuden yhteistyön kehittäminen sekä elinkeinoelämän vapaaehtoisten toimenpiteiden kannustaminen.

Suomessa kansalaisten osallistumismahdollisuuksia koskevien asioiden päätöksenteossa, suunnittelussa ja osittain myös suunnitelmien toteuttamisessa on pyritty turvaamaan laeilla. Keskeistä kansallista lainsäädäntöämme ovat tässä suhteessa muun muassa laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä, maankäyttö- ja rakennuslaki, kuntalaki sekä ympäristönsuojelulaki.

Kansalaisten ja sidosryhmien osallistumiskysymyksiä on käsitelty melko paljon myös viimeaikaisessa suunnitteluteoreettisessa tutkimuksessa. Esimerkiksi tarkastelut hallinnon ja hallinnan suhteesta sekä muun muassa hallinnon roolin muuttumisesta tuottajasta mahdollistajaksi ovat myös vpd:n suunnittelufilosofian kannalta keskeisiä. Toisaalta direktiivissä painotettu – ja jopa onnistuneen täytäntöönpanon reunaehdoksi mainittu – tarve kannustaa eri sidosryhmiä mukaan vpd:n toimeenpanoon saa melkoisen haasteen vuorovaikutteisen suunnittelun tutkimuksen keskeisen vaikuttajan brittitutkija Patsy Healeyn väitteestä, etteivät arvot ja asenteet tule nykyisissä suunnitteluprosesseissa esille siten, että preferensseistä voitaisiin aidosti keskustella. Suunnitteluprosessit eivät hänen mukaansa välitä arvoja preferensseiksi ja arjen käytännöiksi. Ongelmana voi olla jo pelkästään yhteisen kielen ja tiedollisen pohjan hakeminen.

Arvojen preferensseiksi siirtymisen kannalta tavoiteasettelu on keskeinen vpd:n mukaisen suunnittelun vaihe. Se, millaisiksi tavoitteet tietyllä alueella muodostuvat kertoo siitä, miten esimerkiksi luonnonarvoja tai virkistyskäyttöarvoa painotetaan suhteessa vpd:n tilatavoitteen saavuttamiseksi tarvittaviin taloudellisiin voimavaroihin. Laajaan vuorovaikutukseen perustuva tavoiteasettelu mahdollistaa todelliset arvoalinnat vpd:n reunaehtoisten sallimissa rajoissa. Keskeinen reunaehtoahan on, ettei minkään veden tilaa saa heikentää.

Vuorovaikutuksen keskeisiksi tavoitteiksi on todettu tehtävien päätösten mahdollisimman laajan legitimitietin varmistaminen, lopullisten päätösten laadun parantaminen osallisilta saatavien tietojen ja kokemusten kautta, prosessin läpinäkyvyyden ja luovuuden lisääntyminen sekä väärinymmärrysten ja aikataulujen viivästymisen välttäminen.

Vpd:n täytäntöönpanoon osallistamisen syyt ovat sekä kontekstuaalisia että vpd:n sisällöstä johtuvia. Vesienhoidon toimintakenttä on muuttunut yhteiskunnan muuttumisen myötä yhä kompleksisemmaksi, moninaisemmaksi ja dynaamisemmaksi. Toimijoiden lisääntyminen ja kansainvälistyminen, tieteellisen tiedon lisääntyminen ja jakaantuminen yhä useammille toimijoille, asiantuntijuuden laventuminen institutionaalisesta myös kontekstuaaliseen sekä yhteisen arvopohjan ja tavoitteiden hajaantuminen ovat johtaneet yhdessä hallinnon supistuvien toimintaresurssien kanssa tilanteeseen, jossa vuorovaikutusta ja yhteistyötä tarvitaan sekä laajasti hyväksyttävissä olevien tavoitteiden määrittelyyn, hallinnon resursseilla toteuttamatta jäävien tehtävien edistämiseen että parhaan mahdollisen vesienhoidon tietotaidon takaamiseen prosesseissa.

Vpd:n sisällön kannalta vuorovaikutus on tärkeää, koska direktiivillä voi olla varsin laajalle ulottuvia vaikutuksia yhteiskuntaan, ja siksi siihen sisältyy myös ilmeinen intressiristiriitojen riski. Vpd ja vesienhoitolaki edellyttävät hoitosuunnitelman laadinnan työohjelmien ja aikataulujen valmistumista laajempaa kuulemistä varten vuoden 2006 lopulla ja vesienhoidon keskeisten kysymysten tunnistamista niin ikään kuulemistä varten vuoden 2007 lopussa. Vuorovaikutteisen osallistamiskulttuurin kannalta pelkkä kommentointimahdollisuus valmiiseen ehdotukseen ei riitä, vaan myös agenda on laadittava yhdessä. On siis suunniteltava, kuinka suunnitelmat laaditaan ja mitkä asiat nostetaan erityisen huomion kohteiksi.

Vesiasioiden suunnittelun traditio on Suomessa leimallisesti teknis-luonnontieteellisen suunnittelun traditio. Vpd:n ja vesienhoitolain myötä vahvistuu jo viime vuosikymmenellä alkanut kehitys, jonka seurauksena vesienhoito ja sen suunnittelu näyttävät tavoitteenasetteluineen ja toimintatapoineen yhä enemmän yhteiskunnallisena kysymyksenä.

Koko vpd:n suunnittelujärjestelmän pohjana on luonnontieteellisen tiedon varaan rakentuva ja luonnontieteellisin kriteerein arvioitava näkemys vesiemme luonnontilasta. Luonnontilaan suhteutettuna laaditaan vesien tilaluokitteluasteikko skaalalla erinomaisesta huonoon. Vpd:n toimenpidevelvoitteet ovat sidoksissa tähän luokitteluun, joten sen luominen ja erityisesti tulkitseminen tietyssä järjessä, joessa tai rannikoveden osassa ei liene puhtaasti luonnontieteellinen tehtävä. Laadittavan luokittelun on oltava luonnontieteellisesti kestävällä pohjalla, mutta yhteiskunnallinen näkökulma on väistämättä taustalla mukana.

Vesien hyvän tilan ylläpitämiseen tai hyvää huonomman tilan parantamiseen tähtäviä suojele- ja kunnostustoimenpiteitä joudutaan väistämättä priorisoimaan ajallisesti ja alueellisesti. Niin ikään joudutaan arvioimaan, mitkä toimenpiteet olisivat taloudellisesti, yhteiskunnallisesti ja teknisesti toteuttamiskelpoisimpia, sekä punnitsemaan tavoitteiden lieventämisen mahdollisuutta. Kun tähän lisätään vielä kysymys kustannusten maksajasta, on koossa paketti, jonka ratkaiseminen on leimallisesti yhteiskunnallista päätöksentekoa, jossa luonnontieteelliset näkökulmat ovat taustalla mukana. Yhteiskunnallinen päätöksenteko puolestaan on politiikkaa, johon kaikilla osallisilla on oltava mahdollisuuksia vaikuttaa.

Vpd:n mukainen hallinta-ajattelu näyttää meillä melko uutena ja hieman vieraana toimintatapana. Suomessa ei ole kovinkaan vahvaa hallinnon ja sidosryhmien välistä osallistamis- ja osallistamiskulttuuria. Meillä on toteutettu eri sektoreilla vaihtelevan laajuisia osallistumisprojekteja mutta vpd:n hengen mukaista, suunnitteluprosessin läpi käyvää osallisuuden kulttuuria on hyvin vähän. Vesiasioiden osalta laajempia kokemuksia on kertynyt lähinnä vesien

käytön kokonaissuunnittelussa ja vesiensuojelun yleissuunnittelussa sekä viime vuosina vesistöäänöstelyjen kehittämishankkeissa. Vuorovaikutuksen ymmärtäminen elimellisenä osana koko suunnittelu-prosessia ei edelleenkään ole itsestäänselvyys, vaan osallistuminen saatetaan yhä mieltää suunnitelmien varsinaisen valmisteluprosessin ulkopuolisena elementtinä, reflektiivisenä kommentointimahdollisuutena.

Tässä yhteydessä haluan erityisesti korostaa sitoutumisen merkitystä. Vpd:n täytäntöönpanossa erityinen vuorovaikutuksen ja sitoutumisen tarve johtuu pitkistä aikajänneistä. Kyseessä ei ole lyhyt projektiluontoinen tehtävä, johon liittyen kansalaisia ja eri sidosryhmiä olisi kuultava, vaan kokonaisuus, jonka myöhäisimmät aikarajat ovat yli kahdenkymmenen vuoden päässä.

Sitoutuminen on tärkeää, koska mikään toimija ei hallitse yksin vesienhoidon kenttää vaan tuloksiin pääseminen edellyttää yhteisiä ponnisteluja ja jatkuvaa vuorovaikutusta useiden eri ryhmien ja toimijoiden kanssa, niin nyt kuin tulevaisuudessakin. Olennaista ei ole se, että tietty välitavoite saavutetaan keinolla millä hyvänsä, vaan myös se, että tavoitteeseen on päädytty prosessissa, joka antaa tilaa yhteistyölle tulevaisuudessakin.

Sitoutumiseen läheisesti liittyvä käsite on sosiaalinen pääoma. Sitoutuminen edellyttää myönteistä vuorovaikutusta, joka toisaalta edellyttää sosiaalista pääomaa ja toisaalta myös lisää sitä. Sosiaalinen pääoma - sitoutuminen ja keskinäinen luottamus - auttaa epäselvyyden hallinnassa, kun ei aina tiedetä, miten edetä, miten kohdattava ongelmia ja mihin sitoutua. Sosiaalinen pääoma kasvaa toisiin tutustumalla ja yhdessä tekemällä, mutta se ei välttämättä tapahdu hetkessä. Tästä syystä vpd:n toimeenpanossa on aktivoitava ja vahvistettava yhteistyöverkostoja jo mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Välineet ja toimintakulttuurit vaihtelevat, mutta kaikkialla, missä on todettu selkeitä vesiensuojellisia ongelmia, on myös verkostoja aktivoitavaksi ja käyttöön otettavaksi.

Toistaiseksi vpd:n kansallisissa sidosryhmäpohdinnoissa on rajoitettu lähes yksinomaan niihin tahoihin, joilla on joko vesien ja niitä ympäröivien valuma-alueiden ominaispiirteiden analysointia tai seurantoja palvelevaa tietoa ja osaamista, sekä niihin, joita tarvitaan vesien tilaa ylläpitävien tai parantavien toimenpiteiden toteuttamiseen. Sen sijaan ei ole kiinnitetty riittävästi huomiota eri toimijoiden sitouttamiseen tarvittavien sitouttajien merkitykseen. Sitouttaminen on kaikkein tärkeintä niiden ryhmien osalta, joihin eivät nykyiset lainsäädännön asettamat velvoitteet kunnolla vaikuta. Lähinnä kyse on siis hajakuormittajista, joiden sitouttaminen yhteisiin tavoitteisiin voi olla monilla alueilla tekijä, jonka onnistuminen tai epäonnistuminen määrittää sen, saavutetaanko vesien tilalle asetettavia tavoitteita.

Suunnittelun läpinäkyvyyden, vuorovaikutuksen mahdollistamisen ja sitoutumisen kannalta keskeistä on myös yhteisen kielen löytäminen. Vpd tarjoaa suunnittelijalle useita mahdollisuuksia testata omaa kykyänsä pukea asioita yleiskieliseen muotoon. Kuvaava esimerkki vpd-slangista löytyy fyysiseltä rakenteeltaan huomattavasti luonnontilaisista vesistä poikkeavien järvien ja jokien tilanmäärittelystä. Hyvä kuulija, olisitko itse valmis sitoutumaan prosessiin, jossa valmistellaan ”biologisilla, hydrologis-morfologisilla ja fysikaalis-kemiallisilla laatu-tekijöillä määriteltävän voimakkaasti muutettujen vesimuodostumien parhaan mahdollisen ekologisen potentiaalin” raja-arvojen koh- tuullisuuden arviointia. - En minäkään. Paljon työtä on direktiivikielen ymmärrettävyyden lisäämiseksi jo tehty, mutta paljon on vielä tekemättä.

Samalla kun korostetaan vuorovaikutuksen merkitystä suunnitteluprosessissa ja nähdään sillä olevan suorastaan itseisarvoa, on muistettava että vuorovaikutuksen päätarkoitus suunnittelussa on kuitenkin asioiden eteen päin vieminen ja mahdollistaminen. Vuorovaikutus ei saa jäädä suunnittelussa pelkäsi ajatusten vaihdoksi ja ”diskuteeraamiseksi”, vaan asioiden on myös edettävä ja päätöksiä on synnyttävä. Vpd:n toimeenpanossa vetovastuu on kaikesta

vuorovaikutuksesta huolimatta ympäristöhallinnolla, jonka on varmistettava eri osapuolilta saatavien tietojen, taitojen, arvojen, arvostuksien ja taloudellisten resurssien hyödyntäminen vesienhoidon edistämiseksi.

Pyydän teitä arvoisa professori Olavi Heikkinen tiedekunnan määräämänä vastaväittäjänä esittämään ne huomiot, joihin katsotte väitöskirjani antavan aihetta.



Presence and activity of microbial populations in glaciers and their impact on rock weathering at glacial beds

8.6.2005

Bristolin yliopisto, Geotieteiden laitos

Vastaväittäjä: Prof. David B. Nedwell, University of Essex, UK, School of Biological Sciences

Tein väitöskirjatutkimukseni Iso-Britanniassa Bristolin yliopistossa vuosina 1999–2002. Työskentelin vähän yli kolme vuotta Bristolin yliopiston Geomikrobiologian tutkimuslaboratoriossa. Väitöskirjatutkimukseni kirjoitustyötä tein edelleen työn ohessa palattuani Suomeen ja Suomen ympäristökeskukseen joulukuussa 2002. PhD-tutkintoni valmistui kesäkuussa 2005.

Innostus lähteä tekemään jatko-opintoja ulkomaille syntyi EU-tekopohjavesitutkimuksen aikana vuosina 1996–1998. Halusin lisätä tietämystäni mikrobiologiasta, ja myös parantaa englannin kielen taitoani. Sain selville, että Bristolin yliopistossa olisi mahdollisuus työskennellä Geomikrobiologian ryhmässä, joten olin yhteydessä tutkimusryhmän johtajaan professori John Parkesiin. Sattumalta heillä oli juuri haettavana geologian ja glasiologian laitosten yhteistutkimushankkeessa väitöskirja-apuraha osatutkimukseen, jossa tavoitteena oli selvittää mikrobiaktiivisuuden vaikutusta kiviaineksen rapautumiseen jäätikköalueilla. Olin onnekas, sain apurahan, ja mielenkiintoinen elämänvaihe "aikuisopiskelijana" alkoi. Iso-Britanniassa viettämäni kolmen vuoden aikana pääsin seikkailemaan jäätiköiden ohella myös mm. luolissa, vuorilla ja kallioseinämillä.

Sain SYKEstä monenlaista tukea ja kannustusta väitöskirjahankkeeseeni. Opintovapaata myönnettiin kolmeksi vuodeksi, ja ensimmäisenä Bristolin vuotena sain SYKEltä myös kannustusstipendin. Väitöskirjan viimeistelyvaiheessa sain keskittyä kirjoitustyöhön lyhyillä kirjoitusvapailla. Erittäin tärkeätä oli myös lähimpien työtovereiden ja esimiesten kannustava asenne niinä hetkinä, kun suorituspaineeet olivat suurimmillaan. Vaikka en jatkanut arktisten alueiden tutkimuksia, on noina jatko-opintovuosina opituista asioista ja kokemuksista ollut monella tapaa hyötyä työssäni pohjavesiasioiden parissa.

ABSTRACT

In this research the presence and activity of bacterial populations in glacial drainage systems, especially in subglacial meltwaters, were studied. The three field sites represented glaciers with different characteristics: a warm-based ice cap in a maritime climate in Norway, a subarctic polythermal-based inland ice sheet in Greenland, and a polythermal-based valley glacier in a High Arctic climate in Svalbard. Lithologies ranged from Precambrian metamorphic gneisses and quartzites to Carboniferous and Permian sedimentary rocks. Low temperature weathering experiments in closed-system conditions lasting up to 10 months were conducted to determine *in situ* activity of subglacial micro-organisms, their energy and nutrient sources and their impact on the rate of chemical weathering.

The total number of bacteria in meltwaters ranged from 3.40 - 4.63 log₁₀ cells ml⁻¹ (from 2.51×10³ to 4.27×10⁴ cells ml⁻¹). The different size and thermal regime of the glaciers did not have an effect on numbers of bacterial cells. Significantly higher numbers of bacteria in subglacial meltwaters were discovered at the very early phase of melt season, when melting was minimal and no dilution with snow and ice melt scarce in bacteria was occurring.

Obligate anaerobic bacteria, such as sulphate-reducing bacteria, were present in the meltwaters throughout the melt season from April to August. Sulphate-re-

ducing bacteria were adapted to activity at constantly low temperatures from 0 to +4 °C, but their optimum temperature varied from +10 to +32 °C. After 25 weeks of incubation, activity was detected also at the subzero temperature of -0.6 °C.

Bacteria which originated from the subglacial drainage systems were active at the temperature range from +0.2 °C to +2.6 °C, when incubated with proglacial rock flour without any additional substrates. As a source of energy and nutrients, they used organic acids released from the rock flours, and oxidation of reduced inorganic constituents released from e.g. sulphide minerals. Oxygen or nitrate were utilised as electron acceptors. Microbial activity accelerated the release of alkali elements (K⁺, Na⁺) and earth alkaline elements (Mg²⁺, Ca²⁺), as well as sulphate (SO₄²⁻) from rock flours. Biologically mediated carbonate and silicate dissolution initiated after one month, whereas more than five months incubation was needed until oxidation of sulphides was occurring. The results of the weathering experiments demonstrated that both chemoorganotrophic and chemolithotrophic bacteria are able to grow in subglacial conditions, and their activity in the subglacial cavities during winter months can speed up chemical weathering. As a consequence, microbial activity has a marked impact on major ion concentrations in meltwaters in the early melt season, when discharge is low and dilution of subglacial meltwaters with snow and ice melt is minimal.

Natural attenuation of anthropogenic organic compounds in boreal soil and groundwater

2.12.2005

Tampereen teknillinen yliopisto, Bio- ja ympäristötekniikan laitos

Vastaväittäjä: Prof. Dr. Josef Zeyer, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zürich, Sveitsi

Väitöstutkimuksessani parasta oli sen laaja-alaisuus. Työssä ja sen myöhemmässä soveltamisessa yhdistyvät luonnontieteellinen, akateemistäväritteinen kokeellinen tutkimus ja käytännön vaikuttaminen ympäristönsuojelun ja -politiikan toteuttamiseen. Väitöstyön aikana sain perehtyä näytteenottoon, sen suunnitteluun ja toteuttamiseen, kokeelliseen laboratoriotutkimukseen ja sen laitteiden ja menetelmien hallintaan. Sittenkin on ollut hienoa huomata, että näiden perusteiden hallitsemista arvostetaan laajasti ja kysyntää tällaiselle osaamiselle on. Väitöstyön aikana hankitut tiedot ja taidot ovat siis olleet jatkuvasti tarpeen ja väitöskirja helpotti myös pääsyä tutkijavaihtoon Hollantiin noin 2,5 v ajaksi. Henkilökohtaisesti tämä antoisia jakso lienee paras palkinto väittelemisestä. Väitöksen jälkeen olen siirtynyt pääosin muiden tutkimusaiheiden pariin.

Toisaalta väitöstutkimukseni on myös opettanut minulle, että uuden tiedon merkityksen ymmärtäminen päätöksenteossa vaatii aikaa – ja paljon työtä ja panostusta tutkijalta. Sykeläisellä tutkijalla on velvollisuus osallistua tiedonvälitykseen ja oman alan käytännön toimijoiden koulutukseen Suomessa. Se on valtava etu, koska tässä rajapinnassa akateeminen tutkija joutuu opettelemaan viestinnän ja vaikuttamisen taitoja. Tämä myös auttaa ymmärtämään niitä esteitä, joita ympäristönsuojelun tarpeen ja todellisuuden välillä on yhteiskunnassamme.

Väitöstilaisuus sujui mukavasti ja siitä jäi hyvät muistot. Vastaväittäjä esitti kysymyksiä myös ydinastian liepeiltä, esimerkiksi biokemiasta ja vastausteni taso jätti siltä osin varmasti toivomisen varaa. Karonkassa prof. Zeyer kertoi, että miksipä hän ydinasioita olisi toistellut, johan hän oli kirjastani lukenut, että ne ovat hallinnassa. Ikimuistoisimmat – ja kieltämättä jo silloin hauskuuttaneet – yksittäiset kommentit työhöni tulivat kuitenkin

toiselta esitarkastajalta, prof. Salkinoja-Salonselta. ”Tällä vastaväittäjä pyyhkii lattiaa”, ”Anna edes yksi esimerkki, muuten tämä teksti ei kelpaa kuin ehkä Iltta-Sanomiin jos sinnekään!”, ”Löysää lötinää, anna edes yksi fakta!”, ”Kyllä huomaa, ettei ihminen ymmärrä kemiasta mitään.” jne. Tiukka ja pääsääntöisesti hyvin asiapitoinen esitarkastus olivat kuitenkin suuresti hyödyksi ja valmensivat toisaalta itse väitökseen.

ABSTRACT

In this work, natural attenuation of petroleum hydrocarbons, and potassium formate (an alternative deicing agent) in boreal soil and subsurface was examined using field and laboratory methods. The fate of petroleum hydrocarbons in the range C₁₀ to C₄₀ was examined at an industrial dumpsite (Trollberget, Hanko, Finland) undergoing natural attenuation. The fate of potassium formate in soil and groundwater was studied at a site (Kauriansalmi, Suomenniemi, Finland) where potassium formate was used to deice a stretch of a highway.

This study showed that petroleum hydrocarbons are unequally distributed in soil at the Trollberget site and due to the high heterogeneity of the soil. No uniform trends in the concentration of petroleum hydrocarbons in the range C₁₀ to C₄₀ in the soil samples obtained from the core of the hydrocarbon plume could be recorded during 1999-2003. However, the quality of petroleum hydrocarbons in the range C₁₀ to C₄₀ has undergone such changes that indicate that significant

biodegradation of the contaminants has occurred in the soil. For instance, *n*-alkanes were completely or highly depleted in the samples obtained from 0.3 m bgs (below ground surface) down to 2.3 m bgs in the core of the petroleum hydrocarbon plume. In the laboratory, on average 30% of petroleum hydrocarbons in the range C₁₀ to C₄₀ present in the samples were removed during 3- to 4-month incubation in microcosms under aerobic conditions at 8 °C. Under anaerobic conditions, on average 22% of petroleum hydrocarbons in the range C₁₀ to C₄₀ were removed during a prolonged (300 d to 360 d) incubation at 8 °C.

The soil gas composition at the Trollberget site was different at the petroleum hydrocarbon contaminated area than outside of it. In the core of the plume, soil gas contained less than 2% (vol/vol) of O₂ below 1.5 m. Correspondingly, up to 18% (vol/vol) of CO₂ and 25% (vol/vol) of CH₄ were measured in the same soil gas samples. Outside the plume, soil gas was oxic down to 5 m bgs and contained less than 3% (vol/vol) of CO₂ and less than 0.1% of CH₄. This demonstrates that methanogenic degradation of organic compounds is predominating in the core of the plume at the Trollberget site. This study also showed that groundwater geochemistry was different in the core of the petroleum hydrocarbon plume of the Trollberget site from that in the upgradient non-contaminated area. The petroleum hydrocarbon-contaminated groundwater contained up to 55 mg l⁻¹ of ferrous iron, up to 8.8 mg l⁻¹ of methane, up to 570 mg l⁻¹ of bicarbonate, and up to 177 mg l⁻¹ calcium, and was depleted in oxygen, nitrate and sulphate. In the non-contaminated groundwater, concentrations of ferrous iron and methane were below

0.1 mg l⁻¹, and the concentrations of bicarbonate and calcium were up to 36 mg l⁻¹ and 11 mg l⁻¹, respectively. Sulphate concentration in clean groundwater was on average 26 mg l⁻¹.

The abundance of naphthalene dioxygenase (*nahAc*) genes as determined using replicate limiting dilution-polymerase chain reaction (RLD-PCR) method were detected only in the petroleum hydrocarbon-contaminated samples from the Trollberget site, and not in the non-contaminated samples. Moreover, the aerobic ¹⁴C-naphthalene mineralization rate determined in microcosms at 9 °C was on average 75 times higher in the petroleum hydrocarbon-contaminated soil samples than in the non-contaminated soil samples.

The microbial and hydrological processes in the core of the plume at the Trollberget site were studied by using laboratory microcosm experiments and continuous on-line monitoring of soil water and groundwater at the site. Furthermore, the microbial populations present in the core of the plume and in the microcosms degrading petroleum hydrocarbons in the range C₁₀ to C₄₀ under anaerobic conditions at 8 °C, were characterized using culture independent methods (amplification of the 16S rRNA genes by (quantitative) polymerase chain reaction, denaturing gradient gel electrophoresis, cloning, sequencing, and the analysis of the sequences). Of the anaerobic terminal electron-acceptor processes studied, the rates of iron reduction (up to 3.8 nmol h⁻¹ g⁻¹ dwt) and methanogenesis (up to 4.0 nmol h⁻¹ g⁻¹ dwt) were the highest, whereas the rates denitrification and sulphate reduction were limited by the low amounts of nitrate and sulphate, respectively, available in the

samples. The rates of iron reduction and methanogenesis were up to 7 and 3000 times, respectively, faster in the oil contaminated samples than in the non-contaminated ones. The clone libraries of the *in situ* microbial communities were dominated by clones affiliated with orders/genera *Bacteroidales*, *Syntrophus*, *Acidovorax*, *Spirochaeta*, *Methylobacter*, *Methanosaeta*, and *Methanomicrobiales*. Clones with similar phylogenetic affiliation were also among the dominating clones in the clone library obtained in the samples that degraded petroleum hydrocarbons in the range C₁₀ to C₄₀ under anaerobic conditions at 8 °C. In addition, 73% of the bacterial clones were most closely affiliated with clones obtained from environments contaminated with petroleum hydrocarbons or other organic contaminants. In addition, the abundance of 16S rRNA genes belonging to *Geobacteraceae* correlated (Pearson; 0.640, p<0.008) with iron reduction rates measured in microcosms. 16S rRNA genes belonging to *Geobacteraceae* were also found in abundance (up to 5.0 × 10⁵ copies g⁻¹ dwt) in soil samples that originated from the oxic zones of the vertical soil profiles studied.

At the Kauriansalmi site, potassium formate is used as a sole deicing agent on a stretch of a highway since October 2002. By January 2005, the use of potassium formate did not cause adverse effects on groundwater quality in the aquifer underlying the highway. Formate was not detected in the groundwater. Furthermore, no other changes in the groundwater chemistry (such as decrease in oxygen concentrations) were identified that would imply the introduction of formate into the groundwater. In the laboratory microcosm experiments with soil samples taken from the site, formate was rap-

idly (69-93% d⁻¹) mineralized under aerobic conditions at 1 °C, and rapid (6-84% d⁻¹) aerobic mineralization of formate in the soil samples was recorded even at -2 °C. Under anaerobic conditions, mineralization rate up to 17% d⁻¹ was recorded. In general, the highest rates of formate degradation were obtained in topsoil samples with the highest (5.4% g⁻¹ dwt) organic matter content taken from the vicinity of the highway. In the soil samples taken from the deeper layers and with lower (<1% g⁻¹ dwt) organic matter content, formate degradation was more than 10 times slower.

Environmental policy evaluation: Concepts and practice



3.2.2006

Tampereen yliopisto, Yhdyskuntatieteiden laitos

Vastaväittäjä: Prof. James Meadowcroft, Carleton University Ottawa, Kanada

Voin kuvata väitökseeni johtanutta polkua monella eri tavalla. Ensimmäinen kuvaus kertoo tutkimusaiheestani ja miten se kehittyi. Polun alkupisteenä voisi pitää 1990-luvun keskivaiheilla toteutettua OECD:n projektia, jossa arvioimme erilaisten kalastuksensääntelykeinojen vaikutuksia. Tuossa vaiheessa minulla tai muillakaan ekonomisteilla ei ollut minkäänlaista käsitystä arviointiteoriasta. Silti me arvioimme. Seuraava vaihe oli siirtymiseni SYKE:n projektitutkijaksi arvioimaan keskeisten ympäristöperiaatteiden implementointia. Polkuni tärkein osuus oli projekti, jossa arvioimme eri ohjauskeinojen vaikutuksia massa- ja paperiteollisuudessa. Tutustuin yhdessä kollegojeni kanssa arviointiteoriaan ja kehitimme sitä eteenpäin. Tällä tavalla tarkasteltuna polku väitökseen oli aika suora. Vaellustani voidaan myös lähestyä sen kautta, miten lopulta löysin tutkijaidentiteettini ja halun väitellä. Tällöin polku ei ole ollenkaan suora ja vaellukseen sisältyi useita valvottuja öitä. Kun lopulta päätin, että tutkijan työ ei välttämättä ole ainoastaan väliaikainen vaihe elämässäni vaan, että haluan olla tutkija, ja kun lopulta löysin junan Tampereelle, loppumatka sujuikin nopeasti ja kivottomasti.

Väitöstilaisuuteni oli helmikuun ensimmäisenä perjantaina 2006. Oli kaunis talvipäivä ja pakkasta reilusti

yli kaksikymmentä astetta. Vastaväittäjäni oli James Meadowcroft. James oli mielestäni paras mahdollinen vastaväittäjä. Tunsin hänen tuotantonsa ja tiesin, että hänellä on syväallinen ymmärrys yhteiskunnasta ja ympäristöpolitiikasta. Lisäksi olin kuullut, että James on myös erittäin sympaattinen henkilö. Väitöstilaisuus ja karonkkani vahvistivat molemmat odotukseni oikeaksi. Väitöstilaisuus oli hyvin mukava kokemus ja tuntui, että keskustelun aikana saimme uusia oivalluksia. Totuuden nimessä minun täytyy myöntää, etten täsmällisesti muista, mitä uutta luulin ymmärtäneeni. Tämä johtui ehkä tavallista korkeammasta adrenaliinitasosta.

Väitöksen jälkeen tutkijan työt jatkuivat projekteissa jo seuraavana arkipäivänä. Mielenkiintoni oli jo ennen väitöstä siirtynyt ympäristöinnovaatioihin ja vähitellen painopiste siirtyi ilmastopolitiikan ja sosio-tekniikan järjestelmien muutoksiin. Jostain syystä olen kuitenkin aina välillä palanut väitöskirjani aiheeseen: mistä tiedämme toimiiko ympäristöpolitiikka? Tänäkin vuonna olen julkaisut pari aihetta koskevaa kirjoitusta ja ensi viikolla olen menossa Lundiin pitämään jatko-opiskelijoille kurssin politiikka-arvioinnin erilaisista lähestymistavoista.



LECTIO PRAECURSORIA

Mr. Custos, Mr. Opponent, Ladies and Gentlemen

What brings us here today is evaluation. We are actually here today because of evaluation of two different kinds. First, we are here because this event is the last part of the evaluation of my doctoral thesis. Second, we are here because the content of my thesis is evaluation, or more precisely environmental policy evaluation.

If we think briefly first about the evaluation of doctoral dissertations at universities, we see a long and highly institutionalised tradition based on a specific method – peer review and several consecutive steps – evaluation by the supervising professor, the pre-examiners’ written statements and finally the public examination in which we now find ourselves. Let me state in summary that the concepts and practices of thesis evaluation are well established.

For the subject of my thesis – environmental policy evaluation – the situation is very different. Its history is brief, in Finland as well as internationally. Although in many countries policy evaluation already began in the 1960s it only reached environmental policy in the 1990s. The evaluation of environmental policies has been largely ad hoc, and it has often been characterised by confusion, even regarding the basic terminology, or as stated by Knaap and Kim (1998, 349):

“Whereas the state of the art in program evaluation is in flux, the art of environmental program evaluation has no state at all. It has only artists.”

This is the background against which my thesis should be seen. Not as an attack on the artists, but as a contribution to the process through which more established concepts and practices for environmental policy evaluation can be formed.

The concepts for environmental policy evaluation covered in my thesis are discussed in relation to some features of environmental issues that tend to make both environmental policy and its evaluation difficult. Three such features, exemplified by climate change are:

- the physical processes behind climate change are very complex and uncertain while economic, social and political aspects add further to that complexity;
- long time frames, even if we could stop to emit carbon dioxide (CO₂) it may persist up to 200 years in the atmosphere;
- causes as well as actions against climate change are largely local, for example CO₂ emissions from cars in Helsinki or Tampere, but the effects of climate change will be global, although very unequally distributed.

Policy evaluation is a practical activity. It would therefore not make sense to develop and discuss evaluation concepts just theoretically. My thesis builds on the practice of actually evaluating policies. That is, experiences from policy evaluations in which my colleagues and I have been involved: two evaluations where we have evaluated Finnish environmental permits and one evaluation of the integration of environmental aims into Finnish technology policies.

I will now exemplify the concepts put forward in the thesis as well as some insights gained through the practice of evaluation by discussing them in relation to the European Union strategy for better regulation.

The EU strategy for better regulation is largely on the political agenda as a means to improve competitiveness and the conditions for more growth and jobs, that is, it is part of the efforts to implement the Lisbon strategy. However, when Günter Verheugen, Vice-President of the European Commission, on October 25th 2005

presented the strategy to simplify EU regulations he also justified it with the need, and I quote, *“to win back the confidence of our citizens”*.

The agenda for better regulation is a broad one; I will only address two aspects, that is, simplification, and national utilization of flexibility.

- In its simplification strategy the commission proposes *“to scrap, modify or codify more than 1,400 legal acts across all policy areas”*.
- The aim of utilizing of national flexibility is to make EU legislation more cost-effective through a more considered use of the flexibility included in the EU legislation in the transposition into national law.

What could the role of the evaluation concepts put forward in my thesis be for the better regulation agenda? I will give some examples, concept by concept.

Let us start with side-effect evaluation. It is based on the experience that public policies very seldom turns out exactly as expected. Or in the words of Karl Popper (2003, 104): *“although we may learn to foresee many of the unintended consequences of our actions ... there will always be many we did not foresee.”*

One should therefore not only assess how EU regulations have achieved their stated goals but also their side-effects. In a way the process of better regulation is largely built on the idea that regulations have undesired side-effects on competitiveness and “the conditions for growth and jobs”. While this may well be the case for many regulations it should also be acknowledged that there are cases in which the side-effects of the regulations on competitiveness, growth and jobs have actually been positive. Utilising a side-effect evaluation perspective would first result in testing this assumption and second expanding the realm of potentially important side-effects.

Using the second evaluation concept of my thesis that is, applying multi-criteria would mean that the basis for selecting which regulations to *“to scrap, modify*

or codify” and how to modify them would be based on a broader consideration than only their effectiveness, that is how well they achieve their objectives, or cost-effectiveness.

While considering regulatory options, such criteria as transparency and participatory rights should also be taken into account. When emphasising national regulatory flexibility, which may well be very important, this should be combined with the considerations of predictability and equity.

As our studies have shown, it is often very important both for companies’ development of new technologies and for the diffusion of these technologies that regulated companies can predict future requirements. Large national flexibility in the implementation of EU regulation may seriously limit this predictability, as has also been shown in the studies by Petrus Kautto and Anna Kärnä (e.g. 2006) of the WEEE directive for electronics companies such as Nokia.

Utilising multi-criteria implies that a change in the light of some criteria, for example flexibility, might look very good, while in the light of some other criteria, such as predictability it might look bad. It is of course then a value judgment how the criteria are weighted.

The third concept is intervention theories. Intervention theories are representations of the assumptions an intervention builds upon. They could be especially important for EU regulation. Constructing and comparing intervention theories by different parties, such as the Commission, national ministries, regional administrations and regulated companies or citizens would likely reveal interesting differences. However, reconstructing the intervention theories based on empirical documentation of actual implementation experiences would also be useful.

For example, the Directive concerning Integrated Pollution Prevention and Control and the Finnish Environment Protection Act, through which it is implemented, has largely been based on the assumption that the main target group is large scale industrial factories.

Our evaluation, however, showed that in Finland the absolutely largest category of permits during the two first years was permits for farms (Mickwitz et al. 2003). Utilising this information to reformulate the assumptions about how the directive functions would be as important in Brussels as it is in Helsinki or in Vaasa.

The fourth and final evaluation concept discussed in my thesis is triangulation. Triangulation is the idea that benefit can be derived from the interactive and simultaneous use of several types of data, methods, perspectives and evaluators.

Triangulation would be especially important in the context of evaluating EU regulation. On the one hand policy debates at the EU level require information about all Member States, hence quantitative data together with suitable analysis must be used. At the same time, it is typical that many important aspects can only be revealed and analysed in a particular local context, considering how a EU regulation has been implemented and how it has affected actual practices and been affected by already existing practices.

In choosing to present some glimpses of how the analysed evaluation concepts can be used at the EU level does not reduce their value and relevance at the national, regional or local levels. Use at the national level is exemplified by the evaluations referred to in the dissertation. Some of the concepts have been used on a regional scale in our work in the ECOREG project in Kymenlaakso (e.g. Rosenström et al. 2006). All the concepts could be very relevant locally if, for example, Stockholm were to decide to evaluate its system of environmentally differentiated harbour fees. The real future challenge would, however, be to develop all these levels of evaluation so as to genuinely serve the development of multi-level governance.

Why does all this matter? I will answer the question by quoting the evaluation theorist Michael Scriven (1991, 43): “*Doing evaluation and doing it well matters in pragmatic terms because bad products and services costs lives and health, destroy the quality of life, and waste the resources of those who cannot afford waste.*” The same is

absolutely the case for bad environmental policies as well as bad regulatory reform. Thus the concepts and practice of environmental policy evaluation do indeed matter.

Now it is time to move from the area where evaluation concepts and practices are not so well established to the area where they are traditional and institutionalised. Therefore: I ask you, Professor Meadowcroft, as opponent appointed by the Faculty of Economics and Administration, to make whatever comments you deem my thesis to call for.

References

- Kautto, Petrus & Kärnä Anna: *Experiences on the implementation of environmental product policy in the Finnish electrical and electronics industry*, The Finnish Environment 35, Ministry of the Environment, Helsinki 2006.
- Knaap Gerrit J. & Kim Tschangho J.: “Conclusion: Environmental Program Evaluation: Promise and Prospects”, in Knaap Gerrit J. and Tschangho J. Kim (eds.) *Environmental Program Evaluation: A Primer*. pp. 347-60. University of Illinois Press, Urbana 1998.
- Mickwitz, Per & Ollikka, Kimmo Sjöblom, Stefan & von Troil, Charlotta: “Ympäristönsuojelulain mukaiset päätökset kahden ensimmäisen vuoden aikana” [The Decisions According to the Environmental Protection Act during the Two First Years]. *Ympäristöjuridiikka* 24(2003): 1, pp. 27-47.
- Popper, Karl: *The Open Society and Its Enemies, Volume Two: Hegel and Marx*, Routledge Classics, London 2003.
- Rosenström, Ulla & Mickwitz, Per & Melanen, Matti: Participation and Empowerment-based Development of Socio-Cultural Indicators Supporting Regional Decision-Making for Eco-efficiency, *Local Environment*, 11(2006): 2, pp. 183-200.
- Scriven, Michael: *Evaluation Thesaurus*, Fourth edition, Sage Publications, Newbury Park, CA, 1991.



Katri Rankinen

Analysis of inorganic nitrogen leaching in a boreal river basin in northern Finland

24.3.2006

Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio
Vastaväittäjä: Prof. Jens Christian Refsgaard, Geological Survey of Denmark and Greenland

ABSTRACT

Eräänä päivänä huomasin, että tekemässäni työssä olisi sittenkin mahdollisuus uuden tieteellisen tiedon tuottamiseen, eli väitöskirjan tekemiseen. Toisin sanoen, työssä oli selkeä tietoaaukko. Onneksi kansainvälisessä projektissa sai riittävästi taustatukea ja lisäksi sain Akatemialta rahoitusta väitöskirjan kirjoittamiseen.

Lopputuloksena syntyi väitöskirja 'Analysis of inorganic nitrogen leaching in a boreal river basin in northern Finland' silloisen Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorioon. Väitöstilaisuus ja karonkka sujuivat mukavasti, vaikka sankka lumisade maaliskuun lopussa yllättikin sekä väittelijän, vastaväittäjän että juhlavieraatkin.

Työllä oli varmasti suurin merkitys minulle itselleni, sillä näin, kuinka pitkälle voin päästä, jos kerrankin on riittävät resurssit keskittyä työhön. Tietysti toivoin, että työnantajanikin osaisi hyötyä työstäni. Ehkä näin kävikin, mutta ainakin ammatillinen itsetunto kasvoi.

In this study the dynamic, semi-distributed INCA-N model was applied to the boreal Simojoki river basin in northern Finland to outline inorganic nitrogen (N) leaching patterns and N processes in catchment scale. Special emphasis was paid to the quality assurance of the modelling work. The dominant human impacts in the area are forestry, agriculture, scattered settlement and atmospheric deposition. In order to assess the effectiveness of current environmental policies and to implement river basin management plans, it is essential to know the relative significance of the different sources of pollution. INCA-N explained the main features of hydrological pattern and seasonality of inorganic N concentrations in river water when N processes in soil in sub-zero temperatures were included. Over-winter N mineralization processes in soil accounted for 38% of annual N mineralization. The lowest concentrations during the growing season were not reproduced, which indicates that there are some retention processes missing from the model. As summer is typically a low

flow period the simulation results are reliable as long as the interpretation is based on daily or annual loads. Loading from the river basin was mostly dependent on annual hydrology and it was concentrated to peaks during the snow melting period. In the upper parts of the river inorganic N load originated mainly from commercial forests. At the outlet of the river anthropogenic sources accounted for more than half of the overall inorganic N load, with agriculture, forestry and scattered settlements making almost equal contributions. Expected changes in atmospheric N deposition would not have any significant effect but the combination of water protection measures both in agricultural and forestry areas and in scattered settlement areas would decrease inorganic N load by 18% of the total load. The expected increase in forest felling of 20% would not have an influence, but increase in agricultural land due to the EU's Common Agricultural Policy might lead to increased N load to the sea.



Retention performance and hydraulic design of constructed wetlands treating runoff waters from arable land

8.9.2006

Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto

Vastaväittäjät: Prof. Ülo Mander, Tarton yliopisto ja Prof. Timo Huttula, Jyväskylän yliopisto

ABSTRACT

Agriculture is the main source of nitrogen (N) and phosphorus (P), which are the nutrients accelerating the eutrophication of waters in Finland. Hence, mitigation measures are needed to reduce the nutrient loading from the arable land. Since Finland's accession to the EU in 1995 and the subsequent adaptation to its agri-environmental policy, constructed wetlands (CWs) have been one of the mitigation measures for which farmers may receive agri-environmental subsidies. The aim of this study was to find out how efficiently such CWs are able to retain the loading and how they should be designed and dimensioned in order to optimize their performance. Particular attention was paid to CW hydrology and hydraulics, since the dynamics of the water flowing through a CW is the major factor governing retention. Water quality and flow measurements were made in three CWs located in agricultural watersheds in southern Finland during 1999-2002. Hydraulic properties were examined in 2 of the CWs by simulations with 2-dimensional hydrodynamic and water quality models. According to the calculations of material fluxes, the maximum annual retention was 72% for solid material (TSS), 67% for total P and 40% for total N. The lowest retentions were slightly negative, because the CW with the smallest CW-to-watershed area ratio (0.5% in the Alastaro CW) sometimes acted rather as a source than a sink of nutrients. The highest percent retentions were found in the Hovi CW with the largest CW-to-watershed area ratio (5%). In terms of mass per CW area, the Hovi CW retained 25 kg of total P and 300 kg of total N per one

hectare per one year. In the Hovi CW also dissolved reactive P retention was high (49% in situ and 34% in laboratory microcosm experiments), obviously due to high contents and low P saturation of Al and Fe oxides of the CW soil. The basic underlying reason behind the high retentions of both dissolved nutrients and particulate matter in the Hovi CW was the long water residence time coupled with high hydraulic efficiency. In the deep part of the Hovi CW, near-bottom increase of dissolved O₂ was found in phase with diurnal temperature changes. The oxygen transport by this kind of convective circulation of CW water inhibited nearbottom anoxia and thus decreased the risk of P desorption. According to the hydrodynamic simulations coupled with simulated tracer tests made for the Hovi CW, a 40% improvement in hydraulic efficiency was achieved by baffles directing the main flow to optimally exploit the CW area. The rectangular, elongated shape of the Alastaro CW also showed fairly high hydraulic efficiency. Hydrodynamic simulations were also coupled with a sediment transport model, which proved to be a useful method in predicting the change of TSS concentrations in CWs. Hourly datasets of inflow and outflow revealed high attenuation of runoff peaks in the well-designed and -dimensioned Hovi CW. The hourly outflow modeled with the reservoir routing method corresponded to the observed with a reasonable accuracy. When carefully designed, painstakingly implemented and wisely located, CWs may – even in cold climate – efficiently contribute to agricultural water pollution control.

Spatial and temporal variability of macroinvertebrate assemblages in boreal streams: implications for conservation and bioassessment

23.9.2006

Oulun yliopisto, Biologian laitos
Vastaväittäjä: Prof. Jari Kouki, Joensuun yliopisto

ABSTRACT

In this thesis, I studied spatial and temporal variability of macroinvertebrate assemblages of boreal streams. The main objectives were (i) to characterize macroinvertebrate assemblage types across large geographical extents, and to assess the utility of assemblage types and landscape and stream type classifications as the basis of stream bioassessment and conservation programs (ii, iii). I also examined the relative roles of large-scale spatial trends and local environmental conditions in structuring macroinvertebrate assemblages (iv). Finally, I assessed (v) if assemblage classifications produce temporally stable and predictable assemblage types.

Stream macroinvertebrate assemblage structure exhibited continuous variation instead of distinct assemblage types. Although ecoregions clearly accounted for a considerable amount of variation of macroinvertebrate assemblage characteristics, a combination of regional stratification and prediction from environmental factors would probably yield the most comprehensive framework for the characterizations of macroinvertebrate assemblages of boreal headwater streams. Differences in macroinvertebrate assemblage structure, as well as a group of effective indicator species for different stream types, suggest that landscape classifications could be used as a preliminary scheme for the conservation planning of running waters

The strength of the relationship between assemblage structure and local environmental variables increased with decreasing extent, whereas assemblage variation related to spatially variables showed the opposite pattern. At the largest scale, spatial variation was related to latitudinal gradients, while spatial autocorrelation among neighbouring streams was the likely mechanism creating spatial structure within drainage systems. These results suggest that stream bioassessment should give due attention to spatial structuring of stream assemblage composition, considering that important assemblage gradients may not only be related to local environmental factors, but also to biogeographical constraints and neighbourhood dispersal processes.

The classification strengths of macroinvertebrate assemblages based on data of three years were overall rather weak, and more importantly, the compositions of the site groups varied considerably from year to year. Such wide and continuous variation was also mirrored by low and inconsistent predictability of classifications from environmental variables. The observed level of temporal variation in assemblage structure may not be a serious problem for predictive approaches frequently used in bioassessment of freshwater ecosystems. For conservation purposes, however, alternative approaches (e.g. physical surrogates of biodiversity) need to be considered.

Topographical, structural and geophysical characterization of fracture zones: Implications for groundwater flow and vulnerability

29.9.2006

Helsingin yliopisto, Geologian laitos

Vastaväittäjä: Prof. Jiří Krásný, Kaarlen yliopisto, Praha

Väitöstyössä kokosin yhteen ja tarkastelin analyttisemmin SYKEssä tehtyjen kalliopohjavesitutkimusten tuloksia. Nämä koostuivat haja-asutusalueiden vedenhankintaa palvelevista maa- ja metsätalousministeriön rahoittamista tutkimuksista, joita tehtiin erityisesti Leppävirralla, missä kunnallinen vesihuolto hyödyntää pohjavettä. Toinen alue oli Päijänne-tunnelin vyöhyke, jota tutkin päätutkijana 2000–2001 Pääkaupunkiseudun Vesi Oy:n tilaamassa selvityksessä. Yhteinen nimittäjä oli kallion rikkonaisuuden ja vedenjohtavuuden arvioiminen eri menetelmillä ja eri mittakaavoissa.

Idea väitöskirjasta kehittyi, kun selvitykset SYKEssä eteniivät, ja julkaisumahdollisuuksia ilmaantui kansainvälisten konferenssien kautta. Olin jo julkaissut kansainvälisesti kalliopohjavesitutkimuksiani siinä vaiheessa, kun hain jatko-opinto-oikeutta. Työ opetti tutkimusta ja tieteellistä kirjoittamista, vaikka varsin omatoiminen haparointi melko epätasaisen materiaalin pohjalta ei varsinaisesti helppoa ollutkaan. Julkaiseminen eteni kuitenkin hyvin, kiitos esimieheni Esa Röngän suosiollisen suhtautumisen ja hyvien neuvojen. Hänen kauttaan pääsin mukaan International Association of Hydrogeologists -yhdistyksen Working Group on Hardrock Hydrogeologyn ja sen Fennoscandian alueellisen ryhmän toimintaan (kokoukset: Oslo 2001, Tinos 2002, Praha 2003 ja Helsinki 2004). Tapaamiset alan arvostettujen asiantuntijoiden kanssa näissä puitteissa osoittautuivat väitöstyössä merkittäviksi.

Helmikuussa 2003 avautui yllättävä mahdollisuus kansainvälisiin tehtäviin asiantuntijana UNESCO:n vesiohjelmassa Pariisissa. Tämä etäännytti minua projektistani. Neljän kuukauden irrottautuminen synopsisen kirjoittamiseen auttoi lähemmäs työn viimeistelyä, vaikka se "harrastuksena" intensiivisen työn ohessa vielä ottikin



Väitöstilaisuus Physicumissa Kumpulan kampuksella: Annukka Lipponen ja vastaväittäjä professori Jiří Krásný Kaarlen yliopistosta

aikaa. Monet illat tuli yömyöhään istuttua. Apu SYKEstä erityisesti väitöskirjan julkaisukuntoon viimeistelyssä ja tiedottamisessa oli erittäin arvokasta sen lisäksi, että ilmapiiri oli muutenkin tutkimusta suosiva.

Olen hyvin kiitollinen, että tein väitöskirjan, vaikka se markkeerasi jonkinlaista loppua teknisemmälle pohjavesityölleni ja tavallaan yhden aikakauden päättymistä. UNESCOssa saatoinkin kuitenkin vielä hyödyntää tuon aihepiirin tunte-

mustani joissakin hankkeissa ja julkaisuissa. Parantunut ymmärrys tieteenteon maailmasta auttoi minua silloin yleisemminkin. Lisäksi akateemisesti parantunut statukseni on auttanut yliopistoyhteyksien solmimisessa ja luennointikutsujen saamisessa. Yhteyteni SYKEen on säilynyt tiiviinä, vaikka YK-järjestöjen palvelus on sittemmin vienyt Kazakstaniin ja Geneveen.

ABSTRACT

The main objective of this study is to evaluate selected geophysical, structural and topographic methods on regional, local, and tunnel and borehole scales, as indicators of the properties of fracture zones or fractures relevant to groundwater flow. Such information serves, for example, groundwater exploration and prediction of the risk of groundwater inflow in underground construction. This study aims to address how the features detected by these methods link to groundwater flow in qualitative and semiquantitative terms and how well the methods reveal properties of fracturing affecting groundwater flow in the studied sites. The investigated areas are: (1) the Päijänne Tunnel for water-conveyance whose study serves as a verification of structures identified on regional and local scales; (2) the Oitti fuel spill site, to telescope across scales and compare geometries of structural assessment; and (3) Leppävirta, where fracturing and hydrogeological environment have been studied on the scale of a drilled well.

The methods applied in this study include: the interpretation of lineaments from topographic data and their comparison with aeromagnetic data; the analysis of geological structures mapped in the Päijänne Tunnel; borehole video surveying; groundwater inflow measurements; groundwater level observations; and information on the tunnel's deterioration as demonstrated by block falls. The study combined geological and geotechnical information on relevant

factors governing groundwater inflow into a tunnel and indicators of fracturing, as well as environmental datasets as overlays for spatial analysis using GIS. Geophysical borehole logging and fluid logging were used in Leppävirta to compare the responses of different methods to fracturing and other geological features on the scale of a drilled well. Results from some of the geophysical measurements of boreholes were affected by the large diameter (gamma radiation) or uneven surface (caliper) of these structures. However, different anomalies indicating more fractured upper part of the bedrock traversed by well HN4 in Leppävirta suggest that several methods can be used for detecting fracturing.

Fracture trends appear to align similarly on different scales in the zone of the Päijänne Tunnel. For example, similarities of patterns were found between the regional magnetic trends, correlating with orientations of topographic lineaments interpreted as expressions of fracture zones. The same structural orientations as those of the larger structures on local or regional scales were observed in the tunnel, even though a match could not be made in every case. The size and orientation of the observation space (patch of terrain at the surface, tunnel section, or borehole), the characterization method, with its typical sensitivity, and the characteristics of the location, influence the identification of the fracture pattern. Through due consideration of the influence of the sampling geometry and by utilizing complementary

fracture characterization methods in tandem, some of the complexities of the relationship between fracturing and groundwater flow can be addressed.

The flow connections demonstrated by the response of the groundwater level in monitoring wells to pressure decrease in the tunnel and the transport of MTBE through fractures in bedrock in Oitti, highlight the importance of protecting the tunnel water from a risk of contamination. In general, the largest values of drawdown occurred in monitoring wells closest to the tunnel and/or close to the topographically interpreted fracture zones. It seems that, to some degree, the rate of inflow shows a positive correlation with the level of reinforcement, as both are connected with the fracturing in the bedrock.

The following geological features increased the vulnerability of tunnel sections to pollution, especially when several factors affected the same locations: (1) fractured bedrock, particularly with associated groundwater inflow; (2) thin or permeable overburden above fractured rock; (3) a hydraulically conductive layer underneath the surface soil; and (4) a relatively thin bedrock roof above the tunnel. The observed anisotropy of the geological media should ideally be taken into account in the assessment of vulnerability of tunnel sections and eventually for directing protective measures.

Ammonia emissions from pig and cattle slurry in the field and utilization of slurry nitrogen in crop production



11.11.2006

Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos
Vastaväittäjä: Prof. Holger Kirchmann, Ruotsin maatalousyliopisto

Opintojeni kesäharjoitteluna hoidin Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksessa Jokioisilla kenttäkoetta, jossa turpeeseen imeytettyä lietelantaa käytettiin ohran lannoitteena. Tästä kokeesta tein ensin pro gradun ja sen jälkeen lisensiaatintutkimuksen työskennellen samalla assistenttina yliopistolla. Turvelantakokeessa MTT:hen hankittiin välineet lannasta haihtuvan ammoniakkin mittaamista varten. Tällä laitteistolla mittasin ammoniakkia muissakin MTT:n lantakokeissa ja näin sain koottua väitöskirjaan riittävän aineiston.

Lantatutkimusten jälkeen työskentelin SYKEssä maatalouden ympäristötuen vaikutusten arvioinnissa, jossa työni aihepiiri laajeni käsittämään yleisemmin maatalouden ympäristönsuojelun ja ravinnepäästöjen vähentämisen. Väitöskirjan työstäminen jatkui apurahajaksolla ja myös SYKEssä työskentelyn ohessa, minkä onnistumisesta olen SYKElle kiitollinen. Itse väitöskin tapahtui SYKEssä työskennellessäni. Vaikka väitöskirjani aihe liittyy vahvasti maaseutuun, väitöksen puitteet olivat varsin helsinkiläiset. Väittelin yliopiston pääarakennuksessa ja akateemisen karonkan vietimme Ravintola Lasipalatsissa. Kustoksena toimi professori Markku Yli-Halla. Vastaväittäjänä professori Kirchmann oli viehättynyt Helsingin keskustan historiallisesta kaupunkimiljööstä. Hän viihtyi hyvin Senaatintorin ympäristössä ja yliopiston vierastalossa Kruununhaassa. Hieman maalaisempaa suomalaiskulttuuria ruotsalainen vieraamme sai maistaa väitöstä edeltäneenä iltana Ravintola Savotassa, joka sekin tosin sijaitsee Senaatintorin laidalla. Väitös sujui varsin sopuisasti ja vastaväittäjänä käsitteli tutkimukseni aihetta mielenkiintoisesti. Karonkassa keskustelu jatkui vapaamuotoisempana marraskuiselle aterialle sopivasta hirvipaistista nauttien. Väitöstä seuraavana

päivänä professori Kirchmann kiirehti jo takaisin kotiin isänpäivän viettoon.

MTT:n ja SYKEN tutkimuksissa saamani kokemus antaa hyvän pohjan nykyiselle työlleni Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksessa (Tike), jossa teen maatilojen rakenteeseen ja maatalouden ympäristövaikutuksiin liittyviä tilastoja. Maatiloilta kerättäviin tietoihin perustuva tilastointi on laajenemassa kasvinsuojeluvälineiden ja lannoitteiden käyttöön. Maanviljelyn ja sen ympäristövaikutusten tuntemuksesta on huomattavasti hyötyä tiedonkeruussa sekä kerätyn tiedon käsittelyssä ja julkaisemisessa.

ABSTRACT

Volatilization of ammonia (NH₃) from animal manure is a major pathway for nitrogen (N) losses that cause eutrophication, acidification, and other environmental hazards. In this study, the effect of alternative techniques of manure treatment (aeration, separation, addition of peat) and application (broad-cast spreading, band spreading, injection, incorporation by harrowing) on NH₃ emissions in the field and on N uptake by ley or cereals was studied. The effect of a mixture of slurry and peat on soil properties was also investigated. The aim of this study was to find ways to improve the utilization of manure N and reduce its release to the environment. Injection into the soil or incorporation

by harrowing clearly reduced NH₃ volatilization from slurry more than did the surface application onto a smaller area by band spreading or reduction of the dry matter of slurry by aeration or separation. Surface application showed low NH₃ volatilization, when pig slurry was applied to tilled bare clay soil or to spring wheat stands in early growth stages. Apparently, the properties of both slurry and soil enabled the rapid infiltration and absorption of slurry and its ammoniacal N by the soil. On ley, however, surface-applied cattle slurry lost about half of its ammoniacal N. The volatilization of NH₃ from surface-applied peat manure was slow, but proceeded over a long period of time. After rain or irrigation, the peat manure layer on the soil surface retarded evaporation. Incorporation was less important for the fertilizer effect of peat manure than for pig slurry, but both manures were more effective when incorporated. Peat manure applications increase soil organic matter content and aggregate stability. Stubble mulch tillage hastens the effect in surface soil compared with ploughing. The apparent recovery of ammoniacal manure N in crop yield was higher with injection and incorporation than with surface applications. This was the case for leys as well as for spring cereals, even though NH₃ losses from manures applied to cereals were relatively low with surface applications as well. The ammoniacal N of surface-applied slurry was obviously adsorbed by the very surface soil and remained mostly unavailable to plant roots in the dry soil. Supplementing manures with inorganic fertilizer N, which adds plant-available N to the soil at the start of growth, increased the overall recovery of applied N in crop yields.



Aino Juslén

The family Herbertaceae and its novel systematic position within liverworts

24.11.2006

Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. S. Robbert Gradstein, University of Göttingen, Germany

ABSTRACT

Taxonomic relationships of the liverwort genus *Herbertus* in Asia were examined. In addition, the phylogeny of the family Herbertaceae and its close relatives was investigated and analyses conducted of higher level relationships within the entire liverwort phylum.

Species of *Herbertus* show great plasticity in various morphological characters, resulted in a large number of described species. This study was the first comprehensive revision of Asian *Herbertus*, with 12 species recognized for the continent. Eleven names were reduced to synonymy under earlier described species, and one species was excluded from the genus. *Herbertus buchii* Juslén was described as a new species.

Phylogenetic analyses based on both molecular and morphological characters resolved the families Vetaformaceae, Lepicoleaceae, and Herbertaceae (including Mastigophoraceae) as a monophyletic entity. This clade is among the most derived groups within the leafy liverworts and comprises mostly isophyllous plants, all of which have bracteolar antheridia. The relationships of Mastigophoraceae have formerly been controversial. My results confirm the view that this family is closely related to Herbertaceae, Lepicoleaceae, and Vetaformaceae. In the proposed new classification Mastigophoraceae is included in Herbertaceae.

Phylogenetic relationships within the liverworts were reconstructed using both chloroplast and nuclear sequences as well as morphological characters. These analyses were the most comprehensive to date at the time of publication. Previously it was believed that liverworts had a common ancestor with an erect, radial gametophyte and a tetrahedral apical cell. The leafy liverworts were arranged based on the assumption that similar structures had repeatedly developed in many different suborders, with evolution proceeding from erect and isophyllous to creeping and anisophyllous plants. The complex thalloid liverworts were assumed to be the most derived group. By contrast, our studies resolved a clade comprising *Treubia* and *Haplomitrium* as the earliest extant liverwort lineage. According to our results the complex thalloids are also an early diverging lineage, and the simple thalloids, traditionally classified together, are a paraphyletic group. Within leafy liverworts, the hypothesis of repeated evolution from isophyllous to anisophyllous plants based on the assumption of a basal unresolved polytomy was rejected. Fundamentally, the leafy liverworts can be divided into three groups. In conflict with the earlier hypotheses, the isophyllous liverworts, including Herbertaceae, were resolved as derived lineages within the liverworts.

On the ecology of cold-water phytoplankton in the Baltic Sea

26.1.2007

Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Prof. Patricia M. Glibert, University of Maryland Center for Environmental Science, USA

ABSTRACT

Increased anthropogenic loading of nitrogen (N) and phosphorus (P) has led to an eutrophication problem in the Baltic Sea, and the spring bloom is a key component in the biological uptake of increased nutrient concentrations. The spring bloom in the Baltic Sea is dominated by both diatoms and dinoflagellates. However, the sedimentation of these groups is different: diatoms tend to sink to the sea floor at the end of the bloom, while dinoflagellates to a large degree are been remineralized in the euphotic zone. Understanding phytoplankton competition and species specific ecological strategies is thus of importance for assessing indirect effects of phytoplankton community composition on eutrophication problems.

The main objective of this thesis was to describe some basic physiological and ecological characteristics of the main cold-water diatoms and dinoflagellates in the Baltic Sea. This was achieved by specific studies of: (1) seasonal vertical positioning, (2) dinoflagellate life cycle, (3) mixotrophy, (4) primary production, respiration and growth and (5) diatom silicate uptake, using cultures of common cold-water diatoms: *Chaetoceros wighamii*, *C. gracilis*, *Pauliella taeniata*, *Thalassiosira baltica*, *T. levanderi*, *Melosira arctica*, *Diatoma tenuis*, *Nitzschia frigida*, and dinoflagellates: *Peridiniella catenata*, *Woloszynskia halophila* and *Scrippsiella hangoei*.

The diatoms had higher primary production capacity and lower respiration rate compared with the dinoflagellates. This difference was reflected in the maximum

growth rate, which for the examined diatoms range from 0.6 to 1.2 divisions d^{-1} , compared with 0.2 to 0.3 divisions d^{-1} for the dinoflagellates. Among diatoms there were species specific differences in light utilization and uptake of silicate, and *C. wighamii* had the highest carbon assimilation capacity and maximum silicate uptake.

The physiological properties of diatoms and dinoflagellates were used in a model of the onset of the spring bloom: for the diatoms the model could predict the initiation of the spring bloom; *S. hangoei*, on the other hand, could not compete successfully and did not obtain positive growth in the model. The other dinoflagellates did not have higher growth rates or carbon assimilation rates and would thus probably not perform better than *S. hangoei* in the model. The dinoflagellates do, however, have competitive advantages that were not included in the model: motility and mixotrophy.

Previous investigations has revealed that the chain-forming *P. catenata* performs diurnal vertical migration (DVM), and the results presented here suggest that active positioning in the water column, in addition to DVM, is a key element in this species' life strategy. There was indication of mixotrophy in *S. hangoei*, as it produced and excreted the enzyme leucine aminopeptidase (LAP). Moreover, there was indirect evidence that *W. halophila* obtains carbon from other sources than photosynthesis when comparing increase in cell numbers with *in situ* carbon assimilation rates.

The results indicate that mixotrophy is a part of the strategy of vernal dinoflagellates in the Baltic Sea. There were also indications that the seeding of the spring bloom is very important for the dinoflagellates to succeed. In mesocosm experiments dinoflagellates could not compete with diatoms when their initial numbers were low.

In conclusion, this thesis has provided new information about the basic physiological and ecological properties of the main cold-water phytoplankton in the Baltic Sea. The main phytoplankton groups, diatoms and dinoflagellates, have different physiological properties, which clearly separate their life strategies. The information presented here could serve as further steps towards better prognostic models of the effects of eutrophication in the Baltic Sea.

Road dust from pavement wear and traction sanding

2.3.2007

Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Opponent: Dr. Mats Gustafsson, VTI, Ruotsi

Väitöskirjaa lähdin kokoamaan varsin nopeasti saatuaani maisterin paperit vuodenvaihteessa 2000/2001. Aihe muotoutui yhdessä ohjaajani Heikki Tervahatun kanssa, joka oli suunnitellut laajahkoa tutkimushanketta vastaamaan hengitettävään katupölyn muodostamaan Suomen kaupunkien ilmanlaatuongelmaan. Olin ensimmäinen hankkeeseen palkattu tutkija. Työn ytimeksi muodostuivat kokeelliset testit Kilpilahden jalostamoalueella sijaitsevalla Fortumin kantavuuskoeradalla. Lisäksi jo ensimmäisenä kevättalvena tehtiin hiukkasten lähdearvioita Hangon pölyssä. Omasta mielestäni merkittävin innovaatio työn aikana oli lähdeosuuksien arvioon liittyvä havainto, että mineraalilähteiden osuuksia voidaan tutkia käyttäen yksittäisten hiukkasten koostumusta. Kun lähdekiven, esimerkiksi hiekoitushiekan tai päällysteen kiviaineksen, koostumukset tunnetaan ja ne eroavat toisistaan tarpeeksi, pystytään laskennallisesti erottelemaan eri lähteistä muodostuneiden hiukkasten osuudet ja tekemään oikeita suosituksia päästövähennysten suunnittelemiseksi.

Työ eteni suunnitelmien mukaan, eikä aikataulullisesti tullut yllätyksiä. Vuosi 2004–2005 meni töissä IIASA:ssa, joka ehkä hiukan viivästytti synopsiksen kirjoitustyötä, mutta omalta osaltaan petasi työtehtäviä väitöksen jälkeiselle ajalle. Osajulkaisut sain onnistuneesti julkaistua alan lehdissä *Science of the Total*

Environment ja *Environmental Science & Technology*. Pääjulkaisuni *Environmental Science & Technology*:ssä päätyi yllätyksekseni kymmenen eniten tammi-kesäkuussa 2005 viitatus artikkelin joukkoon. Aihe on yleisesti ottaen kautta vuosien kiinnostanut kotimaista mediaa ja lausuntoja on saanut antaa valtalehtiin, radioon ja televisioonkin. Myös Pohjoismaista on tullut kyselyitä kongresseihin ja kokouksiin.

Vastaväittäjä Mats Gustafsson oli tehnyt Ruotsissa mittauksia hyvinkin samanlaisella koeasetelmalla kuin minä ja siksi mietitytti, mitä asioita hän saattaisi nostaa esille. Olin valmistautunut joillakin tärpeillä, joista yhteen Mats kiinnittikin huomiota. Minulle jäi väitöstilaisuudesta miellyttävät muistot. Vastaväittäjän tapa oli hyvin keskusteleva.

Varsinainen karonkka työn lähipiirille oli Katajanokan kasinolla. Sieltä karonkka jatkui SYKEN Tervapääskyssä, jonne tuli suurempi joukko kollegoita, ystäviä ja sukua.

Olen jatkanut aihepiirin parissa myös väitöksen jälkeen. Maailmassa ei ole paljonkaan ryhmiä, jotka alaa tutkivat samalla syvyydellä ja rahoitustakin on ollut saatavilla. Asia johtuu pitkälti aiheen pohjoismaisesta ulottuvuudesta. Viime vuosien ilmanlaadussakin havaitut trendit ovat osoittaneet, että minä ja kollegani olemme ehkä onnistuneet nostamaan esille oikeita asioita.

LECTIO PRAECURSORIA

Mr Custos, Mr Opponent, ladies and gentlemen. The topic of my dissertation is 'Road Dust from Pavement Wear and Traction Sanding'. The language of this dissertation is English and that is also the language of the lectio. However, I have prepared the slides in Finnish so that it is easier for the majority of the audience to follow the presentation.

Here is a list of the original publications which the thesis is based on. Also presented are the names of the co-authors who I gratefully thank for their input.

The main objective of my lectio is to present the general background and I will spend most of the time talking about that. I start by presenting some basic terminology and issues behind this thesis. Towards the end I will present some main findings.

So let us start with terminology: This thesis talks about airborne particles or aerosol which are condensed solid or liquid objects suspended in air. Dust is its subcategory referring to solid particles formed in mechanical processes such as grinding. Their mass is mostly found in particles that have a diameter larger than one micrometer. Following this we can define road dust as being part of the particle emissions from traffic that make a part of the airborne particles found in urban air. Road dust as defined in this work is formed in the mechanical processes taking place in traffic. The size definition is similar to that of dust.

This is a figure from US Environmental Protection Agency which shows that there can be several sources of road dust. However, this thesis discusses in more detail two of them that are pointed out in red and yellow in the figure, namely pavement wear and ice control abrasives.

Additionally two important terms. PM refers to particulate matter and the subscript to the aerodynamic diameter of the individual particle. PM10 and PM2.5, in other words mean particles with diameters below 10 micrometer and 2.5 micrometer, respectively. When lifted into the air, PM10 may remain there up to several hours whereas PM2.5 up to days. These sizes are important from the health effect point of view since particles bigger than PM10 deposit in the upper parts of the human respiratory system, PM10 is small enough to penetrate into the human bronchiae and PM2.5 even all the way to the alveoli.

This figure shows you the scale we are talking about. On the right side from the perspective of the audience, one can see a curve that belongs to a dust particle with a diameter approximately 100 micrometers. Such particles are approximately largest that can become airborne and are visible to the eye. On the left hand side there is a red cell of a regular adult, that has a diameter of approximately 7.5 um. It has approximately the same size to PM10 road dust particle, which is shown in the electron microscopy photo in the middle and that has dimension 10 by 5 micrometer. But as can be seen in this figure as well, road dust includes also smaller material (for example the particle deposited onto the surface of the larger one). Vehicle exhaust particles in turn are smaller, around 100 nanometer, which is a result of different formation mechanism, combustion in case of diesel-engine.

This figure shows the sources of dust in the street environment. One thing I like you to note is that formation and emissions of particles can happen at different times. So we have the mechanical formation mechanisms that may emit material directly into the air or it may serve as input of material to the road surface

and structure that is suspended later on, for example due to tire shear or vehicle induced turbulence. Also in urban street environments we basically always have input of dust transported from somewhere else. Naturally we have transport away from the system as well.

Let us have a look how the concentrations of particles evolve in Finnish cities during the course of the year. This is a figure showing the situation in four Finnish cities Turku, Helsinki, Lappeenranta and Oulu and the message is the same. We have large peaks in PM10 concentrations (black line) during March, April and May when conditions are dry (see for example precipitation amount shown with thin black) and snow melts away from surfaces (grey line). This is not only a Finnish phenomenon, similar evolution can be found also in Scandinavian, North-American and Japanese cities with approximately similar climatic conditions.

What are the sources of this material? This figure from Kuopio shows clearly that soil and street dust is the main component during the high particle concentration peaks. Combustion processes from traffic and wood burning being other important sources.

Street and soil dust is formed mainly from mineral material from the aggregates. This figure shows the distribution of Silicon in the particles. Silicon is a good marker for minerals in Finland.

In summary the spring time particle concentration peaks are a result of following factors: Firstly the emissions are on a high level because the dust formed during winter is released and suspended into the air from the dry surfaces by traffic. Secondly we often have meteorological conditions that do not allow the dust to be mixed higher into the atmosphere or do not allow it to be transported away from the street environments.

In urban air people are exposed to the particles and as a result several health effects have been identified. Here I have collected effects from the literature that have been linked with road dust. In short the particles may

have toxic effects, may increase inflammatory activity in the respiratory cells and they may worsen asthma or allergic reactions. However, there is evidence that mineral particles are less strongly associated with mortality than combustion particles. So the worse effects of airborne particles on human health may be due to other sources.

The main focus of this work was traction control as a source of dust and especially traction sanding and winter tires.

First a brief peek on studded tires. This figure shows different designs of studs (more modern ones on the left). Pavement wear due to studded tire use has actually been studied much before.

The wear is a result of stud impact and scratch. This figure shows some stud marks on stone surfaces.

The wearing effect has decreased strongly from the 1960s onwards due to development of less wearing studs and wear resistant pavements. So if a car driving 100km/h for 100km wore 11 kg in the 1960s, the wear nowadays is 2 kg or even less.

Another probable source of dust is traction sanding. Here is a picture of a street that has traction sand deposits on the traffic lane and on the sides. The dust effect due to use of traction sanding has been studied rather little before this work, partly due to the fact that it usually is extremely difficult to distinguish between the two sources. In this work special emphasis was laid on making such source analyses possible through material choices.

Prior to this work there was not a clear picture on what processes actually are behind the dust formation from traction sanding. Obvious suspects are: that the material itself may contain suspendable sized dust or that it is crushed into smaller pieces under the tires. Important insight into this was received in this work with some interesting new findings. Some municipalities have introduced quality requirements for traction sand

aggregates to reduce dust problems, but the effects of different measures have not been studied in detail.

Now this slide shows some general estimations of amounts of pavement wear due studded tires as well as amounts used for traction sanding in Helsinki city. Mäkelä has estimated that studded tires wear annually in maximum about 1000 tons of material. Years are not similar but the amount of sand dispersed in Helsinki varies between 20000 tons to 50000 tons. However, not all of these material amounts become airborne, but which part does is one of the more general questions behind this work. And further which of the material is in the respirable size range?

When speaking about traction control, one has to remember that the methods are aimed at increasing traffic safety. In principle on one hand side we have the dustproblem and its effects but on the other hand we also need a certain amount of traction control to enhance traffic safety. The key questioning the long run is: how to optimize between these.

So in brief the general aims of this work was to study the factors and processes through which road dust is formed on paved surfaces. Special emphasis was on studying the formation of dust in the tire road interaction when traction sanding and winter tires were used.

In this work the formation of dust was studied in test conditions (left figure) and with road side measurements in urban conditions. The road simulator made it possible to rule out other sources of particles than road dust, such as vehicle exhausts. Additionally in the test conditions it was possible to minimize the amount of resuspendable material that is found in normal urban surfaces practically at all times. A case study on the source contributions was conducted with road side measurements in Hanko where a distinguishable sanding material was in use, namely clinker from the nearby iron foundry.

Main findings were as follows. Traction sanding increased the formation of dust. Additionally the more

the material contained fine grains the more dust was produced. The dust included also fine particles as well as submicron sized dust. In the tests without sand studded tires produced more dust than winter tires without studs. However, when the surface was covered with sand the difference between the tire types became small.

One of the main findings was that also in the sanded tests a significant amount of dust originated from pavement, more than could be attributed to wear by for example studs. It was concluded that as traction sand aggregate crushed into smaller particles it not only produced dust from itself but it also wore the pavement efficiently. As a result dust from both sources were present also in the sanded tests. This phenomenon was named as "the sandpaper effect". The case study in Hanko showed that in urban settings the direct contribution of dust from traction sanding is an important source of particulate matter.

I would like to end my Lectio with this figure of road dust on top of filter material. The figure was taken during early stages of the 'Urban Dust' project together with Dr. Heikki Tervahattu and it has become more or less a symbol of our work.

Dr. Mats Gustafsson, I now call upon You to present Your critical comments on my dissertation.

Regulating industrial pollution: The case of Finland

10.3.2007

Helsingin yliopisto, Yksityisoikeuden laitos

Vastaväittäjä: Prof. Anthony Ogus, Manchesterin yliopisto

Väitöspäivänäni alkoi tapaamisella kustoksen professori Erkki Hollon ja vastaväittäjän Anthony Oguksen kanssa. Erkki oli minulle tuttu pitkältä ajalta, mutta Anthony vain kirjallisuuden kautta. Oikeustieteellisessä tutkimusperinteessä ulkomainen vastaväittäjä oli vielä tuolloin jonkinlainen harvinaisuus, vaikka ei suinkaan tavaton. Vinkin vastaväittäjästä olin saanut Kalle Määtältä, jonka tiedon olin sitten viestinyt eteenpäin ja Erkki hyväksyi henkilön. Minua tietenkin jännitti tapaaminen ja koko päiväkin, vaikka Anthony taisi saada jännityksen tasta hiukan dramaattisen kuvan. Olin tapani mukaan lähtenyt liikkeelle liian myöhään ja jouduin lopulta ottamaan juoksuaskelia paksun vaatetuksen alla ollakseni ajoissa tapaamisessa. Seurauksena oli hikipisaroiden nouseminen otsalle. Tämän nähtyään vastaväittäjäni huolestui – ajatteli varmaan että edessä on hyvin haastava tilaisuus – ja pyrki eri tavoin vähentämään paineita. Vastaväittäjäni, joka oli ensimmäistä kertaa Suomessa vastaväittäjänä, näytti erityisesti pohdittavan kysymys, miten hän voi olla kriittinen, kun paikalla on väittelijän vanhemmat ja lapset sekä muita sukulaisia ja ystäviä. Voiko tällaisen yleisön edessä käydä aidosti kriittistä keskustelua? Minä taas pyrin eri tavoin osoittamaan, että ei syytä huoleen – hiki ei johdu hermoilusta, vaan reippaasta liikkumisesta. Omaksi yllätyksekseni jännitys olikin kokolailla hallittavaa. Väittelysaliin kävellessäni

katselin ympärilleni ja nähdessäni sen, mitä väittelijät aina Suomessa näkevät eli ystävät, läheiset kollegat ja sukulaiset, tein päätelmän, että tämä yleisö ei muuta toivo, kuin että show menisi sulavasti eteenpäin.

Väitöskirjan idean syntyyn vaikutti keskeisesti SYKEN ympäristö. Siirryin monivuotisen ministeriöissä tehdyn työn jälkeen SYKEen tutkijaksi vuosituhanen vaihteessa. 1990-luvun alkupuolella olin jättänyt tutkijauran, kun sain kiinnostavan mahdollisuuden osallistua sääntelyn kehittämiseen. Into kirjoittaa ja tutkia oli kuitenkin kova, joten päätin hakea avautunutta tutkijapaikkaa SYKEssä. Olin tuolloin töissä ulkoministeriössä ja silloiset kollegani taisivat pitää minua hiukan omituisena, kun siirryin pois hienoista puitteista ja arvostetusta organisaatiosta tutkimuksen piiriin. Aloitin tutkijatehtävät Mikael Hildénin vetämässä hankkeessa ympäristön pilaantumista koskevasta sääntelystä, joka hanke antoi sysäyksen väitöskirjatyölleni. Oivalsin nopeasti, että perinteisen lainopillinen tutkimuksen harjoittaminen SYKEN tapaisessa organisaatiossa olisi hankalaa ja suuntaa piti hakea muualta. Löysin kirjallisuudesta sopivan lähestymistavan, joka yhdisti oikeudellisen ajattelun ja empiirisen tutkimuksen. Tämä auttoi eteenpäin, mutta lopulta tärkeämpää olivat elävät keskustelut toisten tutkijoiden, erityisesti Mikaelin ja Pellen, kanssa SYKEssä.



LECTIO PRAECURSORIA

Most distinguished Professor Erkki Hollo, most distinguished Professor Anthony Ogus, ladies and gentlemen!

Introduction

For many decades and especially since the 1970s regulation has been on the increase. Environmental regulation has become one of the broadest areas of regulation. Still, there are plenty of environmental issues in need of regulation. However, the expansion of regulation also has many negative consequences. This is why governments, industry, and scholars have long been worried about this development. Industry often claims that an excessive amount of regulation is bad, because the costs outweigh the benefits. It would be ungrounded to assume that industry is always wrong. However, this is only one type of possible negative consequences. Excessive regulation may also result in inefficient use of public resources or even hamper the achievement of the very goals of policy.

Currently a key political concept on how to respond to the expansion of regulation is 'better regulation initiative'. Better regulation policy aims to reduce the amount of regulation by improving it. Quality rather than quantity. However it does not tell us how to solve the problem of competing goals, such as effectiveness, efficiency, transparency and participation.

Making regulation better requires decisions on policy goals and means. These decisions involve facts and judgements, which are best left to politicians. The role of research is to produce new insights, facts, and under-

standing of regulation for decision-making. Research on regulation makes it possible to critically assess how regulation works and what impacts it produces. In this way, it helps decision-makers to improve regulation.

My thesis aims to provide new insights on how the Finnish air and water pollution regulation has worked. Environmental regulation refers to attempts of public authorities to alter or maintain the behaviour of others in order to protect the environment. The research questions include, for example, the following: How has environmental regulation recently changed? Which features makes regulation effective and efficient? Does pollution control regulation foster technological development? Has the integration of pollution regulation made it more effective and cost-efficient? How could regulation be improved? Next I will briefly touch on some of these issues.

Regulatory change

Understanding the impacts of regulation requires at least some understanding of how regulation is changing. Based on the quantitative analysis of legislative development, it is easy to confirm that a process of change is under way. Tens of legal acts are adopted each year. In Finland, the peak in the amount of annually adopted environmental legislation was achieved in 1994. This is due to Finland's preparation for EU membership. However, excluding the impact of EU membership the amount of environmental legislation is still rather increasing than decreasing.

The rate of regulatory change is rapid. Most of the national environmental laws in force in 1990 have now been replaced by new ones. About one third of the legislation is less than 5 years old and about another third less than 10 years old.

Some people seem to believe that new policy instruments are replacing old ones. Economic instruments, such as environmental taxes, environmental agreements and different kinds of management systems are examples of new instruments. The environmental permit is a typical traditional instrument.

Clearly, new instruments have, indeed, emerged to regulate environmental issues in general and pollution control in particular. About one third of the new pollution legislation enacted between 1988 and 2003 relates to new instruments, if also mobile sources are included.

Still the change has been gradual and path-dependent. First, two thirds of new legislation relates to traditional policy instruments. Furthermore, legislation concerning economic instruments relates to issues such as fuels, electricity, agriculture and forestry, which have been regulated by economic instruments for a long time. Previously these instruments mainly promoted other goals, such as revenue raising and sufficient level of agricultural income. The recent development means that environmental dimension has integrated in to these instruments.

Voluntary new instruments are not very widely used in Finland. There are close to 1,000 installations which are regulated by environmental management systems. However, there are more than 25,000 installations regulated by environmental permits. Only two sorts of environmental agreements are systematically used. The first one concerns energy efficiency and the other purification of contaminated land. Most of new regulation related to environmental problems, such as eutrophication, acid rain, toxic substances, persistent organic pollutants, heavy metals, volatile organic compounds and waste concerns traditional means.

Hence, the rapid regulatory change has not meant that traditional regulation has been replaced by new instruments. Instead, traditional regulation has been reformed with the aim of making it more effective and efficient. The change has been continuous, but incremental and path-dependent. This applies even to the most profound change, namely the adoption in 2000 of the integrated permit mechanism. Next I will go to this change in some details.

Integrated permitting

The process where sectoral pollution regulation was transformed into integrated pollution regulation, was incomplete — or should I say path-dependent.

This is particularly obvious for the development of administrative structures. In terms of personnel the greatest-ever reform of environmental regulation was accomplished with minor changes. This may be good for people working in the administration, but it complicates administrative structures. This does not make regulation more effective.

Path-dependence is also strong with regard to standard-setting. The traditions of air and water pollution control were moved from sectoral to integrated pollution control. Regulation of air pollution is to large extent based on fixed standards for key polluters and key pollutants. Water pollution regulation, instead, leaves the authorities greater discretion.

In an ideal world, the standard-setting aims at an optimal solution, where each permit condition is modified, if the modification can enhance the overall effectiveness and efficiency of regulation. If some standards are fixed in advance and the specific conditions of the case concerned cannot take into account, this tends to bring down the overall optimality of regulation. This not only contradicts the very idea of the integrated pollution control but also that of the best available technology principle.

Despite its incompleteness, the reform increased the effectiveness of regulation – although not radically. No new activities are regulated. Instead, old activities are regulated more comprehensively. Many non-industrial facilities, like livestock shelters, fur farms, crushing plants, outdoor shooting ranges, peat production plants and fish farms, are nowadays regulated by a more comprehensive set of standards than before.

A key argument favouring integration of pollution control relates to so-called cross media effects. However, cross-media considerations had a smaller role in the decision making than expected. It was observed that permit authorities influence the temporal order of environmental investments. However, no evidence was found that cross-media effects affected the strictness of permit conditions in the long run. Neither was evi-

dence found to prove that the reform has significantly affected the adoption of new kinds of technologies.

Next I will briefly address the attractive opportunities for developing regulation. First I consider regulating large activities.

Future

For the future of pollution control, a key question is what forms of standards should be used. There is a general consensus that performance-based standards should have priority whenever possible. This is due in particular to assumed impacts on technological development. In addition, mass-based standards, which define the amount of pollution allowed in absolute terms, are more suitable for promoting technological development than rate-based standards.

Whether preference should be given to European-wide uniform standards or differentiated standards is not so clear. As noted, the seeking of an optimal solution would prefer large discretionary powers for permit authorities. On the other hand, the size of markets matters. For technology developer European-wide markets are more attractive than the market of a small country. Hence, European-wide standards, all other things being equal, tend to induce more innovations than national ones.

However, there are two reasons why European-wide uniform standards tend to result in low ambition level. First, they would slow down the rate of change. It is unlikely that environmental standards could be updated through complicated European legislative processes as frequently as technology develops. Secondly, uniform standards would promote average, not ambitious solutions. On these grounds I would give preference to differentiated standards, instead of fixed European ones. However, non-legally binding coordination ensuring that the standards are roughly at the same level in different parts of Europe is preferable.

With regard to large activities and traditional pollutants, such as nitrogen and sulphur, an attractive way of development would be a combination of traditional

regulation and economic instruments, such as tradable permits and tax instruments.

Another direction of development relates to the size of regulated unit i.e. installation. The efficiency criticism against traditional regulation stems partially from the small size of the regulated unit. Hence, the question is whether the regulated unit could be expanded to cover several entities currently treated as separate installations. Existing regulatory mechanisms, like joint implementation and simultaneous processing of separate activities now planned for exceptional cases, could be used more widely. Furthermore, new regulation able to control an industrial estate or a company could be developed.

With regard to small activities, the likely direction of development is lightening. This means, in essence, more efficient use of public resources. At the moment there is on-going development and discussion about what forms lightening should assume. There are still many options available from less, but more effective regulation to more, but lighter regulation.

With regard to both large and small activities, it is unlikely that the rate of change will slow down. Pressures to develop regulation come from different directions. Improving the effectiveness and efficiency of regulation, making it more conducive to innovations and ensuring adequate public participation, will all require changes. This is likely to mean more, not less changes in the future.

Professor Anthony Ogus, I ask you as the opponent appointed by the Faculty of Law to make whatever comments you deem my thesis to call for.



Olli Malve

Water quality prediction for river basin management

18.5.2007

Teknillinen korkeakoulu. Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio
Vastaväittäjä: Prof. Kenneth Reckhow, Duke University, NC, USA

ABSTRACT

Water quality prediction methods are developed which provide realistic estimates of prediction errors and accordingly increase the efficiency of river basin management and the implementation of EU's Water Framework Directive. The resulting river basin management decisions are based on realistic safety margins for restoration measures and accompanying targeted pollutant load limits.

The realistic error estimates attached to the predictions are based on Bayesian statistical inference and MCMC methods which are able to synthesize two distinct water quality prediction approaches i.e. mechanistic and statistical. What is more, a hierarchical modeling strategy is employed in order to pool information from extensive cross-sectional lake monitoring data and consequently to improve the accuracy and precision of lake specific water quality predictions.

Testing of the methods using extensive hydrological and water quality data from five real-world river basin management cases suggests that Bayesian inference and MCMC methods are no more difficult to implement than classical statistical methods. Even models with large numbers of correlated parameters can be fitted using modern computational methods. Moreover, the hierarchical modeling strategy proves to be efficient for river basin management. Guidelines for adaptive river basin management are also set up based on the experience gained. It is proposed that monitoring, prediction and decision making should be integrated into an efficient management procedure.

Substance flow analysis in Finland: Four case studies on N and P flows



17.8.2007

Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Prof. Vaclav Smil, University of Manitoba, Winnipeg, Canada

Väitöskirjaprojektini alkoi vuonna 2000, kun Jyri Seppälä kertoi mahdollisuudesta osallistua Suomen Akatemian Luonnonvarojen kestävä käyttö -tutkimusohjelmaan jätettävään hakemukseen. Hankeidean isät olivat Helsingin yliopiston ympäristönsuojelutieteen professori Pekka Kauppi ja SYKEstä Seppo "Oiva" Rekolainen. Mukaan hankkeeseen he olivat saaneet hyvätasoiset tutkimusryhmät myös MTT:ltä, Metlasta ja VATTista.

AESOPUS (Analysis of Nutrient Cycles in Ecological and Socio-Economic Systems for Policy Purposes) -hanke sai rahoituksen Akatemialta ja MMM:ltä, ja se toteutettiin vuosina 2001–2004. Alusta alkaen oli selvää, että teen nippuväitöskirjan hankkeessa kirjoitettavista artikkeleista. Tosin valmistuminen venyi mm. äitiysvapaan vuoksi aina vuoteen 2007. Väitöstyö oli minulle selkeä ja rajattu projekti, jonka halusin saada mahdollisimman ripeästi tehtyä. En halunnut siitä elämänprojektia, ja olen iloinen, että siihen oli mahdollisuus ja että se tuli tehtyä tuolloin. Nyt olisi hyvin haasteellista löytää tuollaiseen projektiin tilaa muiden töiden lomasta ja elämästä ylipäänsä.

Vastaväittäjäksi kutsuttiin Pekka Kaupin ehdotuksesta Vaclav Smil Kanadasta. Hänen julkaisujaan olen useaan otteeseen siteerannut työssäni. Smil osoittautui varsinai-

seksi persoonaksi, ja varsin puheliaaksi. Tämän saivat kokea myös SYKEN johto, Lea Kauppi, Mikael Hildén sekä Oiva ja Jyri väitöksen aattona illallisella Benjam's Bistrossa. Pöytäseurue sai sanottua tuskin sanaakaan Smilin vuolaan yksinpuhelun väliin. Väitöstilaisuudessa lektion jälkeen sain ensimmäisen – ja vissiin toiseksi viimeisen – kerran puheenvuoron vastaväittäjäni lähes tunnin yksinpuhelun jälkeen. Silloin kysymys tuli niin yllättäen ja yllättävästä aiheesta, että tuskin hämmennykseltäni osasin vastata mitään. Smil kuitenkin piti väitöstyöstäni varsin paljon, ja palaute kokonaisuutena oli hyvin positiivinen. Ja väitöspäivän jälkeinen metsäretki Nuuksioon oli myös ilmeisen mieleinen. Smil keskusteli syvällisesti mieheni kanssa herkkutateista ja ihasteli metsäluontoa: "Ihan kuin kotona".

Väitöstyöni teema ei suoraan jatkunut seuraavissa projekteissa, mutta teollisen ekologian ja aineiden kierron sekä luonnonvarojen kestävä käyttöön aiheet ovat olleet vahvoina kaikessa työssäni. Nyt aihealue on kokemassa myös uutta nostetta vihreän tai kestävä talouden nousua myös poliittisessa keskustelussa kiinnostuksen kohteeksi ja mahdollisuudeksi yritysten liiketoiminnan edistämiseen.



Vastaväittäjä Vaclav Smil, Mikael Hildén ja Per Mickvits.

LECTIO PRAECURSORIA

Mr Custos, Mr Opponent, ladies and gentlemen,
Arvoisa kustos, arvoisa vastaväittäjä, hyvät kuulijat,

Ekosysteemissä, johon ihmistoiminta ei ole merkittävästi puuttunut, on aineilla tietty kiertokulkunsa. Teollistumisen jälkeen ja erityisesti viimeisten vuosikymmenien aikana on ihminen on muuttanut merkittävästi tätä kiertoa. Ihminen kiihdyttänyt maapallon resurssien käyttöä ja toisaalta erilaisten aineiden pääsyä ympäristöön siinä määrin, että se on monin paikoin johtanut vakaviin ympäristöongelmiin. Suomalaisille yksi näkyvimpiä on ollut Itämeren ja järviemme rehevöityminen. Rehevöityminen johtuu pääravinteiden, typen ja fosforin, liiallisesta kertymisestä ekosysteemiin, minkä seurauksena perustuotanto kiihtyy ja lajikoostumus muuttuu, sinileväkukinnot yleistyvät ja pahimmillaan happikato kohtaa vesistön.

Kärjistäen syynä on se, että ihminen ottaa ravinteita yhdestä paikasta ja tiettyjen toimintojen kautta aiheuttaa sen, että ne kertyvät eri paikkaan kuin alun perin.

Aineiden kiertokulun sulkeminen on yksi ympäristösuojelun tavoitteista. Arvostettu professori Tom Graedel on kuvannut kolmea erilaista aineiden ja energian virtojen tyyppiä ekosysteemeissä.

Oheisessa kuvassa on esitetty Graedelin kolme ekosysteemityyppiä. Ensimmäisessä ja kaikkein vähiten kestävässä järjestelmässä ekosysteemi käyttää rajattoman määrän resursseja, materiaa ja energiaa, eikä kierrätä

niitä, ja näin ollen tuottaa rajattoman määrän jätettä. Jätteillä tarkoitetaan tässä yhteydessä myös päästöjä vesiin, maaperään ja ilmaan, ei vain kiinteää jätettä. Tämän tyyppinen järjestelmä on avoin.

Toinen järjestelmä on edellistä kestävämpi. Siinä materiaalien käyttö on rajoitetumpaa kuin ensimmäisessä, ja ekosysteemin eri osaset käyttävät toistensa jätteitä raaka-aineinaan. Tämä järjestelmä tuottaa enää rajallisen määrän jätettä.

Kolmas järjestelmä on kaikkein kestävin. Siinä ekosysteemi tarvitsee vain ulkopuolista energiaa. Kaikki käytettävä materiaali pystytään kierrättämään ekosysteemin sisällä, eikä jätettä muodostu lainkaan. Tällainen suljettu järjestelmä onkin enemmänkin ideaalinen tavoitetilä kuin todellisuudessa toteutettavissa oleva malli. Riippuu muun muassa paljolti järjestelmän alueellisista ja ajallisista rajoituksista, missä määrin tavoitetilä on toteutettavissa. Esimerkiksi maapalloa voidaan pitää tällaisen suljetun järjestelmän toteutmana. Käytettävissämme ovat vain pallon materiaaliset resurssit. Ulkopuolisena energialähteenä on aurinko.

Ainevirta-analyysi, englanniksi substance flow analysis, on yksi ympäristönsuojelun tutkimusmenetelmistä, joka soveltuu hyvin aineiden kierron arviointiin. Menetelmää käytettiin nyt tarkastettavassa väitöskirjassa. Periaatteeltaan menetelmä melko yksinkertainen. Siinä tutkitaan, kuinka paljon tiettyä ainetta tai yhdistettä kulkeutuu yhdestä paikasta toiseen.

Tässä kuvassa on havainnollistettu yksi mahdollinen ainevirta-analyysissä tutkittava järjestelmä, metsäteollisuus ja puupolttoaineiden käyttö. Yksi järjestelmän virroista muodostuu siitä, kuinka paljon metsästä kaadettavissa puissa kulkeutuu ravinteita tehtaalle, toinen siitä, kuinka paljon tehtaasta pääsee ravinteita vesistöön. Näiden lisäksi on lukuisia muita virtoja. Jossain toisessa tutkimuksessa voitaisiin laskea vaikkapa sitä, kuinka paljon kallioperästä kaivettavissa mineraaleissa päätyy kultaa sormuksiin.

Tietyn virran ainemäärä lasketaan yleensä käyttäen apuna olemassa olevaa tietoa, kuten tilastoja ja valmiita

mittauksia. Toisinaan päädytään mitatun tiedon puutteen vuoksi käyttämään asiantuntija-arvioita. Harvemmin tehdään omia kokeita tai laboratorioanalyysyjä. Käytännön työ on siis lähinnä kirjallisuuden läpikäymistä, lukujen etsimistä ja asiantuntijoiden haastattelua. Esimerkiksi metsästä tehtaaseen virtaava ravinnemäärä lasketaan käyttämällä tilastotietoa hakkuumäärästä, joka muutetaan tilavuus-painokertoimen avulla tonneiksi, joka edelleen kerrotaan ravinnepitoisuudella. Usein tarvitaan tieto myös kuiva-ainepitoisuudesta. Lisäksi eri puulajien ravinnepitoisuudet vaihtelevat, ja puun eri osissa – lehdissä, neulasissa, puuaineksessa ja kaarnassa - pitoisuudet ovat erilaiset.

Tällaisen vaihtelun lisäksi ongelmalliseksi ainevirta-analyysin tekee moni muukin seikka. Ensinnäkin tutkittavan järjestelmän rajaus: tulee päättää missä maantieteellisissä, ajallisissa ja toiminnallisissa rajoissa tutkimusta tehdään. Järjestelmän rajaus on ehkäpä tärkein tuloksiin vaikuttava tekijä. Mitä pienempi tutkittava järjestelmä on, sitä todennäköisempää on, että se on riippuvainen ulkopuolisista raaka-aineista. Lisäksi tutkimuksen syvyys ja yksityiskohtaisuus vaikuttaa erityisesti työläyteen. Olennaisia tekijöitä ovat myös tiedon saatavuus ja mahdollinen epävarmuus. Esimerkiksi monet teollisuuden tuotantotiedot ja tuotteiden koostumukset ovat salaisia, minkä vuoksi kaikkia haluttuja virtoja ei välttämättä pystytä laskemaan. Toisaalta kirjallisuudesta usein löytyy yksi tai vain muutamia pitoisuustietoja, ja käytännössä on mahdotonta arvioida näiden tietojen harhaisuutta tai epävarmuutta. Monesti ainevirta-analyysien tulokset esitetäänkin näennäisen varmoina, vaikka joko laadullinen tai määrällinen epävarmuustarkastelu olisikin suositeltavaa. Nyt tarkastettavan väitöskirjan tapaustutkimuksissa käytettiin sekä laadullista että määrällistä epävarmuustarkastelua, joista jälkimmäinen osoitti, että tulokset saattavat äärimmillään olla jopa päinvastaiset alkuperäisiin tuloksiin verrattuna. Maatalousmaahan laskettiin todennäköisesti kertyvän tyypeä, eli maatalousmaan tyyppivaraston arvioitiin todennäköisesti kasvavan. Kuitenkin epävarmuudet huomioon ottaen on myös mahdollista, että maatalousmaan tyyppivarasto pienenee. Epävarmuuden huo-

mioon ottaminen usein vaikeuttaa tulosten tulkintaa ja toimenpidesuosituksen antamista.

Ainevirta-analyysijä tai niihin verrattavia tutkimuksia on tehty paljon eri aineille, kuten ravinteille, typpi, fosfori, hiili ja metalleille, kupari, lyijy, sinkki, kadmium jne. Pääosa tutkimuksista on mittakaavaltaan laajoja. Niissä on tutkittu globaalia tai maanosakohtaista aineiden kiertoa. Myös maakohtaisia tutkimuksia on runsaasti. Yksityiskohtaisista ravinnetutkimuksista pääosa keskittyy luonnonsysteemeihin kuten vesistöihin ja metsäekosysteemeihin, ja yhteiskunnallisista järjestelmistä on vain vähän tietoa.

Nyt tarkastettavassa väitöskirjassa tutkittiin typen ja fosforin virtoja ja varantoja Suomessa.

Koska luonnonsysteemien, kuten vesistöjen ja metsäekosysteemien, ravinneverroista on jo suhteellisen paljon tutkimustietoa, päätettiin tässä tutkimuksessa keskittyä neljään yhteiskunnalliseen järjestelmään, joita olivat metsäteollisuus ja puupolttoaineiden käyttö, ruoan tuotanto ja kulutus, energiajärjestelmä ja yhdyskuntajätteen käsittely. Tavoitteena oli tunnistaa ravinteiden tärkeimmät virrat ja määrittää niiden suuruus. Lisäksi tavoitteena oli pohtia, ovatko tutkitut järjestelmät avoimia vai suljettuja, ja miten ainevirtoja voitaisiin sulkea entisestään. Tutkimusmenetelmän, ainevirta-analyysin, soveltuvuutta ympäristönsuojelun päätöksenteon tukivälineeksi arvioitiin.

Tutkimuksen johtopäätöksinä esitetään, että ruoan tuotanto ja kulutus sekä energiajärjestelmä vaikuttivat eniten typen ja fosforin virtoihin. Maailmanlaajuisessa mittakaavassa Suomen typpi- ja fosforivirrat ovat pieniä, mutta asukasmäärään suhteutettuna suuria erityisesti suhteellisen suuren energian ja eläinperäisen ravinnon kulutuksen vuoksi.

Kaikki tutkitut neljä järjestelmää olivat avoimia. Syinä olivat muun muassa kansainvälisen kaupan suuri merkitys, keinolannoitteiden ja energiaraaka-aineiden suuri käyttömäärä ja jätejakeiden alhainen kierrätysaste.

Ympäristöpolitiikan tärkein tavoite on ympäristöongelmien, kuten rehevöitymisen tai ilmastonmuutoksen pienentäminen. Aineiden kiertojen sulkeminen voi edesauttaa tässä tehtävässä. Kiertojen sulkeminen sinänsä ei kuitenkaan ole päätavoite, vaan on pohdittava sekä sulkemisen etuja että haittoja. Täydellinen aineiden kierto saattaa, esimerkiksi tarkoittaa lisääntyvää kuljetustarvetta, kasvavaa energian kulutusta ja edelleen suurempia päästöjä. Ympäristönsuojelussa tuleekin löytää tasapaino eri vaihtoehtojen välillä.

Ainevirta-analyysi soveltuu hyvin ainevirtoihin liittyvien ongelmien kartoittamiseen. Sillä luodun kokonaiskuvan avulla yhteiskunnan ja ekosysteemien kestävyttä voidaan arvioida. Ympäristönsuojelun päätöksenteon tukivälineeksi se on sellaisenaan usein liian karkea. Yhdistettynä muihin tutkimusmenetelmiin, kuten elinkaariarviointiin ja taloudellisiin menetelmiin, voidaan ainevirta-analyysiä käyttää eri ympäristönsuojeluongelmien priorisointiin.

Pyydän Teitä, Arvoisa Opponentti, Professori Vaclav Smil, tiedekunnan määräämänä vastaväittäjänä esittämään ne huomautukset, joihin katsotte väitöskirjani antavan aiheita.

Mr Opponent, Professor Vaclav Smil I now call upon you to present your critical comments on my dissertation.

Harmful algae in the planktonic food web of the Baltic Sea

21.9.2007

Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Dr. Kevin G. Sellner, Chesapeake Research Consortium, Inc., USA



Pauliina Uronen ja isänsä, teologian tohtori Timo Vasko.

*My thesis was a part of the EU funded project FATE which studied effects and transfer of algal toxins in the aquatic food web. There were several research teams around Europe (and one from the USA) partnering in this project, and the laboratory exercises were arranged so that all teams spent 1–2 weeks working in each lab. We, as the team of Timo Tamminen, were hosting the first lab effort. I will never forget that spring when we made all the preparations in Tvärminne together with Sirpa Lehtinen and Sanna Sopanen: Our task was to prepare nitrogen or phosphorus limited cultures with the haptophyte *Prymnesium parvum* for the whole FATE consortium.*

*The next lab visit was in Kalmar, Sweden, where we used the blue-green algae *Nodularia spumigena*, and the third was in Vigo, Spain to study the dinoflagellate *Alexandrium minutum*. Especially the stay in Spain with Pirjo Kuuppo was very interesting: a lot of lab work during those three weeks, late dinners with wine, friendship and singing frogs. After the end of FATE I still collected two data-sets in the Baltic Sea in order to study the toxins of dinoflagellates, mainly *Dinophysis* species. This was done with the support of the Nessling Foundation. The other data was collected with sedimentation traps and the other during the Muikku cruise in 2006.*

I am very lucky that I became a member of these research projects since I got exceptional opportunities to study several harmful species with several methods – in addition to all the ideas and experience that the senior scientist all around Europe thought us during that intensive time.

Just before my dissertation, in 2007, I was hired by Neste Oil to be an algae oil researcher. Since then I have coordinated several international research projects as a project manager with the aim to produce oil from algae for fuel production. Algae have a large potential to be one day a sustainable and cost-efficient raw material for renewable fuels.

ABSTRACT

This study deals with algal species occurring commonly in the Baltic Sea: haptophyte *Prymnesium parvum*, dinoflagellates *Dinophysis acuminata*, *D. norvegica* and *D. rotundata*, and cyanobacterium *Nodularia spumigena*. The hypotheses are connected to the toxicity of the species, to the factors determining toxicity, to the consequences of toxicity and to the transfer of toxins in the aquatic food web.

Since the Baltic Sea is severely eutrophicated, the fast-growing haptophytes have potential in causing toxic blooms. In our studies, the toxicity (as haemolytic activity) of the haptophyte *P. parvum* was highest under phosphorus-limited conditions, but the cells were toxic also under nitrogen limitation and under nutrient-balanced growth conditions. The cellular nutrient ratios were tightly related to the toxicity. The stoichiometric flexibility for cellular phosphorus quota was higher than for nitrogen, and nitrogen limitation led to decreased biomass. Negative allelopathic effects on another algae (*Rhodomonas salina*) could be observed already at low *P. parvum* cell densities, whereas immediate lysis of *R. salina* cells occurred at *P. parvum* cell densities corresponding to natural blooms. Release of dissolved organic carbon from the *R. salina* cells was measured within 30 minutes, and an increase in bacterial number and biomass was measured within 23 h. Because of the allelopathic effect, formation of a *P. parvum* bloom may accelerate after a critical cell density is reached and the competing species are eliminated. A *P. parvum* bloom indirectly stimulates

bacterial growth, and alters the functioning of the planktonic food web by increasing the carbon transfer through the microbial loop.

Our results were the first reports on DSP toxins in *Dinophysis* cells in the Gulf of Finland and on PTX-2 in the Baltic Sea. Cellular toxin contents in *Dinophysis* spp. ranged from 0.2 to 149 pg DTX-1 cell⁻¹ and from 1.6 to 19.9 pg PTX-2 cell⁻¹ in the Gulf of Finland. *D. norvegica* was found mainly around the thermocline (max. 200 cells L⁻¹), whereas *D. acuminata* was found in the whole mixed layer (max. 7 280 cells L⁻¹). Toxins in the sediment trap corresponded to 1% of DTX-1 and 0.01% PTX-2 of the DSP pool in the suspended matter. This indicates that the majority of the DSP toxins does not enter the benthic community, but is either decomposed in the water column, or transferred to higher trophic levels in the planktonic food chain.

We found that nodularin, produced by *Nodularia spumigena*, was transferred to the copepod *Eurytemora affinis* through three pathways: by grazing on filaments of small *Nodularia*, directly from the dissolved pool, and through the microbial food web by copepods grazing on ciliates, dinoflagellates and heterotrophic nanoflagellates. The estimated proportion of the microbial food web in nodularin transfer was 22-45% and 71-76% in our two experiments, respectively. This highlights the potential role of the microbial food web in the transfer of toxins in the planktonic food web.



Maintaining plant species richness by cattle grazing: Mesic semi-natural grasslands as focal habitats

2.11.2007

Helsingin yliopisto, Bio- ja Ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Martin Zobel, Tartu University

Luonto- ja maankäyttöyksikössä pyrittiin kannustamaan ihmisiä tutkimustyöhön. Suunnittelimme Mikko Kuussaaren johdolla hakemusta Akatemian biodiversiteettitutkimusohjelmaan (FIBRE) vuosille 2000–2002 aiheena perinnebiotoopit. Minulle ehdotettiin väitöstyön aiheeksi laidunnuksen vaikutukset kasveihin ja kasvillisuuteen. Muistaakseni etenkin Risto Heikkinen kannusti minua sopivan positiivisella tavalla väitöstyöhön ryhtymiseen. Väitöstyö oli luontevaa jatkoa valtakunnalliselle perinnebiotooppien kartoitustyölle, joka alkoi olla lopullaan. Tuli suostuttua, varsinkin kun olin pyrkinyt suuntautumaan enemmän tutkimukseen. Ideana oli, että tehdään kaksi väitöstä tutkimuksista samoilla tutkimusalueilla: kasvit (Juha Pykälä) ja hyönteiset (Juha Pöyry).

Kun varsinainen kokeellinen tutkimus olisi ollut aivan liikaa aikaa vievää, ideaksi muotoutui, että etsitään kolmentyyppisiä tuoreita niittyjä: pitkään laidunnettuja, sellaisia, joiden laidunnus oli loppunut yli 10 vuotta sitten ja sellaisia, joiden laidunnus oli uudelleenalkanut vähintään viisi vuotta aiemmin yli 10-vuotisen tauon jälkeen. Nämä pyrittiin löytämään kolmen ryppäinä (ns. kolmikkotutkimus). Saimme hankkeelle Akatemian rahoituksen. Varsinkin kolmannen ryhmän kohteita oli hankala löytää, ja niitä löytyi lähinnä Varsinais-Suomen savikkojokien (etenkin Rekijoki) varsilta. Näistä käytännön syistä johtuen kolmikkotutkimus keskittyikin niille. Se oli hyvä, koska se vähensi muista ympäristökiteistä johtuvaa vaihtelua. Maastotyöt sujuivat aika hyvin, vaikka monenlaisia ongelmia ilmeni. Tutkimusasetelma onnistui lopulta yllättävänsäkin hyvin, ja eri ryhmien välille saatiin monia laidunnuksesta johtuneita eroja. Tästä kolmikkotutkimuksesta tuli väitöskirjan ydin (kolme julkaisua). Kolmikkotutkimus opetti, että kun tutkimus suunnitellaan hyvin, melko pienestäkin aineistosta saadaan monenlaisia mielenkiintoisia tuloksia.

Väitöstyö eteni hitaammin kuin olin kuvitellut. FIBRE-ohjelman loputtua tein väitöstyön edistämisen lisäksi

myös muita tutkimuksia, mikä oli motivoivaa, mutta hidasti väitöstyön etenemistä. Lopulta sain työn valmiiksi. Loppupuristus vuonna 2007 jäi mieleen ja silloin tuntui, että vuoden aikana sai aika paljon aikaiseksi.

Väitös pidettiin Metsätalolla. Vastaväittäjänä oli Martin Zobel Tarton yliopistosta ja kustoksena Heikki Hänninen bio- ja ympäristötieteiden laitokselta. Vastaväittäjän tiukkuusaste varmaankin oli keskimääräinen. Kysymykset olivat laajoja, olennaisia ja haasteellisia.

ABSTRACT

Semi-natural grasslands are the most important agricultural areas for biodiversity. The present study investigates the effects of traditional livestock grazing and mowing on plant species richness, the main emphasis being on cattle grazing in mesic semi-natural grasslands. The two reviews provide a thorough assessment of the multifaceted impacts and importance of grazing and mowing management to plant species richness.

It is emphasized that livestock grazing and mowing have partially compensated the suppression of major natural disturbances by humans and mitigated the negative effects of eutrophication. This hypothesis has important consequences for nature conservation: A large proportion of European species originally adapted to natural disturbances may be at present dependent on livestock grazing and / or mowing. Furthermore, grazing and mowing are key management methods to mitigate effects of nutrient-enrichment.

The species composition and richness in old (continuously grazed), new (grazing restarting 3-8 years

ago) and abandoned (over 10 years) pastures differed consistently across a range of spatial scales, and was intermediate in new pastures compared to old and abandoned pastures. In mesic grasslands most plant species were shown to benefit from cattle grazing. Indicator species of biologically valuable grasslands and rare species were more abundant in grazed than in abandoned grasslands. Steep S-SW-facing slopes are the most suitable sites for many grassland plants and should be prioritized in grassland restoration. The proportion of species trait groups benefiting from grazing was higher in mesic semi-natural grasslands than in dry and wet grasslands. Consequently, species trait responses to grazing and the effectiveness of the natural factors limiting plant growth may be intimately linked

High plant species richness of traditionally mowed and grazed areas is explained by numerous factors which operate on different spatial scales. Particularly important for maintaining large scale plant species richness are evolutionary and mitigation factors. Grazing and mowing cause a shift towards the conditions that have occurred during the evolutionary history of European plant species by modifying key ecological factors (nutrients, pH and light).

The results of this Dissertation suggest that restoration of semi-natural grasslands by private farmers is potentially a useful method to manage biodiversity in the agricultural landscape. However, the quality of management is commonly improper, particularly due to financial constraints. For enhanced success of restoration, management regulations in the agri-environment scheme need to be defined more explicitly and the scheme should be revised to encourage management of biodiversity.

Local and Regional Scale Determinants of Biodiversity Patterns in Boreal Agricultural Landscapes

9.11.2007

Turun yliopisto, Maantieteen laitos

Vastaväittäjä: Dr. Sara Cousins, Department of Physical Geography and Quaternary Geology, Stockholm University, Sweden

ABSTRACT

This thesis examines the local and regional scale determinants of biodiversity patterns using existing species and environmental data. The research focuses on agricultural environments that have experienced rapid declines of biodiversity during past decades. Existing digital databases provide vast opportunities for habitat mapping, predictive mapping of species occurrences and richness and understanding the species-environment relationships. The applicability of these databases depends on the required accuracy and quality of the data needed to answer the landscape ecological and biogeographical questions in hand. Patterns of biodiversity arise from confounded effects of different factors, such as climate, land cover and geographical location. Complementary statistical approaches that can show the relative effects of different factors are needed in biodiversity analyses in addition to classical multivariate models. Better understanding of the key factors underlying the variation in diversity requires the analyses of multiple taxonomic groups from different perspectives, such as richness, occurrence, threat status and population trends. The geographical coincidence of species richness of different taxonomic

groups can be rather limited. This implies that multiple geographical regions should be taken into account in order to preserve various groups of species. Boreal agricultural biodiversity and in particular, distribution and richness of threatened species is strongly associated with various grasslands. Further, heterogeneous agricultural landscapes characterized by moderate field size, forest patches and non-crop agricultural habitats enhance the biodiversity of rural environments. From the landscape ecological perspective, the major threats to Finnish agricultural biodiversity are the decline of connected grassland habitat networks, and general homogenization of landscape structure resulting from both intensification and marginalization of agriculture. The maintenance of key habitats, such as meadows and pastures is an essential task in conservation of agricultural biodiversity. Furthermore, a larger landscape context should be incorporated in conservation planning and decision making processes in order to respond to the needs of different species and to maintain heterogeneous rural landscapes and viable agricultural diversity in the future.

Jussi Vuorenmaa

Recovery responses of acidified Finnish lakes under declining acid deposition



9.11.2007

Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Prof. Kevin Bishop, Department of Environmental Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden

Väitös Suomen järvien happamoitumisesta oli luonnollinen vaihe työurallani. Aloitin tutkijan työurani silloisessa vesi- ja ympäristöhallituksessa vuonna 1994, ja työtehtäviini kuului mm. ympäristöhallinnon järvien happamoitumisen seurantaverkon aineiston käsittelyä. Vuonna 1997 vastuulleni tuli laskeuman laadun seurantaverkon hoitaminen, keskeinen teema tuolloin oli sadeveden happamoittavien yhdisteiden seuranta. Esimieheni Martin Forsius kuului legendaariseen HAPRO-jengiin, ja monet yhteiset tutkimushankkeemme 2000-luvulla käsittelivät järvien toipumista happamoitumisesta. Tutkimusaineistoa ja artikkeleita alkoi kerääntyä aiheen ympärille, ja muutaman vuoden TuKe-keskusteluissa kiemurreltuani jouduin antamaan periksi Martinin ystävällismieliselle painostukselle väitöskirjan tekemisestä.

Väitöskirjaprosessi sekä itse väitöstilaisuus sujuivat hyvin. Vastaväittäjäni prof. Kevin Bishop on huippuluokan tutkija, ja hanakka käymään tieteellistä debattia. Hänellä oli "besser-wisser"-keskustelijan maine, mistä kollegani minua ennalta hieman pelottelivat. Kevin Bishop käsitteli minua kuitenkin varsin lempeästi, ja sain vietyä väitöstilaisuuden kunnialla ja suoraselkäisenä läpi.

Väitöskirjan työstäminen toi selkärankaa ja vahvensi asiantuntemusta aiheesta. Järviseuranta on laajentunut rikkilaskeuman vaikutuksista myös muihin ilman epäpuhtauksiin, ja ilmansaasteiden vesistövaikutusten seurannan hankkeet jatkuvat SYKEssä allekirjoittaneen koordinoimana edelleen. Suomi on ollut SYKE:n johdolla vahvasti mukana kansainvälisessä yhteistyössä ilmansaasteiden vesistövaikutusten arvioinnissa jo 1980-luvulta lähtien, ja hyvä asiantuntemus on edesauttanut kansainvälistä verkottumista ja yhteistyön jatkumista edelleen ilmansuojelun ja ilmastonmuutoksen uusissa haasteissa.

ABSTRACT

The present work provides a regional-scale assessment of the changes in acidifying deposition in Finland over the past 30 years and the current pattern in the recovery of acid-sensitive lakes from acidification in relation to changes in sulphate deposition. This information is needed for documenting the ecosystem benefits of costly emission reduction policies and further actions in air pollution policy.

The development of sulphate deposition in Finland reflects that of European SO₂ emissions. Before the 1990s, reductions in sulphur emissions in Europe had been relatively small and sulphate deposition showed no consistent trends. Due to emission reduction measures that were then taken, sulphate deposition started to clearly decline from the late 1980s. The bulk deposition of sulphate has declined 40-60% in most parts of the country during 1990-2003. The decline in sulphate deposition exceeded the decline of base cation deposition, which resulted in a decrease in acidity and acidifying potential of deposition over the 1990s. Nitrogen deposition also decreased since the late 1980s, but less than that of sulphate, and levelling off during the 1990s.

Sulphate concentrations in all types of small lakes throughout Finland have declined from the early 1990s. The relative decrease in lake sulphate concentrations (average 40-50%) during 1990-2003 was rather similar to the decline in sulphate deposition, indicating a direct response to the reduction in deposition. There are presently no indications of elevated nitrate concentrations in forested headwater lakes. Base cation concentrations are still declining in many lakes, especially in south

Finland, but to a lesser extent than sulphate allowing buffering capacity (alkalinity) to increase, being significant in 60% of the study lakes. Chemical recovery is resulting in biological recovery with populations of acid-sensitive fish species increasing.

The recovery has been strongest in lakes in which sulphate has been the major acidifying agent, and recovery has been the strongest and most consistent in lakes in south Finland. The recovery of lakes in central Finland and north Finland is not as widespread and strong as observed in south. Many catchments, particularly in central Finland, have a high proportion of peatlands and therefore high TOC concentrations in lakes, and runoff-induced surges of organic acids have been an important confounding factor suppressing the recovery of pH and alkalinity in these lakes. Chemical recovery is progressing even in the most acidified lakes, but the buffering capacity of many lakes is still low and still sensitive to acidic input. Further reduction in sulphur emissions are needed for the alkalinity to increase in the acidified lakes.

Increasing total organic carbon (TOC) concentrations are indicated in small forest lakes in Finland. The trends appear to be related to decreasing sulphate deposition and improved acid-base status of the soil, and the rise in TOC is integral to recovery from acidification.

A new challenge is climate change with potential trends in temperature, precipitation and runoff, which are expected to affect future chemical and biological recovery from acidification. The potential impact on the mobilization and leaching of organic acids may

become particularly important in Finnish conditions. Long-term environmental monitoring has evidently shown the success of international emission abatement strategies. The importance and value of integrated monitoring approach including physical, chemical and biological variables is clearly indicated, and continuous environmental monitoring is needed as a scientific basis for further actions in air pollution policy.



Juha Pöyry

Management of semi-natural grasslands for butterfly and moth communities

23.11.2007

Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Prof. Jan Bengtsson, Ruotsin maatalousyliopisto (SLU), Uppsala

Ajatus väitöskirjani aiheesta kehiteltiin yhdessä ohjaajani Mikko Kuussaaren kanssa vuonna 1999, kun SYKE:n silloisessa luonto- ja maankäyttöyksikössä (LUM) valmisteltiin hakemusta Suomen akatemialle FIBRE-tutkimusohjelman toisen kauden hakuun. Perinnebiotooppien hoidon vaikutuksia niittyjen kasvilajistoon oli Suomessa tutkittu jonkin verran jo aiemmin, mutta sen sijaan niittyjen hyönteisiin ei lainkaan eikä vastaavia tutkimuksia ollut tehty juuri muuallakaan. Työn toiseksi ohjaajakseni pyysin Helsingin yliopistosta professori Ilkka Hanskin, jonka työryhmässä olin työskennellyt ja joka oli ohjannut gradu-työni ennen siirtymistäni SYKEen. Hanke-esitys hyväksyttiin FIBRE-ohjelmaan toiselle kaudelle, ja tämän rahoituksen turvin pystyin aloittamaan työn vuoden 2000 alussa.

Väitöstutkimuksen kahtena ensimmäisenä kesänä kerättiin hyvin intensiivisesti empiriisiä maastoaineis-

toja eteläsuomalaisilta niityiltä. Maastotyöt kestivät huhtikuulta elokuulle, minkä aikana kiersin tutkimusavustajien kanssa tutkimusniittyjä parin viikon välein ja keräsimme laajat aineistot niittyjen perhosista ja pistiäisistä. Kaikkiaan tutkimme noin 80 niittyaluetta, joten kotimainen niittyluonto tuli näinä kesinä tutuksi. Aineistojen käsittely työllisti vielä talvisaikaan, sillä pistiäisten määrittäminen tapahtui suurelta osin mikroskoopin alla. Eniten aikaa kuitenkin kului aineistojen tilastollisessa käsittelyssä ja osatutkimusten käsikirjoitusten valmistelussa. Väitöstyöni valmistumista hidasti jonkin verran uusien maatalousympäristön monimuotoisuuden liittyvien tutkimushankkeiden aloittaminen FIBRE-ohjelman viimeisen vuoden 2002 jälkeen, mutta Suomen kulttuurirahaston ja Maj ja Tor Nesslingin säätiön myöntämien apurahojen turvin työn loppuun saattaminen onnistui uusien projektien ohessa.

Vastaväittäjäni professori Jan Bengtsson oli paneutunut aiheeseen perusteellisesti ja oli rakentanut väittelyn pohjaksi useita 5–6 kysymyksen ketjuja, joissa edellinen kysymys johdatteli seuraavaan, enkä missään vaiheessa oikein voinut olla varma, mitä seuraavaksi kysyttäisiin. Muutama paikalla ollut kuulija tulikin jälkikäteen kertomaan, ettei ollut koskaan nähnyt yhtä tiukasti tentannutta vastaväittäjää. Kaksituntinen väitöstilaisuus olikin aika rankka kokemus, mutta jälkikäteen voi onnistuneesta väitöksestä olla tyytyväinen. Väitöstyöni jälkeen olen jatkanut erilaisissa maatalousympäristön monimuotoisuutta käsitelleissä tutkimushankkeissa, mutta myös ilmastonmuutokseen liittyvät teemat ovat enenevästi tulleet rinnalle. Väitöstutkimuksessani kerätyistä laajoista maastoaineistoista on ollut hyötyä vielä vuosia väitöstutkimuksen jälkeenkin, sillä niitä on voitu hyödyntää myöhemmin kolmen EU:n rahoittaman tutkimushankkeen (Coconut, Scales ja Step) julkaisuissa.



Vastaväittäjä Jan Bengtsson, kustos professori Veijo Kaitala sekä Juha Pöyry Metsätalon luentosalissa I.

ABSTRACT

.....

This work focuses on the factors affecting species richness, abundance and species composition of butterflies and moths in Finnish semi-natural grasslands, with a special interest in the effects of grazing management. In addition, an aim was set at evaluating the effectiveness of the support for livestock grazing in semi-natural grasslands, which is included in the Finnish agri-environment scheme.

In the first field study, butterfly and moth communities in resumed semi-natural pastures were compared to old, annually grazed and abandoned previous pastures. Butterfly and moth species composition in restored pastures resembled the compositions observed in old pastures after circa five years of resumed cattle grazing, but diversity of butterflies and moths in resumed pastures remained at a lower level compared with old pastures. None of the butterfly and moth species typical of old pastures had become more abundant in restored pastures compared with abandoned pastures. Therefore, it appears that restoration of butterfly and moth communities inhabiting semi-natural grasslands requires a longer time that was available for monitoring in this study.

In the second study, it was shown that local habitat quality has the largest impact on the occurrence and abundance of butterflies and moths compared to the effects of grassland patch area and connectivity of the regional grassland network. This emphasizes the

importance of current and historical management of semi-natural grasslands on butterfly and moth communities. A positive effect of habitat connectivity was observed on total abundance of the declining butterflies and moths, suggesting that these species have strongest populations in well-connected habitat networks.

Highest species richness and peak abundance of most individual species of butterflies and moths were generally observed in taller grassland vegetation compared with vascular plants, suggesting a preference towards less intensive management in insects. These differences between plants and their insect herbivores may be understood in the light of both (1) the higher structural diversity of tall vegetation and (2) weaker tolerance of disturbances by herbivorous insects due to their higher trophic level compared to plants.

The ecological requirements of all species and species groups inhabiting semi-natural grasslands are probably never met at single restricted sites. Therefore, regional implementation of management to create differently managed areas is imperative for the conservation of different species and species groups dependent on semi-natural grasslands. With limited resources it might be reasonable to focus much of the management efforts in the densest networks of suitable habitat to minimise the risk of extinction of the declining species.



Pirkko Kauppila

Phytoplankton quantity as an indicator of eutrophication in Finnish coastal waters: Applications within the Water Framework Directive

19.12.2007

Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Tohtori Juha-Markku Leppänen, Helsinki Commission



Väitöstilaisuus on ohi ja karonkka voi alkaa. Vastaväittäjä Juha-Markku Leppänen ja Pirkko Kauppila.

Ensimmäisen ajatuksen mahdollisille jatko-opinnoilleni sain vuonna 1998, jolloin tohtori Jessica Meeuwig McGillin yliopistosta, Montrealista, saapui Suomen ympäristökeskukseen valmistelemaan artikkeleita liittyen rannikkovesien rehevöitymisen tilastolliseen mallintamiseen. Tein yhteistyötä hänen ja Heikki Pitkäsen kanssa. Yhteistyömme loppuvaiheessa SYKEN pääjohtaja Lea Kauppi rohkaisi minua jatkamaan yhteistyötä Jessica Meeuwigin kanssa ja aloittamaan väitöskirjaopinnot. Lean ja Jessican keskustelujen ansiosta sain professori Jacob Kalfilta kutsun liittyä vierailevana tutkijana McGillin yliopistoon seitsemäksi kuukaudeksi elokuusta 1999 kesäkuuhun 2000. Lean usko kykyihini kantoi ja siivitti väitöskirjatyötäni koko prosessin ajan.

Montrealissa aloitin tilastollisen analyysin Suomen pienten estuaarien pohjanläheisen hapen mallintamiseksi Jessica Meeuwigin ohjauksessa ja osallistuin yliopiston järjestämille tilasto- ja mallinnuskursseille. 1,6 miljoonan asukkaan Montreal tuli monin tavoin tutuksi kävelykierroksilla historiallisessa, vanhassa kaupunginosassa ja Mont Royalin metsäisillä rinteillä, jotka näyttivät vuodenaikojen vaihtuessa monimuotoiset kasvonsa ja josta avautui spehtaakkelimainen näkymä yli koko kaupungin.

Palattuani Suomeen vesipuitedirektiivin toimeenpanotyö oli kiivaasti käynnissä, ja jouduin heti sen pyörtei-

siin. Siten alkuperäinen ajatukseni jatkaa artikkeleiden kirjoittamista liittämällä hapen rehevöitymisvaikutukset väitöskirjani pääaiheeksi tyrehtyi. Vesipuitedirektiivin toimeenpanoa tukeva tieteellinen työ innoitti minut kuitenkin kirjoittamaan synteisin artikkeleistani, jotka liittyivät sekä rannikkovesien rehevöitymiseen että vesipuitedirektiivin ekologiseen luokitukseen. Väitöskirjani ohjaajina toimivat tässä vaiheessa Heikki Pitkänen ravinne- ja rehevyysdynamiikan erikoistuntijana ja kasviplanktonekologi Liisa Lepistö. Sain heiltä tukea ja rohkaisua työni aikana sekä kriittisiä kommentteja käsikirjoitukseeni, mistä olen hyvin kiitollinen.

Väitöskirjani valmistui lopulta joulukuussa 2007, kun sain direktiiviyöltä tilaa synteisin kirjoittamiseen. Kaisa Kononen Suomen Akatemiasta ja Susanna Hajdu Tukholman yliopistosta tarkastivat väitöskirjani, mistä suuri kiitos heille. Väitöstilaisuus pidettiin Helsingin yliopiston päärakennuksessa Jorma Kuparisen toimiessa kustoksena ja Juha-Markku Leppäsen vastaväittäjänä. Juha-Markun keskusteleva ja asiantunteva ote teki väitöstilaisuudesta yleisölle kiinnostavan ja itselleni positiivisesti mieleenpainuvan kokemuksen. SYKEN tiloissa pidetyssä karonkassa saatoin jo todeta todeksi yksikön päällikköni Saara Bäckin tuskaisimpina hetkinäni minulle antamat rohkaisun sanat "Värit palaavat elämään".

ABSTRACT

The tackling of coastal eutrophication requires water protection measures based on status assessments of water quality. The main purpose of this thesis was to evaluate whether it is possible both scientifically and within the terms of the European Union Water Framework Directive (WFD) to assess the status of coastal marine waters reliably by using phytoplankton biomass (ww) and chlorophyll a (Chl) as indicators of eutrophication in Finnish coastal waters. Empirical approaches were used to study whether the criteria, established for determining an indicator, are fulfilled.

The first criterion (i) was that an indicator should respond to anthropogenic stresses in a predictable manner and has low variability in its response. Summertime Chl could be predicted accurately by nutrient concentrations, but not from the external annual loads alone, because of the rapid affect of primary production and sedimentation close to the loading sources in summer. The most accurate predictions were achieved in the Archipelago Sea, where total phosphorus (TP) and total nitrogen (TN) alone accounted for 87% and 78% of the variation in Chl, respectively. In river estuaries, the TP mass-balance regression model predicted Chl most accurate when nutrients originated from point-sources, whereas land-use regression models were most accurately in cases when nutrients originated mainly from diffuse sources. The inclusion of morphometry (e.g. mean depth) into nutrient models improved accuracy of the predictions.

The second criterion (ii) was associated with the WFD. It requires that an indicator should have type-specific reference conditions, which are defined as “conditions where the values of the biological quality elements are at high ecological status”. In establishing reference conditions, the empirical approach could only be used in the outer coastal waters types, where historical observations of Secchi depth of the early 1900s are available. Most accurate prediction was achieved in the Quark. However, the average reference values in the outer coastal types are underestimated in sites near the zone of the inner coastal waters. In the inner coastal water types, reference Chl, estimated from present monitoring data, are imprecise - not only because of the less accurate estimation method - but also because the intrinsic characteristics, described for instance by morphometry, vary considerably inside these extensive inner coastal types. As for phytoplankton biomass, the reference values were less accurate than in the case of Chl, because it was possible to estimate reference conditions for biomass only by using the reconstructed Chl values, not the historical Secchi observations. A paleoecological approach was also applied to estimate reference conditions for Chl. In Laajalahti, an urban embayment off Helsinki, strongly loaded by municipal waste waters until 1986, reference conditions prevailed in the mid- and late 1800s. The recovery of the bay from pollution has delayed as a consequence of benthic release of nutrients. Laajalahti will probably not achieve the good quality objectives of the WFD on time.

The third criterion (iii) was associated with coastal management including the resources it has available. Analyses of Chl are cheap and fast to carry out compared to the analyses of phytoplankton biomass and species composition; the fact which has an effect on number of samples to be taken and thereby on the reliability of assessments. However, analyses on phytoplankton biomass and species composition provide more metrics for ecological classification, the metrics which reveal various aspects of eutrophication contrary to what Chl alone does.



Paula Kivimaa

The innovation effects of environmental policies: Linking policies, companies and innovations in the Nordic pulp and paper industry

4.6.2008

Helsingin kauppakorkeakoulu, Johtamisen laitos
Vastaväittäjä: Prof. Frans Berkhout, Vrije Universiteit, Amsterdam

Työ väitöskirjani aihepiirin parissa alkoi, kun minut otettiin osaksi ProACT-tutkimusohjelman rahoittamaa hanketta "Ekotehokkuus – innovaatioiden taustatekijät" vuonna 2003. En suinkaan mennyt mukaan SYKEN vetämään hankkeeseen väitöskirjan tekijänä, mutta väitöstutkimus sekä metsäteollisuus alkoivat kiehtoa minua melko pian hankkeessa aloittamiseni jälkeen. Kiehtovuus säilyi loppuun asti, sillä aiheessa oli mielestäni kaksi erittäin kiinnostavaa ulottuvuutta. Metsäteollisuuden historia ja sen merkitys suomalaiselle yhteiskunnalle, yhtäältä, ja innovaatioiden synnyn monimutkaiset ja joskus sattumanvaraisetkin kulkupolut, toisaalta, tarjosivat minulle monia mielenkiintoisia hetkiä ja haastateltujen kertomia tarinoita.

Prosessi sujui yllättävän helposti, koska olin innostunut aiheesta. Väitöskirjaprojektin toteuttaminen osana suuremman hankkeen tutkimustiimiä ja innostavien kollegojen tukemana teki etenemisestä varmasti helpompaa kuin, mitä se olisi yksin puurtaessa ollut. Hankalinta oli ehkäpä jatko-opintokurssien sovittaminen yhteen

töiden kanssa sekä loppuvaiheen rajaukset – mitä jättää kertomatta mielenkiintoisesta ja laaja-alaisesta aiheesta. Väitöskirjaprosessi toimi mielestäni erinomaisesti tutkijaksi "opettelemisessa". Vaikka olen tehnyt tutkimustyötä myös muiden hankkeiden parissa, itsenäinen suunnittelu ja päätökset väitöshankkeen parissa ovat olleet kullannarvoisia oppimisen kannalta. Hienoa oli myös solmia linkejä SYKEN lisäksi toiseen työyhteisöön, eli Kauppiksen organisaatiot ja johtaminen -aineeseen. Näistä kontakteista on syntynyt antoisia yhteistyöprojekteja ja mukavaa kollegiaalisuutta väitöskirjan jälkeen.

Huolimatta monista pitämistäni esitelmistä, väitöstilaisuus on ollut kaikkein jännittävin esiintymistilaisuus koko elämässäni. Lektion aikana jännitys oli valtava, mutta erinomainen vastaväittäjäni Frans Berkhout sai minut kiperistä kysymyksistä huolimatta rentoutumaan ja kiteytti tutkimustani erinomaisesti. Kaiken kaikkiaan sekä itse väitöstilaisuus että sen jälkeinen karonkka olivat ikimuistoisia elämyksiä ja hieno hetki jakaa läheisten työtovereiden kanssa.

LECTIO PRAECURSORIA

Honoured chairperson, honoured opponent, ladies and gentlemen,

Approximately a week ago the largest newspaper in Finland, Helsingin Sanomat, reported on the start up of a new large scale recovery plant in connection to a pulp mill in Kymi, Finland. The forest corporation UPM invested over 300 million euros in a plant that will recover residuals of pulp making: chemicals and lignin. The investment is significant for two reasons. First, it provides environmental benefits by recycling chemicals, combusting by-products for energy and reducing air emissions.

Second, it is a significant investment in an industry that has not invested heavily in the Nordic countries since 2001. These kinds of investments are needed in all sectors and all parts of the world to improve the state of the environment and protect human health. Despite many positive examples during the last few decades, there is still plenty to achieve in environmental protection.

Although the investments of the Nordic forest industry have reduced in recent years, it is still reported to do much more than many other industrial sectors. Therefore it was a good empirical case for my study that examined how technological environmentally sounder innovations emerge and diffuse, and what are the mechanisms through which environmental policy influences these innovation processes. One

barrier to environmentally sounder technological and societal change is that, although factors promoting more environmentally sustainable change have been identified, we do not fully know how and in what contexts government-led actions can best promote environmental innovation.

Environmental innovation is a central concept of my thesis, and hearing the word “innovation” cannot be avoided in contemporary life. But what does it actually mean? Although innovation is a relatively old concept, dating back to early 20th century, it is somewhat obscure to most of us. An Austrian economist Joseph Schumpeter is claimed to be the first who used – or at least defined – innovation in the 1920s. He saw innovation as either producing a new commodity (product) to the public or producing at a smaller cost by changing the supply system. Innovation, however, was not just something new but something that cannot be affected by tiny or marginal changes. For example, Burt Perrin has said that innovation often involves quantum leaps.

After Schumpeter, the word innovation has been used in several different ways. In scientific literature it has been used to refer to new technologies, products, organisational reforms and creative processes. In everyday media, innovation has been used even more broadly. In this doctoral dissertation I use innovation in referring to an invention for a new product or a production process that has been taken into use, in other words commercialized. Following from that, the definition of environmental innovation in this context is a new product or a production process that has clearly reduced negative environmental impacts or improved efficiency compared to existing alternatives.

The reduced environmental impacts can be among the key intentions of the new product or process or merely appear as its important side-effects. In the forest industry, an environmental innovation can be a more efficient way of utilizing the by-products of pulp making for energy that simultaneously reduces sulphur and carbon dioxide emissions. ENDS, Europe’s Environmental News Service reported on Wednesday 21st May that the reduction of sulphur emissions ben-

efits both nature and human health. Alternatively, an environmental innovation can, for example, be a new packaging or paper product that needs less wood fibre to be produced. The need to improve resource-efficiency was also reported by ENDS the same day.

My thesis shows that there is a range of environmental innovations in the Nordic pulp and paper industry. They include, for example end-of-pipe technologies, installed to filter out harmful air emissions or water discharges, process improvements reducing the use of wood, water and energy and, new resource-efficient and recyclable products. This implies that environmental innovation is a complex notion, because it means many different things even in the context of one industrial sector. Nevertheless, the concept is significant for researching more environmentally sustainable change.

Studies on environmental innovation are increasingly becoming a part of more general innovation research and technology studies. In addition to contributing to our knowledge on creating solutions to environmental problems, studies on environmental innovation also reveal more general findings on the mechanics surrounding innovation processes and technological change. They should, therefore, be accepted as an important part of this research field.

Besides the innovation research field, there are other disciplines that could better take into account research on environmental innovations. Many have studied the links between environmental policies and innovations but usually at a distance from more general policy analysis and evaluation. By showing the variety of effects that environmental policies have on innovation, both intentionally and unintentionally, directly and indirectly, my research points out that innovation and the effects of policies on innovation should be better incorporated into policy studies. Combining studies on firms and organisations with policy studies can also generate important insights. These are, for example, how firms follow up policy and how policy demands are, or are not, translated into technology and product development projects.

The findings of the thesis showed the environmental policy can influence innovation in six different ways. Innovations can emerge and diffuse following policy implementation (responsive effect). Often innovations are, however, actually generated in anticipation of forthcoming policy (anticipatory effect). In addition, policies and innovations can develop simultaneously where the on-going development processes influence each other (two-way effect). Policies can also influence indirectly, for example through markets and customers (indirect effect), or they may actually have negative effects by hindering the testing and diffusion of innovations (negative effect). The sixth category is no effect, which refers to cases where motivation for innovation stems from other factors alone.

The empirical cases from the forest industry show that the effect of a policy is partly dependent on how the policy is designed. However, other factors, such as the market context and organisational processes, may be equally important in determining how a policy actually effects innovation. In some cases markets or other policies (e.g. energy policies) pose similar needs for new environmental solutions as a particular environmental policy. In these cases the influence of the particular policy is stronger than in other cases, where, for example, different policies pose requirements whose realisation appears contradictory or risky to companies. This tends to influence many actors and organisations in the field.

When focusing on a particular company or organisation and its actions for generating innovations, the internal and external networks of the organisation matter. My study showed that even companies that appear similar have organisational processes that differ. In some companies, where the interaction between the environmental department and the product development units is stronger, the developments in public policy have a greater likelihood to reach the awareness of the product developers. Information transfer mechanisms within and between organisations are important for the diffusion of policy signals. Policymakers should be aware of and acknowledge this when planning and re-designing policies.

When focusing only on the nature of policy, my findings point out that ideally environmental policy that best promotes innovation has three central characteristics. This supports the findings of some scholars that have previously worked on the links between policies and innovations. The first element is the foreseeability of policy. Many innovation cases show that where companies can anticipate future policy, they can react in advance and develop innovative solutions meeting or exceeding the forthcoming policy demands. They may also actively influence policy development. The second element is flexibility. Where policies are open to multiple different technological solutions, innovative solutions are more often developed. A requirement to use a particular technology, would not allow any other, potentially more efficient solutions, to gain ground. The third element is gradually developing or tightening policies. In addition to a particular new technology, innovation also refers to action where new things are dynamically developed. To promote dynamic innovation in environmental protection, policies need to develop continuously or in certain intervals.

Fulfilling all these elements is by no means easy. It is challenging, although possible, to develop policies that are both foreseeable and flexible. Policies that set, for example, goals and targets for emission levels or energy consumption are certainly capable of being both, compared to policies that narrowly define certain technologies or processes to be used.

Finnish policies for the reduction of air and water emissions have had positive effects on the development and commercialisation of new technologies, reducing these emissions in the 1980s and 1990s. They were foreseeable and flexible policies

However, many current developments in EU policy portray traits opposite to the ideal innovation-supporting environmental policy.

Clear policy demands for mitigating climate change have been made by both national and EU authorities. For example, the EU biofuels directive sets gradually tightening mandatory shares of consumption for

biofuels in transport. Following the directive the commercialisation of some second-generation biofuel inventions in the forest sector has finally began. Yet, the sustainability of many other biofuel forms is increasingly debated – shaking the ground for the already set policy frameworks. ENDS reported 13th May this year that some members of the European parliament are proposing big changes to the renewables plan. This is just one example. There is increasing uncertainty regarding future renewable energy policy, potentially hindering many innovations to emerge or diffuse. In the worst case, the debate on the sustainability of bioenergy ruins also the reputation of more sustainable forms of bioenergy innovation.

Another example is the aims to lower some environmental policy targets. ENDS reported 9th May that the EU member states aim to weaken waste targets. These issues – the lowering of policy targets and the uncertainty around energy policy – raise a need to analyse current policy developments from the point of view of innovation. The innovation viewpoint is important because many environmental challenges of today are so great that they cannot be tackled merely with existing solutions. In addition, environmental innovation provides a potentially important future avenue for the Nordic forest industry, and other business sectors, that need to find new innovative value chains to survive the future.

I request that you, honoured opponent, Professor Berkhout, present your comments as the opponent appointed by the Council for Academic Affairs of the Helsinki School of Economics, which you consider my dissertation to give cause for.

Emission scenario model for regional air pollution

17.10.2008

Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan laitos

Vastaväittäjät: Prof. Helen ApSimon, Prof. Jorma Jokiniemi



Minäkin sitten väittelin tohtoriksi. Tämä tapahtui aika lailla vahingossa. Tulin SYKEen töihin 2008 projektitutkijaksi, ja jossain vaiheessa aloin saada jotain tuloksiakin aikaiseksi. Näitä tuloksia sitten raportoitiin myös tieteellisiksi julkaisuiksi, ja jossain vaiheessa niitä alkoi olla aika nippu. Ja eikun julkaisemaan nippuväitös, mikäs siinä. Suuresti asiaan vaikutti Matti Johanssonin kannustus sekä SYKE:n työolosuhteiden mahdollistama rauhallinen paneutuminen yhteenveto-osan kirjoittamiseen. Turhan kauanhan se varmaan vei, mutta valmista tuli. Tämä mahdollisuus edistää jatko-opintoja töiden sivutuotteena on minusta SYKE:n parhaita puolia ja kilpailuvaltteja nuorten kykyjen täällä pitämiseen. Olen myöhemmin yrittänyt mahdollistaa vastaavat olosuhteet näille meidän tiimin nuorille toivoille.

Itse väitöspäivä oli elämäni parhaita. Edellisenä iltana olin tavannut vastaväittäjäni prof. Helen ApSimonin ja prof. Jorma Jokiniemen Dipolissa, oikein mukavia ja rentoja molemmat. Molemmat olivat myös entuudestaan puolittuja. Väitöstä edeltävänä yönä en tietty saanut paljoa nukkua, mutta se kait kuuluu asiaan. Ennen väitöstilaisuuden alkua prof. Fogelholm eli Calle tarjosi labran perinteen mukaisesti kevyen salaattiaamiaisen ja konjakin huoneessaan. Älyttömästi jännitti kyllä astella koneosaston väitössaliin, vähän myös meinasi huvitaa se kaikki asiaan kuulua pönötys. Itse väitös sujui hyvin, siinähan ihan rentoutui kun huomasi, että pystyy vastaamaan kysymyksiin täyspäisesti. Läpi meni ja vielä kiittäen!

Otaniemestä karonkkaan SYKEen. Oli hieno tunne, kun raskas taakka oli pudonnut harteilta ja tiimin poijjaat olivat järjestäneet kaiken valmiiksi. Itse ei tarvinnut tehdä muuta kuin nauttia. Ruoat ja juomat ja pöytäjärjestykset ja mitä vielä oli asiaan kuuluvasti hoidettu. Itse en koskaan

ollut ajatellut, että erikoisemmin nauttisin muodollisista tilaisuuksista, puheista ja muista puhumattakaan. Nyt tuo kaikki tuntui kuitenkin tosi hienolta. Puheista välittyi kollegoiden, työkavereitten ja läheisten ihmisten välittäminen, ihan minä siinä herkistyin. Karonkan jälkeen olenkin suhtautunut juhlapuheisiin paljon arvostavammin. Hieno päätös karonkaillalle oli koko nuoruus- ja aikuisikäni suuren idolin ja omaan pikkukaupunkiahdistukseeni aikoinaan vahvasti sanoituksillaan auttaneen Kauko Røyhkan soolokeikka, jonka vaimoni oli täysin minulta salassa Tervapääskyyn järjestänyt. Homma paljastui vasta kun vaimo kuulutti Kaukon estradille. Kauko jäi tunnin keikan jälkeen vielä pari tunniksi saunan oleskelutiloihin juttelemaan ja nautiskelemaan karonkan antimista, me muut vieraat jorasimme tietysti aamuyöhön Tohkan Antin DJ-pyörityksen tahtiin.



Vastaväittäjät Helen ApSimon ja Jorma Jokiniemi sekä Niko Karvosenoja väitöstilaisuudessa.

ABSTRACT

Air pollution emissions are produced in a wide variety of sources. They often result in detrimental impacts on both environments and human populations. To assess the emissions and impacts of air pollution, mathematical models have been developed. This study presents results from the application of an air pollution emission model, the Finnish Regional Emission Scenario (FRES) model, that covers the emissions of sulfur dioxide (SO₂), nitrogen oxides (NO_x), ammonia (NH₃), non-methane volatile organic compounds (NMVOCs) and primary particulate matter (TSP, PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁) in high 1 × 1 km² spatial resolution over the area of Finland. The aims of the study were to identify key emission sources in Finland at present and in the future, to assess the effects of climate policies on air pollution, and to estimate emission reduction potentials and costs. Uncertainties in emission estimates were analyzed. Finally, emission model characteristics for use in different air pollution impact applications were discussed.

The main emission sources in Finland are large industrial and energy production plants for SO₂ (64% of 76 Gg a⁻¹ total in the year 2000). Traffic vehicles are the main contributors for NO_x (58% of 206 Gg a⁻¹), NMVOCs (54% of 152 Gg a⁻¹) and primary PM_{2.5} (26% of 31 Gg a⁻¹) emissions. Agriculture is the key source for NH₃ (97% of 33 Gg a⁻¹). Other important sources are domestic wood combustion for primary PM_{2.5} (25%) and NMVOCs (12%), and fugitive dust emissions from traffic and other activities for primary PM₁₀ (30% of 46 Gg a⁻¹).

In the future, the emissions of traffic vehicle exhaust will decrease considerably, by 76% (NMVOCs), 74% (primary PM_{2.5}) and 60% (NO_x), from 2000 to 2020, because of tightening emission legislations. Rather smaller decrease is anticipated in the emissions of large combustion plants, depending on future primary energy choices. Sources that are not subject to tight emission standards, e.g. domestic combustion and traffic-induced fugitive dust (i.e. non-exhaust), pose a risk for increasing emissions.

The majority of measures to abate climate change, e.g. energy saving and non-combustion based energy production, lead to co-benefits as reduced air pollution emissions, especially of SO₂ (20% to 28% reduction). However, promotion of domestic wood combustion poses a risk for increase in PM_{2.5} and NMVOCs emissions. Further emission reductions with feasible control costs are possible mainly for PM_{2.5} in small energy production plants and domestic combustion sources. Highest emission uncertainties were estimated for primary PM emission factors of domestic wood combustion, traffic non-exhaust sources and small energy production plants.

The most important characteristics of emission models are correct location information of flue gas stacks of large plants for the assessment of acidification, and description of small polluters with high spatial resolution when assessing impacts on populations. Especially primary PM_{2.5} emissions originate to a considerable

degree from small low-altitude sources in urban areas, and therefore it is important to be able to assess the impacts that take place near the emission sources. Detailed descriptions of large plants and 1 × 1 km² spatial resolution for small emission sources applied in the FRES model enable its use in the assessment of various national environmental impacts and their reduction possibilities.

The main contribution of this work was the development of a unique modeling framework to assess emission scenarios of multiple air pollutants in high sectoral and spatial resolution in Finland. The developed FRES model provides support for Finnish air pollution policies and a tool to assess the co-benefits and trade-offs of climate change strategies on air pollution.

Tracking and identifying wastewater toxicants and assessing their biodegradation products

19.12.2008

Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos

Vastaväittäjä: Head of Laboratory, PhD Anne Kahru, Laboratory of Molecular Genetics, National Institute of Chemical Physics and Biophysics, Estonia

Aloitin SYKEN laboratoriossa korkeakouluharjoittelijana vuonna 1999 ja valmistuttuani jatkoin tutkijana erilaisissa ekotoksikologian alan hankkeissa projektityöntekijänä. Melko pian selvisi, että jatko-opiskelijan status olisi parasta tutkimusrahoituksen kannalta, mutta väitöskirja-aihe tarkentui vasta myöhemmin tutkimushankkeiden edetessä. Väitöskirjan kokeellinen tutkimustyö tehtiin pääasiassa Hakuninmaalla laboratoriossa vuosina 2000–2005. Tämän jälkeen siirryin pätkätyötä tekevästä tutkijasta vakituiseen työsuhteeseen konsultiksi ja tutkimustyö ja väitöskirja-ajatukset siirtyivät taka-alalle.

Esimiehen rohkaisemana päädyin kuitenkin jatkamaan jatko-opintoja ja kirjallista työtä väitöskirjan eteen – nyt vain vapaa-ajallani iltaisin, öisin ja viikonloppuisin. Väitöskirjan yhteenvedon kirjoittamista varten sain yliopistolta apurahan ja silloin istuin yhden kesän päivät ja illat Hakuninmaalla tietokonetta naputtamassa. Vaikka deadline painoi päälle, oli mukavaa olla taas Hakuninmaalla tutussa ympäristössä entisten kollegojen kanssa. Syksyyn mennessä yhteenveto oli valmis ja paluu töihin oli edessä. Väitösjärjestelyihin ja muuhun viimeistelyyn ajattelin ottaa hieman ylimääräistä vapaata syksyn aikana. Kävi kuitenkin niin, että juuri kun olisi pitänyt oikolu-

kea väitöskirjatekstejä ja hioa viimeistä pilkun paikkaa, oli siihenastisen konsulttiurani vaativin työviikko, sillä olin mukana SYKEN kansainvälisen arvioinnin tukitehtävissä. Työtehtävä oli tietysti erittäin mielenkiintoinen, mutta haaveet ylimääräisistä vapaapäivistä väitöskirjan viimeistelyyn saivat jäädä.

Väitöstilaisuus pidettiin Helsingin yliopistossa joulun- ja työkiireiden keskellä muutama päivä ennen jouluaattoa vuonna 2008. Väitöspaikka oli maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan kampuksella Viikissä ja vastaväittäjänäni laboratorion päällikkö, tohtori Anne Kahru Virosta ja kustoksenani professori Per Saris. Väitöstilaisuus eteni normaaliin tapaan tiukkoine kysymyksineen, mutta varsinainen yllätys tuli siinä vaiheessa kun oli tarkoitus ryhtyä tarkastelemaan yksityiskohtaisemmin artikkeliväitöskirjani artikkeleita. Vastaväittäjä ilmoitti, että turha hänen on niistä sen enempää kysellä, sillä tieteellisten julkaisujen referee-käytäntö on sitä varten, joten eiköhän tämä nyt ole tässä. Hölmistyneenä katsahdin kelloon ja helpotuksen huokauksen sijasta mieleeni nousi vain ahdistava ajatus: Kahvi- ja kakkutarjoilu on tilattu vasta vartin päähän – emmehän me vielä voi lopettaa! Mutta niin vain lopetimme ja kahvitkin olivat etuajassa valmiina.

ABSTRACT

Huge amounts of wastewaters of varying composition are treated and discharged annually from wastewater treatment plants. In Finland approximately 500 million cubic meters per year are discharged from municipal wastewater treatment plants alone. Wastewater treatment plants use chemical, physical and biological unit operations and processes in removing solids, nutrients, and harmful compounds from the wastewater prior to discharging. However, treated wastewaters discharged into the receiving waterway still include a wide variety of potentially harmful substances despite the extensive treatment processes.

Effluent discharges are controlled by monitoring and setting consent conditions based on chemical and physical parameters. In addition, legislation and/or uniform guidelines on discharge limits based on biological parameters have been implemented in some countries (e.g. in the USA and Germany). Effect directed analysis, meaning the combination of physicochemical fractionation methods and biological tests to reveal the biologically active components, has been developed especially in the USA to track harmful components from discharges. In Finland, however, biological methods have not been used routinely in establishing effluent discharge limits.

Ecotoxicological tests are biological methods used to assess the effects on, for example, growth, reproduction and behaviour of organisms. Traditionally ecotoxicological effect studies have relied on whole organisms, e.g. fish, and have therefore required quite long test durations and large test volumes. Today, however, the trend has been towards economically and ethically more viable test methods. Thus, increasing interest has been paid on the development, validation and use of small-scale test methods, which are rapid, need small test volumes and can be automated at least partially. In this study the focus was on applying several small-scale methods for assessing wastewater effluents and to elaborate effect directed assessment methods. This was done to provide tools for evaluating wastewater effluents or other complex aquatic samples with biological methods, and for characterising and identifying their toxicity causing compounds and structures.

Screening of municipal and industrial wastewater effluents confirmed that Finnish wastewater treatment plants are efficient in removing components that might cause acute effects in whole organisms. However, indications of estrogenic and genotoxic potential were detected. It also showed that accidental releases are potent in discharging biologically harmful com-

pounds. In the later steps of this study, toxicity causing components were tracked from effluents originating from a pulp and paper mill. Lignin was identified as the main toxicant, when using an *in vitro* screening method based on reverse electron transport (RET) of mitochondrial membranes.

Chemical structures that could explain the toxicity of lignin were characterized by combining chemical, biological and statistical methods. Also impacts of biodegradation on the toxicity of organic compounds appearing in wastewater effluents (lignin and nonyl-phenol ethoxylates), was studied. It was shown that combining biological effect assessment directly with biodegradation tests is possible when sensitive small-scale bioassays are used. Effect directed assessment methods as used for effluents could be used also in biodegradation studies.

Finally, a tiered approach combining chemical, biological and statistical methods is proposed for evaluating biologically active organic compounds appearing in wastewater effluents.



Who holds the reins in integrated product policy? An individual company as a target of regulation and as a policy maker

23.1.2009

Helsingin kauppakorkeakoulu, Johtamisen laitos

Vastaväittäjä: Prof. Andy Gouldson, Director of the ESRC Centre for Climate Change Economics & Policy, University of Leeds, UK, Iso-Britannia

Tiedättehän tyypin, joka kaksikymppisen itseluottamuksella ilmoittaa valmistelevänsä väitöskirjaa, vaikka maisteritutkintokaan ei ole vielä paketissa? Nyt ollaan jättäjäisten jalanjäljillä: vaikeutena on ainoastaan omille kyvyille riittävän merkittävään aiheeseen löytäminen. No, koska maailma hukkuu hätään ja paskaan ja me sen mukana, niin ympäristöönhän sen olisi hyvä liittyä. Tulisi sitten samalla pelastettua planeetta maa!

Tällaisellekin henkilölle kokeneisiin ohjaajiin ja riittävän tarkasti rajattuun projektiin kytkeytyminen voi avata mahdollisuuden mielekkään tutkimuksen tekemiseen. Voi olla, että hieman alkuperäisistä tavoitteista on tingittävä ja etsiädyttävä esimerkiksi politiikkaevaluoinnin pariin, vaikka eräs kyseisen oppialan johtavista osajista onkin luonnehtinut evaluointia perusidealtaan "nolostuttavan yksinkertaiseksi". Vuosien ponnistelun ja kaitsemisen jälkeen syntyy lopulta riittävän rajattu ja joiltakin osin jopa omaääninen kooste, jotta sitä väitöskirjaksi voi kutsua.

Lopulta työ on tehty ja on aika palkita itsensä. Sen voi tehdä esimerkiksi lähtemällä hiihtämään alamäkiä Skandeille toukokuun auringon paistaessa. Vielähän voisi laskea Brantenin ohella vaikkapa Gangnesakslan. Tiedättehän tyypin joka kuvittelee olevansa 40-vuotiaana kaksikymppinen.

Iän tuomaa viisautta odotellessa, onnitellen, Petrus.

LECTIO PRAECURSORIA

Honored chairperson, Honored opponent,
Ladies and Gentlemen

Last week, a son of a well-known political scientist and a socially active statesman declared: "State is the master of the house, who creates the rules for the markets. The markets have to be regulated in a smart way in order to avoid the excesses we have experienced recently". These words by the prime minister Matti Vanhanen go far to crystallise the theme of my thesis.

However, although Mr. Vanhanen described this as an answer to the ongoing financial crisis, it can be seen as a part of a more long-term development. The famous Italian political scientist Giandomenico Majone has described this as a transformation from the commanding state towards a regulatory state. This means that the rule making is the main instrument of the state. This is the case especially at the EU level, where financial resources to be distributed are rather limited compared to national states.

As a clear consequence, the rule making is also the main area of political conflict. What is less evident and much less discussed, is the role of market actors - or companies - in these conflicts. Although in public debates it is often claimed that multinational enterprises govern our world, studies on the interaction

between large companies and the government are far from common.

Nokia has been celebrated for its advanced technologies, logistics, profits, design and environmental management, but how has this individual company tried to influence the environmental policy making? This is the main question I intend to discuss today. In my thesis Nokia is used as an example of a successful multinational company - a desired collaborator for the Commission struggling with economic problems. However, the Commission is also struggling with two organisational problems: it is highly understaffed and since the end of the 1980s it has been under increasing lobbying. Due to this lobbying overload, the Commission is increasingly favouring certain groups and companies over others.

The present study highlights how the political activity evolved at Nokia from the end of the 1990s to date. Nokia decided to break partly away from the industry's traditional cooperation within policymaking and adopt a more proactive and collaborative approach. Instead of challenging and attacking approaches, it has adopted more constructive strategies. In some cases it has encouraged the environmental initiatives by the Commission, sometimes even suggesting more ambitious approaches towards environmental protection. This activity has enhanced the trust in Nokia within the Commission and can be expected to bring further positive lobbying results for Nokia in the future.

Although the case studies do not fully reveal how the interaction and negotiations between Nokia and the Commission proceeded, it seems evident that the interaction was not just the aggressive lobbying suggested by the popular media.

This lobbying style can be characterised as elite pluralism. From the point of view of democracy, it highlights the questions of access and transparency. For political institutions, the possibility to limit access is one of the key instruments for political control. On the other hand, the actors who collaborate with the Commission may have significant influence.

To analyse these interactions between the Commission, Nokia and other major actors in the field, I use analytical resources from several disciplines. Most importantly, I combine perspectives from institutional theory and resource dependency theory to insights from political science. All these perspectives highlight interdependency of the political institutions and even the most resourceful multinational companies. In all, these governing interactions also shape the organisations that relate to each other within them.

The context in which these questions are studied is a shift from end-of-pipe and process-oriented environmental policies to product-oriented environmental policy. It is a radical, ongoing widening of the focus of environmental policy and management. The key principle behind product-oriented environmental

policy is that products are increasingly viewed from a life cycle perspective: environmental burdens are considered from raw materials extraction to disposal of products. Thus, products may offer a leverage point to achieve environmental improvements at multiple stages in the production chain.

Environmental product policies can be considered as a step in the direction of preventive environmental policy. Its aim is to encourage the companies to take the environmental issues into consideration already when products are developed and designed. As a policy idea this transition emerged in the 1990s. It has remarkably evolved during the past decade. The product approach is in many ways well grounded and easy to accept in principle. However, its implementation in practice is much more difficult.

One of the characteristics of product-oriented environmental policy is the central role of companies and other stakeholders as policy makers. Companies are not solely seen as passive objects of public policy, but as active actors in target setting, formulation, implementation and monitoring. This opens more opportunities for corporate political activity at multiple levels.

As I said, this policy area has emerged only recently and we do have only limited evidence on the outcomes of the policy instruments adopted. The second question I address in my thesis is: How can these, recently introduced policy instruments be evaluated?

I conclude that so called intervention theory can be a very helpful tool when conducting early evaluations. By using intervention theories, it is possible to identify observable conditions that precede intended, but not yet occurred, outcomes.

Finally, the third aim of this thesis is to investigate the effects of rules created in the fields of waste policy and product-oriented environmental policy. What kinds of effects do these instruments have on companies? The results highlight for example the limited effectiveness of waste policy instruments and the weak connection between environmental management systems and product development.

To sum up, the results of my thesis demonstrate how companies are both targets of regulation, and important policymakers that aim to shape the content of the regulation that governs them.

I started by quoting prime minister Vanhanen. Another famous statesman, Otto von Bismarck said that “Those who love laws and sausages should not watch either being made”. Well, I won’t try to deny his statement on sausages.

Benthic macroinvertebrate and bryophyte assemblages in boreal springs: diversity, spatial patterns and conservation

16.4.2009

Oulun yliopisto, Biologian laitos

Vastaväittäjä: Dr. Leonard Sandin, Department of Aquatic Sciences and Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala

ABSTRACT

In this thesis, I studied the patterns in the assemblage composition as well as the biogeography and ecology of spring macroinvertebrates and bryophytes in Finland. My main objectives were to assess the importance of environmental variables to macroinvertebrate and bryophyte assemblage composition in springs at the level of multiple spatial scales. In addition, I assessed the importance of springs in the boreal mire landscape, and sought the ecological and environmental determinants of a key species in boreal springs. In a large-scale study, I also examined the concordance between macroinvertebrates and bryophytes across boreal ecoregions, and assessed how macroinvertebrate assemblage variation corresponds to terrestrially-based ecoregions.

Locally, spring macroinvertebrate assemblage structure displays high variation between different kinds of mesohabitats within springs, highlighting the importance of careful sampling of all habitat types in spring surveys. Helocrenes and other aquatic-terrestrial ecotone habitats harbour the highest species diversity and most spring-dependent species among spring habitat types. Further, spring-influenced mire patches were shown to have distinct crane-fly assemblages in the mire landscape and to harbour higher crane-fly

diversity than mire types with lower trophic status, emphasising the importance of springs for mire biodiversity. Regionally, a red-listed spring-dependent caddisfly species appeared to be a surrogate for a high spring conservation value, indicating high overall species diversity and the occurrence of additional red-listed species.

On a large geographical scale, intersecting the boreal ecoregions, a pattern of gradual change of benthic macroinvertebrate assemblage composition from south to north was detected, largely corresponding to terrestrially-derived ecoregions. However, the physical attributes of springs also need to be taken into account in bioassessment studies. Macroinvertebrate assemblage variation also correlated with physical habitat-scale variables, but not with changes in water chemistry. In contrast, spring bryophyte assemblages showed a distinct response to variation in water chemistry, but not to variation in physical habitat characteristics. Bryophytes and insect assemblages were concordant with each other on the large geographical scale, although the concordance was rather weak. Because of their different kind of responses to the physical and chemical variables, insects and bryophytes of springs are poor surrogates for each other in boreal springs.

Sustainable development indicators: Much wanted, less used?

15.5.2009

Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Yvonne Rydin, University College London, UK



Väitösprosessi oli kohdallani pitkä ja vasta ihan loppumetreillä ymmärsin, mitä minun oikeasti piti tehdä. Itse aihe, kestävään kehityksen indikaattorit ja niiden käyttö, oli kyllä melkoisen kirkas alusta asti. Osasyyn projektin venymiseen oli päätös tehdä nippuväitöskirja, jolloin ensimmäiset vuodet kuluivat artikkeleiden kirjoittamiseen ja muiden hyväksymisen jännittämiseen. Tähän vaikutti myös professorini, joka ensi tapaamisella kehotti hankkimaan ensin viisi hyväksyttyä artikkelia ja palaamaan vasta sitten asiaan uudemmin kerran. Vauhtiin vaikutti myös kahden lapsen syntymä ja lyhyet työrupseamat SYKEN ulkopuolella. Väitöksen loppumetrit olivat paikoin dramaattisiakin kellotuksia tarkastajien kommenttien saamisen ja vauvan lasketun ajan välillä.

Väitöskirjasta tuli mielestäni hyvää ja olen siitä edelleen ylpeä. Sisältöön vaikuttivat suuresti sekä ohjaajani Mikael Hildén ja Peter Hardi, läheiset kollegani Per Mickwitz ja Jari Lyytimäki että esitarkastajani Janne Hukkinen ja Jarmo Vehmas. Kiitos myös pääjohtaja Lea Kaupille rahoituksen järjestymisestä, jotta pystyin keskittymään

pelkästään yhteenvedon kirjoittamiseen muutamana kuu-kauden ajan. Myös lektio sujui hyvin: ohjaajani antoi muutamana erittäin hyvän vinkin sisältööni ja veljeni oli koonnut lektiotani kuvittamaan osuvia valokuvia ja läheinen kollega hoiti stressin kuvien vaihtumisesta. Tämä auttoi merkittävästi ja pystyin nauttimaan kaikista väitöksen osista. Vastaväittäjäni Yvonne Rydin oli loistava ja vaikka jotkin kysymykset olivat vaikeita, selvisin käsittääkseni tilanteesta kunnialla. Yksityiskoh- tana muistan että tilaisuudessa oli kaksi ”ylimääräistä opponoijaa”, joista toinen oli aikalailla elämää nähnyt ”kadunmies”, joka kysyi terävän kysymyksen poliitikkojen tiedon käytöstä. Kustos Pekka Kauppi hoiti yllättävät puheenvuoropyynnöt hyvin.

Siirryin toiselle työnantajalle jo väitösprosessin loppu- vaiheessa, mutta olen jatkanut samojen teemojen eteenpäin viemistä ja hyödyntänyt väitöskirjani havaintoja uudes- sakin työpaikassa. Indikaattoreiden tai tiedon käytössä on edelleen parantamisen varaa ja paljon on tehtävissä kehittäjäpuolen toimesta.

LECTIO PRAECURSORIA

Mr Custos, Madam Opponent, ladies and gentlemen
Although the past cannot be changed, the future is ours to make. However, we must learn from the past to be able to make a better future. To do that, one way is to use facts and measured evidence.

Modern policies are increasingly based on evidence. There is however, much room for improvement. In addition, we have encountered a problem called “information overload”. Some have characterized it as “a sea of information but a desert of knowledge”.

Indicators are hoped to provide a solution to the information overload by condensing information into a user-friendly format. Indicators are expected to gather and synthesize information from various sources, to increase public awareness about problems in the society, and to provide decision-makers with adequate, reliable and timely information. Unfortunately, instead of helping the situation, indicators have actually raised more discussion and confusion by raising debate on how to define them and what they should be.

There are many views of indicators, as my colleague Jussi Simpura has illustrated in his satire: “An indicator is a magic word to those that want to make collection of information easier; it is a fashion word where many people know to demand indicators; it is a codeword to those that need more funding for their research; it is a password that distinguishes real experts from amateurs; it is a swearword for those that consider

indicators as statistics among statistics and think that the indicator-boom hinders sensible use of statistics; finally it is a word of work as the development and use requires a lot of work from everybody”.

Despite the dislike among some people, indicators are currently used widely for many purposes from monitoring economic outputs to measuring lake water quality. Single indicators often fail to provide a comprehensive picture and therefore usually several indicators are needed. Communication of a larger set of indicators needs an evaluative framework.

My thesis is concerned with indicator sets that use sustainable development as the evaluative framework. Sustainable development is another concept that is difficult to define. The most common definition comes from the Bruntland Commission that says “Humanity has the ability to make development sustainable – to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their needs”. In other words: “Leaving something for your kids”.

The OECD defines sustainable development indicators “as statistics that are needed to illustrate to policy-makers and the public the linkages between economic, environmental and social values; to evaluate the longer term implications of current decisions and behaviors; and to monitor progress towards sustainable development goals”.

United Nations was the first one to publish an internationally acknowledged set of sustainable development indicators in 1996. However, although prepared through an arduous process, the set has not been adapted into wide use; instead numerous other sets have emerged since then. Some call it an indicator industry.

The Finnish set of sustainable development indicators was published in the year 2000. The indicators were aimed at the decision-makers. However, as I was one of the main researchers to develop the indicators, I soon became curious why parliamentarians were not lining up at my door asking for updates?

Hence the main research problem of my thesis is why haven't the sustainable development indicators been used as expected? For too long practitioners have concentrated on the selection and publishing of the indicators, but few have stopped to think whether and how they are used.

To tackle the problem, I have analysed two indicator projects. One is the national sustainable development indicators that I mentioned already and the other the eco-efficiency indicators developed for the Kymenlaakso Region. The latter project was called ECOREG and it took place after the initial national indicators had been published. I was part of the team that developed socio-cultural indicators for the set and could therefore compare the two processes to assess the differences. The comparison showed that the ECOREG-indicators have been used more.

In addition, I interviewed 38 people that I expected to have either used the indicators or would know how policy-makers have used them. I also analyzed the user statistics of the national indicator website to see who has used them and which indicators were most popular. And I googled who has cited the national indicator publication as well as recorded which indicators interested the media who wrote about both projects.

Before going into the results, I want to take a brief look at the users and types of use of information. First, people and especially politicians, seldom base a decision exclusively on data. Instead, their intake of information is affected by their ideology, prior information and interests. Users also have different abilities to collect, read and understand information. Furthermore, it is important to recognize that information can be used in many ways and direct use, called also instrumental use, is not the most common use although that is what we usually expect. More likely uses are to slowly assimilate or learn (conceptual use) and use for one's own purposes to assure or persuade others (legitimizing use). In order to use information properly, it is important that the first step is conceptual and only then can the indicators be used to persuade others or to base decisions on.

The results show that there are five main reasons that discourage the use of indicators.

First, many indicators are irrelevant to the policy needs. Sustainable development is a horizontal and widely encompassing policy that breaks traditional sector boundaries of the government. There is certainly debate about its definition which also causes uncertainty on what to measure. Policy relevance also relates to timing of the indicator set: Is it available when needed and does it match the current political agenda?

Second, there are several technical shortcomings in the context and presentation. Why is the development of the indicators and collection of data so given so much more efforts than their presentation? We let Microsoft design our graphs and forget to think what is the most logical way of presenting the data instead of considering what the users are able to grasp. In the era of the Internet, paperback publications are not the optimal solution to present large sets of indicators simply because they can not be updated often.

Third, practitioners tend to forget the users when developing indicators. Processes are considered participatory if they engage many experts and specialists. But they don't necessarily know what the users want. Furthermore, the inclusion of users also legitimise the indicators in the eyes of the users and the process serves as pre-marketing. The ECOREG-project involved the stakeholders and intended users in the steering group which certainly explains why the indicators are still in active use in the regional decision-making.

The fourth limit is poor dissemination. This does not only apply to indicators, many researchers and civil-servants think that as long the product is available it is also accessible and that one press release is enough to catch the crowd's attention. The users must be aware and reminded constantly of the indicators, especially if they are regularly updated and intended for continuous use.

The fifth and last reason is the lack of institutionalisation to promote and update the indicators. Indicators

hold a promise of easily up-dated concise information. Why are there then so many sets of indicators that are not up-dated? Often indicators are developed but their updates and further development is not agreed upon. Institutionalisation does not mean that the work and expertise is on the shoulders of one person only. People change jobs and take leaves and hence formulation of institutional memory is important.

Besides the numerous factors that hinder the use of indicators, an important lesson is that we must broaden our understanding of the use of information. According to the results, the most likely use for a sustainable development indicator set by policy-makers is to learn about the concept. Very little evidence of direct use of indicators to make decisions was found. Conceptual use is also common for other user groups, namely the media, civil servants, researchers, students and teachers. Decision-makers themselves consider the most obvious use for the indicators to be the promotion of their own views which is a form of legitimising use.

To summarise, I will use the policy cycle to highlight how the different steps of the policy cycle involve different types of indicator use and hence different qualities become more important than others.

Legitimising use takes place in the beginning of the policy cycle when scientists are persuading the public and the policy-makers about a new problem and in a later stage when new policies to tackle the problem are formed. The indicators must match the user needs and interests, be attractively presented with clear messages and well-drawn graphs, data behind the indicators should be available, although quality of the data is not so important, the data must be timely and here larger sets are appreciated.

Conceptual use takes place by those who are persuaded to take up the new problem: The indicators for this use should be attractively presented with clear messages and well-drawn graphs. Ample content with comparisons, forecasts and many indicators are likely increase appeal and likelihood of learning.

Instrumental use is most common in policy formulation, implementation and evaluation. Then it is important that the indicators are of high political relevance, users have participated in their development, the indicators are timely and well-timed, and they are readily accessible. Furthermore they must match the user's ideology and interest and contain data. Decision-making also requires interpretations and regular updates.

The results of my thesis can be applied to all kinds of efforts to turn information into knowledge for decision-making. Without policy relevant, comprehensible, legitimised, accessible and up-dated data, i.e. evidence that can be used by everyone interested in public debates, the decision-makers will continue in their old way. By taking these issues into serious consideration, we can improve our societies in a much more solid basis than political intuition. Indicators can become tools for social learning and thereby contribute to the creation of oases in the knowledge desert.

However, having said that, I must advocate for some intuition as well. The Prince of Wales said recently that if we always wait for the evidence, the world will be destroyed by the time we have it. Therefore there is a strong case, nevertheless, for an idealistic framework such as sustainable development.

Madam Opponent, I now call upon you to present your critical comments on my dissertation.

Fluorescence properties of Baltic Sea phytoplankton

12.6.2009

Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Dr. Hugh MacIntyre, University of South Alabama, Dauphin Island, Alabama USA

ABSTRACT

To obtain data on phytoplankton dynamics (abundance, taxonomy, productivity, and physiology) with improved spatial and temporal resolution, and at reduced cost, traditional phytoplankton monitoring methods have been supplemented with optical approaches. Fluorescence detection of living phytoplankton is very sensitive and not disturbed much by the other optically active components. Fluorescence results are easy to generate, but interpretation of measurements is not straightforward as phytoplankton fluorescence is determined by light absorption, light reabsorption, and quantum yield of fluorescence - all of which are affected by the physiological state of the cells. In this thesis, I have explored various fluorescence-based techniques for detection of phytoplankton abundance, taxonomy and physiology in the Baltic Sea.

In algal cultures used in this thesis, the availability of nitrogen and light conditions caused changes in pigmentation, and consequently in light absorption and fluorescence properties of cells. The variation of absorption and fluorescence properties of natural phytoplankton populations in the Baltic Sea was more complex. Physical environmental factors (e.g. mixing depth, irradiance and temperature) and related seasonal succession in the phytoplankton community explained a large part of the seasonal variability in the magnitude and shape of Chlorophyll *a* (Chl*a*)-specific absorption. Subsequent variations in the variables affecting fluorescence were large; 2.4-fold for light reabsorption at the red Chl*a* peak and 7-fold for the spectrally averaged Chl*a*-specific absorption coefficient for Photosystem II. In the studies included in this thesis, Chl*a*-specific fluorescence varied 2-10 fold. This

variability in Chl*a*-specific fluorescence was related to the abundance of cyanobacteria, the size structure of the phytoplankton community, and absorption characteristics of phytoplankton.

Cyanobacteria show very low Chl*a*-specific fluorescence. In the presence of eukaryotic species, Chl*a* fluorescence describes poorly cyanobacteria. During cyanobacterial bloom in the Baltic Sea, phycocyanin fluorescence explained large part of the variability in Chl*a* concentrations. Thus, both Chl*a* and phycocyanin fluorescence were required to predict Chl*a* concentration.

Phycobilins are major light harvesting pigments for cyanobacteria. In the open Baltic Sea, small picoplanktonic cyanobacteria were the main source of phycoerythrin fluorescence and absorption signal. Large filamentous cyanobacteria, forming harmful blooms, were the main source of the phycocyanin fluorescence signal and typically their biomass and phycocyanin fluorescence were linearly related. It was shown that for reliable phycocyanin detection, instrument wavebands must match the actual phycocyanin fluorescence peak well. In order to initiate an operational ship-of-opportunity monitoring of cyanobacterial blooms in the Baltic Sea, the distribution of filamentous cyanobacteria was followed in 2005 using phycocyanin fluorescence.

Various taxonomic phytoplankton pigment groups can be separated by spectral fluorescence. I compared multivariate calibration methods for the retrieval of phytoplankton biomass in different taxonomic groups. During a mesocosm experiment, a partial least squares

regression method gave the closest predictions for all taxonomic groups, and the accuracy was adequate for phytoplankton bloom detection. This method was noted applicable especially in the cases when not all of the optically active compounds are known.

Variable fluorescence has been proposed as a tool to study the physiological state of phytoplankton. My results from the Baltic Sea emphasize that variable fluorescence alone cannot be used to detect nutrient limitation of phytoplankton. However, when combined with experiments with active nutrient manipulation, and other nutrient limitation indices, variable fluorescence provided valuable information on the physiological responses of the phytoplankton community. This thesis found a severe limitation of a commercial fast repetition rate fluorometer, which couldn't detect the variable fluorescence of phycoerythrin-lacking cyanobacteria. For these species, the Photosystem II absorption of blue light is very low, and fluorometer excitation light did not saturate Photosystem II during a measurement.

This thesis encourages the use of various *in vivo* fluorescence methods for the detection of bulk phytoplankton biomass, biomass of cyanobacteria, chemotaxonomy of phytoplankton community, and phytoplankton physiology. Fluorescence methods can support traditional phytoplankton monitoring by providing continuous measurements of phytoplankton, and thereby strengthen the understanding of the links between biological, chemical and physical processes in aquatic ecosystems.



Predictive models in assessment of macroinvertebrates in boreal rivers

3.7.2009

Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Prof. Richard K. Johnson, Department of Aquatic Sciences and Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala

ABSTRACT

Biological assessments are widely required to evaluate and improve the condition of freshwater ecosystems that are significantly degraded. The need to assess biological condition across large geographical scales imposes a particular demand for consistent methods. My aims in this thesis were (1) to compare two alternative and widely applied approaches for assessment of river macroinvertebrate communities; simple *a priori* typology and multivariate RIVPACS-type modelling. Specifically, I examined (2) the influence of spatial scale on the performance of the approaches. I also compared (3) concordance of macroinvertebrate and macrophyte assessments, and (4) examined whether conventional site quality classifications based on macroinvertebrates could support preservation of threatened macroinvertebrate species (TS). The compared approaches are both based on the reference condition philosophy and measure biotic assemblage condition by observed-to-expected ratio of taxa (O/E). The RIVPACS-type modelling was generally more precise and more sensitive to anthropogenic impairment

than the typology approach. However, the relative superiority of the two approaches was scale-dependent, with the performance of the typology approach increasing with decreasing spatial extent. Assessments of macroinvertebrate and macrophyte communities showed relatively high concordance, although the macrophyte model was strongly inferior to the invertebrate model. Number and abundance of TS showed a significant positive correlation with O/E. The TS were concentrated in sites classified as 'high' biotic quality, with few occurrences in 'good' status. The results suggest that large-scale freshwater bioassessments should use modelling approaches that account for continuous variation of biota and environment along multiple gradients. Simple typologies are likely to be usable only at regional scales and with simple environmental gradients. Biological quality classifications should be established with care to ensure that they agree with the ultimate environmental objectives (e.g. safeguarding TS).

Optical studies of the Antarctic glacio-oceanics system

27.11.2009

Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos

Vastaväittäjä: Carl Bøggild, The University Center in Svalbard

ABSTRACT

The Antarctic system comprises of the continent itself, Antarctica, and the ocean surrounding it, the Southern Ocean. The system has an important part in the global climate due to its size, its high latitude location and the negative radiation balance of its large ice sheets. Antarctica has also been in focus for several decades due to increased ultraviolet (UV) levels caused by stratospheric ozone depletion, and the disintegration of its ice shelves. In this study, measurements were made during three Austral summers to study the optical properties of the Antarctic system and to produce radiation information for additional modeling studies. These are related to specific phenomena found in the system.

During the summer of 1997-1998, measurements of beam absorption and beam attenuation coefficients, and downwelling and upwelling irradiance were made in the Southern Ocean along a S-N transect at 6°E. The attenuation of photosynthetically active radiation (PAR) was calculated and used together with hydrographic measurements to judge whether the phytoplankton in the investigated areas of the Southern Ocean are light limited. By using the Kirk formula the diffuse attenuation coefficient was linked to the absorption and scattering coefficients. The diffuse attenuation coefficients (K_{PAR}) for PAR were found to vary between 0.03 and 0.09 m^{-1} . Using the values for K_{PAR} and the definition of the Sverdrup critical depth, the studied Southern Ocean plankton systems were found not to be light limited.

Variabilities in the spectral and total albedo of snow were studied in the Queen Maud Land region of Antarctica during the summers of 1999-2000 and 2000-2001. The measurement areas were the vicinity of the South African Antarctic research station SANAE 4, and a traverse near the Finnish Antarctic research station Aboa. The midday mean total albedos for snow were between 0.83, for clear skies, and 0.86, for overcast skies, at Aboa and between 0.81 and 0.83 for SANAE 4. The mean spectral albedo levels at Aboa and SANAE 4 were very close to each other. The variations in the spectral albedos were due more to differences in ambient conditions than variations in snow properties.

A Monte-Carlo model was developed to study the spectral albedo and to develop a novel nondestructive method to measure the diffuse attenuation coefficient of snow. The method was based on the decay of upwelling radiation moving horizontally away from a source of downwelling light. This was assumed to have a relation to the diffuse attenuation coefficient. In the model, the attenuation coefficient obtained from the upwelling irradiance was higher than that obtained using vertical profiles of downwelling irradiance. The model results were compared to field measurements made on dry snow in Finnish Lapland and they correlated reasonably well.

Low-elevation (below 1000 m) blue-ice areas may experience substantial melt-freeze cycles due to absorbed solar radiation and the small heat conductivity

in the ice. A two-dimensional (x-z) model has been developed to simulate the formation and water circulation in the subsurface ponds. The model results show that for a physically reasonable parameter set the formation of liquid water within the ice can be reproduced. The results however are sensitive to the chosen parameter values, and their exact values are not well known. Vertical convection and a weak overturning circulation is generated stratifying the fluid and transporting warmer water downward, thereby causing additional melting at the base of the pond. In a 50-year integration, a global warming scenario mimicked by a decadal scale increase of 3 degrees per 100 years in air temperature, leads to a general increase in subsurface water volume. The ice did not disintegrate due to the air temperature increase after the 50 year integration.

Heterotrophic bacteria associated with cyanobacteria in recreational and drinking water

11.12.2009

Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos

Vastaväittäjä: Prof. Agneta Andersson, Department of Ecology and Environmental Sciences, Umeå University, Sweden

ABSTRACT

Cyanobacterial mass occurrences, also known as water blooms, have been associated with adverse health effects of both humans and animals. They can also be a burden to drinking water treatment facilities. Risk assessments of the blooms have generally focused on the cyanobacteria themselves and their toxins. However, heterotrophic bacteria thriving among cyanobacteria may also be responsible for many of the adverse health effects, but their role as the etiological agents of these health problems is poorly known. In addition, studies on the water purification efficiency of operating water treatment plants during cyanobacterial mass occurrences in their water sources are rare.

In the present study, over 600 heterotrophic bacterial strains were isolated from natural freshwater, brackish water or from treated drinking water. The sampling sites were selected as having frequent cyanobacterial occurrences in the water bodies or in the water sources of the drinking water treatment plants. In addition, samples were taken from sites where cyanobacterial water blooms were surmised to have caused human health problems. The isolated strains represented bacteria from 57 different genera of the *Gamma*-, *Alpha*- or *Betaproteobacteria*, *Actinobacteria*, *Flavobacteria*, *Sphingobacteria*, *Bacilli* and *Deinococci* classes, based on their partial 16S rRNA sequences. Several isolates had no close relatives among previously isolated bacteria or cloned 16S rRNA genes of uncultivated bacteria. The results show that water blooms are associated with a diverse community of cultivable heterotrophic bacteria.

Chosen subsets of the isolated strains were analysed for features such as their virulence gene content and possible effect on cyanobacterial growth. Of the putatively pathogenic haemolytic strains isolated in the study, the majority represented the genus *Aeromonas*. Therefore, the *Aeromonas* spp. strains isolated from water samples associated with adverse health effects were screened for the virulence gene types encoding for enterotoxins (*ast*, *alt* and *act/aerA/hlyA*), flagellin subunits (*fl aA/fl aB*), lipase (*lip/pla/lipH3/alp-1*) and elastase (*ahyB*) by PCR. The majority (90%) of the *Aeromonas* strains included one or more of the six screened *Aeromonas* virulence gene types. The most common gene type was *act*, which was present in 77% of the strains. The *fla*, *ahyB* and *lip* genes were present in 30–37% of the strains. The prevalence of the virulence genes implies that the *Aeromonas* may be a factor in some of the cyanobacterial associated health problems.

Of the 183 isolated bacterial strains that were studied for possible effects on cyanobacterial growth, the majority (60%) either enhanced or inhibited growth of cyanobacteria. In most cases, they enhanced the growth, which implies mutualistic interactions. The results indicate that the heterotrophic bacteria have a role in the rise and fall of the cyanobacterial water blooms.

The genetic and phenotypic characteristics and the ability to degrade cyanobacterial hepatotoxins of 13 previously isolated *Betaproteobacteria* strains, were also studied. The strains originated from Finnish lakes with frequent cyanobacterial occurrence. Tested strains

degraded microcystins -LR and -YR and nodularin. The strains could not be assigned to any described bacterial genus or species based on their genetic or phenotypic features. On the basis of their characteristics a new genus and species *Paucibacter toxinivorans* was proposed for them.

The water purification efficiency of the drinking water treatment processes during cyanobacterial water bloom in water source was assessed at an operating surface water treatment plant. Large phytoplankton, cyanobacterial hepatotoxins, endotoxins and cultivable heterotrophic bacteria were efficiently reduced to low concentrations, often below the detection limits. In contrast, small planktonic cells, including also possible bacterial cells, regularly passed through the water treatment. The passing cells may contribute to biofilm formation within the water distribution system, and therefore lower the obtained drinking water quality.

The bacterial strains of this study offer a rich source of isolated strains for examining interactions between cyanobacteria and the heterotrophic bacteria associated with them. The degraders of cyanobacterial hepatotoxins could perhaps be utilized to assist the removal of the hepatotoxins during water treatment, whereas inhibitors of cyanobacterial growth might be useful in controlling cyanobacterial water blooms. The putative pathogenicity of the strains suggests that the health risk assessment of the cyanobacterial blooms should also cover the heterotrophic bacteria.

Interactions between harmful algae and calanoid copepods in the Baltic Sea

11.12.2009

Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Peter Tiselius, University of Gothenburg, Sweden

ABSTRACT

Zooplankton have a central role in marine food webs as mediators of energy to higher trophic levels. Eutrophication favours harmful algal blooms and may induce changes in the phytoplankton community. These changes, in turn, may affect grazers, because the quality of food, such as the content of toxic substances, may have effects on feeding, growth and reproduction, and may influence both the species composition and the production of copepods. This will affect the food availability of planktivorous animals, such as Baltic herring. The aim of the studies reported in this thesis was to examine the feeding interactions between calanoid copepods and toxic algae in the Baltic Sea. The central questions in this research concerned the feeding, survival and egg production of copepods exposed to toxic algae. Furthermore, the importance of copepods as vectors in toxin transfer was examined.

These questions were examined experimentally using various harmful algal species occurring in the Baltic Sea. The haptophyte *Prymnesium parvum*, which produces extracellular toxins, was the only studied species that directly harmed copepods. Beside this, it had allelopathic effects (cell lysis) on non-toxic *Rhodomonas salina*. Copepods that were exposed to *P. parvum* filtrates died or became severely impaired, although filtrates were not haemolytic (indicative of toxicity in this study). Monospecific *Prymnesium* cell suspensions, in turn, were haemolytic and copepods in these treatments became inactive, although no clear effect on mortality was detected.

These results suggest that haemolytic activity may not be a good proxy of the harmful effects of *P. parvum*, and this algal species may produce other chemical compounds that have not been identified, but are harmful to grazers. In addition, *P. parvum* deterred feeding, and low egestion and suppressed egg production were consequently observed in monospecific suspensions of *Prymnesium*. Similarly, ingestion and faecal pellet production rates were suppressed in high concentration *P. parvum* filtrates and in mixtures of *P. parvum* and *R. salina*. These results indicate that the allelopathic effects of *P. parvum* on other algal species together with lowered viability as well as suppressed production of copepods may contribute to bloom formation and persistence. Furthermore, the availability of food for planktivorous animals may be affected due to reduced copepod productivity.

A plankton community that contained the cyanobacterium *Nodularia spumigena* was size-fractionated in order to follow nodularin transfer from different size fractions to the copepod *Eurytemora affinis*. Nodularin produced by *N. spumigena* was transferred to copepods via grazing on filaments of small *N. spumigena* and by direct uptake from the dissolved pool. Copepods also acquired nodularin in fractions where *N. spumigena* filaments were absent. Thus, the importance of microbial food webs in nodularin transfer should be considered. However, the mechanism behind nodularin accumulation in these

fractions remained unclear. Copepods were able to remove particulate nodularin from the system, but at the same time a large proportion of the nodularin disappeared. This indicates that copepods may possess effective mechanisms to remove toxins from their tissues. The importance of microorganisms, such as bacteria, in the degradation of cyanobacterial toxins could also be substantial.

Our results were the first reports of the accumulation of diarrhetic shellfish toxins (DSTs) in copepods. The PTX2 content in copepods after feeding experiments corresponded to the ingestion of <100 *Dinophysis* spp. cells. However, no DSTs were recorded from field-collected copepods. Neither of the copepod species selected the dinoflagellate *Dinophysis* spp. and consumption remained low (up to 226 *Dinophysis* spp. cells ind⁻¹ d⁻¹). Instead, the dinoflagellate *Heterocapsa triquetra* and ciliates were selected, irrespective of their abundance. Although not selected, *Dinophysis* spp. formed an important part of the copepod diet when the food concentration was low. It seems likely that copepods are an unimportant link in the transfer of DSTs in the northern Baltic Sea. However, at times when other food sources are scarce, or if copepods encounter a *Dinophysis* spp. bloom with high cell densities typical for the Baltic Sea, these dinoflagellates may form a significant part of the copepod diet.

The role of lakes in carbon cycling in boreal catchments

21.5.2010

Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Apulaisprofessori Sebastian Sobek, Uppsalan yliopisto

Tein väitöskirjatyöni Helsingin yliopiston ympäristötieteiden laitokselle, pääaineenani limnologia. Kaiken väitöskirjaani liittyvän tutkimustyön tein kuitenkin SYKEssä Pirkko Kortelaisen ryhmässä. Kortelaisen Pirkolla oli työn alla iso, Helsingin, Kuopion ja Joensuun yliopistoja sekä Geologian tutkimuslaitosta yhdistävä projekti, jossa tutkittiin järviä hiilen nieluina ja kasvihuonekaasujen lähteenä. Pääsin tähän projektiin mukaan ensin graduntekijänä ja sittemmin väitöskirjatyöntekijänä. Tavoitteenani oli jo SYKEen tullessani väitöskirja ja tämä iso, tieteellisesti kunnianhimoinen ja monia tieteenaloja yhdistävä projekti tarjosi siihen hienon tilaisuuden. SYKEssä minulla oli mahdollisuus hyödyntää myös aiemmin koottua suurta Pohjoismaisen Järvikartoituksen aineistoa väitöskirjatyössäni.

Väitöstilaisuuteni järjestettiin 21.5.2010 SYKEen auditoriossa. Vastaväittäjänä oli apulaisprofessori Sebastian

Sobek Uppsalan yliopistosta ja kustoksena Professori Hannu Lehtonen. Koska väitöstilaisuus järjestettiin SYKEssä, paikalla oli runsaasti sykeläisiä työkavereita. Minulle jäi väitöstilaisuudesta hienot muistot. Vastaväittäjäni oli tutkinut hyvin samantapaisia asioita kuin mitä väitöskirjassani käsiteltiin, joten hän osasi kysyä juuri oikeat, aiheen kannalta oleelliset kysymykset. Oli mukavaa ja innostavaa keskustella kiinnostavasta aiheesta (minun väitöskirjastani!). Myös karonkka järjestettiin SYKEssä. Oli lämmin toukokuun lopun päivä, ja Tervapääskyn tila yläkerrassa esitteli parhaita puoliaan: lämpimässä ja tyynessä illassa vieraat viihtyivät suurella kattoterassilla.

Väitöksen jälkeen siirryin muihin tehtäviin, ensin tutkimustyöhön Metsäntutkimuslaitoksella ja sittemmin Helsingin yliopistolle. Tutkimustyöni on edelleen suuntautunut hiilen kiertoon, mutta järvien sijasta olen keskittynyt puroihin, jokiin sekä metsämaahan.

ABSTRACT

Lakes are an important component of ecosystem carbon cycle through both organic carbon sequestration and carbon dioxide and methane emissions, although they cover only a small fraction of the Earth's surface area. Lake sediments are considered to be one of the rather permanent sinks of carbon in boreal regions and furthermore, freshwater ecosystems process large amounts of carbon originating from terrestrial sources. These carbon fluxes are highly uncertain especially in the changing climate.

The present study provides a large-scale view on carbon sources and fluxes in boreal lakes situated in different landscapes. We present carbon concentrations in water, pools in lake sediments, and carbon gas (CO₂ and CH₄) fluxes from lakes. The study is based on spatially extensive and randomly selected Nordic Lake Survey (NLS) database with 874 lakes. The large database allows the identification of the various factors (lake size, climate, and catchment land use) determining lake water carbon concentrations, pools and gas fluxes in different types of lakes along a latitudinal gradient from 60°N to 69°N.

Lakes in different landscapes vary in their carbon quantity and quality. Carbon (C) content (total organic and inorganic carbon) in lakes is highest in agriculture and peatland dominated areas. In peatland rich areas organic carbon dominated in lakes but in agricultural

areas both organic and inorganic C concentrations were high. Total inorganic carbon in the lake water was strongly dependent on the bedrock and soil quality in the catchment, especially in areas where human influence in the catchment is low. In inhabited areas both agriculture and habitation in the catchment increase lake TIC concentrations, since in the disturbed soils both weathering and leaching are presumably more efficient than in pristine areas.

TOC concentrations in lakes were related to either catchment sources, mainly peatlands, or to retention in the upper watercourses. Retention as a regulator of the TOC concentrations dominated in southern Finland, whereas the peatland sources were important in northern Finland. The homogeneous land use in the north and the restricted catchment sources of TOC contribute to the close relationship between peatlands and the TOC concentrations in the northern lakes. In southern Finland the more favorable climate for degradation and the multiple sources of TOC in the mixed land use highlight the importance of retention.

Carbon processing was intensive in the small lakes. Both CO₂ emission and the Holocene C pool in sediments per square meter of the lake area were highest in the smallest lakes. However, because the total area of the small lakes on the areal level is limited, the large lakes are important units in C processing in

the landscape. Both CO₂ and CH₄ concentrations and emissions were high in eutrophic lakes. High availability of nutrients and the fresh organic matter enhance degradation in these lakes. Eutrophic lakes are often small and shallow, enabling high contact between the water column and the sediment. At the landscape level, the lakes in agricultural areas are often eutrophic due to fertile soils and fertilization of the catchments, and therefore they also showed the highest CO₂ and CH₄ concentrations. Export from the catchments and in-lake degradation were suggested to be equally important sources of CO₂ and CH₄ in fall when the lake water column was intensively mixed and the transport of substances from the catchment was high due to the rainy season. In the stagnant periods, especially in the winter, in-lake degradation as a gas source was highlighted due to minimal mixing and limited transport of C from the catchment.

The strong relationship between the annual CO₂ level of lakes and the annual precipitation suggests that climate change can have a major impact on C cycling in the catchments. Increase in precipitation enhances DOC export from the catchments and leads to increasing greenhouse gas emissions from lakes. The total annual CO₂ emission from Finnish lakes was estimated to be 1400 Gg C a⁻¹. The total lake sediment C pool in Finland was estimated to be 0.62 Pg, giving an annual sink in Finnish lakes of 65 Gg C a⁻¹.



Export of organic matter, sulphate and base cations from boreal headwater catchments downstream to the coast: Impacts of land use and climate

11.6.2010

Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Prof. Jacqueline Aitkenhead-Peterson, Department of Soil and Crop Sciences, Texas A&M University, USA

Väitöskirjani teko alkoi erilaisten tutkimusprojektien ohessa, kun huomasin, että projekteissa tuotetuista julkaisuista olisi mahdollista koota sopiva kokonaisuus ns. nippuväitöskirjaa varten. Tiesin jo alkuvaiheessa, että prosessista tulisi pitkä ja jatko-opintosuunnitelman tekemisen ja väitöspäivän välillä vierähtikin viisi vuotta. Koostin väitöskirjani artikkeleita neljässä eri tutkimusprojektissa ja lisäksi työskentelin myös muissa projekteissa, jotka onneksi aina jollain tavalla liittyivät aihepiiriin. Monessa projektissa työskentely on antoisaa, mutta toisaalta huomio tuntuu hajaantuvan välillä liian moneen asiaan kerralla. Nippuväitöskirjan yhteenvedon kirjoittamiseen sain keskittyä jonkin aikaa apurahan ja Suomen Akatemian myöntämän rahoituksen turvin.

Väitöstilaisuus pidettiin Helsingin yliopiston päärakennuksessa auditorium XIV:ssä. Väitöstilaisuuden koittaessa jännitys nousi huippuunsa, mutta onneksi en jännittänyt yksin, sillä vastaväittäjäni prof. Aitkenhead-Peterson oli ensimmäistä kertaa vastaväittäjänä. Niinpä hermoilimme yhdessä ennen tilaisuuden alkua kustoksena toimineen prof. Jukka Horppilan seurattessa rennonolaisena vierestä. Itse väitöstilaisuus sujui hyvin.

Vastaväittäjän esittämät kysymykset olivat asiantuntevia ja hän kiinnitti erityisesti huomiota siihen, että olin väitöstyössäni käsitellyt orgaanisen hiilen lisäksi myös orgaanista typpeä ja orgaanista fosforia, jotka orgaaniseen aineeseen liittyvässä tutkimuksessa jätetään usein vähemmälle huomiolle. Väitöstilaisuus oli odotettua lyhyempi. Prof. Aitkenhead-Peterson kertoi jälkikäteen, että hän ei ollut voinut esittää kaikkia suunnittelemaansa kysymyksiä, koska olin jo vastannut niihin edellisten kysymysten kohdalla.

Karonkka pidettiin SYKEN Tervapääskyssä. Ilmatieteenlaitoksen mukaan vuosi 2010 muistetaan äärimmäisistä sääilmiöistä, talven kylmyydestä ja kesän helle-ennätyksistä ja rajuilmoista. Saimme tuona kesäkuisena iltana osamme Helsingin saavuttaneesta saderintamasta rankkasateineen ja voimakkaine tuulineen. Tervapääskyn ikkunoiden takaa näkyi vain harmaata, joten maisemien ihailu ja terrassilla istuskelu ei valitettavasti onnistunut sinä iltana. Muutoin tilaisuus sujui lämminhenkisissä tunnelmissa. Paikalla oli kollegoja, joiden kanssa olin tehnyt yhteistyötä jo useamman vuoden ajan, joten oli mukava saada heidät kaikki yhdessä juhlaillalliselle.

ABSTRACT

The terrestrial export of dissolved organic matter (DOM) is associated with climate, vegetation and land use, and thus is under the influence of climatic variability and human interference with terrestrial ecosystems, their soils and hydrological cycles. The present study provides an assessment of spatial variation of DOM concentrations and export, and interactions between DOM, catchment characteristics, land use and climatic factors in boreal catchments. The influence of catchment characteristics, land use and climatic drivers on the concentrations and export of total organic carbon (TOC), total organic nitrogen (TON) and dissolved organic phosphorus (DOP) was estimated using stream water quality, forest inventory and climatic data from 42 Finnish pristine forested headwater catchments, and water quality monitoring, GIS land use, forest inventory and climatic data from the 36 main Finnish rivers (and their sub-catchments) flowing to the Baltic Sea. Moreover, the export of DOM in relation to land use along a European climatic gradient was studied using river water quality and land use data from four European areas. Additionally, the role of organic and minerogenic acidity in controlling pH levels in Finnish rivers and pristine streams was studied by measuring organic anion, sulphate (SO₄) and base cation (Ca, Mg, K and Na) concentrations.

In all study catchments, TOC was a major fraction of DOM, with much lower proportions of TON and DOP. Moreover, most of TOC and TON was in a dissolved form. The correlation between TOC and TON concentrations was strong and TOC concentrations explained 78% of the variation in TON concentrations in pristine headwater streams. In a subgroup of 20 headwater catchments with similar climatic conditions and low N deposition in eastern Finland, the proportion of peatlands in the catchment and the proportion of Norway spruce (*Picea abies* Karsten) of the tree stand had the strongest correlation with the TOC and TON concentrations and export. In Finnish river basins, TOC export increased with the increasing proportion of peatland in the catchment, whereas TON export increased with increasing extent of agricultural land. The highest DOP concentrations and export were recorded in river basins with a high extent of agricultural land and urban areas, reflecting the influence of human impact on DOP loads. However, the most important predictor for TOC, TON and DOP export in Finnish rivers was the proportion of upstream lakes in the catchment. The higher the upstream lake percentage, the lower the export, indicating organic matter retention in lakes. Molar TOC:TON ratio decreased from headwater catchments covered by forests and

peatlands to the large river basins with mixed land use, emphasising the effect of the land use gradient on the stoichiometry of rivers.

This study also demonstrated that the land use of the catchments is related to both organic and minerogenic acidity in rivers and pristine headwater streams. Organic anion dominated in rivers and streams situated in northern Finland, reflecting the higher extent of peatlands in these areas, whereas SO₄ dominated in southern Finland and on western coastal areas, where the extent of fertile areas, agricultural land, urban areas, acid sulphate soils, and sulphate deposition is highest. High TOC concentrations decreased pH values in the stream and river water, whereas no correlation between SO₄ concentrations and pH was observed. This underlines the importance of organic acids in controlling pH levels in Finnish pristine headwater streams and main rivers. High SO₄ concentrations were associated with high base cation concentrations and fertile areas, which buffered the effects of SO₄ on pH.

Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in boreal soils



20.8.2010

Helsingin yliopisto, Metsätieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Nina Buchmann, ETH Zürich

Tein väitöskirjani SYKE:n Globaalimuutoksen tutkimusohjelmassa, tutkimusprofessori Jari Liskin johtamassa CARMINE-hankkeessa. Kiinnostuin ympäristösuojelutieteen opintojeni aikana hiilen kierrosta ja siitä, miten maaperän ja ilmakehän väliset palautekytkennät voivat edelleen vaikuttaa ilmastonmuutokseen, joten olin innoissani mahdollisuudesta tehdä väitöskirjaa aiheesta SYKE:ssä. Jatko-opinnot aloitin vuonna 2005 metsäekologian laitoksella, jossa metsämaantieteen professorina oli tuolloin Carl Johan Westman. Kustoksena väitöksessäni oli juuri uutena metsämaantieteen professorina aloittanut Heljä-Sisko Helmisaari.

Mukana CARMINE-hankkeessa oli tutkijoita SYKE:stä (Pekka Vanhala, Mikko Tuomi, Katarina Björklöf), mutta myös Helsingin yliopiston ajoituslaboratoriosta (Högne Jungner, Markku Oinonen, Eloni Sonninen, Kai Hämäläinen), ja METL:stä (Hannu Fritze, Peter Spetz, Veikko Kitunen). Yhteistyö yli laitos- ja tieteenala rajojen oli hyvin mielenkiintoista, ja mahdollisti monitieteisen hankkeen laboratoriokokeiden toteuttamisen.

Väitöskirjan osajulkaisut syntyivät luonnollisesti hankkeen edetessä ja liittyivät toisiinsa, mikä helpotti väitöskirjan johdannon kirjoittamista yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Viimeistelin kirjoitustyötä talvella 2009 ja keväällä 2010 asuessani Kööpenhaminassa, jossa mieheni oli tuolloin post doc -tutkijana. Väitöksen jälkeen lähdin itsekin post doc -tutkijaksi ulkomaille, Exeterin yliopistoon Englantiin. Työ jatkuu saman aihepiirin parissa. Tutkin sitä miten maahengitys reagoi lämpötilan muutoksiin pidemmällä aikavälillä.

ABSTRACT

The temperature sensitivity of decomposition of different soil organic matter (SOM) fractions was studied with laboratory incubations using ^{13}C and ^{14}C isotopes to differentiate between SOM of different age. The quality of SOM and the functionality and composition of microbial communities in soils formed under different climatic conditions were also studied. Transferring of organic layers from a colder to a warmer climate was used to assess how changing climate, litter input and soil biology will affect soil respiration and its temperature sensitivity.

Together, these studies gave a consistent picture on how warming climate will affect the decomposition of different SOM fractions in Finnish forest soils: the most labile C was least temperature sensitive, indicating that it is utilized irrespective of temperature. The decomposition of intermediate C, with mean residence times from some years to decades, was found to be highly temperature sensitive. Even older, centennially cycling

C was again less temperature sensitive, indicating that different stabilizing mechanisms were limiting its decomposition even at higher temperatures. Because the highly temperature sensitive, decadal cycling C, forms a major part of SOM stock in the organic layers of the studied forest soils, these results mean that these soils could lose more carbon during the coming years and decades than estimated earlier.

SOM decomposition in boreal forest soils is likely to increase more in response to climate warming, compared to temperate or tropical soils, also because the Q_{10} is temperature dependent. In the northern soils the warming will occur at a lower temperature range, where Q_{10} is higher, and a similar increase in temperature causes a higher relative increase in respiration rates. The Q_{10} at low temperatures was found to be inversely related to SOM quality. At higher temperatures respiration was increasingly limited by low substrate availability.



Integrating biodiversity conservation into forestry: An empirical analysis of institutional adaptation

9.10.2010

Helsingin yliopisto, Metsätieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Benjamin Cashore, Yale University



Väitöskirjani tekemisen prosessi oli todella pitkä ja kiitossanatkin olivat niin pitkät, ettei niitä ole mitenkään tarkoituksenmukaista toistaa. Olen vain todella kiitollinen niille lukuisille ohjaajille, kollegoille, roolimalleille ja tukijoille, jotka mahdollistivat sen sinnikkyyden, mitä kokonainen vuosikymmen saman projektin parissa vaatii. Rakastin väitöskirjani aihetta; sitä, miten metsäsektorin toimijat vastaavat luonnon monimuotoisuuden turvaamisen haasteeseen. En aio tässä kertoa myöskään luonnon suojelun ja käytön yhtymäkohtien ratkaisevasta merkityksestä maailman tulevaisuudelle.

Sen sijaan kerron väitöskirjaprosessin aikaisemmin raporttoimattomista, mutta todella tärkeistä sykäyksistä. Niitä oli kolme:

1. Noin vuonna 2004 pääjohtaja Lea Kauppi vieraili silloisessa ympäristöpolitiikan tutkimusohjelmassa ja ihmetteli ainaista väitöskirjavalitusta: "Mitäs sitä valittamaan, kun tekee vaan, ei se nyt niin ihmeellistä työtä ole, etteikö sitä tekemällä saisi valmiiksi." Lean tokaisun arkipäiväisyys sai minut tunnustamaan itselleni, että olin tekemässä väitöskirjaa.
2. Noin vuonna 2007 akateeminen mieheni tuli kotiin jostain tutkijoiden perjantaibileistä keskellä yötä ja sanoi ylpeänä: "Voitko uskoa, että kaikki väitöskirjan

tekijäni olivat töissä yhdeksän jälkeen perjantai-iltana!". Sisuuntuneena ryhdyin raatamaan.

3. Vuonna 2009, tehtyäni väitöskirjaa jo lukuisia vuosia ja käytettyäni loppuun kaikki rahat, joita voi hyvällä tahdolla ajatella jotenkin suunnatuksi väitöskirjaan liittyvään työhön, päästin projektiportfolion kasvamaan aivan liian laiveaksi ja haastavaksi. Yllätyksekseni huomasin, että kaikenmaailman kansainväliset tutkijat tekivät juuri sen, mitä ehdotin. Ajattelin, että jos osaan näin hyvin vakuuttaa muita tekemisen merkityksellisyydestä ja otteen järkevyydestä, niin olisiko aika vakuuttaa itsekkin. Ryhdyin kirjoittamaan yhteenvetoa.

Nämä tapahtumat arvatenkin siivottivat työn etenemistä, eivätkä koskaan himmenneet mielestäni.

Väitöskirjan tekemisen suurin anti on, että tulee jäsentäneeksi kaiken aihealueen substanssi- ja menetelmäosaamisensa ehjäksi kokonaisuudeksi, jonka perustelemisen on helppoa, kun sitä joutuu niin jynssäämään. Ei ole mikään ihme, että tieteen tekemisen ja akateemisten traditioiden ylläpitämisen keskeisin väline on väitöskirja.

LECTIO PRAECURSORIA

Honored kustos, honored opponent,
dear colleagues, dear friends,

Integration of biodiversity conservation and forest management requires institutional adaptation. It requires that organizations and professionals recognize the need and demand for conservation, and their conservation responsibilities. And, that they actually include conservation in their decisions - be they large-scale policy decisions that might be prepared for years, resource allocation decisions that can be a part of annual planning, or operational conservation decisions on a day-to-day basis, for example when a forester decides how to delineate a habitat outside a forestry operation.

We are here to examine my research that has addressed integration of conservation and management, and the factors that shape the different kinds of decisions in this integration. And as a side-product, I will tell you about the decisions that I have made when conducting this research.

About 20 years ago, we started to recognize that biological diversity was declining. Following the drafting and signing of the Convention on Biodiversity in 1992, pressure to actually take some action in conserving species and habitats started to grow. Increased conservation was expected to take place through establishing protected areas. But much more broadly, those natural resource management systems that contributed to

biodiversity loss were faced with the challenge to integrate conservation with resource management.

Here, in Finland this challenge has been dominantly placed on the forest sector. This is because three quarters of the land surface is covered with forests, at least 42% of all species dwell in forests, and 37% of endangered species in the country are forest species.

The forest sector that has been faced with the challenge is not insignificant. The value added produced by the forest sector is about 8% of the gross domestic product. It is worth mentioning that out of the forests managed for timber production in Finland, 60% are owned by half a million private people. The need to integrate conservation with management has been the most acute in these non-industrial private forests, as establishing protected areas on a large scale has not been feasible. My research has addressed integration of conservation and management in these non-industrial private forests.

Citizens, consumers, and non-governmental organizations have voiced their demands for increased action in conservation through the media and even consumer boycotts. Parallel to this growing social demand, policies have been further elaborated to address the conservation needs.

The policies place responsibilities on those actors that are operating in the forests. An important group of these actors is the organizations and professionals serving and guiding the non-industrial private owners. These organizations represent the public sector, the private sector, and they include also associations. The important public sector organizations that conduct planning in non-industrial private forests and coordinate regional forest policy are the 13 Regional Forestry Centres. The private sector organizations buying timber from the non-industrial forests and planning these operations, include the 3 large forest industry companies. The 110 Local Forest Management Associations plan and conduct forestry operations in the same forests; and they function as an advocacy organization for the land-owners. Additionally, there

are small-scale consultants and forest enterprises that conduct planning and carry out operations. These are the most important organizations that make decisions on forest management, and also biodiversity conservation, on private lands.

Of course, also environmental administration, environmental non-governmental organizations and land-owner organizations, influence the decision-making but less directly. Their influence comes through the information they provide, and through interests expressed in media and in negotiations. The most crucial organizations in integrating biodiversity conservation into forest management are the public, private and association type organizations that influence what happens in the forest.

Now, what can we expect these organizations and their staff to consider in their integration decisions? As I mentioned, the demand for integration has been expressed in policies, and in less defined terms, as social demand, in the markets and the media. Depending on the forum through which we take the demand to be placed on the actors, whether it is the public policy, or the more diffuse social and market demand, our approach to analyzing the ways integration takes place, would vary.

Depending on the same focus, whether it was the public policy or, the social and market demand, we would be likely to choose one of two interesting analytical approaches: policy implementation or organizational adaptation. These two approaches have different assumptions. The policy implementation approach focuses on the degree to which policies are implemented in the way that they were designed. It is typically applied in analysis of public policies in hierarchical public administration settings. The organizational adaptation approach, on the other hand, takes the organizations to be strategic actors. This approach is utilized in analyzing private sector companies and their behavior when they face changes in their operational environment, so in this case social and market demand for biodiversity conservation.

Both approaches have been recognized to have caveats. Policy may not be implemented in a linear fashion because of the complexity of the issues and contexts that policies deal with, because policies concern large numbers of constituents, and because organizations and professionals responsible for implementation base their judgment on a number of factors beyond the policy.

Organizations may not always adapt because they might not recognize changes in the demands placed on them, and because they do not necessarily manage to develop required competences, specialize, learn, or utilize networks in ways that support adaptation

My thesis has taken these two approaches and their reservations seriously. I claim that bridging between the two approaches is crucial for understanding a situation where public policies imply responsibilities for both public and private sector actors. Policies are not implemented only by public administration, and not only companies think strategically about the opportunities that added attention to conservation might present them with.

In the current times, it is actually popular to think of the public sector applying the cost-efficiency and accountability standards traditionally placed on companies. Similarly, public policies are considered to be implemented in partnerships and networks consisting of public and private actors alike. These features actually characterize the governance discussions of our times.

So, I have applied both the policy implementation approach and the organizational adaptation approach in my analyses of the organizational field of non-industrial private forestry. I have analyzed the ways the entire range of organizations serving non-industrial private forest owners take up the biodiversity conservation challenge and what kinds of competencies they develop and apply to deal with the challenge. I have analyzed the biodiversity conservation competencies of the Regional Forestry Centres, the Local Forest Management Associations, forest industry companies and forest entrepreneurs. And further, I have analyzed the

role division between these organization types, and their specialization in conservation and the degree to which competencies contribute to habitat conservation. I have analyzed the judgment of individual foresters in making habitat delineation decisions and the ways in which their judgment is shaped by their attitudes, social norms and their control over the decision. Finally, I have analyzed the information exchange and appreciation among the range of organizations integrating biodiversity conservation into forest management in policy networks, project networks and operational networks.

I have based my work on several of my previous studies where I have had the opportunity to interview forestry professionals and other relevant actors, and also to analyze forest policy processes. Towards this thesis, I collected interview and survey data. The most important dataset consisted of a survey with 311 foresters who had the opportunity to find, evaluate and delineate habitats of special importance in their work because they were doing forest planning or planning forestry operations. The other data were accounts of managers of organizations responsible for biodiversity conservation as a part of their organizational responsibility in one dataset, as a member in a project that constituted a network in another dataset, or-as representatives of their organization in policy formulation in yet another dataset.

After collecting the data, I analyzed and clarified what could be empirically detected, using qualitative and quantitative analyses and finally, I placed my findings in a framework that covered a great share of the theories that I had got excited about along the way.

What did I learn then? I found that all actors recognized the need to conserve biodiversity in managed non-industrial private forests. Biodiversity conservation was a part of the mandate and operational activity of the organizations and professionals. Out of the planning foresters, 2/3 considered biodiversity conservation to be a part of their job description. They held favorable attitudes toward biodiversity conservation.

However, biodiversity conservation was considered a part of silvicultural functions. In this way, it was internalized into forestry. For example, 40% of the foresters said that they allocated none of their working time to biodiversity conservation. In the responses to an open-ended question, over half said that conservation was done in connection with planning forestry operations.

When analyzing the competencies of the organizations, that is, the skills, the management systems, and the information sourcing patterns, I found the organizations to apply very uniform levels of competencies. This actually turned out to be a problem when I wanted to explain conservation behavior with the competencies, because there was so little variation. The organizations differed only in ways that reflected their functional role division. Controlling for the organization type, competences had a very small effect on habitat conservation. Out of all competences, communication among operational actors was the only competence that consistently had a significant effect on habitat delineation. So these operational connections were important in producing conservation outcomes.

In my analyses of individual foresters' professional judgment in habitat delineation, I found their delineation to be influenced strongly by attitudes and social norms. Particularly the expectations of peers influenced the social norm experienced by the foresters. This signaled the dominance of what can be called a professional norm in this type of decision-making. The foresters considered themselves more independent when delineating the more clearly standardized legally defined habitats than when voluntarily delineating other valuable habitats. The foresters' past behavior predicted their delineation intentions. These results imply that tradition and habit have an important role in defining the way biodiversity conservation is integrated into forest management.

In the analysis of networks, I found policy networks, project networks, and operational networks to differ. Judged by the information flow and appreciation among network organizations, the operational networks of

foresters that I just described had an opportunity to learn in the local contexts through combining informal communication and formal contacts in timber trade. As they were tied to their standard practices, these networks were however less likely to search for new solutions or reframe biodiversity conservation. The policy networks, that were planning regional forest policy, were somewhat fixed to patterns of formal communication, traditional roles of information contribution and interest-driven goal definition. Project networks, established for piloting new forms of biodiversity conservation contracts, combined the utilization of up-to-date research-based biodiversity knowledge with intensive communication among network members. This way, the project networks were most likely to employ an adaptive approach to learning through integrating new information with collaboration and deliberation.

Pulling the results together, I would say that the empirical analyses produced stronger signals of policy implementation than of organizational adaptation. In other words, hierarchical guidance and standardization dominate over exploration and specialization.

The organizations have not taken biodiversity conservation as an area of strategic development. The results show that the demand for biodiversity conservation has triggered small, incremental and uniform changes in organizations. They can be considered what scholars of institutions and organizational adaptation would call inert as regards this challenge.

The uniformity, or isomorphism, of the organizations is advanced by the hierarchical guidance and standardization, and also by professional norms. As the results show, professional judgment rests on past experiences and is likely to follow patterns that are considered appropriate among peer professionals.

The networking patterns reinforce the traditional roles of the organizations, with the important exception of project networks. Perhaps the often observed enthusiasm as regards new approaches to adaptation

is partly explained by the fact that these empirical analyses often concentrate on project like situations.

Finally, perhaps there is rather little social demand and pressure placed on this organizational field to be more ambitious about conserving biodiversity.

To close up, I would like to make a theoretical observation. The combination of the policy implementation approach inherent in the analyses of public policies in hierarchical administration settings, and the organizational adaptation approach typically applied to private sector organizations, highlights the importance of institutional interpretation. Institutional interpretation helps in the understanding of the diversions from the basic tenets of the two approaches, which were among my main findings that I just described. Attention to institutions supports a deep understanding of the overlap of the two traditionally segregated approaches.

Now Professor Cashore, I would respectfully ask you, as the Opponent appointed by the Faculty of Agriculture and Forestry, to present your critique of my doctoral dissertation.



Application of risk assessment and multi-criteria analysis in contaminated land management in Finland

3.12.2010

Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto
Vastavaittäjä: Mari Pantsar-Kallio, Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy

ABSTRACT

Land contamination is a significant environmental problem requiring systematic management actions. Defining the type and scale of the actions requires information on the risks involved. The numerous methods available for conducting risk assessment (RA) vary in terms of complexity, level of detail, conservatism, and outcomes. Thus, selecting suitable methods requires information on their applicability in Finnish conditions and at the specific site. On the other hand, it is generally accepted that current contaminated land management (CLM) should not only focus on minimizing site-specific risks, but should also consider overall environmental effects and sociocultural and socio-economic aspects. Multi-Criteria Analysis (MCA) could then be used as a tool for integrating multidimensional data and generating aggregated information on the consequences of different risk management (RM) options, such as environmental, social, and economic impacts. Nonetheless, such approaches have very seldom been applied in CLM in Finland, probably partly due to a lack of tools specifically developed or modified for Finnish conditions.

This research studied the application and suitability of different RA methods for assessing risks and identifying RM needs at some typical contaminated sites in Finland and demonstrated the use of MCA, the emphasis being on soil contamination. The studied RA approaches comprised qualitative rating and quantitative methods that were based on using environmental benchmarks, uptake and exposure models, and multi-

media software. To derive estimates of ecological risks, the so-called TRIAD procedure that uses chemical studies, bioassays, and ecological studies was also applied and combined with MCA in order to account for the performance of the study methods, i.e. their ability to depict ecological risks at a study site. Qualitative rating and the statistical Monte Carlo technique provided additional means for uncertainty analysis. A separate study applying the Metaplan technique, interviews, a questionnaire, and a literature survey showed that a lack of suitable assessment tools was one of the key barriers to eco-efficient CLM in Finland. An MCA-based decision support tool (DST) adapting the Multi-Attribute Value Theory (MAVT) was therefore developed for case-by-case determination of the preferred RM option and tested with some typical Finnish contaminated sites.

Many of the conclusions of the research are overarching and applicable to RA methods in general. Firstly, it appeared that care must be taken in applying different models and software tools in site-specific RA, since some of their components are not straightforwardly suitable for Finnish conditions or for certain contaminants. These problems often relate to specific contaminant transport pathways. Moreover, the lack of verified data on the parameter values representative of Finnish conditions is an issue. The prevailing practice of using complicated software programs with ample data demands as the first and primary tools in human health risk assessment is not supported by this

research, since it appeared that even simple tools and calculations can often provide adequate information on risks for decision-making. In ecological risk assessment (ERA), the usefulness of the approach founded on uptake and exposure models is reduced by the high uncertainties involved, particularly since the applicability of these models in Finnish conditions could not be verified. The accuracy and reliability of ecological risk estimates can be enhanced by applying the TRIAD methodology, although the procedure includes some pitfalls that need to be acknowledged. Combining TRIAD with MCA proved to be a feasible means to quantitatively study the performance of separate ERA methods. MCA thereby complements mechanical statistical analysis, such as Monte Carlo simulation, and increases the reliability of the final integrated risk estimates. In practice, a lack of data on the statistics of the input variables can restrict the use of statistical tools. The MAVT-based DST turned out to be efficient in facilitating discussion between different interest groups and experts and in identifying the preferred RM option in the common situation where risks are not the only factors relevant in decision-making. In practice, additional factors, such as the temporal scope of RM actions and some sustainability components that were not comprehensively included in the DST, might need to be considered.



Caught between standardization and complexity: Study on the institutional ambiguities of agri- environmental policy implementation in Finland

8.4.2011

Tampereen yliopisto, Yhdyskuntatieteidenlaitos
Vastaväittäjä: Ass. Prof. Carol Morris, University of Nottingham

Väittelin keväällä 2011 maatalouden ympäristöpolitiikan toimeenpanosta. Karonkassa Lea antoi minulle lahjaksi Mauri Kunnaksen Seitsemän veljestä kuvakirjan sekä harmaat villasukat (joissa oli SYKEN logo). Hän kehotti minua lukemaan Seitsemän veljestä tarkkaan, jotta ymmärtäisin paremmin suomalaisten talonpoikien jukuripäisyyttä, tai itsellisyyttä. Ajatuksena lienee myös ollut, että jos laittaisin harmaat villasukat jalkaan, tämä onnistuisi paremmin. En tiedä oliko tarkoitus laittaa sukat jalkaan ja lähteä saappaiden kanssa pellolle vai käydä lämpimien sukkiensa kanssa sohvalle lukemaan kyseistä kirjaa.

Myöhemmin kokeilin molempia ja totesin, että on aika laventaa perspektiiviä. Väitöstutkimuksessani olin tarkastellut miten ympäristönhoidon toimintamalleja uudistetaan, kyseenalaistetaan tai voimistetaan osana ympäristötuen toimeenpanoa. Nyt olisi aika tutkia tarkemmin markkinoiden ja markkinavälineiden roolia ympäristöystävällisen maatalouden tuottamisessa. Jos

väitöstutkimuksessa halusin avata toimeenpanon mustan laatikon; nyt haluaisin tarkastella miten ympäristö- ja laatustandardit aktiivisesti luovat markkinoita ja ohjaavat kuluttajia ja tuottajia. Kun vihjasin tähän suuntaan väitöstilaisuudessa, vastaväittäjäni Carol Morris, englantilaisen sarkastiseen tapaan, kommentoi, että näin yleensä käy kun on tarpeeksi pitkään puuhannut ympäristötuen ja hitaiden politiikka-prosessien kanssa. Sen jälkeen on vain pakko tarttua johonkin ihan muuhun.

Parhaimmillaan väitöstutkimus voi kypsyttää siemeniä, jotka vaativat tulla istutetuksi uuteen maahan. Näin kävi kohdallani. Karonkassa annoinkin Lealle (ja Hillelle) kiitokseksi pussillisen orvokin siemeniä. Ilman Lean pitkäjänteistä tukea ja halua kehittää yhteiskuntatieteellistä ympäristötutkimusta SYKEssä, siemenet eivät ehkä koskaan olisi tuleentuneet. Istutuspuuhiin siis, taas!

LECTIO PRAECURSORIA

Agriculture's pressure on the environment poses a major challenge to environmental policy. The situation in the River Paimionjoki makes this very plain. The River Paimionjoki, which is located in south-western Finland, is one of the main sources of phosphorous leaching into the Archipelago Sea, which is suffering from severe eutrophication. The phosphorous in the river arrives primarily from agricultural lands, which are mainly of clay – high in nutrients by nature and fertile for agricultural production. In the River Paimionjoki it has been very difficult to get the phosphorous load under control. The monitoring results from the lower course of the River report no major changes in the concentrations over the last two decades.

This, despite the major changes that have taken place in the agri-environmental policy. Agri-environmental schemes, which came into force in 1995 when Finland entered the European Union, introduced a major shift to the Finnish agri-environmental policy. They suggested that farmers should be paid for providing environmental goods and practising environmentally sound farming. In Finland farmers are offered two kinds of contracts. When enrolling to General Protection Scheme one agrees to follow rather detailed agreements on basic farming operations, such as fertilising, tilling or plant coverage. The Special Protection Scheme, on the other hand, offers support for more targeted environmental actions.

In terms of coverage the General Scheme has been a great success. From the very beginning more than 90% of Finnish farmers have found it worthwhile to be part of it. The finance distributed via the schemes has been yearly circa 300 million €, slightly increasing lately. This is almost one third of the total Finnish state budget for environmental protection. The use of fertilisers has decreased in total and buffer strips have appeared along water courses.

These are huge numbers, in general terms. However, despite all this money, resources and time spent, the nutrient loads have not decreased as was hoped for. The River Paimionjoki represents the worst case. In addition, the recovery in biodiversity has been slow.

We are here today to examine my thesis, where I address this dilemma. A decade ago, when I started the research, the political compromises made regarding the content of the programme were largely seen as a cause for the low impact of the policy. The measures included in the programme were regarded as too modest for mitigating the environmental impacts; the schemes were just seen as another way of re-distributing income support to farmers. In general scheme the income element is indeed central, which also largely explains the high participant numbers. Farmers were just seen enjoying the benefits of the support and being reluctant to really change their farming practices.

At that time, I was not entirely happy with these explanations. They tend to order the world into overly linear assumptions about human behaviour, environmental change and policy impact. The fact that the General Scheme was used as a means to compensate for the decline in farming income -- caused by Finland entering the common European markets -- is surely one part of the dynamics, but it does not explain it all.

At that time – and today even more so – I was convinced that finding resolutions to agri-environmental problems requires much more effort than just waiting for the right measures to be applied universally on farms and waiting for the attitudes to change.

The agri-environmental schemes are in principle voluntary. They seek to govern individual actors and their active interference with nature through farming practices. In such a case the implementation phase may turn critical for the policy outcome. The way in which schemes are integrated with production practices on individual farms, and how they are co-ordinated at a local and regional level, will evidently have a direct effect on the surrounding environment: be it a river that flows further to the Baltic Sea or a habitat, which constitutes part of a larger ecological structure or landscape.

In my thesis I claim that the implementation phase has become critical in another sense, as well. My empirical results highlight that during implementation actors not only try to find the best applications for given policy measures; at the same time, they also negotiate what it means to commit to environmental management, what legitimate policy intervention is and how institutional rules of action should be developed.

Political scientist Maarten Hajer has argued that the resolution of environmental problems is nowadays often confronted with institutional ambiguity. With this, he means that the currently established political institutions lack the power to deliver the required policy results on their own; new institutional rules, practices and systems of meaning need to be invented. In such a situation, the policy process itself may become an important site at which these rules are tested and negotiated about.

In my thesis I argue that if we are to capture such emerging new meanings; we need to open the policy process to empirical scrutiny again. The hierarchical concepts of the classic top-down policy model, which start with the political goal definition and the design of means, and end with implementation, do not simply hold anymore. We need new vocabularies and new methodological tools.

In my thesis I explore these vocabularies by engaging with practice. I do an ontological shift by examining

how conditions for agri-environmental management emerge as policies are put to practice. I follow how agricultural and environmental officials and advisors translate the policy goals into practice, how their practices co-evolve as they interact; how farmers translate the schemes into farming practices and how these various actors are brought together to deliberate upon agri-environmental management. Physically these translations took place in South-Ostrobohnia and in South-western Finland.

My results highlight that the implementation of the schemes has indeed become a central site of politics. By emphasising standardised management procedures and income support, the schemes have questioned the values of good farming, the basis of farm livelihood, farmers' experiential knowledge and care for the land. These values have become endangered attachments, which require active commitment. These commitments regard environmental management as something which builds upon the potentials available at a particular farm in a given socio-material environment.

Such a situated and material basis of commitments is currently given too little attention in the design and implementation of the schemes. During implementation I, however, detected certain practices that have tried to get a hold of the situated basis of commitments. The practices of local rural officials and advisors have become important in translating the policy standards into practice. The local plans and projects, in their part, have tried to link the farm-level actions to environmentally effective collective action. These practices have become central in mitigating the friction between universal and local accounts of agri-environmental management as well as in building trust amongst the various actors.

The empirical results, however, strongly stress, that if we are to understand the challenges posed by the resolution of environmental problems, we should not only analyse how new institutional rules and commitments are deliberated upon, but also how policy practices turn into routines and how these routines relate to past practices and actor positions. In this re-

spect, I think, the case of Finnish agri-environmental policy is highly interesting. It draws attention to the specific and active role of policy tools in this dynamic.

In the implementation of the schemes the agricultural administration has taken the ownership of the General Scheme, which stresses the welfare and income effects on a national scale; whereas the actions of environmental administration concentrate on the Special Protection Scheme implemented on a plot scale. These policy measures are designed at the national level, but as they become routine as part of implementation practice, they have a tendency to reinforce the division between the income and environmental concerns built within the policy. It is the tight association built between the vertical policy measures and the horizontal implementation networks that enacts this division ever again -- whilst at the same, time maintaining the continuums with the past policies and actor positions.

Understanding how certain material arrangements employed at various stages of policy process maintain, question or renew the institutionalised ways of action is essential for understanding the successes or failures within environmental policy. It is essential also for developing a more responsive environmental policy.

The recently approved river basin management plans suggest a more cost-efficient allocation of the agri-environmental measures for the resolution of nutrient problems in the River Paimionjoki. The better allocation of measures is also offered as a solution for increasing the effectiveness of agri-environmental schemes. However reasonable these solutions may sound, the results of my study indicate that some risks may lie therein. Unless the policy instruments are radically changed, the allocation efforts may end up reinforcing the division between income and environmental concerns in the agri-environmental policy even further. The results also remind us that a better allocation of measures requires that the situated basis of commitments is taken seriously in the policy design. There simply cannot be one without the other.

This also means that environmental policy needs to become more responsive to the changes taking place in agricultural markets and in profitability.

Practical solutions to agri-environmental problems should be seen as gatherings, whose quality and durability depend on the form of the process in which they are created. This viewpoint radically changes our view of the policy process. We should start to see environmental policy as a collective experimentation where actors work together to try out new political forms and new forms of co-existence with nature. This kind of ontological shift requires a lot of effort not only from environmental policy, but also from the social sciences studying it. I hope that my study will offer some modest input to this major endeavour.

Carbon gas fluxes from boreal aquatic sediments

13.6.2011

Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Dr. Tuula Larmola, Cornelia Clapp Laboratory, Mount Holyoke College, South Hadley, Massachusetts, USA

Väittelin Helsingin yliopiston bio- ja ympäristötieteellisen tiedekunnan ympäristötieteen laitoksella ilmastonmuutokseen liittyvästä aiheesta. Vastaväittäjänä oli dos. Tuula Larmola Mount Holyoke Collegesta Yhdysvalloista ja kustoksena prof. Jorma Kuparinen Helsingin yliopiston bio- ja ympäristötieteellisestä tiedekunnasta. Väitöskirjassa ja sen osajulkaisuissa tarkastelin, miten luonnontilaisten järvien rannoilta ja pohja-alueilta tulevan hiilidioksidin ja metaanin määrä kasvaa, kun vesien lämpötilat kohoavat. Hiilidioksidi ja metaani ovat kasvihuonekaasuja, ja kun niiden määrä ilmakehässä nousee, ilmasto puolestaan lämpenee taas lisää, jolloin syntyy itseään vahvistava lämpenemiskierre.

Väitöskirja oli pitkän ajan aikomisen ja työskentelyn tulos, vähän "Iisakin kirkon rakentamista" muistuttava hanke. Tein sitä pätkittäin, usein muiden tehtävien lomassa ja vasta viimeisinä vuosina päätoimisemmin. Ensimmäiset vesimikrobiologiset kenttätutkimukset, joiden tulokset nyt vuosien päästä päätyivät väitöskirjaan, tein jo 1970-luvun lopulla opiskeluaikani Helsingin yliopiston Lammin biologisella asemalla. Viimeisten tutkimusten tulokset laskin muutama vuosi ennen väittelyä SYKEssä. Väliin mahtui lisensiaattitutkiminto heti perustutkimuksen jälkeen ja sitten pitkiä työjaksoja ympäristöhallinnossa koordinoititehtävissä. Silloin väitöskirja oli katkolla, mutta usein mielessä. Kun SYKEssä sitten kerran taas uudistettiin organisaatiota, päätin pyytää vaihtoa koordinaatiotehtävistä tutkimukseen, jolloin voisin ehkä tehdä väitöskirjani viimein valmiiksi. Lea pääjohtajana, jonka suostumus asiaan tuolloin tarvittiin, ymmärsi hyvin toiveeni ja lupasi muutta mutkitta, että voin siirtyä kasvihuonekaasuja tutkimaan, kun sopiva paikkakin oli tarjolla Pirkko Kortelaisen ryhmässä. Siitä tosin kului vielä monta vuotta väitöskirjan valmistukseen, mutta oli hienoa ja jälkepäinkin ajatellen oikea päätös siirtyä tutkimuspainotteiseen työhön pelkkien hallintovuosien jälkeen.

Väittelyn jälkeen työnkuvaani SYKEssä on ollut sekä tutkimusta että koordinoitintia. Se tuo vaihtelua ja miututtua, että tutkimus ja hallinto ovat molemmat tärkeitä. Ilman hyvää hallintoa ei tutkimuskaan etene sujuvasti.

ABSTRACT

The carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) fluxes from aquatic sediments have recently received considerable interest because of the role of these gases in enhancing climate warming. CO₂ is the main end product of aerobic respiration and CH₄ is produced in large amounts under anaerobic conditions. Shallow, vegetated sediments are an important source of both gases. CH₄ may be transported via rhizomes and aerenchymal tissues of aquatic plants from the sediment to the atmosphere, thus avoiding oxidation in the aerated sediment surface and water column. Temperature is known to be a key factor affecting benthic CO₂ and CH₄ flux rates, but the interplay between other factors that may affect the fluxes from sediments is still poorly known. In order to study the spatial and temporal variability of carbon gas fluxes in boreal aquatic sediments, the area-based CO₂ production rates in lake and brackish water sediments and CH₄ emissions in vegetated lake littorals were measured in this work. The effects of temperature, sediment quality, plant species, zoobenthos and seasonal variation on flux rates were also estimated. The range of CO₂ production rates measured in the field was 0.1–12.0 mg C m⁻² h⁻¹ and that of CH₄ emission rates 0–14.3 mg C m⁻² h⁻¹. When incubated at elevated temperatures (up to 30 °C) in the laboratory, the CO₂ production

rates increased up to 70 mg C m⁻² h⁻¹. Temperature explained 70–94% of the temporal variation in the CO₂ production in lake sites and 51% in a brackish water site. In the lake mesocosm, temperature explained 50–90% of the variation of CH₄ emission. By contrast, CH₄ oxidation rate was not dependent on temperature. The CH₄ fluxes through the plants of six emergent and floating-leaved plant species were studied in the field (temperature range 20.4–24.9 °C). Stands of the emergent macrophyte *Phragmites australis* emitted the largest amounts of CH₄ (mean emission 13.9 ± 4.0 (SD) mg C m⁻² h⁻¹), the mean emission rate being correlated with mean net primary production (NPP) and mean solar radiation. In the stands of floating-leaved *Nuphar lutea* the mean CH₄ efflux (0.5 ± 0.1 (SD) mg C m⁻² h⁻¹) was negatively correlated with mean fetch and positively with percentage cover of leaves on the water surface. On a regional level, stands of the emergents *P. australis* and *Equisetum fluviatile* emitted 32% more CH₄ than natural open peatland during the growing season, although their areal coverage in the study region was only 41% of that of peatland area. Climate warming will presumably increase the carbon gas emission from vegetated littorals. The model-based estimated increase of CO₂ production rate in June was 29% and for CH₄ emissions as much as 65% for the time interval of 110 years from 1961–1990 to 2071–2100. The results indicate that carbon gas fluxes from aquatic sediments, especially from vegetated littorals, are significant at the landscape level. They are linked to temperature but also to several other interacting factors such as e.g. water and bottom quality and ecosystem composition. Detailed investigation of the overall links between the causes and effects is urgently needed in order to understand and predict the changes caused by warming climate.



Fast- and drift-ice communities in the Bothnian Bay and the impact of UVA radiation on the Baltic Sea ice ecology

17.6.2011

Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Dr. Klaus Meiners, Antarctic Climate & Ecosystems CRC, Australia

Tätä väitöstä ei olisi varmastikaan syntynyt ilman oikeaa ajoitusta ja oikeita ihmisiä. Puoli vuotta maisterin tutkintoni jälkeen alkoi nimittäin Suomen Akatemian ja Walter ja Andrée de Nottbeckin Säätiön rahoittama Itämeren merijään ekologiaa tutkiva hanke, jossa pääsin aloittamaan väitöskirjani teon.

Heti ensimmäisenä vuonna järjestetty mikсотrofian merkitystä merijäessä tutkiva valo/pimeä-manipulaatiokoe antoi kipinän tutkia ultravioletisäteilyn vaikutuksia jään eliöstöön. Lähinnä kokeiluksi suunnittelemani koeasetelma toimi siinä määrin hyvin, että pilottikokeesta tuli yksi julkaisu ja käytin samaa koeasetelmaa seuraavissakin tutkimuksissa. Väitöskirjani toinen aihe lähti alun alkaen halusta tutkia tarkemmin kiintojään eliöyhteisöjä Perämerellä, joista oli siihen asti vain satunnaisia havain-toja. Kiintojääaineistoa täydensi vielä muutamaa vuotta myöhemmin tutkimusalue Maria S. Merianin matkalta kerätty aineisto Perämeren ajojäästä. En voi sanoa koh-danneeni mitään ylitsepääsemättömiä vaikeuksia matkan varrella, vaikka toki artikkelien kirjoittaminen tuottikin aluksi vähän vaikeuksia.

Ensiarvoisen tärkeää väitöskirjavuosieni aikana oli projektin tuki ja yhteen hiileen puhaltaminen; loistavampia työkavereita ei voisi toivoa!

Viimeinen puoli vuotta ennen väitöstä meni niin kii-reessä, etten pahemmin ehtinyt väitöstä jännittämään. Asiaa toki auttoi myös se, että olin tavannut vastaväittäjäni Klaus Meinersin jo aiemmin muutamissa kokouksissa. Chilen tulivuorenpurkauksen aiheuttama tuhkapilvi toi viime hetken jännitysmomentin sulkiessaan Hobartin lentokentän ja estäen Klausin matkaan pääsyn. Kii-tos Klausin omatoimisuuden, väitös toteutui kuitenkin suunnitellusti ja sekä väitös että karonkka olivat kaikin puolin onnistuneita.

Väitöskirjan jälkeen sain Walter ja Andrée de Nottbe-ckin säätiöltä post doc -rahoituksen ja pääsin jatkamaan tutkimuksia merijään ja UV-säteilyn parissa. Väitös-kirja-aikanani minun annettiin suunnitella ja toteuttaa tutkimuksiani suhteellisen vapaasti ja koen, että ilman tätä vapautta en olisi lähimainkaan näin valmis jatkamaan itsenäistä tutkijanuraa.

LECTIO PRAECURSORIA

Väitöskirjatyöni jakaantuu kahteen Itämeren jääekologiaa käsittelevään pääteemaan. Kahdessa ensimmäisessä osajulkaisussa tutkittiin Perämeren merijään ekologiaa kiinto- ja ajojäissä ja kahdessa jälkimmäisessä taas keskityttiin siihen, miten auringon UVA-säteily vaikuttaa Itämeren jään ekologiaan, erityisesti bakteereihin ja leviin. Tutkimus on tehty suurelta osin Merentutkimuslaitoksen aikana ja vuodesta 2009 lähtien Suomen Ympäristökeskuksessa. Lisäksi, kenttäkampanjoiden aikana Tvärminnen eläintieteellinen asema, Oulun yliopisto sekä IOW ovat tarjonneet fasilitettejaan käyttöömmme. Rahoitus tutkimukseen on tullut pääosin Walter ja Andrée de Nottbeckin Säätiöltä.

Kiintojäällä käsitetään jää, joka on kiinnittyneenä rantoihin ja se muodostuu ja sulaa suurin piirtein samalla paikalla. Ajojäätä puolestaan syntyy, kun ulapalla syntynyt jääpeite hajoaa tuulten vaikutuksesta pienempiin lauttoihin, jotka sitten liikkuvat virtausten ja tuulten vaikutuksesta. Ajojään muodostumis- ja sulamispaikat voivat olla siis kaukanakin toisistaan. Itämerellä talvisin vallitsevat länsi- ja etelätuulet kuljettavat ajojäätä Perämerelle, jossa siitä muodostuu laajoja ahojääkenttiä. Kiintojään ja ajojään välinen raja menee yleensä 5–15 syvyyskäyrän kohdalla riippuen jään paksuudesta ja tätä luokitusta käyttäen 1/3 Perämeren jäästä on kiintojäättä ja 2/3 ajo- ja ahojäätä. Ajojään jäätyessä yhteen kiintojään kanssa, voi osa kiintojääkentästä olla ajojäätä ja täten kiintojääkenttä voi ulottua hyvinkin kauas ulapalle.

Ultravioletisäteilyllä käsitetään näkyvää valoa lyhyemmät aallonpituudet ja se on edelleen jaettavissa UVC, UVB ja UVA säteilyyn. Stratosfääriin otsonikerros

suodattaa UVC:n ja osan UVB:sta, mutta UVA:an se vaikuttaa vain vähän. Vaikka UVB on eliöille haitallisempaa kuin UVA sen sisältämän korkeamman energian vuoksi, kattaa UVA pidemmän aallonpituusalueen, ja tästä syystä se voi olla jopa haitallisempaa kuin UVB.

Itämeren yksi ominaispiirteistä on talvisen jääpeitteen muodostuminen. Itämerellä jää on yksivuotista eli se sulaa joka vuosi ennen kuin uutta jäätä alkaa muodostua. Jääpeitteen maksimaalinen laajuus vaihtelee suuresti vuodesta toiseen talven ankaruuden mukaan. Mennyt talvi 2011 oli 24 vuoteen ensimmäinen ankaraksi luokiteltava talvi, ja jää peitti 80 %:a Itämeren pinta-alasta. Muuten talvet ovat olleet keskimääräisiä tai leutoja.

Meriveden sisältämä suola alentaa jäätymis-lämpötilaa, joka on Itämerellä -0.2 ja -0.8 asteen välillä (-0.33 °C kun 6 ‰, -1.8 °C kun 34 ‰). Kun pintavesi jäähtyy lähelle jäätyislämpötilaa, alkaa vedessä muodostua jääkiteitä, jotka vettä kevyempinä kohoavat pintaan muodostaen suppojäätä. Tästä eteenpäin kehitys on riippuvaista olosuhteista. Rauhallisissa olosuhteissa yhtenäinen jääpeite muodostuu nopeasti ja jääkalvo-vaiheen jälkeen muodostuu pitkäkiteistä kongellaattijäätä. Turbulenttisissa olosuhteissa taas suppojäädästä muodostuu pyöreänmuotoisia (halk. jopa 3 m), reunoistaan paksuuntuneita, n. 10 cm paksuja jääkiekkoja, joita nimitetään lautasjääksi. Lautasjäät kasvavat ja pakkautuvat toistensa päälle, kunnes yhtenäinen jääpeite on muodostunut ja jää alkaa kasvaa alaspäin.

Jäätyminen hylkii suolaa, sillä jääkiteet muodostuvat vain puhtaista vesimolekyyleistä. Hylkiminen ei ole kuitenkaan täydellistä ja 25–50 % muodostumisveden suolasta jää loukkuun kiteiden väliin. Näitä loukkuja kutsutaan suolaliuostaskuiksi, jotka yhdistyessään muodostavat kanavia. Suolaliuostaskuissa suola on konsentroituneena eli niissä on usein korkea suolaisuus. Esimerkiksi Itämerellä alueella, jossa meriveden suolaisuus on 6, saattaa se suolaliuostaskussa olla jopa 30. Suolaliuostaskuista johtuen merijää on huokoisempaa kuin makean veden jää ja siis sen kantokykykin on heikompi kuin vastaavan paksuisen järven jään.

Suolaliuoksen tilavuus ja lämpötila jäässä muuttuvat lämpötilan muuttuessa. Kun lämpötila laskee, jään muodostuminen pienentää suolaliuostaskujen tilavuutta samalla kun jäljelle jääneen suolaliuoksen suolaisuus kasvaa. Kun taas lämpötila nousee, jään sulaminen laimentaa suolaliuosta ja kasvattaa taskujen kokoa.

Suolaliuostaskut ja –kanavat muodostavat merijäähabitaatin. Niiden koko on alle 0,2 mm, mikä asettaa kokorajoituksen myös jään eliöille. Itämerellä merijään ravintoketjut ovat lyhyempiä kuin polaarialueilla, jossa suuremmat suolaliuostaskut ja suolapitoisuudet mahdollistivat myös hieman suurempien eliöiden esiintymisen. Tilan ahtaus johtaa suuriin eliötiheyksiin, joka puolestaan edistää virusinfektioita sekä laidunnusta ja saalistusta. Toisaalta merijäessä suolan tavoin myös ravinteet ja liuennut orgaaninen aines ovat konsentroituneena, joten ravinteet eivät ainakaan alustavasti rajoita tuotantoa ja bakteereille on ravintoa hyvin tarjolla. Valo on yksi tärkeimmistä ympäristömuuttujista merijäessä. Talvella luonnollisesti auringonsäteilyn määrä on vähäistä, joten valointensiteetit jäässä ovat yleensä hyvin matalia. Lisäksi usein jään päällä on vielä useamman senttimetrin paksuinen lumipeite. Merijään levät ovatkin usein hämärään sopeutuneita ja äkillinen altistus valolle haittaa niiden yhteyttämistä.

Kokorajoituksesta johtuen jäässä toimii ns. mikrobiravintoverkko, joka koostuu viruksista, bakteereista, levistä, alkueläimistä ja rataseläimistä. Hankajal-kaisten nauplius-toukkia tavataan jäädä ajoittain, mutta ilmeisesti niiden koko, joka on hyvin lähellä suolaliuostaskujen maksimikokoa, rajoittaa niiden esiintymistä merijäessä. Huolimatta tästä suhteellisen tyypistetystä ravintoverkosta, jäässä toimii kuitenkin moninaiset vuorovaikutussuhteet eliöiden ja liunneen epäorgaanisen ja orgaanisen aineksen välillä.

Merijäänäytteenottoon lähdeittäessä kulkuvälineen valinta riippuu siitä, minkälaista jäätä ja kuinka monesta paikasta sitä tutkitaan. Rannan läheisyydessä ahkio on yleensä riittävä. Useita näytteenottopisteitä varten kannattaa ottaa alle moottorikelkka tai hydrokopteri. Jos taas näytteet halutaan ulapan ajojäädästä, jäävahvistettu alus on välttämätön. Hydrokopteria

lukuunottamatta, näitä kaikkia käytettiin tämän väitöskirjan tutkimuksissa. Väitöskirjatutkimuksessani käytettiin merijäätutkimuksen standardimenetelmiä ja jäänäytteet lukuun ottamatta lautasjäätä, otettiin erikoiskairalla, jolla saadaan sylinterin mallisia jääkolonneja, jotka sitten paloiteltiin halutun paksuisiksi jääpaloiksi. Lautasjää puolestaan kerättiin laskettavaa metallikoria käyttäen.

Koska jäästä ei kiinteässä olomuodossa voida tehdä suoraan mittauksia, suurin osa analyyseistä tehdään sulatetulla jäällä. Tämä tuo omat hankaluutensa, sillä äkillinen suolaisuuden ja ylipäättään habitaatin muutos aiheuttaa jään eliöille stressiä, joka puolestaan voi vaikuttaa saatuihin tuloksiin. Eliöiden stressiä pyritään vähentämään sulattamalla jäänäytteet bakteerivapaassa merivedessä ja +4 asteessa.

Perämerellä jokien vaikutus on suuri ja tästä johtuu osin myös sen alhainen suolapitoisuus (maks. 4). Tämä puolestaan vaikuttaa suoraan jään suolaisuuteen ja suolaliuostaskujen kokoon. Erityisesti jokisuiden lähellä, jään alle saattaa muodostua jokivedestä makeamman veden linssi. Tässä väitöskirjassa selvitettiin, että muuttuvatko eliöyhteisöt jokisuulta ulospäin ja edelleen kiintojästä ajojäähän mentäessä.

Ajojäätutkimuksessamme havaittiin, että Perämerellä jäälauttojen päällekkäin ajautuminen on suuressa roolissa ja vaikuttaa jään paksuuteen sekä fysikaalis-kemiallis-biologisiin ominaisuuksiin. Tämä oli havaittavissa mm. jään kiderakenteessa sekä jääkolonnin sisäisinä leväbiomassahuippuina, joita ei esiintynyt ns. normaalissa jäässä.

Kohvajäällä käsitetään jää, joka on muodostunut lumesta ja jäälle nousseesta merivedestä, sulamisvedestä tai sadevedestä. Ensimmäinen näistä on merkittävin kohvajään muodostumistapa Itämerellä ja Perämerellä se voi muodostaa jopa 50 % jään paksuudesta. Muodostumisprosessi alkaa lumipeitteen paksuuden ylittäessä 1/3 jään paksuudesta, jolloin jää painuu vedenpinnan alapuolelle ja merivettä pääsee tulvimaan merijään pinnalle halkeamia pitkin. Tulvineen meriveden jäättyessä yhteen lumen kanssa, muodostuu kohvajäätä,

joka näkyy suolaisempana ja usein ravinteikkaampana kerroksena merijään pinnassa. Kohvajää kasvaa siis jään paksuutta, mutta tässä kasvu tapahtuu ylöspäin normaalin alaspäin suuntautuvan kasvun sijaan. Koska korkeampi suolaisuus tarkoittaa lisääntyntä suolaliuoksen määrää, kohvajää tarjoaa lisää elintilaa merijään eliöille. Tällä näyttäisi tuloksienne perusteella olevan suuri merkitys Perämeren kiintojäessä, sillä ilman kohvajään muodostumista biomassa Perämeren kiintojäessä olisivat todennäköisesti alhaisemmat. Kiinto- ja ajojään eliöstö alkaa erota selvästi toisistaan vasta myöhemmissä sukcession vaiheissa, jolloin erityisesti viherlevien biomassa pienenee kiintojästä ajojäähän.

Suurin osa UVA-säteilyä koskevista meribiologisista tutkimuksista on tehty merivedellä. Merijään eliöstö voi kuitenkin olla alttiimpi UVA-säteilylle, sillä eliöiden pienestä koosta johtuen UVA saavuttaa nopeasti DNA:n. Lisäksi hämärään sopeutuneet eliöt ovat yleensä herkempiä UV-säteilylle kuin valoon adaptoituneet.

Merivedessä pienet eliöt ovat jatkuvassa virtausten määrittelyssä liikkeessä, kun taas jäässä ne eivät pääse säteilyä suojaan. Suolaliuostaskujen rajoitettu ilmanvaihto voi johtaa korkeisiin happipitoisuuksiin mahdollistaen reaktiivisten happiradikaalien muodostumisen, jotka ovat haitallisia eliöille. Lisäksi alhainen lämpötila saattaa hidastaa eliöiden toipumista UVA-altistuksesta, sillä monien toipumisessa keskeisten entsyymien toiminta on lämpötilasta riippuvaista.

Tässä väitöskirjassa merijään eliöstön vasteita tutkittiin kahdessa kokeessa, joissa erilaiset UVA-käsittelyt saatiin aikaan kiinnittämällä jään päälle valon suodatusominaisuuksiltaan erilaiset kalvoteltat. Tämän väitöskirjan UVA-tutkimuksissa havaittiin, että Itämeren jääeliöstö on altis luontaisille UVA-säteilyn tasoille, joka näkyi muun muassa leväbiomassan vähenemisenä. UVA:lla näyttäisi olevan vaikutusta Itämeren jään levälajiston runsaussuhteisiin, sillä UVA:n poissuodatus, johti viherlevien ja pennaattisten piilevien biomassan kasvuun. UVA:n vaikutus bakteereihin näytti olevan lähinnä epäsuora ja bakteerit seurasivat muutoksia levien kasvussa. Bakteerilajiston tarkastelu paljasti, että bakteeriluokkien runsaussuhteissa tapahtui

kuitenkin muutoksia vasteena käsittelyihin. Näiden tulosten perusteella UVA on selvästi yksi jään eliöstöön vaikuttavista tekijöistä jo nyt ja sen vaikutus saattaa kasvaa tulevaisuudessa mikäli ilmaston muutoksen seurauksena lumi- ja jääpeite ohenevat. Tällä on puolestaan seurauksensa myös alapuolisen vesipatsaan ja merenpohjan ravintoverkoille, jotka ovat riippuvaisia jäädästä keväällä vapautuvasta ravinnosta.



Mika Marttunen

Interactive multi-criteria decision analysis in the collaborative management of watercourses

28.10.2011

Aalto-yliopisto, Matematiikan ja systeemianalyysin laitos

Vastaväittäjä: PhD Judit Lienert, EAWAG, the Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology

Tein väitöskirjani neljän kuukauden Vancouverin visiittinäni lukuun ottamatta muiden töiden ohessa. Matka venähti pitkäksi, sillä jatko-opinnot olivat pitkään mielenkiintoinen harrastus, jota tuli tehtyä silloin kuin oli aikaa, usein viikonloppuaamuisin, kun muu perhe vielä nukkui. Ensimmäinen artikkeli on julkaistu jo 1995 ja viimeisin on vuodelta 2010. Tuntui todella hienolta ja helpottavalta saada työ lopulta valmiiksi.

Olen siinä mielessä ollut onnekas, että varsinaiset työprojektini ovat mahdollistaneet tutkimuksellisen otteen ja metodikehitystyön käytännön hankkeissa yhdessä korkeakoulujen kanssa. Ne ovat siten tarjonneet oivallista aineistoa myös kansainvälisiin artikkeleihin. Professori Raimo P. Hämäläisen Systeemianalyysin laboratoriossa rooli työn ideoinnissa ja sen laadinnan eri vaiheissa on ollut aivan keskeinen. Väikkärikäsikirjoitusta hän kommentoi perinpohjaisesti lukuisia kertoja. Lopulta yli 100 sivuinen ruma ankanpoikanen

(=synteesiluonnos) jalostui n. 30 sivun joutseneksi. Raimo on ollut myös hyvä yhteistyökumppani monissa hankkeissamme. Ikimuistoiset hiihtoseminaarimme ovat tarjonneet myös monille muille sykeläisille mahdollisuuden tutustua päätösanalyysiin kiehtovaan maailmaan ja tähän maailmanluokan tiedemieheen.

Työtehtävänäni eivät ole käytännössä muuttuneet väitöksen vuoksi. Tohtoritittelin jälkeen kysyntä Akatemian tutkimushankkeisiin on kuitenkin tuntuvasti lisääntynyt. Joillekin on riittänyt, että ovat saaneet tuoreen tohtorin nimen hakemukseen. Se ei kuitenkaan harmita, sillä töitä ja kysyntää riittää monitavoitearvioinnille sekä kotimaassa että myös ulkomailla. Lähivuosien keskeisenä tavoitteena on viedä hyviä käytäntöjä ja työkaluja laajemmin ympäristösuunnitteluun ja vaikutusten arviointiin. On hienoa tehdä työtä, jota SYKEN johto arvostaa ja on vuosien saatossa monin tavoin tukenut.

LECTIO PRAECURSORIA

Dr. Custos, Dr. Opponent, ladies and gentlemen.

This doctoral dissertation compresses thousands working days of tens of experts, researchers, scientists, authorities and stakeholders in several organizations and projects. In this lecture I will first explain the terms of the title: interactive, multi-criteria decision analysis, collaborative and management of watercourses. After that I will summarize my major findings.

Let's start from the projects which form the material of this thesis. There are five cases, four of them are watercourse regulation projects and one is a flood prevention project. In these projects more than one hundred meetings and workshops were arranged and a wide spectrum of methods were applied. The central material comes from one hundred and thirty three computer aided personal decision analysis interviews.

Water course regulation projects have significantly altered the status of water courses in Finland. Almost all largest lakes and rivers are regulated. Most of the projects were launched after the Second World War. In the course of time, the use of the watercourses and the values of the society have dramatically changed. As a result, there has been a high political pressure to modify existing regulation practices to better meet the current needs. Tens of development projects have been started and realized during the last twenty years, which is also the period of this work. These projects aimed at balancing economic, ecological and social objectives. However, this has been a challenging task



Mika Marttunen, Raimo P. Hämäläinen ja vastaväittäjä Judit Lienert kilistelemässä karonkan alkajaisiksi.

in every case. There are several reasons for that. Next I will present four of them.

First, stakes in the projects are high. The water levels and flows affect tens of thousands peoples' everyday life and recreational use. They have an impact on source of livelihoods, floods and hydro power generation. Thus, the decisions concerning regulation practices really matters in the local, regional and even in national level. Second, water user groups have different and even conflicting interests and objectives. Finding regulation practices which reconcile them in the different sections of the water course in the different water conditions can be impossible merely because of hydrological reasons. Third, water course regulation projects and their causal relationships on aquatic ecosystem are ver complex, and lastly, in order to find technically and economically feasible, ecologically sustainable and socially acceptable solutions co-operation and dialogue between engineers, limnologists, biologists and sociologists is needed. Incorporation of the knowledge of local residents and user groups into the process is also very important.

In finding sustainable management practices mathematical models are invaluable in developing and analyzing alternatives. However, finding an agreement is definitely not a mathematical optimization task but a collective learning and negotiation process. A crucial question is how to create stakeholder processes which are fair, open, meaningful and efficient?

Major changes in environmental planning culture and practices have occurred over 20 years period of this work. Today, dialogue between authorities, stakeholders and experts is considered very important and is also one indicator of a high quality planning process. Three of the regulation projects, Päijänne, Pirkanmaa and Koitere were collaborative ones. In these projects stakeholders worked together to identify problems, define objectives, share information, and find opportunities to collectively acceptable regulation policies. The most important forums for stakeholder involvement were steering groups which comprised

representatives of several authorities, hydropower companies, non-governmental organizations, fishermen, and recreational users. In the long lasting projects, sustaining participants' interest and activity is a challenging task.

Many decisions guiding the planning and impact assessment are made in the beginning of the process. For instance, what is the problem which has to be solved, who are key stakeholders, how the process should be realized and what kind of alternatives and impacts will be considered? In the case projects the early and active involvement of the stakeholders has had a positive systemic impact on the whole planning process.

I have seen that distrust can feed the conflict and make it very difficult to focus on right issues. Dialogue and social learning become possible only after trust has been built between participants. My experiences suggest that in truly participatory and transparent process, trust between participants will develop in the course of time. Trust towards the project improves if the participants experience that their opinions are appreciated and that they can really affect the process and its outcomes.

Planning processes often miss out discussion of the participants' objectives and proceed too quickly to evaluation of the alternatives. This easily leads to a deadlock situation where participants try to convince others why the alternative they prefer is the best one. However, alternatives are relevant only because they are means to reach objectives. Therefore, in the beginning of the projects it is important to discuss objectives which each party consider important in the decision situation.

Decisions should not be based on unconsidered opinions but on informed judgments. Mutual learning is critical because no single party, agency, organization, or discipline has alone adequate knowledge and understanding of a particular situation. In the case projects structured and systematic processes

improved understanding of the alternatives' impacts and uncertainties related to them.

Designing and realizing multi-stakeholder processes in a participatory, structured, value-focused and educative way is a delicate task in which new approaches, practices and tools are needed. Next I describe how Multi-Criteria Decision Analysis has helped in this?

Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA, is a formal approach which helps to bring structure and transparency to the planning situations in which there are multiple objectives and conflicting values. One of the pioneers in the MCDA field, Ralph Keeney, defines it as "a formalization of common sense for decision problems which are too complex for informal use of common sense". MCDA applications in environmental planning are numerous and diverse. Applications cover for instance water resources, fisheries and forestry management, agriculture and energy and climate policies.

In the three latest cases, the design of the planning process was based on MCDA. In addition, MCDA tools were applied in the development and comparison of alternatives. Major benefits of MCDA in these projects were following:

- MCDA systemized and structured the planning process and provided a framework and roadmap for the whole planning process.
- MCDA fostered value-based planning. Identifying each stakeholder's objectives and compiling a common objective's hierarchy proved to be a substantial step in building shared understanding. Becoming aware of the other stakeholders' objectives helped to look at the problem from broader view. This improved conditions for joint-solution finding.
- MCDA supported systematic and transparent evaluation of alternatives from different perspectives. Capabilities to include non-monetary impacts and subjective preferences into the evaluation of alternatives are unquestionable strengths of MCDA, and largely explain why the use of MCDA is rapidly increasing at the moment.

- MCDA promoted collecting, combining and summarizing information from several sources and creating common language in the steering groups. This was a very valuable characteristic in multidisciplinary projects.
- MCDA and mathematical models enhanced learning of participants in many ways. When eliciting weights to the criteria people were encouraged to consider their own values and trade-offs more deeply than normally. In computer aided interviews people had also an opportunity to see how their preferences affected the desirability of alternatives.

One of the major results of this thesis is the decision analysis interview approach. It refers to an MCDA process which is based on personal interviews with a multi-criteria model. The process can be divided into three major phases. In the projects studied, the first phase: framing, impact assessment, and compilation of workbook material took most of the time. In the interviews, the decision analyst used the MCDA software, asked the elicitation questions, and took care to ensure that the answers reflected the participant's views as well as possible.

One of the main claims and conclusions of this thesis is that the levels of integration and interaction have a crucial impact on the quality and effectiveness of the MCDA process and its outcomes. Integration refers to how MCDA is linked to the planning and how it supports various phases of the process. A high level of interaction means that key stakeholders are actively involved in the various phases of the process and that weight elicitation and analysis of the results are interactive and computer-aided.

Major advantages of interactive use of MCDA are presented in this slide: (improved consistency, enhanced learning, improved trust toward the results and improved fairness and transparency).

Personal decision analysis interviews provided an excellent opportunity to observe participants' behaviour when they elicited weights, and to identify problems

in the process. My findings are in line with earlier studies showing that people have difficulties in assigning consistent and unbiased weights. Therefore, close interaction between the analyst and the participant in the weight elicitation is needed.

Applied MCDA models provided a 'learning by analysing' opportunity for the participants. The interactive use of the models supported the systematic analysis of the stakeholders' preferences and helped to analyse how their preferences affected the ranking of the alternatives. Participants considered the possibility to immediate feedback very useful. By using MCDA methods interactively, people could see how their answers were used as input values for the analysis and also how they affected the outcome. As a consequence, stakeholders' trust in the model, the results, and even the whole planning process increased.

The personal decision analysis interview was a good way to give each participant an opportunity to express his or her opinions and get those opinions documented equally to others'. One can even say that in this respect the decision analysis interviews had a positive effect on the perceived fairness of the planning processes. They signalled that each participant's opinion was appreciated and taken into account.

And finally the conclusions. In all four regulation development projects, agreement on the recommendations was achieved. However, this was not an easy task in any of the projects and required considerable work and intensive discussions in the projects' steering groups. In all cases, the outcome was a compromise and not all stakeholders were entirely happy with it. Some stakeholders were disappointed because their hopes regarding the magnitude of changes in water levels were greater than what was finally included in the policy recommendations.

Evaluation of the role of MCDA in reaching agreement is very difficult: we cannot have two projects that are identical except that MCDA is used in one but not the other. It is also very hard to separate the use of MCDA

from the whole planning process, because MCDA was an integral part of it. Therefore, I cannot claim that finding acceptable compromises was a consequence of the use of MCDA. However, MCDA has several characteristics that directly improved the quality of the decision-making process and which supported joint problem-solving. I see many of them as resulting from the systematic, interactive, transparent, and value-based approach.

Ladies and gentleman, today's environmental problems are complex, large, multidisciplinary, and ill-structured. Finding sustainable solutions requires that there is a good dialogue between policy-makers, scientists and stakeholders. There is also a great need for approaches which support systematic evaluation of alternatives from different points of views. In this thesis I have shown that MCDA fulfills well these criteria when it is properly integrated into the participatory planning process and when it is used in an interactive manner. I see that MCDA has so many advantages that it should be included into the toolbox of every expert working in environmental planning and impact assessment.

One of the greatest scientists, Albert Einstein, made his life work long before MCDA was evolved. In addition to famous mathematical equations, he left many insightful quotations. One of them is "*Not everything that can be counted counts, and not everything that counts can be counted.*" I totally agree with Albert. However, I see that with the help of MCDA it is possible to include into the decision-making process also such impacts which in fact can not be counted accurately.

Patterns of aquatic macrophytes in the boreal region: Implications for spatial scale issues and ecological assessment

11.11.2011

Oulun yliopisto, Maantieteen laitos

Vastaväittäjä: Dosentti Richard Field, University of Nottingham

Tein jo pro gradu-tutkielmani vesikasveista ja mielenkiintoa aiheeseen riitti väitökseenkin. Tosin tarkempaa aihetta mietittiin yhdessä ohjaajien kanssa. Pääohjaajieni omat tutkimusintressit olivat hyvin erilaisia, joten työstäni tuli loppujen lopuksi hyvin poikkeuksellinen. Toisaalta se oli haastavaa, kun piti sisällyttää samaan väitöskokonaisuuteen hyvin erilaisia osatöitä, mutta ilmeisesti onnistuin siinä ihan hyvin – ainakin vastaväittäjän mielestä. Olin aloittanut työskentelyn SYKEssä jo opiskeluaikana, joten koin luontevaksi jatkaa tutkimusta täällä. Työskentelin ensimmäiset kaksi vuotta SYKEssä ulkopuolisena tutkijana ja viimeiset kaksi vuotta tutkijana vesienhoitoyksikössä.

Väitös on ollut tärkeä merkkipaalu työurallani. Päätin saadessani tutkijakoulupaikan, että teen väitöksen loppuun riippumatta muista mahdollisista töistä. Onhan neljään vuoteen mahtunut haasteellisia hetkiä ja hermojen menetyksiä, mutta varsinkin näin jälkikäteen uurastusta osaa arvostaa. Eikö kliseisessä sanonnassa todeta, että väitöskirja on ajokortti tutkijan uralle.

Jatkan edelleen tutkimusta vesikasvien parissa, mutta laajennan tutkimustani myös muihin aiheisiin. Olen viihtynyt SYKEssä hyvin, mutta tulevaisuus on vielä avoinna. Joka tapauksessa olen oppinut arvokkaita työelämä- ja tutkimustaitoja ja tutustunut hienoihin ihmisiin SYKEssä viimeisten kymmenen vuoden aikana.

LECTIO PRAECURSORIA

Luonnon monimuotoisuus on uhattuna useissa maapallon eri ekosysteemeissä. Ihmisen toimet aiheuttavat muutoksia eliöyhteisöissä ja altistavat lajeja sukupuutolle sopivan elintilan puuttuessa. Maankäytön muutoksilla viitataan yleensä luontaisen ympäristön muokkaamista ihmistarpeiden käyttöön. Erityisesti maa- ja metsätalous sekä asutus aiheuttavat epäsuotuisia muutoksia eri ekosysteemeissä, myös vesiekosysteemeissä. Ilmastonmuutos puolestaan muuttaa maapallon ilmastoa, kuten lämpötiloja ja sademääriä. Tällä on suoria vaikutuksia niin ihmisen kuin ympäristön hyvinvointiin.

Luontohan on jatkuvasti muuttuva ympäristö, johon luontaisesti kuuluu erilaiset muutokset, kuten sukupuutot. Ihmisperäisissä muutoksissa on kuitenkin aina kyse siitä, että ihmisen toiminta on suoraan aiheuttanut ns. luonnottomia muutoksia ympäristössä, joita ei tapahtuisi ilman näin suurta määrää ihmisiä maapallolla. Samoin ihminen on saattanut muuttaa jotain luontaista kehitystä siten, että muutoksen nopeus tai voimakkuus eivät enää kuulu luontaisen vaihtelun piiriin. Ilmastonmuutos on hyvä esimerkki tällaisesta kehityksestä, jossa lajit eivät ehdi sopeutua nopeaan ilmaston muuttumiseen. Yhteistä globaaleille muutoksille on, että ne eivät useinkaan pysähdy valtioiden rajoihin. Erityisesti ilmastomuutos ei valikoi kansakunnan tai valtion välillä, vaan vaikutukset ilmenevät kaikkialla muodossa tai toisessa.

Pohjoiset ekosysteemit ovat erityisen alttiita maankäytön ja ilmaston aiheuttamille muutoksille, koska useat lajit ovat sopeutuneet karuihin ja viileisiin ympäristöihin. Vesiekosysteemien lisähaasteena on, että ne ovat ikään kuin vesisaaria maa-alueiden ympäröiminä ja monet eliöt leviävät nimenomaan vesireittejä pitkin. Täten vesieliöiden on huomattavasti vaikeampi paeta haitallisia muutoksia kuin maalla elävien lajien. Maankäytön muutokset aiheuttavat muun muassa ravinteiden ja muiden haitallisten aineiden kulkeutumista maalta vesistöihin. Vesistöjen rehevöityminen johtuukin vesistöihin kulkeutuneista ylimääräisistä ravinteista. Ilmastonmuutoksen on ennustettu voimistavan sademääriä Pohjois-Euroopassa, mikä puolestaan lisää ravinteiden huuhtoutumista maalta vesistöihin. Lisäksi ilmastomuutos nostaa vesistöjen keskimääräisiä lämpötiloja ja kasvattaa kasvukauden ja lyhentää talvikauden pituutta.

Luonnonmaantieteellä on selkeää tarvetta tutkittaessa ja ymmärrettäessä ihmisen aiheuttamien muutosten vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen. Tieteenalan keskeisiä käsitteitä ovat ajallinen ja maantieteellinen mittakaava, jotka ovat myös oleellisia tekijöitä tutkittaessa ilmastomuutoksen ja maankäytön vaikutuksia ympäristöön. Paikkatietomenetelmät, kaukokartoitus ja alueellinen mallintaminen ovat luonnonmaantieteen työkaluja tutkittaessa lajien, ympäristön ja ihmisen välisiä vuorovaikutuksia. Paikkatietomenetelmillä saadaan hyödynnettyä laajoja maantieteelliseen paikkaan sidottuja aineistokokonaisuuksia, joita analysoimalla voidaan luotettavammin arvioida lajien

esiintymisiä ja ympäristömuutoksia sekä koko maapallolla että suppeammilla maantieteellisillä alueilla. Paikkatietoaineistojen laadun parantuessa ja määrän kasvaessa tilastolliset analyysit lajien ja ympäristön vuorovaikutuksia mallinnettaessa ovat kehittyneet. Mallien sovittaminen ja niiden avulla ennustaminen vaatii kuitenkin ymmärrystä niin tilastollisista menetelmistä kuin lajien ja ympäristön suhteista, jotta saadut tulokset ovat edustavia.

Maantieteellisen mittakaavan merkitys tutkittaessa lajien ja ympäristön välisiä vuorovaikutuksia on tunnustettu laajemmin maantieteen ulkopuolella vasta viimeisen parin kymmenen vuoden aikana. Maantieteellisellä mittakaavalla on merkitystä sille, mitkä ympäristötekijät vaikuttavat tutkittavaan ilmiöön. Jos tarkastellaan esimerkiksi kaikille tutun männyn esiintymistä kahdella mittakaavaltaan erilaisella alueella: laajassa mittakaavassa Suomessa ja paikallisessa mittakaavassa Oulun kaupungissa. Suomen mittakaavassa ilmastolliset tekijät nousevat todennäköisesti merkittävimmiksi tekijöiksi selittämään männyn esiintymistä, kun taas Oulun sisällä ilmastolliset vaihtelut ovat huomattavasti pienempiä. Yhtälaillla niin sanonut paikalliset ympäristötekijät, kuten maaperän ravinteisuus ja maankäyttö, ovat tärkeämmässä roolissa Oulun sisällä kuin koko Suomen mittakaavassa. Mittakaava vaikuttaa samalla tavalla vesiekosysteemeihin. Kuitenkin vesiekosysteemeissä on havaittu joitakin poikkeuksia tästä säännönmukaisuudesta. Vedenlaatu saattaa muun muassa olla merkittävä tekijä selitettäessä lajien esiintymisiä myös laajassa mittakaavassa.

Maapallon eri ekosysteemeissä on tunnistettu muutamia säännönmukaisia nimenomaan laajassa mittakaavassa. Eräs tunnetummista säännönmukaisuuksista on lajimäärän väheneminen siirryttäessä tropiikista kohti napoja. Useat vedessä elävät lajit ja lajiryhmät muodostavat poikkeuksen tässäkin säännönmukaisuudessa verrattuna maaekosysteemeihin. Esimerkiksi vesikasvien lajirunsaus on nykytiedon mukaan suurinta lauhkealla ilmastovyöhykkeellä. Voidaankin perustel-

lusti sanoa, että maantieteellisellä mittakaavalla on ensiarvoinen merkitys tutkittaessa eliömaantieteellisiä ja ekologisia ilmiöitä, ja vesiekosysteemien tuntemus laajan mittakaavan ympäristövasteista on puutteellista.

Euroopan Unionin vesipolitiikan puitedirektiivi velvoittaa jäsenmaitaan siihen, että niiden järvet ja joet saavuttavat vähintään hyvän ekologisen tilan vuoteen 2015 mennessä. Järvet voivat olla keskenään hyvinkin erilaisia johtuen niiden luontaisista ominaisuuksista. Siksi direktiivin täytäntöönpanossa keskenään samankaltaisia järviä tarkastellaankin usein erikseen, toisin sanoen saman tyyppin järviä verrataan keskenään. Saman tyyppin sisällä luonnontilaisien järvien eri biologisia eliöryhmiä verrataan ihmisen kuormittamiin järviin ja muutos eliöryhmissä luonnontilaisten ja kuormitettujen järvien välillä ilmentää ekologisen tilan heikkenemistä. Vesikasvien esiintymisistä johdettuja ekologisen tilan mittareita käytetään yhtenä biologisena kriteerinä arvioitaessa järvien ekologista tilaa.

Vesikasvit ovat tuttuja jokaiselle suomalaiselle järven rannalla mökkeilevälle ja –asuvulle. Järviruoko, järvikorte, järvikaisla ja leveäosmankäämi muodostavat perinteisen järvimaiseman, kun kasvit kohoavat ylväänä vedestä jopa neljän metrin korkeuteen. Lumpeet ja ulpukat puolestaan hehkuvat keltaista ja valkoista väriloistoa kukkiessaan keski- ja loppukesästä. Vaikka nämä ilmaversoiset ja kelluslehtiset vesikasvit muodostavat usein näkyvän osan järven kasvillisuudesta, niin vesikasviyhteisöön kuuluu muitakin elomuotoja. Vedenpinnalla elää pieniä irtokellujia, kun taas vedenpinnan alapuolella kasvaa uposlehtisiä, pohjalehtisiä, irtokeijuja- ja vesisammallajeja. Nämä erilaiset vesikasvit vastaavat osaltaan järvien perustuotannosta ja niillä on tärkeä merkitys järvien muille eliöille ja vedenlaadulle. Vesikasvit tarjoavat suojaa, ravintoa ja lisääntymisalueita eri eliöille sekä vaikuttavat veden ja sedimentin laatuun. Lyhyesti voidaan sanoa, että järviekosysteemi on hyvin riippuvainen vesikasviyhteisöstä ja sen ekologisesta terveydestä.

Väitöskirjassani tutkin ympäristötekijöiden ja ilmastomuutoksen vaikutusta vesikasveihin laajassa mittakaavassa ja miten ekologiset vesikasvimittarit toimivat Suomessa, erityisesti suhteessa maankäyttöön eri mittakaavoissa.

Ecological impacts of in-stream restoration in salmonid rivers: The role of enhanced structural complexity

11.11.2011

Oulun yliopisto, Biologian laitos

Vastaväittäjä: Dr. Peter Rivinoja, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Uumaja, Ruotsi

Osasini tieni kaloja perkaamaan kahden vuoden vanhana, jolloin tutkin petokalojen ravinnonkäyttöä Saimaalla – eli polkuni oli jo tuolloin nähtävissä. Väitöskirjahankkeeni ”lohikalojen pelastamisesta” ei siis varmasti tullut lähipiirille yllätyksenä ja myönnän itsekkin innostuvani siitä yhä uudelleen. Vaikka väitöskirjaprosessini kesti nykytilastojen valossa turhan pitkään, olen tässä vaiheessa käytetystä ajasta pelkästään hyvilläni. Ehdin suunnitella ja tehdä kenttätöitä, ehdin perehtyä ja oppia kunnolla uusia asioita ja ehdinpä vielä elää normaalia elämääkin. Väitöksen lähestyessä kasasin pinoja luettavia artikkeleita pöydille ja eri tavoin järjestettyihin koteloihin, mutta kuten arvata saattaa, eihän niille löytynyt koskaan aikaa. Olin kuitenkin sisäistänyt vahvasti, että tiedän aiheesta ainakin tarpeeksi.

Väitöstilaisuuteeni oli lopulta erittäin mukava tilaisuus, josta jäi vielä energiaa varastoonkin. Osaltaan rentoutta kyllä lisäsi vastaväittäjäni tohtori Peter Rivinoja, jonka kainuulainen murre ja toisaalta ammattisanaston suorat käännökset tekivät välillä oikein hyvän poikkeaman jääkkään tilanteeseen. Olin kyllä myös varoittanut ohjaajaani, kustoksena toiminutta prof. Timo Muotkaa, ettei saa näyttää kauhistuneelta tai takoa päätänsä, kun minä vastaan kysymyksiin. Enkä onneksi kertaakaan nähnyt järkyttynyttä ilmettä. Mukavan päivän jälkeen oli siis helppoa jatkaa rentoa tunnelmaa karonkassa, jonka kädenvääntöjä voi vieläkin muistella.

Väitöskirjahankkeeni oli vahvasti kytketty Ouluun, sillä projekti oli osa Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen suurempaa hanketta ja väittelin Oulun yliopistossa pääaineena eläinekologia. Keski-Suomeen kotiutuneena olenkin erittäin kiitollinen, että sain liittyä SYKEN Jyväskylän toimipaikan joukkoon, jossa virtavesien mallintajana en ollut ollenkaan väärässä paikassa. Toimiva yhteistyö

kaikkien osapuolten välillä ja etätöiden mahdollisuudet tekivät projektista minulle joustavan ja mukavan vaiheen elämässäni. Väitöskirjatyöni välipaloina tein vaihteeksi töitä erilaisissa hankkeissa vesikeskuksen malliyrityksissä ja yhden tuollaisen hankkeen jälkimainingeissa tein tällä hetkellä post doc -jaksoani Turun yliopiston maantieteen laitoksella, joten virta tosiaan vei mukanaan. Tärkein antini SYKEstä on ollut, että työyhteisössä on hienoa, kun ympärillä on joukko ihmisiä, joilta saa jatkuvasti uusia ajatuksia ja etenkin työssä jaksamista.



Vastaväittäjä Peter Rivinoja ja Saija Koljonen.

LECTIO PRAECURSORIA

Pääsen aloittamaan lektioni historiaosuuden roomalaisista sanomalla, että jo muinaiset roomalaiset tulivat kuuluisiksi virtavesien käyttäjinä, rakentajina ja muokkaajina. Oikeastaan ihmistoiminnan vaikutus ulottuu virtavesienkin osalta toki paljon kirjoitettua historiaa kauemmaksi. Modernin aikakauden ihmisen tuhovoima luonnossa on ollut ennennäkemätön. Ihmistoiminnan vuoksi lajeja on kuollut sukupuuttoon ja kokonaisia elinympäristöjä on hävinnyt. On kuitenkin lohdullista huomata, että ihmisen suhde luontoon on ilmeisen voimakas, sillä viimeaikainen tuhoaminen on saanut vastavoimaksi elinympäristöjen kunnostamisen. Viimeisten vuosikymmenten aikana maailmanlaajuisesti kunnostustoimia on tehty tuhansissa kohteissa, ja niihin on kulutettu huomattavia rahasummia. Tätä voisi kutsua paremman omantunnon ostoksi, sillä ekologisesti meillä on yhä hälyttävän vähän tietoa siitä, onko toimilla ollut vaikutusta.

Maailman mittakaavassa Suomen vesiä pidetään yleisesti hyvälaatuisina, olemmehan saaneet puitedirektiivien perusteella 60 % pintavesistämme luokiteltua ekologisesti vähintään hyväksi. Kyse ei kuitenkaan ole luonnontilasta, vaan voidaan sanoa, että kaikissa maamme virtavesissä näkyy nykyisin ihmistoiminnan vaikutus. Valuma-alueiden maankäytön vaikutus on selkeä ihmistoimien merkki kaikissa vesistöissä. Muutokset ympäröivässä luonnossa ja itse uomassa ovat olleet viimeisten vuosikymmenten aikana niin suuret, ettei voida enää puhua luonnontilaan palauttamisesta kunnostustoimin.

Meillä Suomessa koskien perkaus tulvasuojelun ja viljelysmaan lisäyksen nimissä aloitettiin viimeistään, kun Ruotsin kuningas määräsi köyhän ja onnetoman kansamme hyväksi perustettavaksi kuninkaallisen koskeinperkaustoimikunnan vuonna 1799. Suurimmat ja näkyvimät muutokset koettiin kuitenkin vasta toisen maailmansodan jälkeen, kun jälleenrakennuksen aikakausi vaati veronsa myös virtavesissä. On sanottu, että lähes kaikki uittokelpoiset purot ja joet ovat maassamme olleet uittokäytössä. Tämä tarkoittaa noin 20 000 kilometriä uittoväylää. Voidaan arvioida, että suurimpaan osaan jokia tai puroja jouduttiin tekemään niin sanottua siistimistöä, jotta uiton sujuvuus olisi kohtuullista. Mielenkiintoisena yksityiskohtana mainittakoon, että noita toimia kutsuttiin tuolloin koskikunnostukseksi ja sitä tehtiin valtion varoilla. Tuo muutos saattoi olla vain muutaman kiven siirtoa tai pahimmillaan konevoimin ja räjäytyksin täydellistä jokiuoman rännimäistämistä.

Muutoksessa huomio kiinnittyy itse uomaan, jossa pohjan monimuotoisuus on lähes kokonaan kadonnut. Virran voimakkuus on pääuomassa suuri, eikä luontaisia suojapaikkoja juurikaan ole. Koskikunnostukset ovat perinteisesti kohdistuneet juuri tuohon alueeseen eli virtaa on pyritty jakamaan uomaan tasaisemmin ja siihen saamaan vaihtelua tuomalla penkoille siirrettyjä kiviä takaisin uomaan. On kuitenkin huomattavaa, että kokonaisuuden kannalta eli ekosysteemin toimintaa ajatellen muutoksesta löytyy todennäköisesti vielä suurempi ongelmakohta. Peratuissa kohteissa toimii ikään kuin kaksi erillistä, rinnakkaista ekosysteemiä; metsä ja joki – kun siellä pitäisi olla yhtenäinen jatkumo luontoa; metsä, rantavyöhyke ja joki. Valuma-alueen vaikutus energian tuojana etenkin latvavesissä on erittäin suuri eikä tuo vaikutus realisoidu pelkästään ylävirran suunnasta, sillä vähintään yhtä tärkeää on toimiva yhteys koko joen matkalla. Lehtikariketta voidaan pitää virtavesien polttoaineena ja sen pysähtyminen eliöiden käyttöön on monesti koko ekosysteemin perusta. Peratuissa kohteissa tuo yhteys rantavyöhykkeeltä jokeen on katkaistua, sillä normaalia joenpenkkaa ei ole ja välissä on jopa kymmenien metrien kivivalli. Ekosysteemin kannalta kyse voi olla seikasta, jonka

unohtaminen estää kunnostustoimien vaikutusten toteutumisen.

Aiheeni koskikunnostusten ekologisista vaikutuksista loheen ja taimeneen tuntui projektin alussa hyvinkin yksinkertaiselta ja selkeältä. Olin tekemässä työtä luonnon hyväksi ja todentamassa tärkeiden ja monin paikoin uhanalaisten lajien selviytymistä. Sittemmin asia monimutkaistui ja muuttui hankalaksi. Voin tässä vaiheessa paljastaa loppuhuipennuksen eli vastauksen siihen, miten koskikunnostukset ekologisesti vaikuttavat lohi- tai taimenpopulaatioihin; vastaukseni on suora, kiertelemätön ja jossain määrin epäreilu. Mutta lohi- ja taimenkantojen elinkykyä ajatellen en usko kovinkaan monen suomalaisen kunnostuskohteen olleen ekologisesti merkittävä. Huomaatan heti seuraavaksi, etten tarkoita koskikunnostusten epäonnistuneen, vaan tämä johtuu siitä laajasta ongelmakohtien vyyhdistä, johon lohikalapopulaatiot ovat sotkeutuneet. En myöskään ole käsitellyt tutkimuksissani sosioekonomisia aspekteja eli kosken kuohu ja puron solina tuovat eittämättä lisäarvoa ja luontaisen näköinen joki tai puro on suomalaiselle selkeästi arvoisiansä. Koskikunnostusten merkityksen arvioiminen ekologisena kokonaisuutena on aiheeltaan erittäin mielenkiintoinen, oikeastaan omassa tutkimuksessani sivuraide – ja jossain määrin yhteiskunnallisesti kovin arka, mutta palaan siihen myöhemmin.

Voimme nähdä hienoja esimerkkejä kunnostuskohteista, joissa on selkeästi onnistuttu luomaan monipuolisempaa elinympäristöä ja vesipinta-alan lisäyksellä on mahdollistettu yhteys rantavyöhykkeelle. Viime viikolla raportoitujen tulosten perusteella Iijoen kunnostukset eivät kuitenkaan täyttäneet odotuksia. Raportissa syiksi arvellaan liian vähäisiä toimenpiteitä itse kunnostuksissa, lähinnä kutu- ja poikasalueiden vähyyttä – mutta myös kalastuksen vaikutus nostetaan esille ja etenkin alamittaisiin kohdistuva kalastus. Suurten jokien osalta uskon, että Iijoen tilanne on hyvä esimerkki. Nykyiset kunnostusmenetelmät eivät takaa lohikalajien elpymistä.

Kunnostuksissa on nojaututtu väittämään, että habitaatin heterogeisuus eli elinympäristön mo-

nimuotoisuus on yksittäisistä tekijöistä lohikalalle tärkein ja yleensä rajoittaa sen esiintymistä. Samalla monimuotoistamisen on ajateltu yleisten ekologien teorioiden perusteella johtavan biodiversiteetin kasvun ja ekosysteemin toiminnalliseen parantumiseen. Joten yritän seuraavaksi unohtaa kokonaisuuden ja keskittyä joenpohjan rakenteellisen monimuotoisuuden merkitykseen, mitä sille on tehty ja mitä oikeastaan voisi tehdä enemmän. Lohen ja taimenen poikaset viihtyvät koskessa, jossa on tarjolla suojapaikkoja ja tarpeeksi ravintoa. Suojapaikka on yleensä suurehko kivi tai luultavasti vielä mieluummin sopiva kivenkolo, joka tarjoaa lepopaikan virrasta ja suoja saalistajilta, mutta on kuitenkin lähellä kovemman virran alueita, joista ravinnonhankinta on helpointa. Tämä pätee kesäaikaan, jolloin tärkein tehtävä on maksimoida kasvu – ja pysyä silti hengissä. Kesä ei kuitenkaan kestä ikuisesti eli jokipoikanenkin ehtii yleensä viettää ainakin kaksi talvea joessa. Tällöin lohikalat muuttuvat energiaa säästäviksi ja suojapaikan merkitys kasvaa huomattavasti. Kunnostukset näyttävät lisäävän vesipinta-alaa ja luovat näin sopivia elinympäristöjä pienille poikasille, mutta talven osalta ongelmat jopa pahenevat. Virtaaman laskiessa keskiuoman merkitys kasvaa ja kunnostuksen jälkeenkin siellä on yleensä sopivat olosuhteet vain isommille kaloille. On siis tärkeä huomata, kunnostustoimissa täytyy huomioida koko elinkierto, jos toimenpiteillä on tarkoitus luoda sopivia elinympäristöjä tietyille lajille.

Useiden viime vuosina julkaistujen tutkimusten valossa elinympäristöjen monimuotoisuus kyllä lisääntyy kunnostustoimissa, mutta lähes poikkeuksetta sen ei ole todettu realisoituvan mitattujen muuttujien suhteen. Eli kalojen tai selkärangattomien lajidiversiteetti tai biomassat eivät ole lisääntyneet. Tämä johtaa päättelemään, että elinympäristöt eivät olleet rajoittavana tekijänä tai mitattavat muuttujat olivat huonosti valittuja. Ekologista merkitystähän voi olla monella tekijällä.

Kahden kokeellisen työni perusteella rakenteelliselle monimuotoisuudelle löytyi positiivisia ekologisista vaikutuksia. Monimuotoisessa uomassa taimenenpoikaset pysyivät talven yli paremmassa kunnossa kuin

rännimäisessä uomassa talven viettäneet lajikumppanit. Latvapurojen ekosysteemien perustoiminnoksi luettavaan lehtikarikkeen pidättymiseen monimuotoisen uomarakenne oli selkeästi paras. Joskin nykyiset kunnostusmenetelmät eivät olleet korkeilla virtaamilla toimivia, vaan tarvittiin suuri määrä puuainesta, jotta tulos oli hyvä. Mutta elinympäristöjen monimuotoisuus siis vaikutti positiivisesti sekä lajitasolla että ekosysteemin toiminnallisella tasolla. Kunnostustoimissa tulisi siis määritellä päämäärä ja keinot, joilla tavoite voidaan saavuttaa. Jos elinympäristöjen puute on populaatiota rajoittava tekijä, täytyy se pystyä myös arvioimaan ja kunnostamaan kokonaisvaltaisesti.

Palaan lohikalajien kannalta kokonaisuuteen. Sillä vain sillä on oikeasti merkitystä populaatioiden ja lajien säilymisessä. Esimerkkikohteeksi sopii Oulun pohjoispuolella sijaitseva Kiiminkijoki, joka on harvinaisen Itämereen laskeva joki siinä, että se on jäänyt vaille vesivoimakäyttöä eli lohen kannalta nousuesiteitä joissa ei ole. Valuma-alueen maankäytössä on toki ongelmia, sillä 60 % on ojitettua metsää tai suota, joten vedenlaadun muutokset ovat olleet selkeitä. Kiiminkijoen lohesta on enää jäljellä valokuvia, muuten joen oma lohikanta on menetetty. Samoin on käynyt yli 90 % Itämereen laskevien jokien lohikannoista eikä sisävesien taimenkannoilla tilanne ole lohdullisempi. Kiiminkijoen intensiivinen kalastus jokisuulla ja merellä, vedenlaadun heikkeneminen ja uittoperkauksien aiheuttama poikasalueiden häviäminen olivat todennäköisesti lohikannan tuho 1970-luvulle mennessä. Lohenpoikasten istutukset Kiiminkijokeen aloitettiin jo 70-luvulla, mutta vuodesta 1994 lähtien istutusmäärät ovat olleet selkeästi suurempia, siten että vuosittain on istutettu noin 75 000–170 000 lohenpoikasta. Vuonna 1999 Kiiminkijokeen nousevat emokalalaskettiin ja nousuaikana jokeen vaelsi 68 lohta (joista 38 oli ensimmäisen merivuoden kaloja). Saalisilmoitusten perusteella samana vuonna vapaa-ajan kalastajat saivat joesta 300 kg lohta. Vuonna 2000 eli seuraavana kesänä joesta koekalastettiin eri koskikohteista 30 koealaa ja niistä löytyi kaikkiaan 15 luonnonlohen poikasta. Tätä epäsuhtaa korjattiin kunnostamalla koskipaikkoja poikastuotantoalueiksi. On toki totta, että luomalla istukkaille paremmat olot voidaan olettaa

jatkossa suurempia nousukalamääriä, mutta ilman muita toimia luonnonkierron palautumiseen ei liene mahdollisuuksia.

Kiiminkijoen kohdalla ei tarvitse käyttää enempää matematiikkaa ymmärtääkseen, ettei tehdyillä koskikunnostuksilla ole ekologista merkitystä kokonaisuuden kannalta – ennen kuin kutukannan koko saadaan täysin erilaiseksi. En voi pitää näitä ajatuksia itse keksimänä tai väitöskirjani uusina tuloksina. Jostain syystä nämä totuudet vain eivät näy toimissamme. Esimerkiksi Kyrönjoen kunnostuksista uutisoitiin keväällä. Kunnostustoimista ollaan iloisia ja lohijoen elpymistä odotetaan. Mutta todetaan kuitenkin, ettei vedenlaadun osalta ole oikein menestymismahdollisuuksia eli todellinen pullonkaula jää tässäkin tapauksessa korjaamatta. Suomen lohikiintiö laski jonkinasteisen kohun saatelemana ja vapaa-ajankalastajat ryöpyttävät puolalaisia siimakalastajia ja ministeriön virkamiehiä. Tarkistin muutamia kalastukseen liittyviä tilastoja, enkä voi olla huomauttamatta, että suomalaiset kalastavat Itämeren lohisaaliista sisävesillä lähes sata tuhatta kiloa. Toki suurin osa määrästä on Torniojoelta, jossa on suhteellisen hyvinvoiva lohikanta, mutta muille – uhanalaisille ja vasta elpyville lohikannoille jää tuosta määrästä silti jopa kymmeniä tuhansia kiloja lohta. Koko Itämeren alueella vapaa-ajankalastajat saivat vuonna 2010 26 % lohisaalista. Ekologisesti ammattikalastajan rysään merellä uinut lohi ei ole samanarvoinen kuin kudulle jokeen noussut lohi. Joten uskaltaisin sanoa, että kunnostustoimien lisäksi nyt olisi aika pelastaa kallisarvoisia onnistujia eli rauhoittaa nousukaloja pyynniltä.

Lohen elinpiiri ei ole pelkästään sen kotikoski, jossa se viettää ensimmäiset vuotensa. Lohen elinpiiriksi voidaan laskea koko valuma-alue, sillä siellä tapahtuva maankäyttö ja ihmistoiminnan vaikutukset valuvat suoraan lohen niskaan. Lohen elinpiiri ulottuu myös jopa satojen kilometrien päähän syönnösalueille. Loheen kohdistuu niin monta häiriötekijää, että olisi todella sinisilmäistä ajatella, että yhden (lähes mikä tahansa) tekijän poistaminen tai parantaminen takaisi lohikannalle jatkuvuuden. Itämeren loheen kohdistuvien ongelmien lista on pitkä ja monet niistä

löytyvät myös sisävesien taimenkantojen kohdalta. Sisävesillä korostuu kuitenkin kalastuksen merkitys syönnösalueilla ja etenkin Keski- ja Etelä-Suomen osalta ongelmat valuma-alueella ja veden laadussa, mutta myös elinympäristöjen määrässä.

Ekologisena kokonaisuutena on siis toisaalta väärin pohtia koskikunnostusten vaikutuksia. On ilmeistä, että esimerkiksi nykyisellä kalastuspolitiikalla on niin suuri vaikutus, että lähes kaikki koskikunnostusten positiiviset vaikutukset menevät ekologisessa mielessä hukkaan. Toki lohi- ja taimenkantojen pelastaminen on aloitettava jostain, mutta se täytyisi aloittaa todellisesta pullonkaulasta, sillä aikaa on todennäköisesti käytettävissä enää monin paikoin kovin vähän. Lohi- tai taimenkannan palautumisen jokeen ratkaisevat ihmiset ja yhteisöt. Ikäaikaisista kalastusoikeuksista täytyy olla valmiita joustamaan ja todennäköisesti luopumaan kalastuksesta väliaikaisesti, jos haluamme pelastaa paikallisia lohikalajoja. Vesiensuojelutoimenpiteitä täytyy oikeasti tiukentaa ja miettiä maankäytön muutoksen todellisia vaikutuksia, tai tulevat vuosikymmenet hävittävät viimeiset luonnon lohi- ja taimenkantamme. Vastuuta tulisi jakaa jokivarresta aina valuma-alueen kauimmaiseen kolkkaan ja syönnösalueen syvimpään monttuun. On aika tehdä jotain toisin, kuin viime vuosikymmenet on totuttu.

Monista ongelmakohdista tai haasteista huolimatta toivon, että tulitte kuitenkin vakuuttuneeksi siitä, että toimimalla nyt ja tehokkaasti, meillä on vielä mahdollisuus pelastaa uhanalaisia lohikalakantoja.

Microbiological characterisation of soils: Evaluation of some critical steps in data collection and experimental design

11.11.2011

Helsingin yliopisto, Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Prof. Vigdis Torsvik, Department of Biology, University of Bergen, Norway

ABSTRACT

The study of soil microbiota and their activities is central to the understanding of many ecosystem processes such as decomposition and nutrient cycling. Unfortunately we have very limited possibilities to investigate soil microbiological characteristics in situ in real time; the collection of microbiological data generally involves soil sampling and several sequential steps of pretreatment, storage and laboratory measurements of samples. The reliability of results and their correct interpretation are dependent on reliable methods in every step of the data collection process. The challenges of sampling and measuring arise from the complexity and heterogeneity of soil matrix and habitats, the microscopic scale of microbial communities and the sensitivity of living organisms to changes in their environment.

The aim of the work presented in this thesis was to critically evaluate some central methods and procedures utilised in microbial ecological studies of soils in order to improve our understanding of the factors that affect the measurement results and to provide support for the design of experiments. The thesis focuses on four major themes: 1) soil microbiological heterogeneity and sampling, 2) storage of soil samples, 3) DNA extraction from soil, and 4) quantification of specific microbial populations by the cultivation-based most-probable-number (MPN) procedure. Soil microbiological heterogeneity and sampling are discussed as a single theme because understanding of the spatial and temporal variation of soil microbiological com-

munities and processes is crucial when designing sampling procedures.

Adjacent forest, meadow and organically cultivated field were compared with regard to the average level and horizontal spatial variation of hydrolytic enzyme activities and bacterial community in topsoil. It was shown that land use has a strong impact on these microbiological properties of soil. Cultivation generally decreased both the level and the variation of soil enzyme activities. Variation of soil enzyme activities and bacterial community structure were clearly highest in the forest organic layer. However, regardless of the land use, the variation of microbiological characteristics appeared not to have predictable spatial structure (i.e. increasing variance with increasing distance) at 0.5-10 m, which suggests that most horizontal microbiological variation is already present at a distance shorter than 0.5 m. In terms of sampling it can be concluded that soil samples taken 0.5 m apart are independent with regard to most microbiological characteristics, on condition that there are no obvious environmental gradients e.g. for vegetation, soil type or topography.

Temporal and soil depth-related patterns of enzyme activities and microbial biomass were studied in the top 40 cm profile of arable soil in relation to the root growth of timothy and red clover during one growing season. Most enzyme activities displayed a clear decreasing trend as a function of soil depth. However, the great difference in the root biomass of red clover

and timothy in the topsoil was not reflected in the enzyme activities. Seasonal patterns were observed. Most activities were highest early in the growing season during vigorous plant growth.

A new strategy for the sampling of soil microbiological characteristics based on stratified sampling was developed. In this strategy, a reserve of multiple individual samples is collected and divided into subgroups (strata) on the basis of pre-characteristics, which are simple to measure but which provide important predictive information on the soil microbiological characteristics in question. A practical example showed that the analysis efforts of soil enzyme activity profiling could be reduced without loss of precision using soil organic matter content as a pre-characteristic. In addition, pre-characterisation provides information on the degree of heterogeneity and possible visually unidentifiable gradients within the habitat.

The investigation of frozen and air-dried storage of soil samples revealed that freezing (-20 °C) of small sample aliquots retains the activity of most enzymes and the structure of the bacterial community in different soil matrices relatively well whereas air-drying cannot be recommended as a storage method for soil microbiological properties due to large reductions in activity. Ultrafreezing (below -70 °C) was the preferred method of storage for samples with high organic matter content.

Efficient DNA extraction from soil samples is a critical step common to most DNA-based analyses of soil microbial communities. Five different direct DNA extraction methods differing in cell lysis treatments were compared on the basis of PCR-DGGE community fingerprinting. The DNA extraction method was shown to have a strong influence on the molecular size of DNA obtained and on the bacterial community structure detected.

An improved MPN method for the enumeration of soil naphthalene degraders was introduced as an alternative to more complex MPN protocols or the DNA-based quantification approach. The main advantage of the new method is the simple protocol and the possibility to

simultaneously analyse a large number of samples and replicates in order to increase the analytical precision or environmental representativeness of measurements. Method comparison with an earlier MPN method indicated that naphthalene may be dosed in vapour-phase without compromising the result. The detection of growth-positives by absorbance measurement was objective and more reliable than measurement with indicator dye. As no toxic indicator dyes are needed, viable bacteria can be recovered from the plates after scoring the results.



Kari Kallio

Water quality estimation by optical remote sensing in boreal lakes

27.1.2012

Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Assistant professor Steef Peters, VU University Amsterdam, The Netherlands

Hienoin hetki väitöskirjan parissa puurtamisessa oli se, kun sain lopullisen painetun väitöskirjan käteeni. Väitöskirjassa oli riittänyt korjattavaa vielä painamisen yhteydessäkin. Olin saanut jätettyä korjausvedoksen painoon ja viikonloppuna ihailin työtä kotona. Hyvää oloa kesti vain kansilehden silmäilyn verran. Ensimmäisen aukeaman avattuani näin, että väitössalin osoitteessa oli jotain hämärää: kadun nimi oli virheellisesti päära-kennuksen uudelta puolelta ja katunumero ei osunut edes mihinkään yliopiston rakennukseen. Maanantaina soitin heti painoon: väitöskirja oli painettu, mutta ei vielä sidottu. Onneksi paino suostui painamaan ensimmäiset sivut lisäkorvausta vastaan.

Kävellessäni väitöspäivän aamuna yliopistolle ajattelin väitösprosessia, kuinka se on pysynyt samanlaisena satoja vuosia ja miten sitä voisi kehittää. Vastaväittäjän ja kustoksen kanssa istuimme yliopiston kuppilassa juuri ennen väitöstä. Yritin keventää ilmapiiriä ehdottamalla kustokselle, että saisin väitöstilaisuudessa soittaa yhden puhelun ja kysyä kaverilta. Minulla oli tietysti kännykän puhelinluettelossa nimiä kuten 'Backscattering', 'Water Framework Directive' ja 'Atmospheric correction', joihin oli liitetty asiantuntijan puhelinnumero. Kustoksen vastauksesta kävi selkeästi ilmi, että yliopisto ei ollut valmis uudistuksiin vielä minun väitöksessäni.

Väitöksessä olin tyytyväinen siihen, että sain kerran yleisön nauramaan kunnolla. Vastaväittäjä kysyi, mihin näitä järvien tilatietoja tarvitaan. Tähän vastasin, että "Brussels wants them".

Karonkkaa vietettiin isolla porukalla SYKEN Kukan-keittäjässä. Ennen karonkkaa kävin vielä oman työhuoneeni kautta. Bändi oli samaan aikaan kerrosta alempana virittelemässä kamojaan ja soitti juuri Eric Claptonin Laylan. Biisi tuntui menevän heti luuytimiin merkiksi siitä, että nyt alkaa hauskanpito!

LECTIO PRAECURSORIA

Arvoisa Kustos, Mr. Opponent, Hyvät kuulijat!

Ympäristöseurannan tarkoitus on tuottaa tietoa ympäristön tilasta päätöksentekoa, ympäristönhoitoa, direktiiviraportointia ja kansalaisia varten sekä tietoa ympäristön pitkäaikaismuutoksista. Järvet ympäristöseurannan kohteina ovat vaativia, koska niiden tila voi vaihdella nopeasti virtauksien ja sekoittumisen johdosta. Järvien tilaa on seurattava myös syvyys-suunnassa, mikä lisää seurantakustannuksia.

Suomessa on noin 56000 yli hehtaarin kokoista järveä. Tätä pienempiä järviä ja lampia on yli 130 000, joten tiedon saaminen järvien tilasta on haasteellista myös niiden suuren lukumäärän vuoksi. Esimerkiksi rehevyyttä kuvaavaa a-klorofylliä mitataan Suomessa vuosittain noin 1300 järvestä, mikä vastaa 2,3 prosenttia yli 1 hehtaarin kokoisista järvistä. Viimeisessä vesipolitiikan puitedirektiivin raportoinnissa pystyttiin puuttuvien havaintojen vuoksi ekologinen tila arvioimaan vain noin 41 %:lla Suomen 4200 järvidesimuodostumasta. Menetelmille, joilla saadaan nykyistä kattavammin tietoa järvien tilasta, on siis selkeä tarve.

Maapallon mittakaavassa järvien osuus maapinta-alasta on viimeaikaisten arvioiden mukaan 2,8 %, mikä on noin kaksi kertaa suurempi kuin mitä arvioitiin järvien osuudeksi vielä 10 vuotta sitten. Tämä ero johtuu pitkälti pienten järvien määrän aliarvioinnista. Järvien merkitys maapallon biogeokemiallissa kierroissa on siis aikaisempaa merkityksellisempi ja

ne olisikin huomioitava mm. kun halutaan tarkentaa ilmastonmuutostutkimuksiin liittyviä hiilitaseita. Järvien globaali kartoittaminen on käytännössä mahdollista vain kaukokartoituksen avulla.

Vedenlaadun seuranta perustuu tällä hetkellä vesinäytteiden ottoon ja niiden analysointi laboratorioissa. Muita menetelmiä ovat jatkuvatoimiset mittausasemat, joita Suomessa on tällä hetkellä viidellä järvellä, liikkuva-aluksesta tehtävät mittaukset ja kaukokartoitus. Kaukokartoitusta ei tällä hetkellä hyödynnetä järvillä systemaattisesti vedenlaadun arvioinnissa. Lisäksi seuranta ja raportointia tukevia menetelmiä ovat mm. tilastollisesti edustava otanta järvijoukosta ja erilaiset järvimallit. Kullakin menetelmällä on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Kaukokartoituksen etu muihin menetelmiin verrattuna on sen hyvä alueellisen kattavuus. Sillä pystytään kuitenkin seuraamaan pientä osaa seuranta vaativista muuttujista ja se antaa tietoa vain veden pintakerroksesta. Tulevaisuuden haasteita seurannassa onkin eri menetelmien optimaalinen yhteiskäyttö, jotta pystytään täyttämään vesien seurannan ja raportoinnin vaatimukset.

Vedenlaadun kaukokartoitus perustuu veden värin mittaamiseen. Useimmat meistä ovat varmasti tehneet itse päätelmiä vedenlaadusta tarkkailemalla veden väriä. Vihreä väri ilmentää levää, ruskea humusta ja sameus kertoo usein jokiveden vaikutuksesta. Kauko-

kartoituksessa mitataan instrumentilla tarkasti pieniä värieroja, tallennetaan mittaus ja tulkintavaiheessa mittaus muutetaan erilaisilla menetelmillä aineen pitoisuudeksi vedessä.

Kaukokartoitusinstrumentti satelliitissa tai lentokoneessa mittaa veden pintakerroksesta heijastuvaa sähkömagneettisen säteilyn näkyvää osaa, joka on peräisin auringosta. Tulkinta perustuu siihen, että eri aineet imevät ja sirottavat valoa eri tavalla aallonpituudesta riippuen. Kaukokartoituksella pystytään pääasiassa arvioimaan kasviplanktonia, humusta ja kiintoainetta. Instrumentin mittaustulokseen vaikuttaa myös ilmakehästä instrumenttiin heijastuva valo, jonka vaikutuksen erottaminen instrumentin tekemästä mittauksesta on tärkeä osa vesien kaukokartoitusta.

Vesiekosysteemissä auringon valo tarjoaa energiaa perustuotannon käyttöön. Vesiekosysteemin tutkija on usein kiinnostunut siitä, miten paljon valoa on perustuotannon käytettävissä tietyllä syvyydellä. Kaukokartoittaja haluaa puolestaan tietä paljonko ja minkä väristä valoa heijastuu pintakerroksesta. Yhteinen kysymys molemmille tieteenaloille on se, mitä valolle tapahtuu vedessä. Tämä asia yhdistää näitä tieteenaloja ja sen hallinta hyödyttää molempia. Vesiekosysteemin tutkija mittaa yleensä valon määrää, kun kaukokartoittajat ja fyysikot käyttävät mittausten lisäksi usein mallinnusta. Mielestäni vesiekosysteemi-tutkimuksessa voitaisiin hyödyntää nykyistä enemmän samoja valon vuorovaikutuksia vedessä kuvaavia malleja, joita käytetään veden kaukokartoituksessa ja optiikassa.

Väitöskirjallani oli kolme pääteemaa: Ensinnäkin työssä tarkasteltiin vedenlaadun tulkintamenetelmien tarkkuuksia ja rajoituksia sekä vertailtiin eri instrumenttien soveltuvuutta vedenlaadun arviointiin. Toiseksi optisia malleja kehitettiin vedenlaadun tulkintaa varten ja valon tunkeutumissyvyyden arvioimiseksi, johon tähän liittyi myös optisten ominaisuuksien mittauksia kentällä. Kolmantena teemana oli kaukokartoituksella ja perinteisillä menetelmillä saatavan tiedon vertailu.

Aineistot koostuivat tarkoista optisista mittauksista 11 järvestä, satelliitti- ja lentokuvista Etelä-Suomesta ja samanaikaisista kenttähavainnoista sekä automaattisen järviaseaman mittauksista ja veneestä tehdyistä linjamittauksista. Lisäksi hyödynnettiin yli 1100 järven rutiiniseurannan tuloksia koko Suomesta. Vedenlaadun kaukokartoituksen kehittämisessä on oleellista saada tietoa eri aineiden optisista ominaisuuksista ja tehdä tarkkoja valon heijastusmittauksia kentällä. Näitä tekijöitä pystyttiin tässä työssä mittaamaan vain muutamalla järvellä.

Väitöskirjatyöni perustuu yhteistyöhön usean tahon kanssa työpaikallani Suomen ympäristökeskuksessa, Suomessa ja Euroopassa. Suomessa on tehty yhteistyötä mm. kahden yliopiston ja usean alueellisen toimijan kanssa. Euroopassa yhteistyökumppaneina ovat olleet Tutkimuslaitoksia, yliopistoja ja yrityksiä Ruotsissa, Virossa, Italiassa, Espanjassa ja Saksassa. Maissa, joissa tehdään järvien kaukokartoitusta, on tällä alla tyypillisesti vain 1–2 tutkijaa. Tehokas kansainvälinen ja kotimainen verkottuminen on oleellista tämän alan edistymisen kannalta.

Passive sampling in monitoring of nonylphenol ethoxylates and nonylphenol in aquatic environments

23.3.2012

Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos
Vastaväittäjä: Prof. Mika Sillanpää, Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Aloitin Keski-Suomen ympäristökeskuksessa vuonna 2003 ja vuonna 2007, kun tutkimus siirrettiin alueellisilta ympäristökeskuksilta SYKelle, siirryin minäkin. Olen ollut ulkopuolisena apurahatutkijana sekä vuoden 2011 jälkimmäisen puolikkaan projektitutkijana.

Tutkimusprofessori Sirpa Hervø innosti minua väitöskirjan tekoon, ja apurahan saatuani projekti alkoi kesällä 2006. Tein väitöskirjaa yhteistyössä Keski-Suomen ympäristökeskuksen, sittemmin Keski-Suomen ELY-keskuksen, SYKEN ja Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen kanssa. Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen henkilöstön kanssa istuin samassa kahvipöydässä yhdeksän vuoden ajan, ja vaikka väitöskirjan tiimoilta ei niinkään substanssiin pohjautuvaa yhteistyötä ollut, niin henkistä tukea sain runsain mitoin.

Väitöstilaisuus pidettiin 23.3.2012 Jyväskylän yliopiston kemian laitoksella, vastaväittäjänä oli prof. Mika Sillanpää (Lappeenrannan teknillinen yliopisto) ja kustoksena prof. Juha Knuutinen (Jyväskylän yliopisto, kemian laitos), joka oli myös toinen ohjaajani. Toisena ohjaajana oli tutkimusprofessori Sirpa Hervø (SYKE). Väitöstilaisuus oli miellyttävämpi kuin osasin toivoakaan, vastaväittäjän kommentit olivat asiallisia ja hän antoi väittelijän loistaa. Tekniikan kanssa oli haasteita, sillä mikrofonit toimi vaihtelevalla menestyksellä. Ja juuri silloin, kun itse olisi halunnut ei-niin-varman vastauksen nielaista kuulumattomiin, mikrofonit toisti kaiken komeasti ja varmasti salin perälle asti.

Väitöksen jälkeen pääsin post doc -tutkijaksi SYKEN laboratorokeskuksen ja vesikeskuksen yhteisprojektiin, jossa tutkitaan organotinayhdisteiden kulkeutumista Pohjois-Päijänteellä, ja tottakai siinä käytetään myös väitöskirjassani käytettyä Chemcatcher-keräintä. Projekti

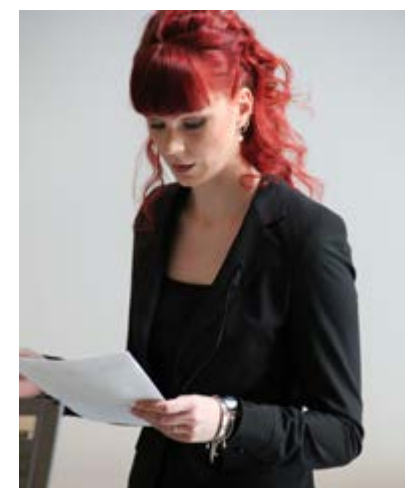
sitoo yhteen Jyväskylän toimipaikan tutkijoiden osaamista yli keskuksien rajojen.

Väitöskirjatyössä hienointa oli saada se loppuun. Vastaväittäjä, prof. Mika Sillanpään sanoin, "karonkka oli lämmin", ja niin se muuten olikin. Näin jälkikäteen ajateltuna kaikki järjestelyt menivät todella sujuvasti, aika on ehkä jo kullannut muistot.

ABSTRACT

The present practices for determining the concentration levels of various pollutants are in many respects insufficient and for this reason, there is an urgent need especially to develop more cost-effective sampling methods. In this study, a novel passive sampling tool (the Chemcatcher®) for monitoring nonylphenol ethoxylates (NPEOs) and nonylphenol (NP) in aqueous media was tested. These environmentally harmful substances have been widely used in different household and industrial applications and they affect aquatic ecosystems, for example, by acting as endocrine disrupting compounds.

The highest accumulation of NPEOs and NP in laboratory-scale tests was obtained when using an SDB-XC (standard styrene-divinyl benzene) Empore disk as a receiving phase (adsorbent) of the passive sampler. The accumulation of these compounds was then field tested by this technique for two or four weeks at two sampling sites which had received effluents from e.g. the pulp and paper industry for decades. In addition,



the samplers were exposed in seawater conditions, although in these cases the results were, mainly due to a too long sampling time period, only approximate.

In all cases, NPEOs and NP were analysed by high-performance liquid chromatography coupled with an electrospray ionisation mass spectrometry (HPLC/ESI-MS). These compounds were also separated from water samples using solid phase extraction (SPE) pretreatment which showed to be a useful tool for this purpose. It could be concluded that passive sampling with Chemcatcher® offers an effective technique suitable for monitoring NPEOs and NP in watercourses. However, more accurate data (e.g., obtained by LC/MSMS) on various contaminants are still needed for further method development.

Dynamics of dissolved organic matter and its bioavailability to heterotrophic bacteria in the Gulf of Finland, northern Baltic Sea

23.3.2012

Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Prof. Morten Søndergaard, University of Copenhagen, Denmark

ABSTRACT

Dissolved organic matter (DOM) in surface waters originates from allochthonous and autochthonous sources, the latter of which includes exudation by phytoplankton, viral lysis of planktonic organisms and 'sloppy' feeding by zooplankton. The concentration of DOM in seawater exceeds by one to two orders of magnitude that of particulate organic matter. Thus the DOM pool may be crucial to nutrition of pelagic osmotrophs, such as bacteria and algae, which are capable of exploiting dissolved organic substrates. In this thesis, monitoring surveys and laboratory experiments were used to examine the seasonal dynamics of DOM, including interactions of DOM and heterotrophic bacteria, in the Gulf of Finland, northern Baltic Sea, which is rich in allochthonous humic DOM. Despite the large ambient DOM pools and their potentially marked influence in the planktonic food webs and biogeochemical cycles of carbon and nutrients, few investigations in the Baltic Sea have focused on the dynamics of DOM, and information from the Gulf of Finland is almost lacking.

In this thesis, seasonal changes in the net pools of dissolved organic C (DOC), N (DON) and P (DOP) were followed along with ambient key physical, chemical and biological variables on a shore-to-open-sea salinity gradient once in January and biweekly during the phytoplankton growth season. Horizontal coverage of these data was complemented with DOM samplings along a transect from the western to the eastern part of the Gulf. Autochthonous DOM accumulated throughout the productive season and the accumulated DOM was N- and P-rich compared with the bulk DOM pool in

the surface layer of the Gulf of Finland. Notable DOM accumulation occurred during the actively growing and declining phases of spring and late summer blooms. Total export estimates of surface DOC, DON and DOP by autumn overturn corresponded to about 11–25% of reported annual particulate organic matter sedimentation in our study area.

Seasonal variation in the availability of the net DOC and DON pools for bacterial utilization was investigated with incubations of natural bacterial samples for 2–3 wk. The concentrations of labile DOC were low in spring and during the summer minimum period, whereas the pools of labile DON were more variable. The labile DOM accumulated during and after the late summer cyanobacterial bloom, with low C:N ratios. For determination of factors that control the net DOM pools, limitation of bacterial growth by inorganic nutrients (N and P), labile C and temperature was followed in natural surface and deep-water bacterial samples during the main postspring bloom stages of phytoplankton growth. Agreeing with the low degradability of the ambient DOC pool, bacterial production was consistently C-limited in the surface layer, with N or both N and P as the secondary limiting nutrients from spring to early summer and in late summer, respectively. In deep water, bacterial growth showed combined temperature and C limitation.

Sunlight induces photochemical transformation of DOM, and the importance of this process to bacterial growth during summer was investigated with samples representing extensive spatial and temporal coverage. In addition, photochemical transformation of refractory DOM and its effects on growth and composition of the microbial community were studied in further detail during a late

summer cyanobacterial bloom. Photochemical transformation of DOM generally resulted in increased bacterial production, and photoproduced labile DOC was estimated to support < 10% of the daily bacterial C production in the surface layers during summer. Photochemical transformation of DOM led to clear changes in the composition of the bacterial community, with notable increases in the relative percentage of a few typical freshwater bacteria. The results further indicated that bacterial taxa benefiting from labile photoproducts included specialists growing strictly on the photoproducts of humic matter.

The results of this thesis suggest that the C-limited bacterial community is for most of the productive season capable of efficient utilization of the labile C compounds released in the Gulf of Finland. The accumulation of phytoplankton-derived, autochthonous DOC during the productive season and subsequent DOC export to deep water are thus lower than in situations where nutrient-limited bacteria would allow accumulation of labile DOC, decreasing the efficiency of the plankton system in incorporating atmospheric CO₂. Nevertheless, accumulation in the DOM pool forms a notable temporary storage of phytoplankton-derived C, N and P. The pool of labile DON, which accounted for up to 95% of the available N in surface water during summer, is a notable nutrient source for the N-limited plankton community. Photochemical transformation of DOM seems to contribute relatively little to the bacterial C demand, which is satisfied by autochthonous DOM released from the plankton food web in the Gulf of Finland. However, photoproduction of labile DOM appears to have notable qualitative effects on the composition of the bacterial community, probably contributing to the success in the Baltic Sea of bacteria originating in freshwater.



Biodiversity and ecosystem services in impact assessment: From components to services

27.4.2012

Helsingin yliopisto, Geotieteiden ja maantieteen laitos

Vastaväittäjä: Dos. Sirkku Manninen, Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

ABSTRACT

Ecological impact assessment focuses both on spatially bound biophysical environment and biodiversity as composition, structure, and key processes and on benefits of biodiversity gained through ecosystem services. It deals with allocation of space in complex situations characterised by uncertainty and conflicting values of actors. In the process of ecological impact assessment that forms part of environmental impact assessment (EIA) and strategic environmental assessment (SEA), the whole proposal of a project, plan, or programme; its targets; alternative options and their acceptability from a biodiversity standpoint; and knowledge of the biodiversity and ecosystem services it provides are shaped.

The analyses in this thesis examine the current practices of Finnish ecological impact assessment with respect to its substantive and procedural features and the roles of actors. The analyses utilise qualitative and semi-quantitative data from EIA and Natura 2000 appropriate assessment reports, statements of environmental authorities, other data produced via assessment processes, and actors views related to ecological impact assessment. After analysis of the present shortcomings, constraints, and development needs, a tool taking into account fully current understanding and ecosystem services is developed to improve prevailing impact assessment practices.

The results of the analyses demonstrate that the knowledge base for the comprehensive ecological impact assessment in EIA, Natura 2000 appropriate assessment, and municipal land-use planning SEA is far from adequate. Impact assessments fail to identify the biodiversity at

stake, what is affected, and how, and, as a consequence, the selection of biodiversity elements for assessment is unsystematic, superficial, or focused on the most obvious strictly protected species. The connection between baseline studies and impact prediction is loose; consequently, the predictive value of baseline studies is low, preventing effective mitigation and monitoring. There is also a tendency toward unnecessary detail at the expense of a broader treatment of biodiversity that would address ecosystem processes, interactions, and trends. Substantive treatment of biodiversity is often restricted to compositional diversity and at the species and habitat type level. Finnish ecological impact assessment does not take into account the value-laden nature of impact assessment. It is baseline-oriented and often seen as external and parallel to the actual planning and decision-making. Scoping practices reflect this separateness by outsourcing important value-bound significance determinations to individual ecology consultants instead of considering them an integral part of the planning process. Cumulative effects are hardly ever considered in Finnish ecological impact assessment practices.

The use of more sophisticated methods and tools than expert judgements and matrices is almost non-existent in Finnish ecological impact assessment practices, because of the planning environment lacking the time, resources, and skills for it. In addition, often a highly detailed treatment of biodiversity elements with complex tools is not necessary for achieving a holistic picture of the targets and impacts of an initiative. Therefore, an objective set for improvement in the knowledge grounding of ecological impact assessment has been the development of a relatively simple tool utilising already available data. Ecosystem services criteria and

indicators were developed for target-setting, impact prediction, and monitoring, and these were tested in three processes of local master planning and regional planning. Timing constraints of data delivery; obstacles in data availability, quality, and consistency; and relative closeness of planning processes hampered the use of indicators, but the tool nonetheless was experienced as beneficial by the testing teams overall. The future challenges facing use of the tool involve its independent utilisation by planners without support from researchers on different planning scales, collaboration and commitment of actors in setting targets for ecosystem services, and versatile use of data.

The other challenges in improvement of today's ecological impact assessment practices comprise finding a balance between broad-brush and detailed information individually for each planning situation; utilising, sharing, and mediating both knowledge within ecosystem-service-generating units and users and beneficiaries views of valued and prioritised ecosystem services; shifting from parallel linkage of impact assessment and planning towards planning- and decision-making-centred environmental assessment; supplying the necessary substantive and procedural requirements for ecological impact assessment in the EIA, nature conservation, and land-use and building legislation; placing stronger emphasis on scoping by strengthening the guiding role of authorities and reserving more time and resources for scoping by proponents and planners; generating specific cumulative impact assessment in EIA and SEA and improving that employed in Natura 2000 appropriate assessment by creating an iterative link; and fostering work-sharing between project- and plan/programme-level actors in identification of cumulative impacts.



Estimation of climate change impacts on hydrology and floods in Finland

1.6.2012

Aalto-yliopisto, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos

Vastaväittäjä: Dr. Reader Jonas Olsson, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Sweden

ABSTRACT

Climate scenarios project increases in air temperature and precipitation in Finland during the 21st century and these will result in changes in hydrology. In this thesis climate change impacts on hydrology and floods in Finland were estimated with hydrological modelling and several climate scenarios. One of the goals was to understand the influence of different processes and catchment characteristics on the hydrological response to climate change in boreal conditions.

The tool of the climate change impact assessment was the conceptual hydrological model WSFS (Watershed Simulation and Forecasting System). The studies employed and compared two methods of transferring the climate change signal from climate models to the WSFS hydrological model (delta change approach and direct bias corrected Regional Climate Model (RCM) data). Direct RCM data was used to simulate transient hydrological scenarios for 1951-2100 and the simulation results were analysed to detect changes in water balance components and trends in discharge series.

The results revealed that seasonal changes in discharges in Finland were the clearest impacts of climate

change. Air temperature increase will affect snow accumulation and melt, increase winter discharge and decrease spring snowmelt discharge. The impacts of climate change on floods in Finland by 2070-2099 varied considerably depending on the location, catchment characteristics, timing of the floods and climate scenario. Floods caused by spring snowmelt decreased or remained unchanged, whereas autumn and winter floods caused by precipitation increased especially in large lakes and their outflow rivers. Since estimation of climate change impacts includes uncertainties in every step of the long modelling process, the accumulated uncertainties by the end of the process become large. The large differences between results from different climate scenarios highlight the need to use several climate scenarios in climate change impact studies.

Possibilities to adapt to climate change impacts through changes in lake regulation were also estimated. Changing the management and permits of many of the regulated lakes in Finland will become necessary during the 21st century in response to climate change induced shifts in hydrological regime.



Environmental criteria in public procurement: Focus on tender documents

5.10.2012

Aalto yliopisto, Maankäyttötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Prof. Harri Kalimo, The Institute for European Studies, Bryssel, Belgia

Väitöstyö alkoi vuonna 2005 osana Suomen Akatemian rahoittamaa 'Ympäristö ja oikeus' -tutkimusohjelmaa. Projekti toteutettiin yhdessä Teknillisen korkeakoulun maanmittausosaston kanssa. Aineiston keräämisen ja analysoinnin aloitin kesällä 2005 ja artikkelien kirjoittamisen vuoden 2006 alussa. Välillä olin äitiyslomalla sekä vuodesta 2010 alkaen pidemmällä hoitovapaalla, jonka aikana viimeistelin julkaisut ja kirjoitin väitöskirjan yhteenvedon.

Väitöskirja koostuu yhteenvedosta ja kuudesta kansainvälisestä artikkelista, joiden arviointiprosessit olivat pitkiä ja vaativia. Lisäksi sopivan vastaväittäjän löytäminen työn laajan aihepiirin ja poikkitieteellisyyden vuoksi oli haastavaa. Väitös olikin pitkään odotettu tilaisuus, ja samalla ensimmäinen "virallinen esiintymiseni" lähes kolmen vuoden tauon jälkeen, mikä luonnollisesti lisäsi tilaisuuden jännittävyttä. Karonkasta mieleen jäi mukava ja rento tunnelma, sekä kauniit ja koskettavat puheet.

Opiskelu on aina ollut intohimoni, ja väitöstyö merkitsee minulle hienoa päätöstä opinnoille. Lisäksi se tuo luottamusta omaan osaamiseen tutkimustyössä. Väitöskirjatyö on ollut ennen kaikkea huikea oppimisprosessi tieteen tekemisestä ja sen soveltamisesta käytäntöön.

LECTIO PRAECURSORIA

Julkiset hankinnat ja niiden ympäristövaikutukset ovat olleet 2000-luvulla keskeisellä sijalla Euroopan Unionin ympäristöpolitiikassa. Niiden osuus EU:n ja Suomen bruttokansantuotteesta on keskimäärin 18 prosenttia, ja Suomessa valtion ja kuntien tavara-, palvelu- ja rakennushankintoja tehdään vuosittain noin 27 miljardin euron arvosta. Julkisten hankintojen viherryttäminen on yksi tärkeä keino yhdenmukaisen tuotepolitiikan keinovalikoimassa, jossa korostuvat elinkaariajattelu, markkinalähtöisyys ja tuotteiden jatkuva parantaminen. Myös muun muassa Komission tiedonannossa kestävä kulutuksen ja tuotannon ja kestävä teollisuuspolitiikan toimintaohjelmasta vuodelta 2008, julkiset hankinnat nähdään yhtenä tärkeimmistä keinoista edistää kestävä tuotantoa ja kulutusta, joskin vapaaehtoisin toimin. Suomessa valtioneuvoston periaatepäätöksen mukaan viimeistään vuonna 2015 ympäristönäkökulma on otettava huomioon kaikissa valtion keskushallinnon, kuten ministeriöiden, hankinnoissa, sekä vähintään puolessa kuntien ja valtion paikallishallinnon hankinnoista.

Euroopan Unionissa julkisia hankintoja säännellään hankintadirektiiveillä, joilla pyritään turvaamaan julkisten varojen tehokas käyttö, sekä EU:n sisämarkkinoiden toimivuus. Vuoden 2004 hankintadirektiiviuudistuksen myötä julkisissa hankinnoissa sallitaan nimenomaisesti ympäristönäkökohtien huomioon ottaminen. Kyseessä on mahdollisuus, joka ilmenee hankintamenettelyn eri vaiheissa: niitä voidaan ottaa huomioon muun muassa hankittavan tuotteen omi-

naisuuksien määrittelyssä, tarjoajien poissulkemisen perusteena sekä itse valintavaiheessa pelkän hinnan sijaan yhtenä kokonaistaloudellisuuden osana, ja myös sopimusehdoissa. Julkisten hankintojen direktiivit toimeenpantiin Suomessa kansalliseen lainsäädäntöön hankintalaiksi vuonna 2007, ja siinä todetaan, että hankintayksiköiden on pyrittävä järjestämään hankintatoimintansa siten, että hankintoja voidaan toteuttaa mahdollisimman taloudellisesti ja suunnitelmallisesti sekä mahdollisimman tarkoituksenmukaisina kokonaisuuksina ympäristönäkökohdat huomioon ottaen.

Vuoden 2004 hankintadirektiiveissä ympäristönäkökohtien huomioon ottamisen perusteena viitataan Euroopan yhteisön perustamissopimuksen 6 artiklan määräyksiin, jonka mukaan ympäristönsuojelua koskevat vaatimukset on sisällytettävä yhteisön politiikan ja toiminnan määrittelyyn ja toteuttamiseen, erityisesti kestävä kehityksen edistämiseksi. Euroopan yhteisöjen tuomioistuimen ratkaisut ovat olleet merkittävässä asemassa myös julkisten hankintojen direktiivien valmistelussa. Keskeistä on, että käytetyt ympäristöperusteet liittyvät hankinnan kohteeseen, ovat jollakin tavalla mitattavissa, eivätkä ne saa antaa hankintaviranomaiselle rajoittamatonta valinnanvapautta. Lisäksi Euroopan yhteisön perustamissopimuksen peruseriaatteen nousevat tärkeälle sijalle hankintojen sääntelyssä. Näitä periaatteita ovat muun muassa tavaroitten ja palvelujen vapaa liikkuvuus, syrjimättömyys ja yhdenvertainen kohtelu sekä avoimuuden periaate. Mielenkiintoinen kysymys onkin, miten

ympäristötavoitteisiin pääseminen julkisten hankintojen viherryttämisellä soveltuu näihin periaatteisiin ja toteutuvatko kokonaistaloudellisuus ja ympäristöystävällisyyden kriteerit julkisissa hankinnoissa lain asettamien säännösten puitteissa? Väitöskirjassa kysymystä lähestytään hankintojen ympäristönäkökohtien, kokonaistaloudellisuuden sekä olemassa olevan lainsäädännön pohjalta. Aineisto käsittää noin 400 EU:n kynnysarvot ylittävää tarjouspyyntöä sekä 150 lopullista hankintasopimusta. Tarjouspyynnöt on kerätty Suomesta, Ruotsista ja Tanskasta.

Hankinnan ympäristöystävällisyyttä arvioidaan väitöskirjassa muun muassa tarjouspyyntöjen ympäristökriteerien analyysillä, elinkaariarvioinnilla sekä ympäristömerkkien kriteerien avulla. Tarjouspyyntöjen ja sopimusten sisältämien ympäristökriteerien soveltuvuutta pohditaan hankintadirektiivien sekä oikeuskäytännön pohjalta, josta löytyy esimerkkejä ympäristönäkökohtien huomioonottamisesta hankinnoissa. Hankintojen taloudellisuuden suhdetta niiden vihreyteen lähestytään hankintadirektiivissä määritellyn kokonaistaloudellisuuden käsitteen avulla; miten kokonaistaloudellisuus ymmärretään hankinnoissa, ja miten se soveltuu taloudellisen ja ympäristöystävällisen hankinnan määrittämiseen.

Tutkitun aineiston mukaan vuonna 2005 jo peräti 90 prosenttia hankinnoista toteutettiin kokonaistaloudellisuuden perusteella. Tämä tarkoittaa, että hankintaperusteina käytettiin hinnan lisäksi muitakin tekijöitä. Tärkein hankintapäätökseen vaikuttava tekijä oli kuitenkin edelleen hinta yli 50 % painoarvolla. Yleisesti hankintaorganisaatiot nostivat hankintakriteereikseen myös laadun ja toimitusehdot. Ympäristönäkökohtien painoarvo oli keskimäärin muutama prosentti, ja sitä pienempi painoarvo oli vain sosiaalisilla tekijöillä.

Usein ympäristömyötäiset hankintakriteerit kohdistuivat tarjoajien ympäristöpolitiikkaan sekä hankittavien tuotteiden energiankulutukseen, materiaalisältöön, takuuseen ja kierrätykseen. Yleisimmin ympäristökriteerejä esiintyi tarjouspyynnöissä, jotka koskivat kuljetuspalvelujen, kulkuneuvojen, paperituotteiden,

siivouspalvelujen, toimistolaitteiden ja rakennusprojektien hankintaa.

Ympäristökriteerien käyttö valtion ja kuntien tekemisissä hankinnoissa lisääntyi merkittävästi vuoden 2004 hankintadirektiivien uudistuksen myötä. Kun vuotta aiemmin niitä esiintyi vajaassa kolmasosassa suomalaisista EU:n kynnysarvot ylittävistä tarjouspyynnöistä, oli osuus vuonna 2005 jo yli puolet. Vastaavat luvut Ruotsissa olivat 60 % ja 80 %. Tanskassa osuus pysyi 60 %:ssa molempina vuosina. Tarkastelussa otettiin huomioon myös hankittavien kohteiden jakautuminen eri tuoteryhmiin ympäristönäkökulmasta. Tulokset olivat tilastollisesti merkittäviä. Hankintojen vihertymistä tapahtui siis erityisesti Suomessa ja Ruotsissa, joissa julkisen sektorin hankintaviranomaisten ohjeistukseen ja koulutukseen panostettiin lainsäädännön uudistuksen jälkeen.

Se, että ympäristönäkökohtia esiintyy hankinnoissa yhä enemmän, ei tarkoita, että ympäristön huomioiminen hankinnoissa olisi kaiken kattavaa. Ympäristökriteerien toteutumisen seuranta ei ole järjestelmällistä, sillä niitä kirjataan vain noin puoleen kyseisiä tarjouspyyntöjä vastaavista lopullisista sopimuksista. Lisäksi tarjouspyynnöissä esitetyt hankintakriteerit rajoittuivat suurensa osassa hankintoja tiettyyn tuoteryhmään tai tiettyjen ympäristövaikutusten huomioimiseen. Tutkituissa tarjouspyynnöissä oli yleisesti keskitytty lähinnä sellaisiin ympäristökriteereihin, jotka voidaan hankintadirektiivien perusteella selkeästi tulkita hyväksyttäväksi. Koska hankintalainsäädännön tulokinnassa on korostettu ympäristökriteerien suoraa yhteyttä hankinnan kohteeseen, niin käytetyt kriteerit ovat usein kohdistuneet tuotteista arvioitavissa oleviin ominaisuuksiin. Esimerkiksi valmistuksen ja kuljetusten päästöihin kiinnitetään harvemmin huomiota. Väitöskirjassa pohdittiin tätä kysymystä arvioimalla kuljetusmatkan ympäristövaikutusten huomioonottamista tienrakennusurakan hankintakriteereissä.

Ympäristöasioiden huomioiminen hankinnassa merkitsee eri tuoteryhmissä eri asioita. Ilman tuotekohtaista tarkastelua tai hyvin yleisluonteisesti laaditut ympäristökriteerit jäävät tyhjiksi eivätkä johda tuot-

teiden ympäristöparannuksiin. Ihannelanteessa hankintojen ympäristönäkökohdat tulisikin määrittää elinkaariarviointiin perustuvien kriteerien, kuten ympäristömerkkien kriteerien, avulla, jotka antavat hyvän perustan tarjousten ympäristöystävällisyyden vertailuun. Ympäristöasioiden huomioiminen vaatii hankinnan apuvälineitä, jotka auttavat myös vihreiden hankintojen tason mittaamisessa ja vertailussa eri maiden välillä. Muun muassa Euroopan Komissio on julkaissut Internet sivuillaan työkalun, jossa esitetään ympäristökriteerit 19 eri tuoteryhmälle. Järjestelmällisesti käytettyinä vihreät hankintakriteerit viestivät ympäristöystävällisten tuotteiden kysynnästä ja voivat pitkällä aikavälillä edistää ympäristömyötäistä tuotesuunnittelua.

Vaikka nykyisellään ympäristöasiat huomioidaan hankinnoissa yhä useammin, jää suuri osa julkisten hankintojen mahdollisuuksista vähentää ympäristöhaittoja silti edelleen hyödyntämättä. Tällä hetkellä lainsäädäntö ja Euroopan unionin ympäristöpolitiikka antavat selkeää signaalia ympäristön puolesta. Siitä huolimatta joidenkin ympäristökriteerien käytöstä hankinnoissa vallitsee edelleen epätietoisuus, mikä saattaa vaikuttaa hankkijoiden käyttämiin kriteereihin tai hinnan korostumiseen hankintapäätökseen edelleen eniten vaikuttavana tekijänä.

Julkisille hankinnoille asetetut tavoitteet ovat moninaiset: niiden toivotaan paitsi vähentävän ympäristövaikutuksia ja ottavan huomioon monia sosiaalisia näkökohtia, niin myös edistävän innovaatioita, lisäävän työllisyyttä ja parantavan erityisesti pienten- ja keskisuurten yritysten toimintamahdollisuuksia, sekä ennen kaikkea kohdistavan veronmaksajien rahat tehokkaasti tuottaen laadukkaita palveluja kansalaisille. Tarve julkisten hankintojen lainsäädännön yksinkertaistamisesta onkin ajankohtainen. Komissio on antanut joulukuussa 2011 ehdotuksen uudeksi hankintadirektiiviksi, joka selkiyttäisi lainsäädäntöä ja mahdollistaisi elinkaari pohjaisten ympäristönäkökohtien sisällyttämisen hankintoihin nykyistä tehokkaammin, ja edistäisi innovatiivisia julkisia hankintoja.

Functional biodiversity in soils: Development and applicability of an enzyme activity pattern measurement method

9.11.2012

Helsingin yliopisto, Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Prof. Hana Šantrůčková, Department of Ecosystem Biology, University of South Bohemia, Czech Republic



Väitöskirjatyöni oli polveileva prosessi, joka alkoi jo 1990-luvun lopulla gradutyönä. Pääsin Maarit Niemen tutkimusryhmässä kehittämään maaperän entsyymiaktiivisuusmittauksia hankkeessa, jota Tekes rahoitti. Ajoitus oli loistava, koska noihin aikoihin sekä kemikaalit että laitteistot alkoivat olla tasolla, joka mahdollisti virtaviivaisen mittausmenetelmän kehittämisen. Työ tehtiin SYKE:n laboratoriossa Hakuninmaalla ja siihen osallistui useita tutkimusyhteistyökumppaneita muun muassa MTT:n ja HY:n eri osastoilta.

Entsyymiaktiivisuustestisarja mittaa potentiaalista entsyymiaktiivisuutta maaperässä ja siinä käytetään kontrolloituja olosuhteita. Mittaus tehdään puskuriin homogenoidusta maalietteestä. Laboratoriotyöskentelyä ja testisarjan käyttökelpoisuutta parannettiin useilla tavoilla, muun muassa kylmäkuivaamalla reagenssit kuoppalevyille. Ajoittaisista äitiyslomistani huolimatta testisarjan kehitys jatkui, ja saimme julkaistua useita artikkeleita sekä testisarjan kehittämiseen että sen soveltamiseen liittyen. Hanketta käytiin myös esittelemässä maailmalla.

Palatessani työelämään vaihdoin yksityiselle sektorille, mutta väitös pysyi vakaana, vaikkakin kaukaisena tavoitteena. Tein opintoja eri yliopistoissa työn ohessa sitä mukaa kun aikaa liikenä. Itse asiassa aika yllättäen huomasin, että opintoviikot ovat täynnä ja työstä uu-

puu enää yhteenvedo. SYKE tuli hienosti vastaan ja sain ulkopuolisena tutkijana kirjoituspaikan Luonnon monimuotoisuuden tutkimusyksikössä. Kirjoitustyötä rahoitti Maa- ja vesitekniikan tuki ry ja työnantaja antoi tarvittavan määrän opintovapaata, niinpä yhteenvedo lopulta syntyi.

Väitökseni oli 9.11. Viikin kampuksella Metsätieteiden talossa. Vastaväittäjä oli perehtynyt työhöni perusteellisesti ja esitti muutamia melko hankalia kysymyksiä – selvisin väitöstilaisuudesta kuitenkin ”hengissä”.

Työ maaperä- ja ympäristöasioiden parissa jatkuu, ja uskon väitöksestä olevan hyötyä myös jatkossa. Ainakin itse olen tyytyväinen että sain vietyä prosessin läpi ja pääsen kääntämään uuden, toivoakseni hieman kiireetömämmän, lehden elämässäni.

ABSTRACT

Soil microorganisms mediate central reactions of element cycles in a heterogenic environment characterized by discontinuity of energy, nutrients, and water together with sharp pH gradients. They are diverse in species, numerous in quantity and possess a multitude of functions. One gram of soil may contain 10×10^9 microbial cells; for comparison, the Earth has only 7×10^9 human inhabitants. Species richness, evenness and composition in soils is impossible to measure, and therefore a convenient means of characterising soil microorganisms is to measure the type and rate of reactions occurring.

The aim of this work was to develop a rapid, sensitive method to measure the activities of a set of soil enzymes simultaneously in a small scale. In the method, homogenized soil suspensions are investigated using fluorescent substrate analogues freeze-dried onto multiwell plates. It was shown that extraction of enzymes from soils produced inconsistent and unpredictable yields of the various activities and was therefore not applied as a pretreatment. Applicability of the method was evaluated by characterising soils treated with different agricultural practices, supporting a variety of crop plants and with fluctuating seasonal attributes. Bulk samples from experimental sites established both in agricultural and forest soils were utilized. Details of method development and of the effects of different treatments on enzyme activity pattern and on individual enzyme activities are discussed.

The effects of eight crop plants, peat amendment and two consecutive sampling years yielded significant differences in soil extracellular enzyme activities. The effect of crop plants was most pronounced: eight of the measured ten activities yielded statistically significant differences in both years. The activities differed between years for six enzymes. The effect of peat was slight and was observed only two years after the addition. In another experiment, green or composted plant residues tended to enhance the activities of enzymes compared with chemical fertilizers, although the effect was not consistent. Forest soils usually yielded higher specific activities than field soils and the enzymes showed higher potential activities under alder than under pine. Temporal fluctuations of enzyme activities were also studied.

Cluster analysis was utilized for data analysis in order to combine all measured attributes and to reveal the differences in the entire pattern, even though the differences in individual enzyme level were not statistically significant and the enzyme activities often correlated with each other.

Due to the multitude of processes and functions, together with the wide taxonomic diversity in soils, method development in soil microbiology is still a major challenge. Interpretation of results usually requires a reference comparison. The method developed in the present study is proposed to be used as a sensitive measure of soil functional activity.



The environment in the headlines: Newspaper coverage of climate change and eutrophication in Finland

16.11.2012

Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Victoria Wibeck, Linköping University

Väitöstyöni käsitteli ilmasto- ja rehevöitymisyhteisöitä Helsingin Sanomissa. Väitöspolkuni oli pitkä mutta katkonainen. Alkupiste löytyy vuosituhaten vaihteesta, jolloin sain valmiiksi rehevöitymisyhteisöitä käsittelevän graduni. Tuolloin olin jo tehnyt muutaman vuoden ajan töitä SYKEssä lähinnä ympäristötiedon popularisoinnin parissa, enkä vielä sen kummemmin suunnitellut jatko-opintoja. Väitösuunnitelmat konkretisoituivat, kun sain projektitutkijan pestin hankkeesta, jossa hahmotettiin kestävästi tietoyhteiskunnan indikaattoreita. Hankkeen aikana kirjauduin jatko-opiskelijaksi Viikkiin silloiselle Helsingin yliopiston Limnologian ja ympäristönsuojelun laitokselle. Mutta sitten muut projektit veivät mennessään.

Väitöksen pariin pääsin kunnolla palaamaan vasta vuosikymmenen loppupuolella. Väliuusiin mahtui eri tyyppisiä hankkeita ja harrastuksia, joiden hedelmänä syntyi muun muassa muutama väitöskirjaankin päättynyt tutkimusartikkeli. Näistä yksi oli jatkoa gradun aihepiirille, toinen käsitteli ekologisten kynnyksarvojen merkitystä ympäristöpolitiikalle rannikkoalueilla ja kolmas sitä, miten ympäristöriskejä unohdetaan tahallisesti tai tahattomasti yhteiskunnassa.

Vuosien vieressä suurelliset ajatukset ympäristötiedon käyttöä tietoyhteiskunnassa käsittelevästä väitöstyöstä täsmentyivät sanomalehtien ympäristöuutisoinnin pitkän aikavälin tarkasteluksi. Lopulta minua kiinnosti eniten selvittää, miten paljon ilmastokysymyksistä uutisoitiin. Monet väittivät ilmastosta puhuttavan paljon, mutta mistään en löytänyt tarkkaa tietoa, paljonko siitä puhutaan. Oliko ilmastomuutos todella valtakunnan ykkösuutinen? Olivatko muut ympäristökysymykset, kuten rehevöityminen, jääneet ilmastohuolen alle?

Polun päätepiste löytyi marraskuun 16. päivänä vuonna 2012 Helsingin yliopiston päärakennuksesta. Tuolloin

puolustin parhaani mukaan väitöskirjaani, jonka jätin Ympäristötieteiden laitokselle. Väitöstyön arvokkainta antia itselleni oli, että se antoi mahdollisuuden sitoa yhteen enemmän tai vähemmän toisiinsa liittyneiden hankkeiden tuloksia ja pohtia taustalla mahdollisesti piileviä yhdistäviä ja erottavia piirteitä. Uudet kujeet kuitenkin odottavat. Yksi niistä on huumoria ympäristönsuojelussa käsittelevä tietokirja. Ehkäpä sen myötä saan uuden näkökulman myös väitelleen tutkijan arkeen.

LECTIO PRAECURSORIA

Honoured Custos, honoured Opponent, ladies and gentlemen,

On the eve of the boom in climate debate that began in most industrialised countries around 2006, a Finnish environmental philosopher and animal rights activist, Leena Vilkkä, presented a controversial claim in Finland's main national newspaper.

In a Helsingin Sanomat op-ed, published in October 2006, she claimed that climate change is just a momentary fashion destined to fall into oblivion. She stated that "Environmental protection has its fads and the fad is now climate change." She then continued, "I bet that during the second decade of the 21st century, the media will no longer feature imposing climate change stories and no politician's speeches will address the issue as a key topic."

These claims were promptly dismissed as implausible by two Letters to the Editor, written by a representative of the Ministry of the Environment and a climate scientist from the Finnish Environment Institute. (Perhaps it should be noted that the scientist was not Yours Truly.) These opinion pieces emphasised that climate change is a long term process, unlikely to suddenly vanish from everyday activities, the political agenda, or the media debate.

From the present day perspective, it seems that both lines of argument were partly right – or partly wrong. It is now clear that media coverage of climate change has fallen from its peak levels. The amount of public and political attention paid to climate issues has declined considerably in Finland, particularly since 2009. However, it is also obvious that climate change remains a major environmental challenge of the 21st century. Importantly, climate concerns have not vanished from the media agenda.

In my thesis, I have focused on the contents of the most widely read Finnish newspaper, Helsingin Sanomat. I have collected empirical data describing the evolution, over the last two decades, of media treatment of climate change and the eutrophication of water. These issues represent different environmental problems, which are relevant from both the global and national perspectives. Climate change serves as an example of gradually emerging and largely intangible long-term change in the environment on a global basis, while eutrophication is an example of environmental change with more concrete local effects.

My results show that a great deal of environmental information has been publicly available. Due to a combination of factors, the absolute amount of coverage has varied considerably. The results show that, during short-term peaks in coverage in particular, these topics have gained considerable visibility in Finland. However, although the absolute numbers of such environmental stories have increased, their average share of all news content has remained relatively low.

Climate coverage reached record levels during 2007–2009, with the topic clearly dominating environmental reporting both internationally and in Finland. However, even during the peak months, the share of news items specifically focusing on climate issues reached only one per cent of all coverage of the Helsingin Sanomat. In the years of “climate hype,” the annual share of news items focusing on climate change remained less than 0.5% of all news items.

During the 1990s, the number of news items focusing on eutrophication was at almost the same level as the number focusing on climate issues. With respect to all news, the annual overall share of eutrophication news reached a peak of 0.2% in 1998. However, when calculated on a monthly basis, the shares were considerably higher, due to coverage of eutrophication being concentrated in the summertime.

Two key factors have shaped coverage of eutrophication. First, such coverage is influenced by ecological factors, particularly algal occurrences that are largely dependent on weather conditions. Second, the national algal monitoring and communication system maintained by the environmental authorities has provided the media with timely and easy-to-use information on the algal situation in the summertime.

A more diverse set of contributing factors has been behind the peaks in climate coverage. The two most important factors include international policy negotiations and mild and snowless winters. Other factors included releases of major scientific reviews, expressions of concern by key actors, and the related debate on energy policy. Changes in the anthropogenic driv-

ing forces of environmental change, namely nutrient discharges and greenhouse gas emissions, had only a marginal impact on the level of coverage.

As so often happens, the polemical rhetoric employed by Leena Vilkkä in her op-ed distracted attention from her key point. She used increasing climate coverage only as an example of the amplification of public and policy concerns by the media. Her main argument was that excessive attention to any single environmental issue may mean that little attention is paid to the interactions and root causes of broad-ranging and long-term environmental changes. On repeated occasions, similar concerns have been presented by other scholars and environmental activists.

However, as described in my thesis, the implications of the rise in climate coverage can be interpreted in a more positive way, using the notion of the Piercing Effect. The Piercing Effect suggests that, following a phase of intense media coverage, environmental issues do not disappear but shift from highly visible environmental headlines to less visible but more pervasive background information presented in various contexts. Such media treatment may be the key to the management of environmental problems such as climate change, which require actions implemented across all sectors of society and at various temporal and spatial levels.

My results suggest that, contrary to news coverage of climate change, eutrophication has not been subject to the Piercing Effect. Eutrophication of water provides an example of a narrower environmental debate, where active and continuous communication by a certain stakeholder can play an important and even dominant role. In the case of the Finnish eutrophication debate, active communication by the environmental authorities has strongly influenced media coverage. The eutrophication debate also provides a warning against the generation of potentially one-sided framings by actors capable of dominating the debate. Even well-meaning environmental communication can lead to non-recognition of other relevant viewpoints or issues.

The cyclical nature of environmental media coverage has been empirically observed in various studies, and many models explaining these variations have been developed. These include models such as the Issue-Attention Model describing the stages of public attention given to an environmental issue, the Public Arenas Model emphasising competition between different issues and actors for social attention, The Circuit of Culture Model focusing both on the texts and their contexts, the Quantity of Coverage Theory emphasising the representation of risks and the influence exercised by key media actors, and the Punctuated Equilibrium Model focusing on non-linear evolutionary changes.

A key claim of my thesis is that these models – and others – should be viewed as complementary, since no model is capable of taking account of all key factors influencing the development of environmental media coverage. As proposed by my thesis, the notion of the Piercing Effect may serve as an integrative concept helping to bring other models together.

Overall, the results of my thesis suggest that environmental communication studies should focus not only on media reports highlighting certain environmental issues, but also on news items that mention environmental issues or concerns only briefly or in passing. This approach may be especially relevant from the point of view of mainstreaming environmental policies.

Generally, my results support other studies suggesting that long-term media attention paid to environmental issues has increased and that attention paid to individual issues is characterised by considerable variations and cycles of attention. I am also tempted to speculate that the debate over climate change has revealed the upper limit of media attention paid to an environmental issue in contemporary society. It is perhaps unrealistic to expect any environmental issue to achieve a higher share of media attention, unless some key social or ecological threshold is suddenly crossed.

Dispersal and metacommunity dynamics in a soft-sediment benthic system: How well is the seafloor connected?

19.12.2012

Åbo Akademi, Biotieteiden laitos

Vastaväittäjä: Prof. Paul Snelgrove, Memorial University of Newfoundland, Ocean Science Centre, Department of Biology, Canada



ABSTRACT

Connectivity depends on rates of dispersal between communities. For marine soft-sediment communities dispersal involves more than just initial colonization (recruitment) of substrate by pelagic larvae. Continued small-scale dispersal as post-larvae and as adults can be equally important in maintaining community composition. Our knowledge of post-larval dispersal poten-

tial of marine organisms in general is, however, very limited. This is particularly true for non-tidal benthic systems, such as the Baltic Sea, where dispersal has not previously been quantified. Having an understanding of how and when individuals are dispersing relative to underlying environmental heterogeneity within a given region is key to interpreting scale-dependent patterns of diversity (α -, β -, γ -diversity). Nevertheless, in nature a difficulty has been to actually measure dispersal directly, which has caused empirical work to fall far behind theoretical developments; in both metacommunity and metapopulation ecology.

In this thesis, a variety of direct and indirect measures of dispersal were used to investigate connectivity in marine soft-sediment communities. Post-larval (juveniles and adults) dispersal was quantified using a variety of trap types, along with ambient community composition, at different sampling intervals across sites that varied in local environmental conditions (e.g. sediment grain size, exposure to wind-waves). Taxa dispersed in relative proportion that was distinctly different from resident community composition and a significant proportion (40%) of taxa were found to lack a planktonic larval life-stage. Several system and species-specific dispersal-related strategies were demonstrated, as well as underlying mechanisms by which communities are connected. Local community composition was found to change predictably under varying rates of dispersal and physical connectivity (waves and currents). This response was, however, dependent on dispersal related traits of taxa. Actively dispersing taxa will be relatively better at maintain-

ing their position, as they are not as dependent on hydrodynamic conditions for dispersal and will be less prone to be passively transported by currents and deposited back down onto the sediment.

Community assembly was also re-started in a large-scale manipulative field experiment across several sites, which revealed how patterns of community composition (α -, β - and γ -diversity) change depending on rates of dispersal. Dispersal can become limiting for some species and/or life-stages (patch dynamic) at early assembly or if a newly created disturbance (empty patch) is large relative to the scale of underlying environmental heterogeneity. In response to small-scale disturbances, however, findings suggest that initial dispersal and recruitment will be by nearby-dominant species after which species will arrive from successively further away. If rates of dispersal remain high the number of coexisting species will increase beyond what would be expected purely by local niche requirements (species sorting), thus transferring regional differences in community composition (β -diversity) to the local scale (α -diversity, mass effect).

In contrast to initial larval recruitment, frequent small-scale dispersal as post-larvae can significantly extend the dispersal period and thus contribute to resilience of benthic communities when faced with disturbance. *In situ* findings of this thesis complement several theoretical and laboratory-based studies in demonstrating how both dispersal and environmental heterogeneity contribute to the assembly and maintenance of spatio-temporal patterns of community composition.

Sustainability and meanings of farm-based bioenergy production in rural Finland

15.2.2013

Jyväskylän yliopisto, Yhteiskuntatieteiden ja filosofian laitos

Vastaväittäjä: Prof. Terry Marsden, Cardiff School of Planning and Geography, and Sustainable Places Research Institute, Cardiff University

LECTIO PRAECURSORIA

Arvoisa kustos, Mr opponent, hyvät kuulijat,

Nykyisessä taloustilanteessa yhtenä ratkaisuna Suomen uuteen nousuun esitetään biotalouden tai vihreän talouden kaltaisia osin epämääräisiäkin käsitteitä. Näiden perusideana on talouskasvun ja työpaikkojen luonti luonnonvarojen kestävästä käytöstä. Avainasemassa ovat erilaiset uusiutuvat biomassat, niiden hyödyntämisen lisääminen ja uusiutumattomien öljypohjaisten tuotteiden korvaaminen.

Väitöskirjassani tutkin maatilojen bioenergian tuotantoa, eräänlaisia biotalouden edelläkävijöitä. Tutkimuksen lähtökohta oli osin sama kuin biotalouspohdinnoissa, sen kohdistus vain oli fokusoidumpi toisaalta maatalouden ja toisaalta energiantuotannon kestävyysongelmiin ja nämä yhdistäviin paikallisiin ratkaisuihin.

Suomalainen maaseutu ja maatalous ovat olleet kiihtyvän rakennemuutoksen kourissa EU jäsenyyden alusta asti. Käytännössä tämä on tarkoittanut kasvavia tilakokoja, maatilojen kokonaislukumäärän laskua ja lisääntyvää kiinnostusta perinteisen maa- ja metsätalouden ulkopuolisiin tuotantosuuntiin. Tässä suhteessa bioenergian tuotanto on yksi esimerkki tilojen erikoistumismahdollisuuksista. Bioenergian tuotannon lisääminen on Suomessa noussut myös keskeiseksi keinoksi ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi sekä keinoksi energiaomavaraisuuden lisäämiseksi. Käytännössä bioenergiaa on Suomessa pääasiassa tuotettu

metsäteollisuuden yhteydessä, mutta 90-luvulta lähtien myös pienemmän mittakaavan tuotantoa on kehitetty ja modernisoitu perinteisen klapien käytön ohella.

Käytännön tasolla tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää millainen monialaisen maatalouden ilmentymä maatilalla tapahtuva energiantuotanto on toimintaa harjoittavan viljelijän kannalta. Etenkin tuotannon sosiaalisten vaikutusten tarkastelun kautta tutkimukseni tuo arvokasta evidenssiä aiemmin lähinnä teoreettisella tasolla esitettyihin paikallisen energiantuotannon merkityksiin.

Tutkimusmenetelmänä oli haastattelu- ja dokumenttiaineistoa yhdistelevä tapaustutkimus, jossa aineistollinen pääpaino oli energiaa tuottavien viljelijöiden teemahaastatteluissa.

Tutkimukseni kohdistui kolmeen erilaiseen maatalouteen kytkeytyvään bioenergiantuotantomuotoon: biokaasun tuotantoon, biodieselin tuotantoon ja lämpöyrittäjyyteen. Näistä yleisin on lämpöyrittäjyys. Siinä yksittäinen yrittäjä, useamman yrittäjän muodostama yrittäjärengas tai osuuskunta tuottaa lämmityspalveluja käyttäen puuperäisiä polttoaineita, lähinnä metsähaketta. Lämmityspalvelun asiakkaina ovat yksittäiset, usein kuntien tai yritysten omistamat rakennukset tai kokonaiset kaukolämpöverkot. Tällä hetkellä lämpöyrittäjiä on jo useita satoja.

Biokaasun ja biodieselin tuotanto ovat harvinaisempia, vain muutamien maatilojen omaksumia ratkaisuja. Biokaasun tuotannossa hyödynnetään tilalta saatavissa olevia raaka-aineita, yleensä eläinten lantaa ja myös

kasvinosia. Biodieselin tuotanto maataloilla perustuu yleisimmin tilalla kasvatetun rypsin käyttöön. Sekä biokaasua että biodieseliä voidaan hyödyntää lämmön- ja sähkön tuotannossa sekä jatkojalostaa polttoaineeksi liikenne- tai työkonekäyttöön.

Maaseudun tulevaisuus ja Käytännön maamies -nimisestä lehdistä vuodesta 1980 kerätty lehtiaineisto näytti kuinka niin biokaasun, kuin biodieselin tuotannosta maaseudun mahdollisuutena on keskusteltu jo 30 vuotta sitten pitkälti samassa hengessä kuin nykyäänkin.

Maatilanmittakaavan bioenergiantuotanto voidaan liittää laajempiin maaseudun kehityskulkuihin Länsi-Euroopassa. Maaseudun tuleva ja jo tapahtumassa oleva kehitys on nykytutkimuksessa tapana jakaa kolmeen, osin päällekkäiseen kehityskaareen. Yhtäältä on produktivistinen eli maataloustuotannon maksimointiin pyrkivä kehitys. Toisaalta on jälki-produktivistinen kehitys, eli pyrkimys kehittää maataloustuotannosta irrotettua tai sille oheista toimintaa esimerkiksi maatilamatkailua tai kulttuurimaiseman hoitoa. Ja kolmanneksi on maaseudun kestävä kehitys, jossa ideana on muuttaa itse maataloustuotanto kestäväksi esimerkiksi luomutuotannon kautta.

Haastattelemillani viljelijöillä bioenergiantuotanto kytkeytyy näistä pääosin kahteen jälkimmäiseen, joskin jossain tapauksessa voidaan ajatella bioenergiantuotannon osaltaan mahdollistavan nimenomaan produktivistiset pyrkimykset. Tällöinkin bioenergia edustaa nimenomaan tapaa tehdä tuotannosta ympäristöystävällisempää. Kaiken kaikkiaan voidaan

siis ajatella bioenergiantuotannon osaltaan edustavan uutta maaseudun kehityksen polkua, jossa maataloustuotannon maksimoinnin sijaan pyritäänkin kokonaisvaltaisempaan näkemykseen maaseudun tuotannosta ja merkityksestä yhteiskunnalle. Näin bioenergian tuotannon voidaan osaltaan nähdä vahvistavan maaseudun kestävä kehitystä.

Haastattelemieni viljelijöiden tapauksessa maatilamittakaavan bioenergiantuotannolla voi olla merkittäviä maaseudun kestävyttä ja kestävä toimeentuloa edistäviä vaikutuksia. Vaikutukset tulevat näkyviin ennen kaikkea tunnistamalla bioenergiantuotannon monivaikutteisuus energian tuottajille ja heitä ympäröivälle yhteisölle. Vaikutukset liittyvät osaltaan kaikkiin kestävä kehityksen ulottuvuuksiin, taloudelliseen, sosiaaliseen ja ympäristöön.

Näistä sosiaaliset vaikutukset nousivat bioenergiantuottajille merkittävimmiksi. Ne näkyivät esimerkiksi lisääntyvinä voimavaroina, uusien tietojen ja taitojen omaksumisen, tai sosiaalisten verkostojen vahvistumisen muodossa. Toisaalta bioenergian tuotanto myös lisäsi oman työn arvostusta ja itsetuntoa. Nähtiin että energiantuotannon kautta viljelijä voi todella vaikuttaa tekemäänsä työhön ja siitä saamaansa palkkioon. Varsinaisen maanviljelyn palkkio kun on pitkälti riippuvaista maataloustuista, jotka on irrotettu varsinaisista tuotantomääristä.

Bioenergiantuotannon ympäristövaikutukset puolestaan näkyivät kaikkein heikoiten. Tämä ei niinkään johtunut siitä etteikö ympäristövaikutuksia sinällään olisi, vaan pikemminkin siitä, että ympäristövaikutukset eivät nousseet energiaa tuottaville viljelijöille itselleen aina erityisen merkitykselliseksi.

Erilaiset maatilan bioenergiantuotantotavat erosi toisistaan. Lämpöyrittäjä nousei esiin selkeästi muita vaihtoehtoja vahvempana kestävä kehityksen edistäjänä sekä sosiaalisilta että taloudellisilta vaikutuksiltaan. Biokaasun ja biodieselin tuotanto osoittautuivat vaikutuksiltaan moninaisemmiksi ja osin myös negatiivisia vaikutuksia sisältäviksi. Suurimpina ongelmina näillä tuotantomuodoilla

olivat taloudellisen kannattavuuden heikkous sekä osin myös ympäröivään yhteisöön ja yhteiskunnan rakenteisiin kytkeytyminen. Toisaalta biokaasun ja biodieselin tuottajilla ympäristövaikutukset nousivat merkittävämpään rooliin kuin lämpöyrittäjillä.

Aloitin lektion biotaloudella ja liitin tutkimani maatilamittakaavan bioenergiantuottajat siihen. Suhteessa biotalouteen on kuitenkin tarpeen tehdä tarkennuksia. Väitöskirjassani nostan esiin myös toisen, biotaloudelle rinnasteisen, Terry Marsdenin työtovereidensa kanssa kehittämän eko-talouden käsitteen. Ekotalous painottaa paikallistalouden merkitystä globaalin kilpailukyvyyn sijaa ja talouden ja ympäristön kestävyden ohella sosiaalista kestävyttä. Näin se nostaa esiin ajatuksen siitä, että biotalouksia on erilaisia ja niillä on erilaisia seurauksia, jotka kaikki eivät välttämättä ole positiivisia.

Biokaasun tuotanto on hyvä esimerkki kehityksen kaksijakoisuudesta. Toisaalta se tarjoaa tiloille mahdollisuuden tehostettuun lannankäsittelyyn, niin että sekä energiaa että ravinteita voidaan hyödyntää. Lisäksi se tuo verkostoitumista ja mahdollistaa myös muiden biojätteiden hyödyntämisen. Toisaalta tehostuneen lannankäsittelyn, ympäristövaatimusten ja energiatukien yhdistelmä nostaa sen vaihtoehdoksi nimenomaan suurilla tiloilla tai näiden yhdistelmillä. Näin biokaasun rooli voi tulevaisuudessa olla nimenomaan entistä suurempien tilojen toiminnan mahdollistaminen, esimerkkinä Kosken jo kaatunut suursikalahanke, jossa jopa 50 000 sian kasvatuksen tuottama lannankäsittelyongelma ratkaistiin biokaasulaitoksen avulla. Viimeaikaiset tutkimukset Saksasta ja Italiasta kertovat biokaasun tuotannon haittapuolista, ja ne koskevat nimenomaan ns. teollisen mittakaavan maataloustuotantoa ja paikallisen sosiaalisen oikeudenmukaisuuden toteutumista.

Biotaloutta ei saisikaan käsittää itsestään selvästi autuaaksi tekevänä voimana vaan tiedostaa myös arveluttavat kehityssuunnat sekä toisaalta piiloon jäävät mahdollisuudet. Suomessa bioenergiantuotannon päähuomio on keskittynyt suuriin metsäteollisuuden

yhteydessä oleviin tuotantolaitoksiin ja toisaalta suuren mittaluokan aluelämpölaitoksiin sekä yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon. Samaan tapaan biojalostamoratkaisut tähtäävät suuren mittakaavan keskitettyihin ratkaisuihin.

Väitöstutkimukseni nostaa esiin pienemmän mittakaavan paikallisten ratkaisujen mahdollisuudet etenkin sosiaalisten hyötyjen kautta. Olisikin tärkeää tiedostaa bioressien paikallisen hyödyntämisen merkitys ja sitä kautta tulevat paikallistaloudelliset mahdollisuudet, jotka ovat useasti myös sosiaalisesti hyväksyttävämpiä kuin suuren mittakaavan keskitetyt ratkaisut. Pienen mittakaavan paikallisen energiantuotannon mahdollistamat sosiaaliset hyödyt voisi ottaa paremmin huomioon energiajärjestelmien tulevaisuutta pohdittaessa.

Miten paikallista energiantuotantoa sitten voitaisiin tukea? Tähän tutkimukseni antaa jonkin verran osviittaa.

Bioenergiantuotantomuodot ovat vahvasti kytköksissä historialliseen taustaansa. Lämpöyrittäjät ovat onnistuneet kytkeytymään osaksi metsänhoidon ja metsäbioenergian tuotannon laajempia järjestelmiä. Tämä on selkeästi edesauttanut lämpöyrittäjyyden yleistymistä ja vakiintumista toimintamuotona. Biokaasun ja biodieselin tuottajat ovat jääneet enemmän yksittäistapauksiksi ilman vakiintuneita toimintamalleja. Lisäksi ne ovat jääneet sekä energiantuotantojärjestelmille että maataloussektorille vieraiksi ja vaille tukevia rakenteita. Näiden kehittäminen olisi avainasemassa paikallisen energiantuotannon edistämiseksi, eivät ehkä niinkään taloudelliset tuet. Esimerkiksi biokaasun tuotannolle luonteva reitti voisi löytyä jätehuoltojärjestelmän kautta.

Studies on dinoflagellates in the northern Baltic Sea

15.3.2013

Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: PhD, Associate Prof. Lars Edler, WEAQ AB, Ängelholm, Sweden



ABSTRACT

Dinoflagellates are an important part of the Baltic Sea phytoplankton community. The group includes significant primary producers, consumers, bloom-forming species, toxic species, and species capable of rapid expansion to new areas. The aim of this thesis is to provide new information on the occurrence of dinoflagellates in the northern Baltic proper and the western Gulf of Finland by investigating 1) trends in temporal and spatial distribution of dinoflagellates, 2) patterns of co-occurring taxa in the dinoflagellate community, and 3) external factors that explain dinoflagellate occurrence.

These issues were investigated in four studies, on which this thesis is based. In the first study, we compared the phytoplankton communities of the early 1900s and the present, and examined the role of dinoflagellates in the species compositions of these two periods. In the second study, the focal point was moved forward in time to the annual and interannual dynamics and diversity of the present-day dinoflagellate community, and in the third study further to a more detailed level, the description of a new taxon, *Heterocapsa arctica* subsp. *frigida*, and its ecology and distribution. Lastly, in the fourth study we shifted focus from seasonal, interannual and geographical occurrence to smaller-scale occurrence, i.e. the vertical distribution of dinoflagellates in the water column, as represented by a case study on *Dinophysis acuminata* and *D. norvegica*.

A total of 47 dinoflagellate species, 28 genera, and four higher-level taxa were observed. Of the species-level taxa, 15 have not been previously reported from the northern Baltic proper and/or the Gulf of Finland. We also contributed to the knowledge of Baltic Sea dinoflagellate diver-

sity by formally describing the new taxon, *Heterocapsa arctica* subsp. *frigida*, which furthermore represents a for phytoplankton unusual taxonomical level, i.e. a subspecies. The conspecificity of *H. arctica* subsp. *frigida* with *H. arctica* subsp. *arctica*, described from the Canadian Arctic, was demonstrated by their practically identical ITS rDNA sequences in combination with similarities in the morphological characteristics which are important in distinguishing between members of the genus *Heterocapsa* (i.e. body scale structure, shape and position of the nucleus, and position and ultrastructure of the pyrenoid). Despite the aforementioned similarities in genotype and fine structure, the two dinoflagellates can easily be distinguished by their general morphology; this together with their distinct geographical distributions warranted the description of the new subspecies.

Investigating a selection of taxa comprising dinoflagellates, diatoms, cyanophytes, a chrysophyte and a chlorophyte, we documented clear differences in the historical (1903–1911) and modern (1993–2005) phytoplankton communities. The most obvious differences were the increased occurrence of dinoflagellates and the decrease in the diatom to dinoflagellate ratio in all seasons. Focusing on the present-day dinoflagellate community (1993–2000), we found a change in species composition even within the relatively short 8-year study period. None of the examined environmental descriptors could explain the observed centennial or decadal shifts. In light of the severe eutrophication of the Baltic Sea during the 20th century and the documented sensitivity of phytoplankton to different nutrient levels, we are inclined to interpret the centennial shift in phytoplankton communities as evidence of the direct and/or indirect influence of nutrient enrichment, though we lack data on the nutrient status a century ago. An attempt to find eutrophication indicator species failed, however, since

none of the 10 candidate taxa fulfilled the criteria of good indicator species.

On an annual scale, temperature in combination with season is the best predictor of dinoflagellate species composition. The dinoflagellates formed five groups according to their seasonality: vernal, early summer, summer and autumn, throughout the growing season occurring, and generalist taxa; sporadically occurring dinoflagellates constituted a sixth group. The seasonal groups reflect the annual succession from dinoflagellates occurring in a high-biomass spring bloom community that thrives in cold, nutrient-rich waters, to dinoflagellates occurring later in the year in warm, nutrient-poor waters with a lower phytoplankton biomass. Overall, annual succession is of much greater importance than interannual variability in explaining variation in the dinoflagellate species composition in the northern Baltic Sea.

Their regular presence and tendency to form subsurface maxima qualified *Dinophysis acuminata* and *D. norvegica* as suitable case study objects to investigate the vertical distribution patterns of dinoflagellates. Both species formed population maxima either in the nutrient-poor mixed surface layer above 10 m depth, or alternatively, below 10 m depth, in or out of the euphotic zone but near the thermocline and coinciding with a nutricline. When *D. acuminata* and *D. norvegica* co-occurred, their abundances peaked at different depths, even when both species formed maxima in the surface layer. This emphasizes the importance of accurate species determinations and the riskiness of drawing conclusions on the ecology of one species based on findings regarding a close relative. Based on our results, the primary mode of nutrition for *D. acuminata* in the northern Baltic Sea seems to be photoautotrophy, and also *D. norvegica* may utilize photoautotrophy to a greater extent than lately suggested.

Linking taxonomy and environmental 18S-rRNA-gene sequencing of Baltic Sea protists

24.5.2013

Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Vastaväittäjä: Associate Prof. Tove M. Gabrielsen, The University Centre in Svalbard

ABSTRACT

Protists are unicellular eukaryotes. Some protistan species may be impossible to distinguish under the light or even electron microscope, and a complete balanced study of protistan taxonomy requires molecular analysis and light and electron microscopy. One of the main applications of taxonomic work is the assessment of diversity of organisms in an ecosystem. However, uncertainty in taxonomic precision undermines the diversity measures. DNA sequence data provide assistance since they are easily transformed to numbers that can be compared systematically and in a similar way throughout the eukaryotic domain, using sequence similarity to define operational taxonomic units (OTUs). DNA-based assessment of diversity is called environmental sequencing. The most commonly used gene in the environmental gene sequencing for eukaryotes and also in the protistan taxonomic studies has been the small subunit (18S) ribosomal RNA gene of the ribosomal operon. Also, internal transcribed spacers (ITS) are used.

The studies in this thesis were conducted with Baltic Sea protists. The Baltic Sea is a subarctic brackish-water basin that partially freezes over every winter. If the salinity of parent water is higher than 0.6, the forming ice has a semi-solid structure with solid ice crystals and saline water (brine) channels. The brine channels offer habitats for small-sized organisms. Due to the low salinity of the Baltic Sea, the brine channels are small, and therefore, the Baltic Sea ice eukaryotic community is dominated by protists. Studies on Baltic sea-ice biology have been accumulating since the 1980 s, but

there are still gaps on knowledge; for example, what protistan species and how many there are associated with sea ice. In this thesis, morphological, molecular and ecological information was combined to delineate species of a Baltic Sea cryptomonad, haptophyte and dinoflagellate. Protistan community composition in Baltic Sea ice was assessed with environmental sequencing, and diversity estimates were compared in different types of ice. The taxonomic and environmental-sequencing studies were linked using the gathered taxonomic information to evaluate the accuracy of the molecular diversity-measurement method.

A new cryptomonad species, *Rhinomonas nottbecki*, was described based on morphological characters distinguished by light- and electron-microscopy together with molecular evidence from 18S rRNA gene and ITS region. The same approach was applied to the identification of the alternate stage *Prymnesium polyilepis* (Haptophyta), which bloomed in the whole Baltic Proper during autumn spring 2007–2008. Also, a novel cold-water and sea-ice associated dinoflagellate subspecies, *Heterocapsa arctica* subsp. *frigida*, was described. Environmental 18S-rRNA-gene sequencing revealed that the richest eukaryotic lineages inhabiting the Baltic Sea ice were ciliates, cercozoa, dinoflagellates and diatoms. The different developmental stages and types of ice had different community composition. Protistan richness was higher in ice than water even though water included more divergent lineages. The Baltic fast ice had higher richness than pack and drift ice.

The results of this thesis showed that there remains novelty to be described in the Baltic Sea, and what we

know about the protistan community in Baltic Sea ice now is very incomplete. Although the environmental sequencing produced data that met the requirements of calculation of comparable diversity indices (all taxa defined at the same level), revealed cryptic taxa, and gave higher protistan richness than basic light microscopy of fixed samples, the lack of taxonomic detail was not restricted to the light-microscopic surveys but was also a result of the environmental-sequencing approach. This was shown when the environmental-sequencing approach was applied on the 18S-rRNA-gene data of the cryptomonad family Pyrenomonadaceae and the haptophyte genus *Prymnesium*. Only one Pyrenomonadaceae and two *Prymnesium* OTUs were found although both data sets included 15 distinct taxa. Errors in environmental sequencing and alignment make the use of high similarity levels in the OTU definition questionable, and the variability in the 18S rDNA is not equal within different eukaryotic lineages. Consequently, use of lower similarity level (97%) is justifiable in the environmental-sequencing, but the approach used gave conservative estimates of the protistan richness in the Baltic Sea ice.

The overall conclusion is that we need to apply all available techniques when assessing the diversity of protists, as each technique provides a biased perspective on nature. A labor intensive taxonomic approach that includes the study of live cells by light microscopy, detailed morphological description based on electron microscopy and phylogenetic analysis of suitable genetic markers gives us the best chance of finding out how many different species of protists live within the Baltic Sea ice or any other environment, and what they do.



On optical and physical properties of sea ice in the Baltic Sea

28.6.2013

Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos

Vastaväittäjä: Prof. Peter Wadhams, University of Cambridge, Cambridge, Great Britain

ABSTRACT

Sea ice has been recognized as one of the key elements of polar and sub-polar seas, including Baltic Sea. The existence of sea ice cover and its properties have influence to many aspects of marine biology, climate and seafaring. This thesis is concentrated on describing physical and optical properties of landfast ice, and also pack ice, in the Baltic Sea. The aim of the thesis is to use measurements to study the interactions between optical and physical properties of sea ice and how these can affect the biology in sea ice.

Decade long observations of ice properties were used to construct a statistical model of properties of landfast ice. Temperature was found to be the most important factor determining ice thickness and contribution of snow ice to the ice thickness was determined by the amount of winter time precipitation. Stratigraphy of ice and growth history had influence to the vertical distribution of organisms in the ice cover as snow ice layers and columnar ice layers were found to favor different types of organisms. Thickness of meteoric ice layer, including snow ice and superimposed ice, controlled the albedo of ice cover when no snow cover was on the ice. Based on the observations of fast ice

conditions and albedo, the effects of snow thickness and meteoric ice thickness to the albedo of sea ice were formulated as albedo parameterization equations.

The optical properties of sea ice with spectral resolution were studied on the landfast sea ice. Emphasis in these studies was given to optical properties in the ultraviolet and visible wavelengths. Organic matter, dissolved and particulate, was the most important factor determining the ultraviolet properties of sea ice cover. The optical properties in the ultraviolet were also actively modified by the living organisms in the ice cover by producing mycosporine like amino acids (MAAs) in relatively high amounts. MAAs are a family of photoprotective compounds that absorb UV radiation efficiently. At the visible part of spectrum the ice by itself and the thickness of meteoric ice layer were the most important determinants.

Salinity and the initial salt entrapment during ice growth in the Baltic Sea were measured to be less than in the oceans with equal ice growth rates. The turbulent fluxes of heat and salinity under the landfast sea ice were measured to be small.



Climate change and the future distribution of palsa mires: ensemble modelling, probabilities and uncertainties

23.8.2013

Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Dr. Pamela M. Berry, Environmental Change Institute, University of Oxford, UK

ABSTRACT

Palsas are mounds with a permafrost core covered by peat. They occur in subarctic palsa mires, which are ecologically valuable mire complexes located at the outer margin of the permafrost zone. Palsas are expected to undergo rapid changes under global warming. This study presents an assessment of the potential impacts of climate change on the spatial distribution of palsa mires in northern Fennoscandia during the 21st century. A large ensemble of statistical climate envelope models was developed, each model defining the relationship between palsa occurrences and a set of temperature- and precipitation-based indicators. The models were used to project areas suitable for palsas in the future. The sensitivity of these models to changes in air temperature and precipitation was analysed to construct impact response surfaces. These were used to assess the behaviour of models when extrapolated into changed climate conditions, so that new criteria, in addition to conventional model evaluation statistics, could be defined for determining model reliability.

A special focus has been on comparing alternative methods of representing future climate, applying these with impact models and quantifying different

sources of uncertainty in the assessment. Climate change projections were constructed from output of coupled atmosphere-ocean general circulation models as well as finer resolution regional climate models and uncertainties in applying these with impact models were explored. New methods were developed to translate probabilistic climate change projections to probabilistic estimates of impacts on palsas.

In addition to future climate, structural differences in impact models appeared to be a major source of uncertainty. However, using the model judged most reliable according to the new criteria, results indicated that the area with suitable climatic conditions for palsas can be expected to shrink considerably during the 21st century, disappearing entirely for an increase in mean annual air temperature of 4°C relative to the period 1961-1990. The risk of this occurring by the end of the 21st century was quantified to be between 43% (for the B1 low emissions scenario) and 100% (for the A2 high emissions scenario). The projected changes in areas suitable for palsas are expected to have a significant influence on the biodiversity of subarctic mires and are likely to affect the regional carbon budget.



A fractional snow cover mapping method for optical remote sensing data, applicable to continental scale

23.8.2013

Aalto-yliopisto, Maankäyttötieteiden laitos

Vastaväittäjät: Prof. Tuomas Häme, Teknologian tutkimuskeskus VTT ja Prof. Richard Kelly, University of Waterloo, Kanada

ABSTRACT

This thesis focuses on the determination of fractional snow cover (FSC) from optical data provided by satellite instruments. It describes the method development, starting from a simple regionally applicable linear interpolation method and ending at a globally applicable, semi-empirical modeling approach. The development work was motivated by the need for an easily implementable and feasible snow mapping method that could provide reliable information particularly for forested areas.

The contribution of the work to the optical remote sensing of snow is mainly associated with accounting for boreal forest canopy effect to the observed reflectance, thus facilitating accurate fractional snow retrievals also for ground beneath the tree canopies. The first proposed approach was based on a linear interpolation technique, which relies on *a priori known reference reflectances* at a) full snow cover and b) snow-free conditions for each calculation unit-area. An important novelty in the methodology was the utilization of a *forest sparseness index* determined from AVHRR reflectance data acquired at full dry snow cover conditions. This index was employed to describe the similarity between different unit-areas. In practice, the index was used to determine the reference reflectances for such unit-areas for which the reflectance level could not be determined otherwise, e.g. due to frequent cloud cover. This approach was found to be feasible for Finnish drainage basins characterized by fragmented landscape with moderate canopies.

Using a more physical approach instead of linear interpolation would allow the model parameterization using physical quantities (reflectances), and would therefore leave space for further model developments based on measuring and/or modeling of these quantities. The semi-empirical reflectance model-based method *SCAmod* originates from radiative transfer theory and describes the scene-level reflectance as a mixture of three major constituents: opaque forest canopy, snow and snow-free ground, which are interconnected through transmissivity and snow fraction. Transmissivity, in turn, can be derived from reflectance observations under conditions that highlight the presence of forest canopy, namely the presence of full snow cover on the ground. Thus, *SCAmod* requires *a priori* information on transmissivity, but given that it can be determined with the appropriate accuracy, it enables consideration of the obstructing effects of forests in fractional snow estimation. In continental-scale snow mapping, determination of the transmissivity map becomes a key issue. The preliminary demonstration of transmissivity generation using global land cover data was a part of this study.

The first implementations and validations for *SCAmod* were presented for AVHRR data at Finnish drainage basin scale. In subsequent work, determination of the feasible reflectance constituents was addressed, followed by a sensitivity analysis targeting at selection of optimal spectral bands to be applied with *SCAmod*. Feasibility of the NDSI-based approach in FSC-re-

trievals over boreal forests is also discussed. Finally, the implementations and validations for MODIS and AATSR data are presented. The results from relative (using high-resolution Earth Observation data to represent the truth) and absolute validation (using *in situ* observations) indicate a good performance for both forested and non-forested regions in northern Eurasia. Accounting for the effect of forest canopy in the FSC-retrievals is the key issue in snow remote sensing over boreal regions; this study provides a new contribution to this research field and provides one solution for continental scale snow mapping.



Applicability of characterized variance and ecosystem interactions in water quality monitoring

30.8.2013

Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

Vastaväittäjä: Research Prof. Peeter Nõges, Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Estonian University of Life Sciences

ABSTRACT

Spatial and temporal variation within water bodies causes uncertainties in freshwater monitoring programmes that are surprisingly seldom perceived. This poses a major challenge for the representative sampling and subsequent assessment of water bodies. The sources of variability in lakes are relatively well known. The majority of them produce consistent patterns in water quality that can be statistically described. This information can be used in calibrating the sampling intervals, locations and monitoring methods against the typical variation in a water body as well as the accuracy requirements of monitoring programmes. Similarly, understanding of ecosystem history and functioning in different states can help in contextualizing the collected data. Specifically, studies on abrupt transitions and the interactions involved produce a framework against which recent water quality information can be compared.

This thesis research aimed to facilitate water quality monitoring by examining 1) feasible statistical tools to study spatial and temporal uncertainty associated with sampling efforts, 2) the characteristics of variation and 3) ecosystem interactions in different states. Research was conducted at Lake Vesijärvi, southern Finland. Studies of uncertainty utilized data-rich observations of surface water chlorophyll *a* from flow-through, automated and remote sensing systems. Long-term monitoring information of several trophic levels was used in the analysis of ecosystem interactions. Classical sample size estimates, bootstrap methodology,

autocorrelation and spatial standard score analyses were used in spatio-temporal uncertainty analysis. A general procedure to identify abrupt ecosystem transitions was applied in order to characterize lake interactions in different states.

The results interlink variability at the study site with information required in sampling design. Sampling effort estimates associated with the spatial and temporal variance were used to derive precision information for summary statistics. The structure of the variance illustrated with an autocorrelation model revealed the low spatial representativeness of discrete sampling in the study area. A generalized autocorrelation model and its parameters from the monitoring area were found applicable in sampling design. Furthermore, areas with constantly higher chlorophyll *a* concentrations, which had an effect on the water quality information derived with remote sensing, were identified from the study area. Characterization of the interactions between the main trophic levels in different ecosystem states revealed the key role of zooplankton in maintaining the current state as well as the resilience of the studied pelagic ecosystem. The results are brought into a broader context by discussing the applicability of presented methods in sampling design of water quality monitoring programmes.

According to this thesis research, sampling design in individual monitoring regimes would benefit from the characterization of variance and subsequent uncertainty

analysis of different data sources. This approach allows the calibration of sampling frequency and locations on the observed variance, as well as a quantitative comparison between the abilities of different monitoring methods. The derived precision information also supports the joint use of several monitoring methods. Furthermore, analysis of long-term records can reveal the key elements of freshwater ecosystem functioning and how it has responded to earlier pressures, to which recent monitoring data can be compared. This thesis thus highlights analysis of the variance and history of the monitored system in developing a rationalized and adaptive monitoring programme.

Tuomas Mattila



Input-output analysis of the networks of production, consumption and environmental destruction in Finland

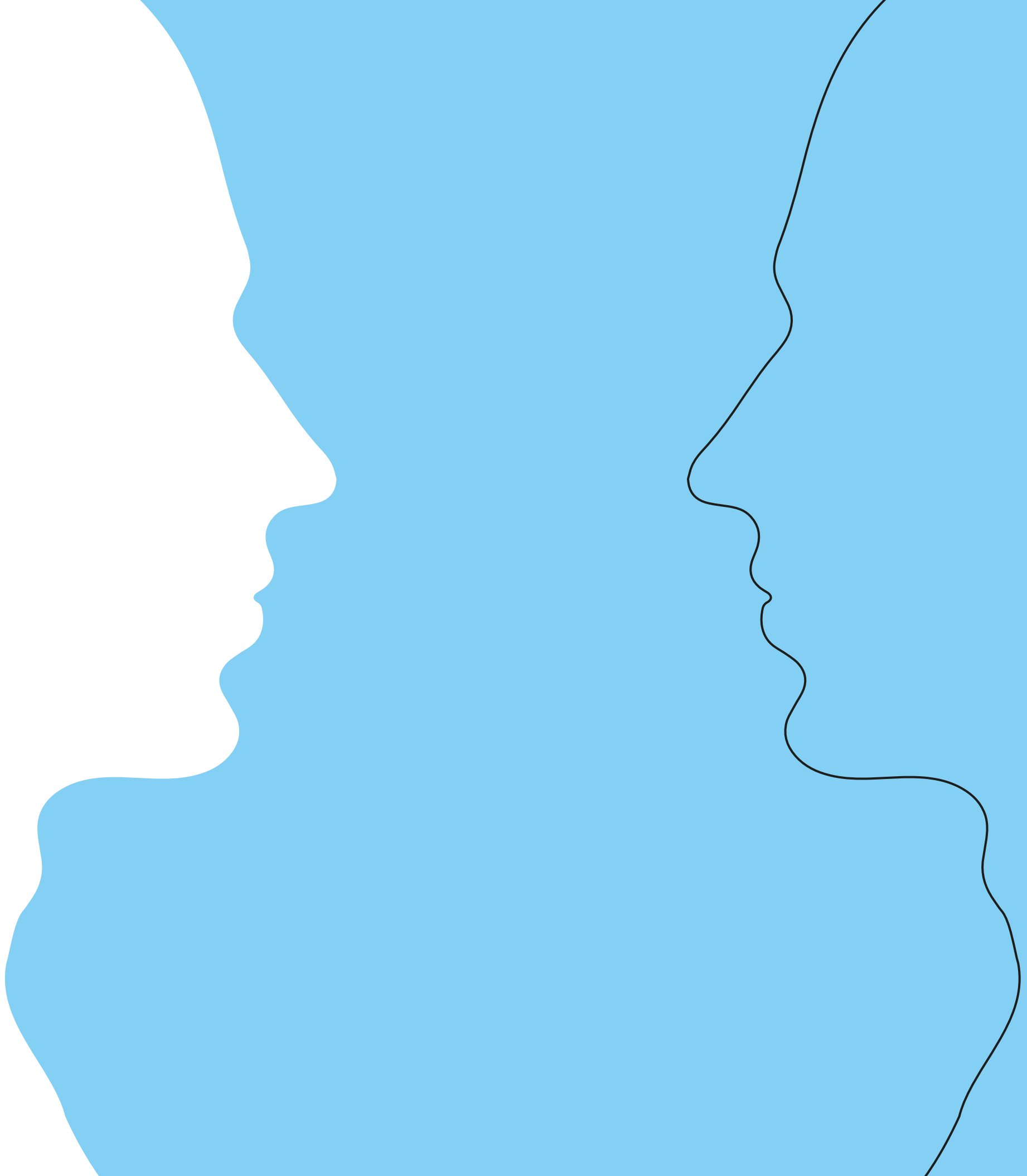
12.9.2013

Aalto yliopisto, Matematiikan ja systeemianalyysin laitos
Vastaväittäjä: PhD Gregory A. Norris, Harvard University, USA

ABSTRACT

Modern systems of production and consumption are complex and global. Supply networks cross continents, linking the consumption in Finland to land use in the Latin-America and South-East Asia. Economic input-output analysis was originally developed to track the production networks of a single country, but it has recently been applied to include environmental impacts over several regions. Current environmentally extended input-output (EEIO) models connect consumption, production and environmental impacts into a transparent system of equations, which can be used to examine the direct and indirect effects of different economic activities. The combination of EEIO with life cycle assessment (LCA) has allowed the industrial ecological analysis of various environmental footprints (for example ecological, carbon and water). However these footprints capture only a narrow share of the overall sustainability. The aim of this study was to broaden the scope of previous footprint analyses by focusing on new environmental impacts such as biodiversity, land use and ecotoxic effects. Impact assessment models for each impact category were connected to the general EEIO framework. This allowed the detailed analysis (structural path, structural decomposition and sensitivity analysis) to find the key components causing environmental destruction through production and consumption. These identified key components can be used to model and manage the environmental issues from a whole system perspective.

A			
Ahkola Heidi	185	Kauppila Pirkko	135
Ahtiainen Jukka	82	Kautto Petrus	144
Alahuhta Janne	176	Kivimaa Paula	137
Alhola Katriina	189	Kivimäki Anna-Liisa	103
Antikainen Riina	124	Kivinen Sonja	130
Anttila Saku	203	Koljonen Saija	178
Aroviita Jukka	151	Korkka-Niemi Kirsti	79
Assmuth Timo	28	Kortelainen Pirkko	22
B		Koskiaho Jari	110
Berg Katri	153	Koskinen Jarkko	70
Bergström Irina	169	Kotiranta Heikki	77
Björklöf Katarina (Lotta)	80	Kupiainen Kaarle	117
Bärlund Ilona	40	Kämäri Juha	13
E		L	
Ekholm Petri	50	Lahti Kirsti	35
F		Laine M. Minna	44
Forsius Martin	20	Lehtoranta Jouni	88
Fronzek Stefan	201	Lepistö Ahti	31
H		Lepistö Liisa	61
Heikkinen Risto K.		Lipponen Annukka	112
Heiskanen Anna-Stiina	46	Loukola Erkki	33
Hellsten Seppo	66	Luoto Miska	
Hildén Mikael	38	Lyytimäki Jari	193
Hoikkala Laura	186	M	
Holmberg Maria	94	Majaneva Markus	199
Huttunen Suvi	196	Malve Olli	123
Hällfors Heidi	198	Mannio Jaakko	72
I		Marttunen Mika	173
Ilmonen Jari	146	Mattila Pasi	114
J		Mattila Tuomas	204
Johansson Matti	57	Mattsson Tuija	158
Juslén Aino	115	Metsämäki Sari	202
K		Mickwitz Per	106
Kaljonen Minna	166	Mykrä Heikki	111
Kallio Kari	183	Mäkinen Heikki	98
Karhu Kristiina	160	P	
Karvosenoja Niko	140	Penttilä Reijo	
		Pessala Piia	142
		Piiparinen Jonna	170
		Pitkänen Heikki	25
		Porvari Petri	85
		Primmer Eeva	161
		Puupponen Markku	53
		Pykälä Juha	129
		Pöyry Juha	133
		R	
		Rankinen Katri	109
		Rantakari Miitta	156
		Rasmus Kai	152
		Rekolainen Seppo	21
		Rosenström Ulla	147
		Ruohonen-Lehto Marja	49
		S	
		Saarela Jouko	34
		Salminen Jani	104
		Saski Eija	41
		Seppälä Jukka	150
		Seppälä Jyri	91
		Setälä Outi	96
		Siitonen Paula	
		Similä Jukka	120
		Sopanen Sanna	154
		Sorvari Jaana	165
		Spilling Kristian	116
		Syri Sanna	75
		Söderman Tarja	187
		T	
		Tamminen Timo	18
		Tanskanen Juha-Heikki	69
		Tuomi Pirjo	56
		U	
		Uronen Pauliina	127
		Uusikivi Jari	200
		V	
		Valanko Sebastian	195
		Valve Helena	83
		Vanhala Pekka	59
		Veijalainen Noora	188
		Vepsäläinen Milja	191
		Verta Matti	19
		Vuorenmaa Jussi	131
		W	
		Wallenius Kaisa	181



Tämä julkaisu on katsaus SYKEN väitöskirjoihin ja niiden tekijöihin. Esittelyssä on yhteensä 104 väitöskirjaa, osa niistä SYKEN perustamista edeltäviltä vuosilta. Ne yhdessä luovat ympäristötutkimuksen perinteen, joka heijastelee yhteiskunnallista kehitystä ja ympäristökysymyksiä eri aikakausina.

SYKE.FI/JULKAISUT

ISBN 978-952-11-4238-3 (nid.)
ISBN 978-952-11-4239-0 (PDF)

