

Suomenlahden tilan muutokset – vaikutukset avomerialueen kalakantoihin ja kalastukseen

Heikki Peltonen, Mikko Kiljunen, Mika Vinni,
Jari-Pekka Pääkkönen, Jukka Pönni, Mika Rahikainen
ja Antti Lappalainen



Suomenlahden tilan muutokset – vaikutukset avomerialueen kalakantoihin ja kalastukseen

**Heikki Peltonen, Mikko Kiljunen, Mika Vinni,
Jari-Pekka Pääkkönen, Jukka Pönni, Mika Rahikainen
ja Antti Lappalainen**

Helsinki 2006

Suomen ympäristökeskus



S Y K E

SUOMEN YMPÄRISTÖ 50 | 2006
Suomen ympäristökeskus
Tutkimusosasto

Taitto: Ritva Koskinen

Julkaisu on saatavana ainoastaan internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

ISBN 952-11-2471-7 (PDF)
ISSN 1796-1637 (verkkokj.)

SISÄLLYS

1 Johdanto	5
1.1 Hankkeen tausta.....	5
1.2 Ympäristön ja kalakantojen muutokset Suomenlahdella	5
1.3 Organokloorit kaloissa	6
2 Tutkimusmenetelmät	8
2.1 Ympäristötekijöiden vaikutukset kalakantoihin.....	8
2.2 Kalojen ravinnonkäyttö.....	10
2.3 Organokloorien kertyminen silakkaan ja kilohailiin.....	10
3 Tulokset ja niiden tarkastelu	12
3.1 Kalalajien alueellinen esiintyminen avomerellä ja ympäristötekijät	12
3.2 Kalojen kunto ja kasvunopeuden muutokset.....	19
3.3 Kalojen ravinnonkäyttö.....	20
3.4 Silakan ja kilohailin kasvu- sekä populaatiomallinnus	27
3.5 Ennusteet silakan ja kilohailin organoklooripitoisuuksista	32
4 Johtopäätökset	34
Kirjallisuus	36
Kuvailulehdet	38

1 Johdanto

1.1

Hankkeen tausta

Itämeren rehevöityminen ja eliöstöön kerääntyvät, ihmistoiminnasta peräisin olevat myrkyt muodostavat vakavan uhan kalataloudelle. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida ympäristömuutosten vaikutuksia Suomenlahden kalastoon sekä toisaalta arvioida, voidaanko tehokkaalla kalastuksella vaikuttaa orgaanisten ympäristömyrkköjen pitoisuuksiin ulapan kalastossa. Hanke toteutettiin Kaakkois-Suomen TE-keskuksen (työvoima- ja elinkeinokeskus) myöntämän EU:n KOR-rahoituksen (kalatalouden ohjauksen rahoitusväline) (hankenumero 226049) avulla ja Suomen ympäristökeskuksen johdolla vuosina 2002-2006.

1.2

Ympäristön ja kalakantojen muutokset Suomenlahdella

Itämeren alkava rehevöityminen 1900-luvun alkupuolella lisäsi tärkeimpien saaliskalalajien – silakan, kilohailin ja turskan – tuotantoa ja saaliita, vaikkakin myös hydrografiset muutokset, merinisäkkäiden saalistuksen väheneminen ja kalastuksen kehittyminen vaikuttivat saaliiden nousuun (Thurow 1997, MacKenzie ym. 2004). Edetessään rehevöitymisestä on kuitenkin haittaa arvokkaimmille merikalalajeille. Ravinnekuormitus Suomenlahteen on lisännyt perustuotantoa ja vajoavan eloperäisen aineksen hajotustoiminta on johtanut syvillä alueilla hapettomuuteen (esim. Pitkänen ym. 2003). Lisäksi Itämeren päältäalta virtaa ajoittain vähähappista vettä Suomenlahdelle. Lähellä rannikoita matalia happipitoisuuksia esiintyy erityisesti alueilla, joilla esimerkiksi matalien kynnysten vuoksi veden vaihtuminen on hidasta (Kauppila ja Bäck 2001). Suomenlahdesta on ravinnekuormituksen vuoksi tullut yksi Itämeren rehevöityneimmistä alueista ja ravinnekuormitus on perinpohjaisesti vaikuttanut koko ekosysteemiin (Lips ym. 2002).

Itämeren silakan ja kilohailin kasvunopeus on vaihdellut huomattavasti 1950-luvulta alkaen. Silakan ja kilohailin kasvun hidastuminen viimeisten vuosikymmenten aikana on ollut erityisen voimakasta Suomenlahdessa (Stephenson ym. 2001, Rönkkönen ym. 2004, ICES 2005). Viime aikoina on yhä enemmän saanut tukea käsitys, että Itämeren päältäalla planktonia syövien kalalajien, erityisesti silakan ja kilohailin runsastuminen lisää ravintokilpailua ja johtaa kalojen kasvun hidastumiseen (Möllmann ym. 2005, Casini ym. 2006). Suomenlahden planktonia syövien kalojen ravintotilanne on myös todennäköisesti huonontunut, koska rehevöitymisen ja suolapitoisuuden alenemisen vuoksi mereinen eläinplanktonlajisto on korvautunut makeampaa vettä suosivalla, kalojen ravinnoksi huonommin sopivalla lajistolla (esim. Flinkman ym. 1998). Silakan kasvun heikkeneminen alkoi selvästi aiemmin kuin kilohailin (ICES

2005), mihin eräänä syynä voi olla se, että kilohaili on paremmin sopeutunut käyttämään pientä eläinplanktonravintoa kuin silakka.

Suomenlahdessa tapahtuvien muutosten ohella myös Itämeren pääaltaalla tapahtuvat kalastomuutokset vaikuttavat Suomenlahden kalastoon, koska Suomenlahden silakka- ja varsinkin kilohailikanta ovat yhteydessä pääaltaan kantoihin (esim. Aro 1989). Esimerkiksi Itämeren kalakanta-arvioissa (esim. ICES 2005) Suomenlahden silakka ja kilohaili arvioidaan osana pääaltaan kantoja. Suomenlahdessa merikalat elävät levinneisyysalueensa äärirajalla ja muutokset kalastossa voivat ensimmäisenä näkyä tällaisilla reuna-alueilla. Silakan ja kilohailin saaliit romahtivat Suomenlahdella 2003-2004. Vastaavanlaista romahdusta ei havaittu muilla Itämeren osa-alueilla (ICES 2005, Meri 2006). Tässä tutkimuksessa selvitettiin Suomenlahden ulappa-alueen kalakantojen alueellisia ja ajallisia vaihteluita, sekä muutoksia niiden ravinnonkäytössä, sekä arvioitiin eri ympäristötekijöiden merkitystä kalastolle. Tavoitteena oli kehittää menetelmiä, joiden perusteella voitaisiin ennakoida tulevaisuuden kalastomuutokset Suomenlahdella, erityisesti ottaen huomioon ympäristömuutokset.

1.3

Organokloorit kaloissa

Rehevöitymisen ohella Itämeren vakavin ympäristöongelma on ekosysteemiin ihmistoiminnan johdosta tulleet ympäristömyrkyt, kuten organoklooriyhdisteet. Polyklooratut dibentsodioksiinit ja dibentsofuraanit (PCDD/F) sekä polyklooratut bifenyylit (PCB) sisältävät monia hitaasti hajoavia ja eliöstöön kertyviä yhdisteitä. Vaikka näiden aineiden pitoisuudet ovat esim. sedimentissä laskeneet viime vuosina, konsentraatiot vesieliöstössä eivät ole laskeneet samassa suhteessa (Isosaari ym. 2002). Suomessa kalat ja kalatuotteet ovat ihmisille merkittävimpiä PCDD/F-yhdisteiden lähteitä. Ihmisiin tulevasta PCDD/F kuormasta 82% on peräisin kalasta ja yksistään silakasta 52% (Kiviranta ym. 2001). Koska PCDD/F ja PCB muodostavat uhan ihmisten terveydelle, EU on säätänyt raja-arvon, jota markkinoitava kala ja kalatuotteiden eivät saa ylittää. Tämä raja PCDD/F ja PCB-yhdisteille ($WHO_{PCDD/F-PCB-TEq}$) on 8 pg/g (pikogrammaa grammassa) (European Commission 2006). Siten pitoisuuksien aleneminen kaloissa on tärkeää mm. kansanterveyden ja kalatuotteiden markkinoinnin kannalta.

Silakan ja kilohailin kasvun hidastuminen 1980-luvulta alkaen voi olla yhtenä syynä ennakoitua hitaampaan PCDD/F-yhdisteiden pitoisuuksien laskuun. Kasvun hidastuessa kalat tulevat vanhempina kalastuksen kohteiksi ja saalis koostuu entistä vanhemmista kaloista, joihin on kerääntynyt korkeat pitoisuudet niiden elimistöistä hitaasti poistuvia ympäristömyrkkyyä. Tehokas kalastus muuttaa kalaston ikärakennetta ja saalis koostuu nuoremmista kaloista kuin silloin, jos kalastus on vähäistä. Siten kalastuksen avulla voitaisiin saaliin organoklooripitoisuuksia pienentää. Lisäksi jäljelle jääneiden kalojen kasvu voi kiihtyä, jos kasvunopeus on riippuvainen esim. ravintokilpailusta. Nopeakasvuiset kalat tulevat nuorempina pyyntikokoon kuin hidaskasvuiset. Nopeakasvuinen kala yleensä käyttää vähemmän energiaa ja ravintoa saavuttaakseen tietyn painon kuin hidaskasvuinen, joten sen elimistöön tulee ravinnon mukana vähemmän ympäristömyrkkyyä. On ehdotettu, että Selkämeren silakan organokloorien pitoisuuksia alennettaisiin kalastusta tehostamalla (Parmanne ym. 2006). Luonnollisen kuolevuuden vaihtelun aiheuttama vaikutus kalojen haitta-ainepitoisuuksiin voidaan olettaa olevan samansuuntaisen kuin kalastuskuolevuuden. Saalistajien vähäisyys, erityisesti turskakannan huono tila, vaikuttaa organokloorien pitoisuuksiin silakassa ja kilohailissa. Kun petojen saaliiksi joutuu vain vähän silakkaa ja kilohailia, kalakannasta ja saaliista yhä suuremman osuuden muodostavat hitaasti kasvavat vanhat yksilöt, joihin on kertynyt paljon ympäristömyrkkyyä.

Kertyvien myrkkyjen pitoisuuksia kaloissa voidaan tutkia bioenergeettisen mallinnuksen avulla (esim. Kooijman 2000). Bioenergeettisellä mallilla voidaan arvioida, paljonko kalan on täytynyt syödä kasvaakseen tietyllä nopeudella (Hewett ja Johnson 1992). Näin ollen voidaan myös arvioida paljonko ravinnon mukana kalaan on tullut haitta-aineita. Menetelmällä voidaan ennustaa kasvunopeuden muutoksen vaikutusta ravinnon kulutukseen ja ravinnon mukana kalan elimistöön tulevaan myrkkynuormaan. Tässä tutkimuksessa arvioitiin vaikuttaisivatko kalastuksen tehostaminen tai vähentäminen haitallisten aineiden, erityisesti dioksiinien ja furaanien kertymiseen Suomenlahden ja pohjoisen Itämeren silakkaan ja kilohailiin, kuinka suuria muutokset voisivat olla ja mikä on ennusteiden epävarmuus.

2 Tutkimusmenetelmät

2.1

Ympäristötekijöiden vaikutukset kalakantoihin

Rehevöitymisen ja muiden ympäristötekijöiden vaikutuksia kalakannoille selvittävän tutkimuksen kenttätöitä tehtiin kolmella Suomenlahdelle tehdyllä tutkimusmatkalla tutkimusalue Muikulla vuosina 2002-2004 loppukesällä ja alkusyksyllä (taulukko 1). Vuoden 2002 tutkimusmatka keskittyi erityisesti Suomenlahden ulapan runsaimpien kalalajien silakan, kilohailin ja kolmipiikin alueellisen runsaudenvaihtelun, kokojakaumien, kunnan sekä ravinnon koostumuksen selvittämiseen. Lisäksi arvioitiin veden lämpötila- ja suolaisuuskerrostuneisuuden vaikutusta kalojen esiintymiseen. Vuosina 2003 ja 2004 näytteenottoa merellä tehtiin samanaikaisesti Merentutkimuslaitoksen tutkimusalue Arandan kanssa, joka keräsi aineistoa eläinplanktonyhteisöstä ja vesimassan hydrografiasta (mm. suolaisuus- ja lämpötilakerrostuneisuus). Vuoden 2003 meritutkimusten avulla yhteen sovitettiin Muikun ja Arandan tutkimusmenetelmät, mikä mahdollisti vuonna 2004 toteutetun tehokkaan näytteenoton ja tulosten käsittelyn (Peltonen ym. 2006b). Vuonna 2004 kerättiin ja analysoitiin laaja aineisto kalakantojen ja ympäristömuuttujien alueellisista vaihteluista, jollaista ainakaan pohjoisella Itämerellä ei ennen ole tehty. Tällöin kerättiin samanaikaisesti tietoa kalakannoista kaikuluotaimella (kalabiomassa) ja välivesitroolilla (lajisto, kokojakaumat ja kalojen ravinnonkäyttö) sekä ympäristön tilaa kuvaavaa aineistoa vesipatsaasta (mm. lämpötila-, suolaisuus-, happipitoisuus-, valaistusprofiilit, klorofylli a -pitoisuus) sekä näytteet eläinplanktonyhteisöstä (Peltonen ym. 2006b).

Suomenlahden avomerialueen kalastosta suurimman osan muodostavat pienet yksilöt, joista valtaosa menee tavanomaisen kaupallisen troolin läpi (vrt. Rahikainen ym. 2004). Tällaisella troolilla kalastettu saalis ei siten edusta pyyntialueen koko kalastoa. Tässä tutkimuksessa koekalastuksissa oli troolina oli Oy Lindemanin Trawl Ab:n valmistama 720 jalan pelaginen trooli, jonka suurin korkeus vedossa oli n. 15 m ja leveys 35 m. Troolin perän solmuväli oli 10 m ja se oli varustettu solmuväliltään viiden millimetrin "apuperällä", joka keräsi läpi uineet kalat. Yleensä kalastettiin vesikerroksesta, jossa kaikuluotaimelta reaaliaikaisesti saadun arvion (kaikuintegraali) mukaan oli suurin kalatiheys. Troolivetojen pituus vaihteli kaikuluotauksen perusteella vedon aikana määritetyn kalamäärän mukaan siten, että saatiin riittävät näytemäärät, mutta vältettiin liian suuret saaliit. Troolisaaliista otettiin muutaman kg:n suuruinen satunnaisotos, joka lajiteltiin ja josta määritettiin eri lajien osuudet kappalemääräisesti ja saaliin painosta, sekä mitattiin pituusjakaumat. Silakasta, kilohailista ja kolmipiikistä pakastettiin näytteet tarkempia tutkimuksia varten. Matkan jälkeen näytekalat mitattiin ja punnittiin, ja niiden mahansisällöt analysoitiin.

Taulukko 1. Tutkimusmatkat sekä niiden aikana kerätyt ja analysoidut aineistot.

Matkan ajankohta	2.-6.9.2002	11.-20.8.2003	19.-29.7.2004
Matkan kesto merellä (vrk)	5	8	8
Kaikuluotausta (mpk)	450	703	666
Troolivetöjä (kpl)	10	25	22
Mitattuja kaloja (kpl)	6490	12813	6537

Kaikuluotausaineisto kerättiin tieteelliseen kalakanta-arviointiin tarkoitettulla SIMRAD EY500-laitteistolla (taajuus 38 kHz ja lähetysteho 250 W). Paikkatietosignaali otettiin kaikuluotauslaitteistolle laivan DGPS paikannuslaitteistosta. Kaikuluotaimen anturi oli kiinnitettynä aluksen näytteenottosiltaan kiinnitettyyn vinsseillä alas laskettavaan telineeseen. Anturin värähtelijä oli 1,6 m syvyydellä merenpinnasta. Analysointi tehtiin EY500 ohjelmalla (SIMRAD 1995) ja vuodesta 2005 alkaen Sonar5 analyysiohjelmalla (Balk ja Lindem 2004). Aineisto jaettiin 0,1 mpk:n pituisiin osiin ja 5 m vesikerroksiin, joista laskettiin kaikuintegraali (S_A , $m^2 \text{mpk}^{-2}$) eli kalojen ääntä heijastava pinta-ala vesialueen pinta-alayksikköä kohti (esim. MacLennan ym. 2002). Muut kuin kaloista tulleet akustiset signaalit pyrittiin aineiston yhteydessä eliminoimaan Sonar5 analyysiohjelmaa käyttäen.

Kalabiomassa-arviot tehtiin troolisaaliin kaikuluotausarvioihin ja troolisaaliiden koostumukseen perustuen (ICES 2001). Vuoden 2002 aineistossa (Peltonen ym. 2004) akustinen kohdevoimakkuus arvioitiin 5 mm pituusluokittain (L) yhtälöllä $TS=20\log L - 71,2$, jota on käytetty Itämeressä sillikaloille ja kolmipiikille (ICES 2001). Muissa aineistoissa käytettiin uutta erityisesti pohjoisen Itämeren silakalle tarkoitettua yhtälöä $TS=20\log L - 65,6$ (Peltonen ja Balk 2005). Kalayksilön akustinen poikkileikkaus arvioitiin yhtälöllä $\sigma = 4\pi (TS/10)$ ja jokaisesta troolivedosta laskettiin pituusluokkien osuuksilla painotettuna keskimääräinen akustinen poikkileikkaus $\bar{\sigma}$. Kalatiheys laskettiin yhtälöllä $n = S_A / \bar{\sigma}$, ja kunkin lajin biomassa pinta-alayksikköä kohti laskettiin yhtälöllä $B_i = p_i n \bar{w}$, missä p_i on lajin i osuus ja \bar{w} vastaavasti lajin i yksilöiden keskipaino. Tutkimusten tavoitteena ei ollut tuottaa biomassa-arviota koko Suomenlahden alueelle, vaan kerätä aineistoa kalojen ja niiden ympäristötekijöiden välisistä riippuvuuksista. Edellä esitetyt kohdevoimakkuusyhtälöt (ICES 2001, Peltonen ja Balk 2005) johtavat erilaisiin kalabiomassa-arvioihin, mutta sillä ei ollut tässä tutkimuksessa merkitystä, koska eri vuosien biomassa-arvioita ei verrattu keskenään, vaan vertailtiin alueellisia biomassa-arvioita.

Kalojen alueellinen jakauma meressä ja siihen vaikuttavat tekijät ovat heikosti tunnetut. Kuitenkin uudet tutkimusmenetelmät mahdollistavat tällaiset analyysit. Tässä tutkimuksessa kalatiheyden riippuvuutta ympäristömuuttujista tutkittiin GAM-mallin avulla (Peltonen ym. 2006b). Menetelmällä voidaan arvioida kuinka paljon samanaikaisesti vaikuttavat muuttujat (ympäristötekijät) selittävät vastemuuttujan (kalabiomassan) alueellisista vaihtelusta ja minkä muotoinen on selitettävän muuttujan vastekäyrä suhteessa jokaiseen ympäristömuuttujaan. Vastekäyrät eivät ole riippuvaisia mistään ennako-oletuksista käyrän muodon suhteen. Tässä osatutkimuksessa käytettiin hyväksi tässä tutkimuksessa kerätyn materiaalin lisäksi Suomen Akatemian rahoittaman CYBER/Trofia-hankkeen tutkimusalue Arandalla keräämää ja analysoimaa ympäristöaineistoa. Analyysissä selvitettiin suolapitoisuuden (pinta ja pohja), lämpötilan (pinta ja pohja), syvän veden happipitoisuuden, havaintopaikan maantieteellisen sijainnin, syvyystietojen, rehevöityneisyyden (klorofylli a) ja eri ravintoeläinluokkien runsauksien vaikutukset kalarunsauteen. Koska jokaiselle 0,1 mpk:n pituiselle kaikuluotauslinjan osalle ei nykyisellä tekniikalla ole mahdollista saada kaikkia ympäristömuuttujatietoja, interpoloitiin ympäristömittausasemien välisille alueille muuttujien arvot 3-ulotteisesti DAS-ohjelmistolla (<http://data.ecology>).

su.se/models/das1994/das1994.htm). Interpoloidut aineistot muunnettiin jatkokäsittelyä varten DAS-ohjelmiston käyttämästä koordinaatistosta yhtenäiskoordinaatistoon (Sokolov, kirjallinen tiedonanto).

2.2

Kalojen ravinnonkäyttö

Koska tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida lajien vuorovaikutuksia, erityisesti ravintokilpailua, troolisaaliista näytteeksi otetut kalat mitattiin ja punnittiin laboratoriossa, sekä määritettiin kalojen mahojen sisältämät ravintokohteet ja mahojen täyteisyys. Mahojen täyteisyyden arvioinnissa käytettiin pistemenetelmää (Windell 1971) (0 = tyhjä, 4 = puolillaan, 8 = täysi, 10 = paisunut). Ravinnon alueellisia vaihteluita tutkittiin jakamalla Suomenlahti kolmeen itä-länsisuuntaiseen osaan (kuva 1) ja kokoluokkien eroja tutkittiin jakamalla silakat ja kilohailit kahteen pituusluokkaan (alle ja yli 10 (12) cm pituiset). Vuoden 2002 näytteenottoon perustuen silakan, kilohailin ja kolmipiikin ravinnonkäytöstä julkaistiin tieteellinen artikkeli (Peltonen ym. 2004), jossa verrattiin eri lajien ja eri kokoisten kalojen välistä ravintokilpailua, sekä ravinnonkäytön alueellista ja vuorokaudenaikaista vaihtelua. Tutkimuksessa myös arvioitiin veden hydrografisten tekijöiden vaikutukset kalojen ravinnonkäyttöön sekä sen alueelliseen vaihteluun Suomenlahdella.

2.3

Organokloorien kertyminen silakkaan ja kilohailiin

Tutkimuksessa arvioitiin kalastuskuolevuuden mahdollisen muuttumisen vaikutukset silakan ja kilohailin populaatiodynamiikkaan ja kalojen kasvunopeuteen, sekä edelleen dioksiinien ja furaanien (PCDD/F) pitoisuuksiin silakassa ja kilohailissa. Näiden myrkkujen kertyminen kalayksilöön arvioitiin Hewettin ja Johnsonin (1992) bioenergeettisen mallin pohjalta muokatun uuden mallin avulla (Peltonen ym. 2006a). Kalayksilön energiankäytön bioenergeettinen malli perustuu tasapainoyhtälöön $C = (R + A + S) + (F + U) + (\Delta B + G)$, missä C = kalan kuluttama energiamäärä, R = hengityksessä (elintoiminnoissa) kuluva energia, A = aktiivisesta liikkumisesta aiheutuva energian kulutus, S = ruuansulatukseen kuluva energia, F = ulosteiden ja U = eritteiden mukana poistuva energia, ΔB = kalan energiasisällön muutos ja G = gonadien kehitykseen kuluva energia. Mallissa jokaista energian käytön komponenttia, esim. hengitystä ja siihen kulunutta energiaa kuvataan kalan koosta ja painosta riippuvilla yhtälöillä (Hewett ja Johnson 1992). Malli perustui silakalle aiemmin määritettyihin bioenergeettisiin osamalleihin sekä silakalle koottuihin mallikertoimiin (parametreihin) (Rudstam ym. 1992, Arrhenius ja Hansson 1993, 1994).

Kun tunnetaan kalan kasvunopeus sekä sen käyttämän ravinnon koostumus, voidaan bioenergeettisen mallin avulla arvioida kuinka paljon kalayksilö on käyttänyt eri ravintokohteita kasvaakseen tiettyyn ikään ja kokoon. Jos lisäksi tunnetaan organokloorien pitoisuudet ravinnossa, voidaan arvioida ravinnon mukana kalaan tulleiden organokloorien määrä. Dioksiinit ja furaanit käsittävät monia samankaltaisia yhdisteitä (kongeneereja), joilla on erilaiset imeytymisominaisuudet ja myrkyllisyyset. Sen vuoksi kunkin PSDD/F-yhdisteen kertyminen kalaan mallinnettiin erikseen, ja tulokset muunnettiin TEQ-arvoiksi käyttäen TEF kertoimia (toxic equivalent factor, van den Berg ym. 1998). TEQ-arvo kuvaa kokonaistoksisuutta ja mm. EU:n määäämät raja-arvot (European Commission 2006) perustuvat näihin arvoihin. Koska silakalle ja kilohailille ei ollut käytettävissä yhdistekohtaisia imeytymiskertoimia, niiden tilalla

käytettiin lohelle määritettyjä kertoimia (Isosaari ym. 2005). Malliin lisättiin mahdollisuus laskea samanaikaisesti TEQ-arvoa varten tarvittavien 17 PCDD/F-kongeneerin kertyminen kaloihin.

Mallin kykyä ennustaa PCDD/F-pitoisuuksia testattiin Selkämereltä kerätyillä aineistoilla, koska sieltä oli saatavilla kaikki tarvittavat lähtötiedot ja Selkämerellä ekosysteemin yksinkertaisuus suosii mallintamista. Kasvutiedot saatiin Selkämeren silakan ikäryhmittäisistä keskipainoista (ICES 2005). Mädin ja maidin määrät sekä PCDD/F-kongeneerien pitoisuudet, kuten myös eri ravintokohteista määritetyt PCDD/F-kongeneerien pitoisuudet saatiin tutkimuksesta Peltonen ym. (2006a). Veden lämpötila-aineisto saatiin Suomen ympäristökeskuksen vedenlaaturekisteristä. Mallin yksityiskohtainen kuvaus ja kalibrointi esitetään julkaistavassa artikkelissa (Peltonen ym. 2006a).

Jo tutkimuksen alkuvaiheessa oletettiin, että silakan ja kilohailin kasvunopeus on näiden kalakantojen tiheydestä riippuvaa, ja tämä käsitys on saanut viime aikoina vahvistusta (Möllmann ym. 2005). Tämän osoittamiseksi laadittiin näille lajeille kasvumallit, joihin sisällytettiin kasvun riippuvuus kantojen tiheydestä. Lähtötietoina olivat pääaltaan ja Suomenlahden silakasta ja kilohailista kootut painonkasvutiedot (ICES 2005). Kasvumallinnus tehtiin von Bertalanffyn kasvuyhtälönä tunnettuun malliin perustuen, johon sisällytettiin kalabiomassan vaihtelut (ICES 2005), silakan ja kilohailin vuorovaikutukset (Peltonen ym. 2006a) sekä Itämeren suolapitoisuuden muutokset (Merentutkimuslaitos, julkaisematon).

Populaatiomallinnusta varten mallinnettiin myös emokanta-rekryyttisuhde, ja sen satunnaisvaihtelu. Tämän perusteella on mahdollista tehdä ennusteita vuosiluokan voimakkuudesta tulevina vuosina. Lisääntymisennusteet tehtiin Beverton-Holt emokanta-rekryytti -mallilla (esim. Hilborn ja Walters 1992). Jäännösvaihtelu oletettiin log-normaali jakautuneeksi ja mallit sovitettiin suurimman uskottavuuden (maximum likelihood) -menetelmällä (Haddon 2001).

Kehitetyn populaatiomallin avulla simuloitiin silakka- ja kilohailikantojen tilaa, odotettavissa olevia saaliita ja kasvunvaihteluita erilaisilla kalastuskuolevuusskenaarioilla. Populaatiomalli perustui yleisesti käytettyihin VPA-yhtälöihin (Virtual Population Analysis, esim. Hilborn ja Walters 1992). Lähtötietoina olivat kalakanta-aineistot pääaltaan ja Suomenlahden silakasta ja Itämeren kilohailista (ICES 2005). Kehitetyllä silakka- ja kilohailikantojen koon sekä kalojen kasvun yhdistävällä mallilla on mahdollista kuvata erilaisia skenaarioita. Tässä tutkimuksessa verrattiin kolmea vaihtoehtoa, jotka olivat 1) kalastus pysyy vuosien 2001-2004 tasolla, 2) kalastus vähenee 50% tai 3) lisääntyy 50% ko. tasoon verrattuna. Mallin populaatio- ja ympäristöparametrit (Itämeren suolapitoisuus) pidettiin vakioina simulaatioajanjaksolla vuoteen 2025 asti. Kalastuskuolevuus (F) liittyy kalastuksen määrään kaavan $F = qE$ kautta, missä q on pyydystettävyys ja E on pyyntiponnistus (esim. kalastuspäivä). Siten esimerkiksi jokainen lisätty pyyntiponnistusyksikkö saa aikaan yhtä suuren muutoksen kalastuskuolevuudessa. Vuosien kuluessa kuitenkin pyydystettävyys todennäköisesti kasvaa esim. teknologisen kehityksen vuoksi, joten sama kalastuskuolevuus saadaan tulevaisuudessa pienemmällä pyyntiponnistuksella. Mallilla simuloitiin kullakin kolmella kalastuskuolevuudella 1000 skenaariota vuoteen 2025 asti käyttäen @RISK-ohjelmaa (Palisade Corporation) sallien satunnaisvaihtelu emokanta-rekryyttisuhteessa. Mallinnuksesta saatiin vuosittaiset ennusteet kilohailin ja silakan ikäryhmittäisille keskipainoille, tonnimääräisille saaliille ja kutevan kannan biomassalle vuoteen 2025 asti. Painonkasvunennusteet syötettiin edellä kuvattuun bioenergeettiseen malliin, ja sen perusteella ennustettiin PCDD/F yhdisteiden kokonaistoksisuutta kuvaavien TEQ-arvojen muutokset. TEQ-arvojen muutokset ennustettiin silakalle ja kilohailille painoluokittain vuoteen 2025 asti. Ravintoeläinten PCDD/F pitoisuudet oletettiin muuttumattomiksi tulevaisuudessa. PCDD/F-pitoisuuksien ennusteet eivät voi olla tarkkoja lukuisista epävarmuuksista johtuen. Tarkoituksena on esittää todennäköiset muutossuunnat eri kalastusvaihtoehdoilla, ja saada karkea arvio mahdollisten muutosten suuruusluokista.

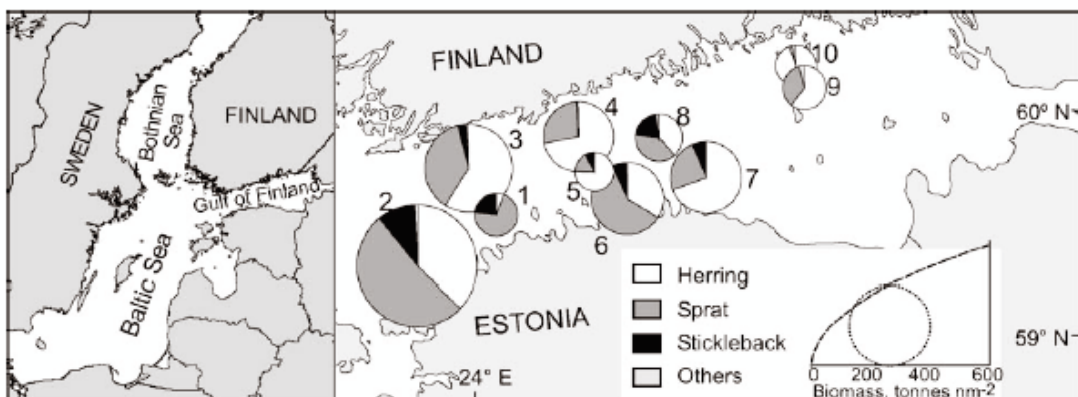
3 Tulokset ja niiden tarkastelu

3.1

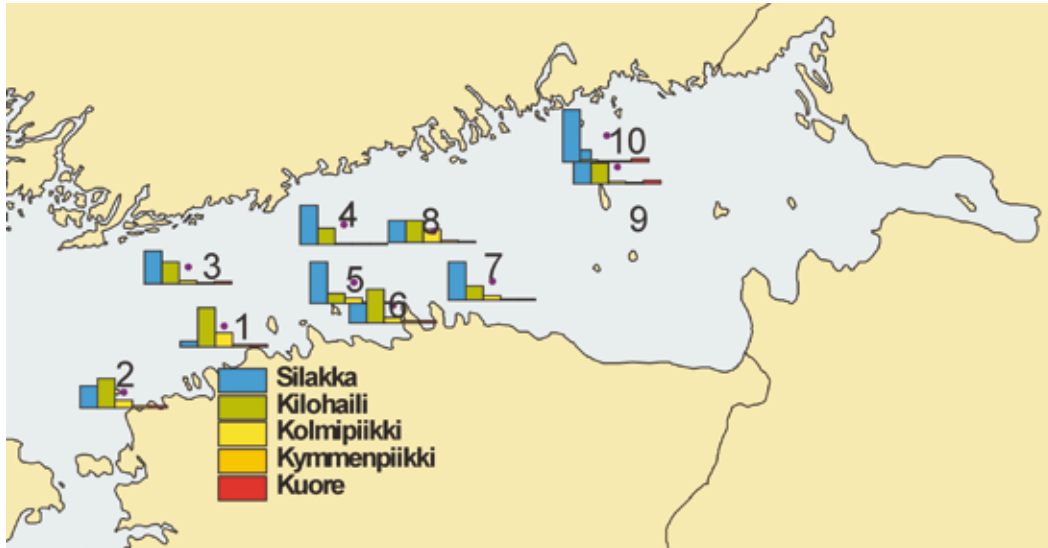
Kalalajien alueellinen esiintyminen avomerellä ja ympäristötekijät

Vuoden 2002 syyskuun alussa tehty tutkimusmatka osoitti, että silakan ja kilohailin ohella myös kolmipiikki oli runsas laji Suomenlahden avomerialueella (kuva 1). Muiden lajien osuudet olivat vähäiset, mutta merkille pantavaa on kymmenpiikin säännöllinen esiintyminen saaliissa, vaikkakin sen osuus oli alle 1 % kilomääräisestä saaliista (kuva 2). Silakka oli keskimäärin runsain saalislaji koko tutkimusalueella, mutta kilohaili oli runsain laji lounaisella Suomenlahdella (kuva 1). Kalabiomassa pinta-alayksikköä kohti oli suurin lounaisella Suomenlahdella lähellä Viron rannikkoa, missä kalasto koostui erityisesti pienestä kilohailista ja silakasta, mutta myös kolmipiikkiä oli runsaasti (kuva 1). Pituusjakaumissa näkyy erityisesti voimakas vuoden 2002 silakkavuosisiluokka (kuva 3) ja läntisellä Suomenlahdella on runsaasti vuonna 2002 syntynyttä kilohailia (kuva 4). Suuria silakoita oli saaliissa vähän erityisesti Suomenlahden lounaisosassa ja runsaasti koillisosassa. Kolmipiikin pituusjakaumissa ei ollut suuria eroja alueiden välillä (kuva 5).

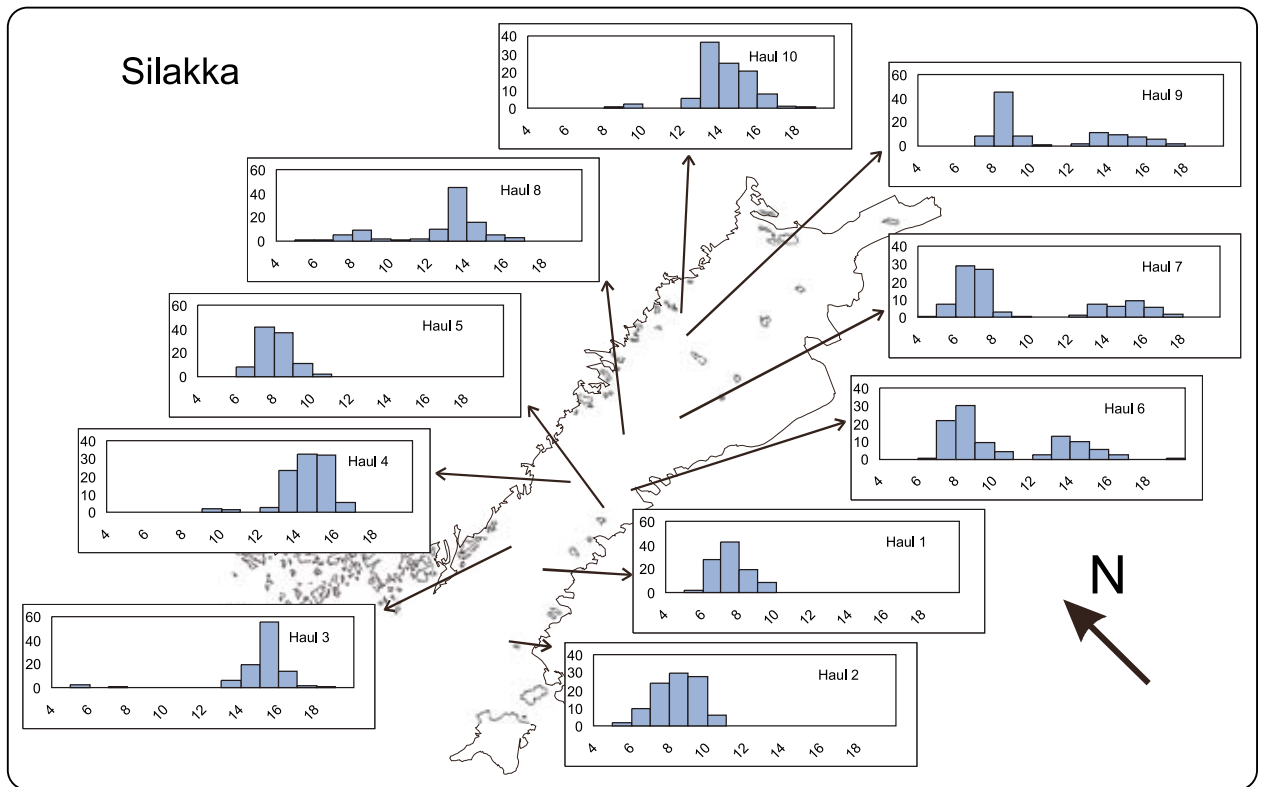
Veden kerrostuneisuus sääтели selvästi kalojen oleskelusyvyyttä (kuva 6). Suomenlahden Suomenpuoleisella osalla vesi oli kylmempää ja harppauskerros oli lähempänä pintaa kuin lähellä Viron rannikkoa, jossa pintaveden lämpötila oli jopa noin 20 °C. Kaikuluotaus osoitti, että kalatiheys oli suurin lähellä lämpötilan harppauskerrosta ja kalat välttivät lämmintä pintakerrosta. Toisaalta kalaa ei juuri ollut myöskään syvällä, jos lämpötila oli alle 3 °C, vaikka happipitoisuudet eivät olisi olleet rajoittavia. Havainto on samansuuntainen kuin muutamat muut havainnot sillikalajien lämpötilaoptimista. Kilohailin on todettu välttävän alle 4 °C lämpötiloja (Parmanne ym. 1994), ja sillin on havaittu välttävän kylmää syvää vettä kesäaikaan (Maravelias ym. 2000).



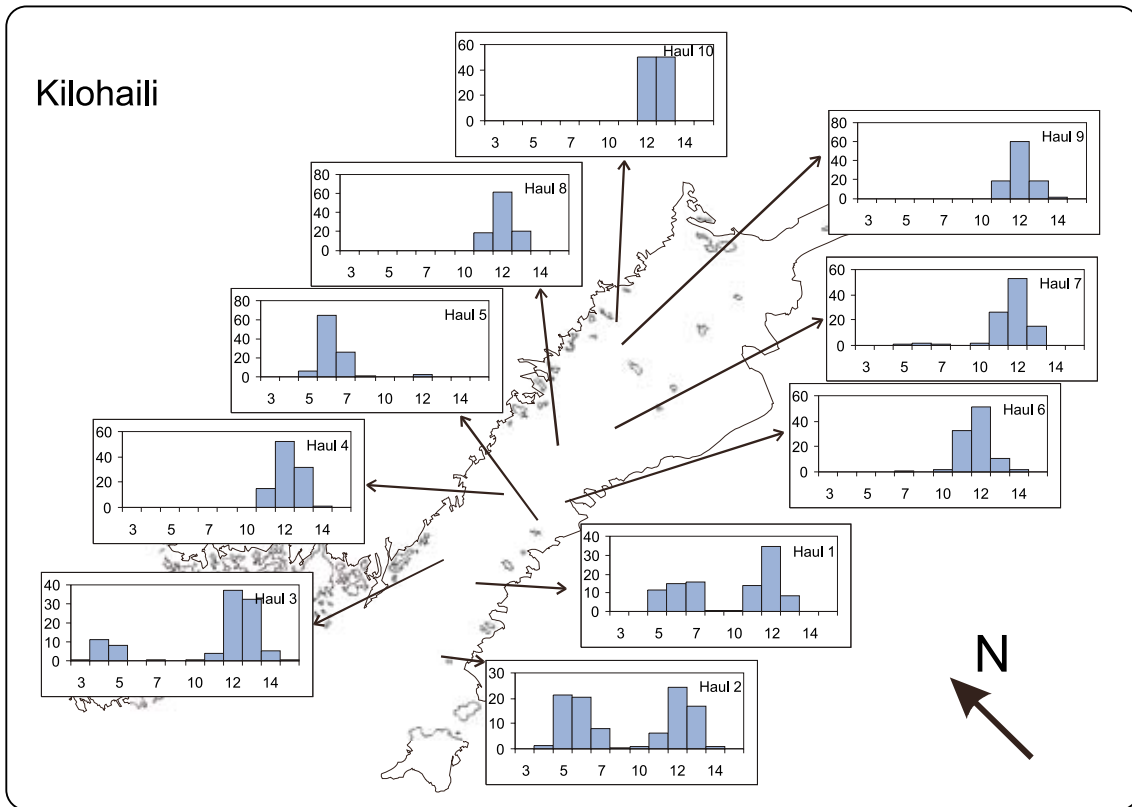
Kuva 1. Kalabiomassa-arviot Suomenlahdella 2.-6.9.2002 perustuen kaikuluotaukseen ja koetroolaukseen. Herring = silakka, sprat = kilohaili, stickleback = kolmipiikki ja others = muut lajit (julkaisusta Peltonen ym. 2004). Troolivedot 1-3 muodostivat läntisen, vedot 4-8 keskisen ja vedot 9-10 itäisen osa-alueen.



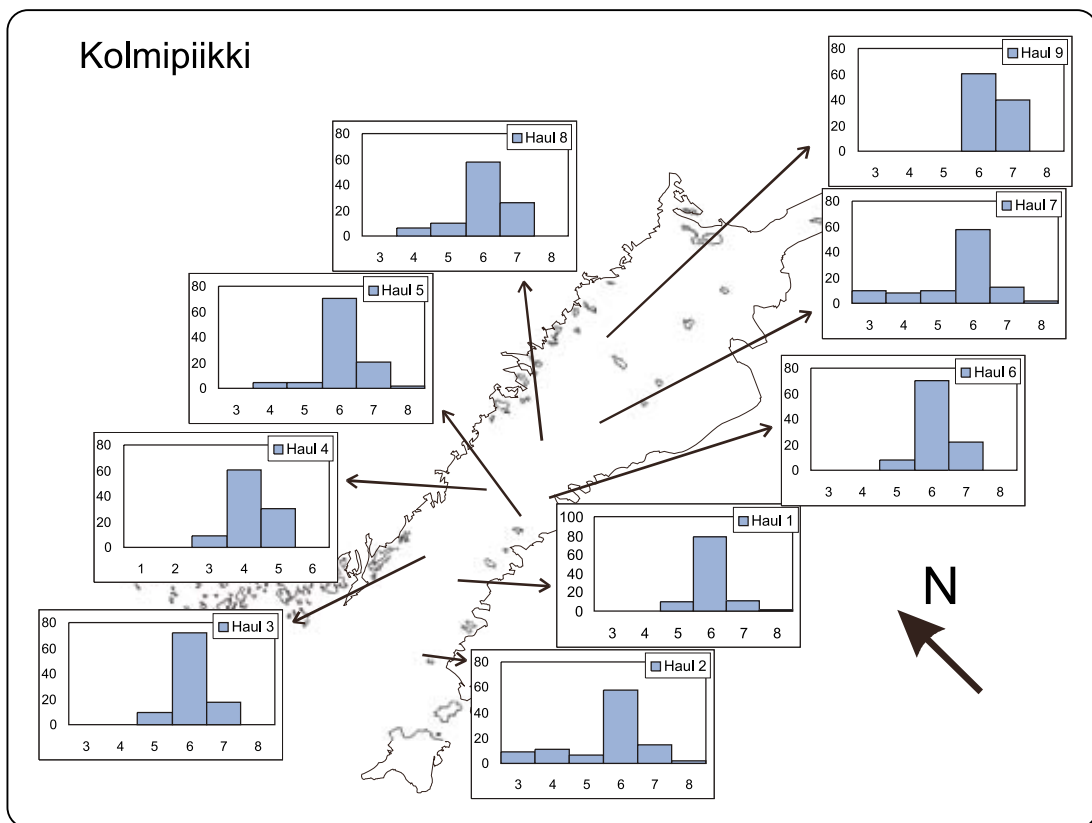
Kuva 2. Lajijakaumat troolivedoissa Suomenlahdella 2.-6.9.2002.



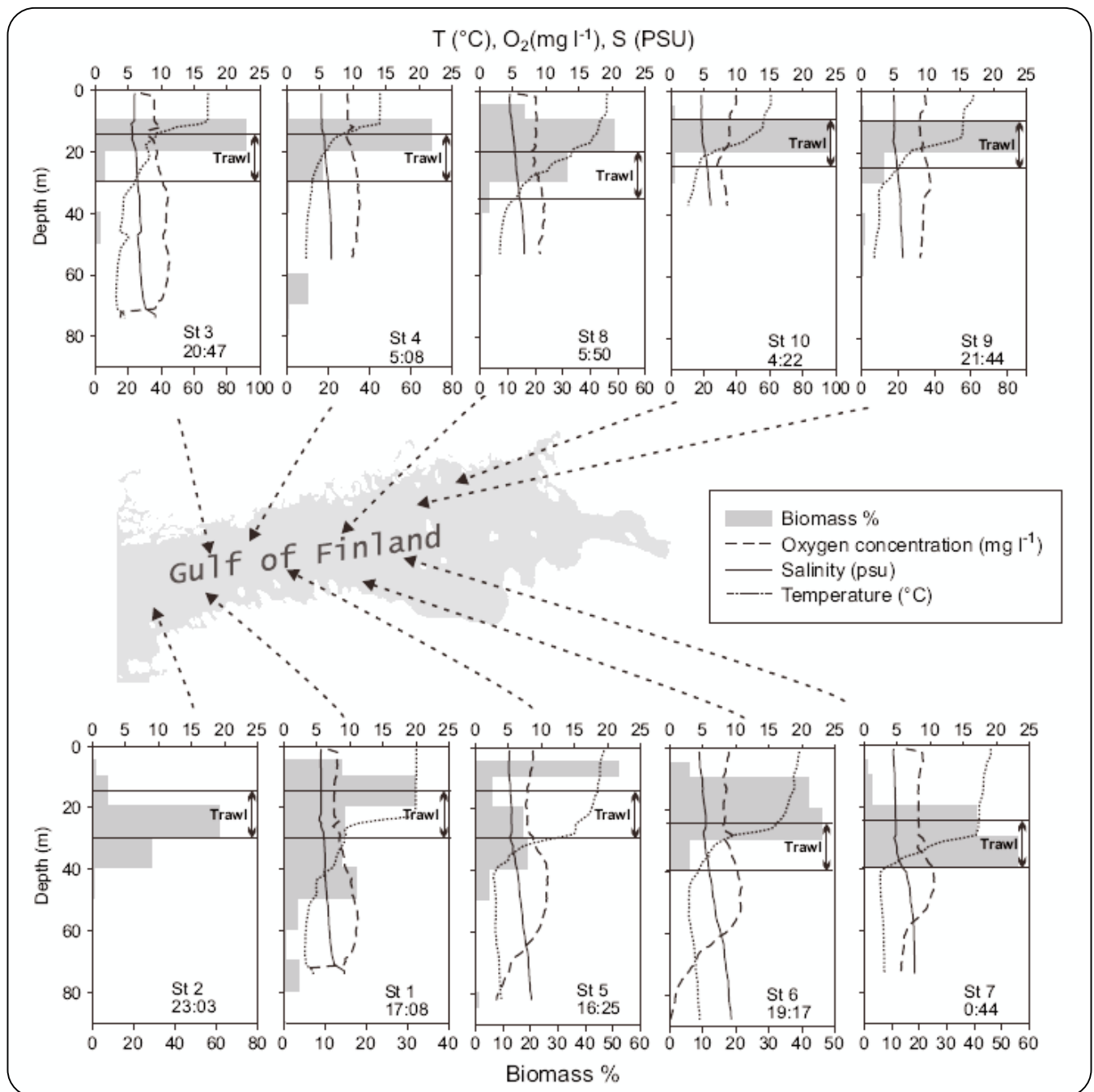
Kuva 3. Silakan pituusjakaumat troolivedoissa Suomenlahdella 2.-6.9.2002. (Haul = trooliveto).



Kuva 4. Kilohailin pituusjakaumat troolivedoissa Suomenlahdella 2.-6.9.2002.



Kuva 5. Kolmipiikin pituusjakaumat troolivedoissa Suomenlahdella 2.-6.9.2002.



Kuva 6. Suomenlahden kalarunsauden, suolapitoisuuden, lämpötilan ja happipitoisuuden alueellinen ja syvyysuuntainen vaihtelu. Kalojen kaikuluotauksella havaittu jakauma vesikerroksissa on merkitty harmailla palkeilla ja troolin vetosyvyyttä vaakasuorilla viivoilla (trawl). Tekstien selitykset: Biomass = biomassa, Oxygen concentration = happipitoisuus, Salinity = suolapitoisuus, Temperature = lämpötila ja Depth = syvyys (julkaisusta Peltonen ym. 2004).

Vuoden 2003 tutkimusmatkalla aloitettiin yhteistyö Merentutkimuslaitoksen ja sen tutkimusalus Arandan kanssa. Vuoden 2003 aineistoja käytettiin erityisesti kalojen kunnan (kpl 3.2) ja ravinnon koostumuksen (kpl. 3.3) selvittämiseen sekä vuoden 2004 tutkimuksen valmistelua varten.

Vuonna 2004 kilohaili oli selvästi runsain laji tutkimusasemien (troolaukset + ympäristönäytteenotto) läheisyydessä koetroolauksen ja kaikuluotauksen perusteella (kuva 7). Se oli runsain 19 troolisaaliissa, eli kahta lukuun ottamatta kaikissa. Vuoden 2004 tutkimusmatkan aikana kalamäärä oli suurimmillaan Suomen kalastusvyöhykkeen

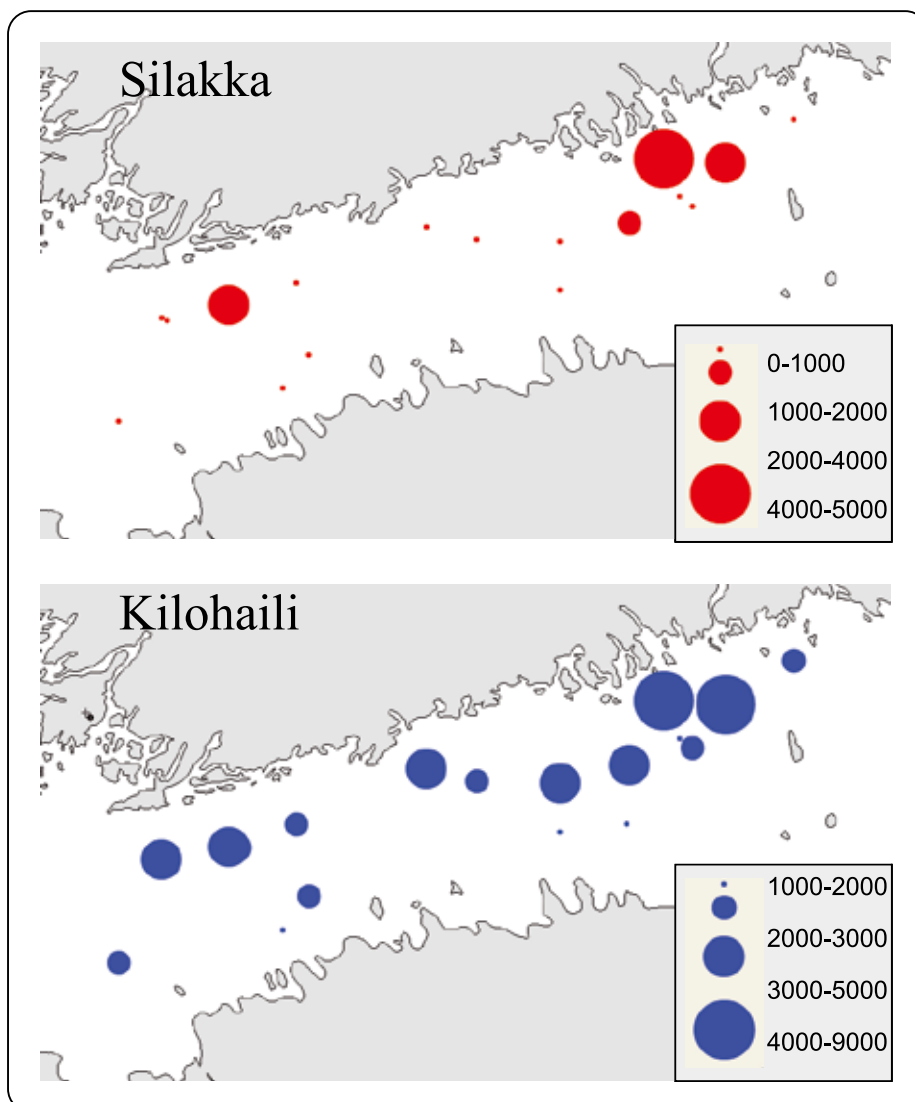
itäosassa. Sekä silakan että kilohailin runsaus oli huomattavasti alempi kuin vuonna 2002, vaikkakin kaikuluotauksen laskentamenetelmän erot näinä vuosina selittävät osan muutoksesta, ja myöskin tutkimusajankohdat vaikuttavat tulokseen.

Tutkimusalus Arandalla vuonna 2004 koottujen aineistojen mukaan hydrografiaassa ja planktonäyriäisten runsaudessa oli selviä alueellisia eroja. Pohjanläheisessä vesikerroksessa happipitoisuus oli alhainen laajoilla alueilla (kuva 8) – kuitenkin matalia happipitoisuuksia ei esiintynyt yhtä laajoilla alueilla kuin vuonna 2003. GAM-mallinnuksen (Peltonen ym. 2006b) mukaan maantieteellisistä muuttujista koostuva muuttujajoukko (syvyys, pohjan kaltevuus, itäisyys, pohjoisuus) vaikutti voimakkaimmin alueen kalarunsauteen (taulukko 2). Hydrografia (suolaisuuden ja lämpötilan kerrostuneisuutta sekä näytepisteen pienintä happipitoisuutta kuvaavat muuttujat) ja ravinto-olosuhteet (äyriäisplanktonin runsaus sekä klorofylli a-pitoisuus) vaikuttivat hiukan vähemmän, mutta näidenkin vaikutukset olivat kuitenkin selvät. Yksittäisistä muuttujien vastekäyristä havaittiin mm. että malli ennusti syvyysvaihteluiden (pohjan kaltevuuden) lisäävän kalamäärää, ja samoin kalat suosivat alueita, joilla alusvesi oli suolaista ja kylmää, mutta ei kuitenkaan kylmempää kuin 4 °C (kuvat 9 ja 10), mikä sopii yhteen vuoden 2002 tulosten ja kirjallisuustietojen kanssa (ks. edellä). Ennako-odotusten vastaisesti pohjanläheisen veden alhaisen happipitoisuuden ei käytetyillä menetelmillä havaittu vähentävän kalatiheyttä. Kuitenkin on mahdollista, että alueilla, joilla pohjan lähellä oli kalojen kannalta hyvä happitilanne, saatiin kalamäärästä aliarvio, jos osa kaloista jäi kaikuluotaimen pohjanläheiselle katvealueelle. Niillä alueilla, joilla pohjan lähellä oli vähähappista vettä, kalat olivat välivedessä, eikä kaloja jäänyt havaitsematta. Toisaalta DAS-ohjelmistolla tehty interpolointi saattoi antaa pohjanläheiselle kerrokselle liian korkeat happipitoisuudet, koska verrattaessa ohjelmiston syvyysaineistoa kaikuluotausaineistoon, havaittiin DAS-ohjelman syvyysaineiston antavan selvän aliarvion meren syvyydestä. Pohjanläheisen happipitoisuuden vaikutukset kuitenkin vaativat lisäselvityksiä, koska tästä samasta aineistosta pelkiltä troolipaikoilta tehdyt alustavat analyysit (Pääkkönen ym., julkaisematon) osoittivat, että matala happipitoisuus vähentää kalamäärää.

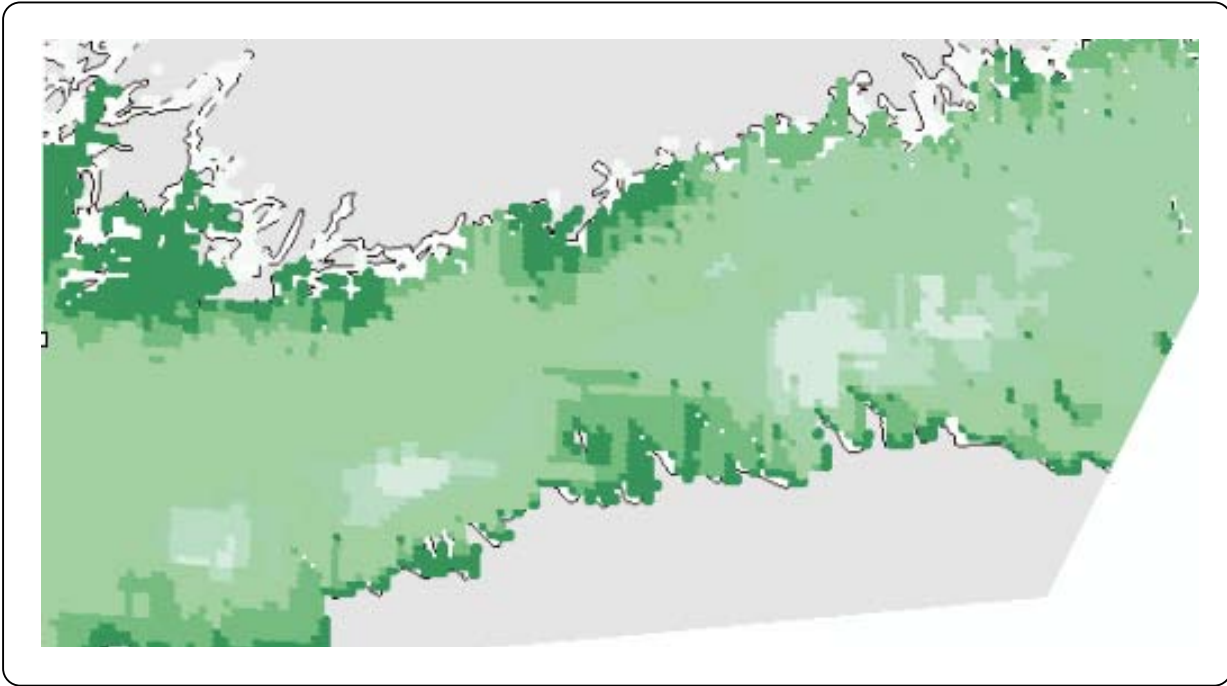
Vaikka GAM-malli selitti vain noin puolet kalamäärän alueellisesta vaihtelusta, se kuitenkin poisti yli 1 km etäisyydellä sijainneiden havaintopaikkojen välisen autokorrelaation. Tämä osoittaa, että ympäristömuuttujien avulla voidaan selittää suuri osa kalamäärän alueellisesta vaihtelusta. On todennäköistä, että alle 1 km etäisyyksillä kalojen alueellisen jakauman määräävät analysoiduista ympäristömuuttujista riippumattomat seikat. Esimerkiksi kalojen parveutuminen saattaa olla riippumaton mitatuista ympäristötekijöistä, tai ympäristömuuttujia ei pystytty mittaamaan riittävän pienillä alueilla. Kuitenkin GAM-analytiikka on lupaava menetelmä erotella eri muuttujien vaikutukset, vaikka vaikuttavia muuttujia olisi suuri määrä. Menetelmä voisi tulevaisuudessa olla hyödyllinen työkalu arvioitaessa meren tilaa muuttavien toimien vaikutuksia kalastoon.

Taulukko 2. GAM-mallin muuttujat ja niiden tärkeysjärjestys (muuttujan poistamisen vaikutus mallin sopivuuteen). Vastemuuttujana kalabiomassa neliömeripenkulmaa kohti. Muuttujien vaikutussuunnat on ilmoitettu seuraavasti: positiivinen trendi = +, negatiivinen trendi = -, minimi keskimääräisillä arvoilla = -k, maksimi keskimääräisillä arvoilla = +k ja ei selvää trendiä = ei.

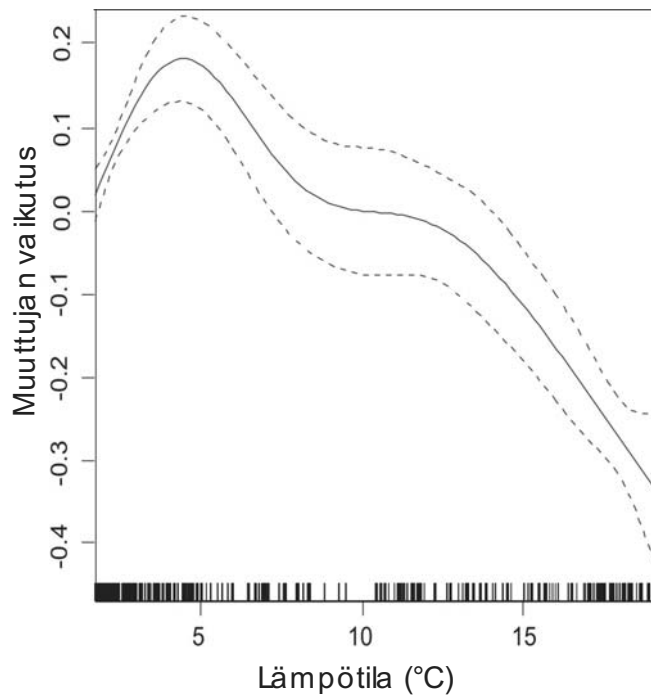
Muuttuja	Muuttujien ryhmittely	Tärkeysjärjestys	Vaikutussuunta
Pohjoisuus	Maantiede	3	+k
Itäisyys	Maantiede	6	-
Syvyys	Maantiede	1	+k
Pohjan kaltevuus	Maantiede	2	-k
Pintasuolapitoisuus	Hydrografia	8	+k
Suolapitoisuus maksimi	Hydrografia	9	+
Pintalämpötila	Hydrografia	14	ei
Minimilämpötila	Hydrografia	12	+k
Minimihappipitoisuus	Hydrografia	11	-
Klorofylli a-pitoisuus	Resurssit	7	+
Vesikirppujen runsaus	Resurssit	10	ei
Eurytemora-hankajalkaisten runsaus	Resurssit	13	-
Limnocalanus-hankajalkaisten runsaus	Resurssit	5	+
Mereisten hankajalkaisten runsaus	Resurssit	4	ei



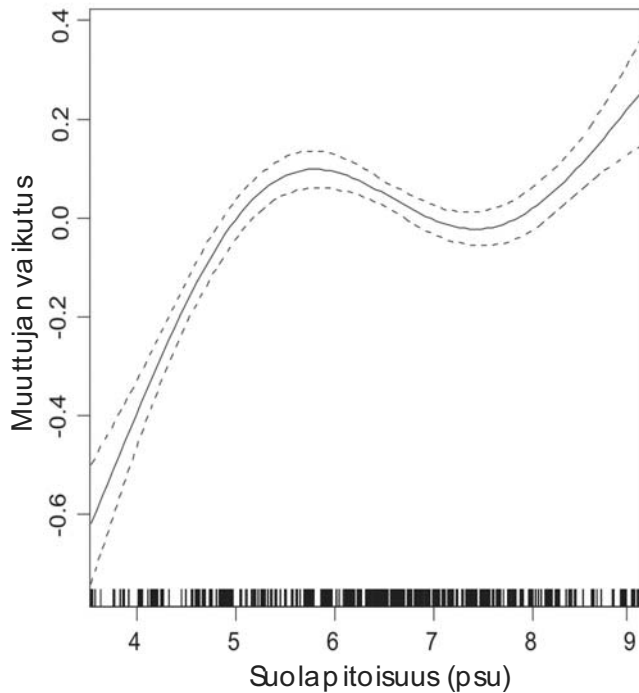
Kuva 7. Silakan ja kilohailin runsaus (kiloa neliömeripenkulmalla) näyttepisteiden läheisyydessä vuonna 2004 perustuen kaikuluotaukseen ja troolaukseen. Kaikuluotauksesta saatiin kalamääräarviot myös asemien välisille alueille.



Kuva 8. Pohjanläheisen veden happipitoisuuden alueellinen vaihtelu vuonna 2004. Vaaleimmat alueet edustavat happipitoisuutta $<2 \text{ mg l}^{-1}$.



Kuva 9. Havaintopaikan veden minimilämpötilan vaikutus kalamäärään (logaritmiasteikolla) Kalamäärä oli suurimmillaan paikoilla, joilla syvässä vedessä lämpötila oli 4-5 °C.



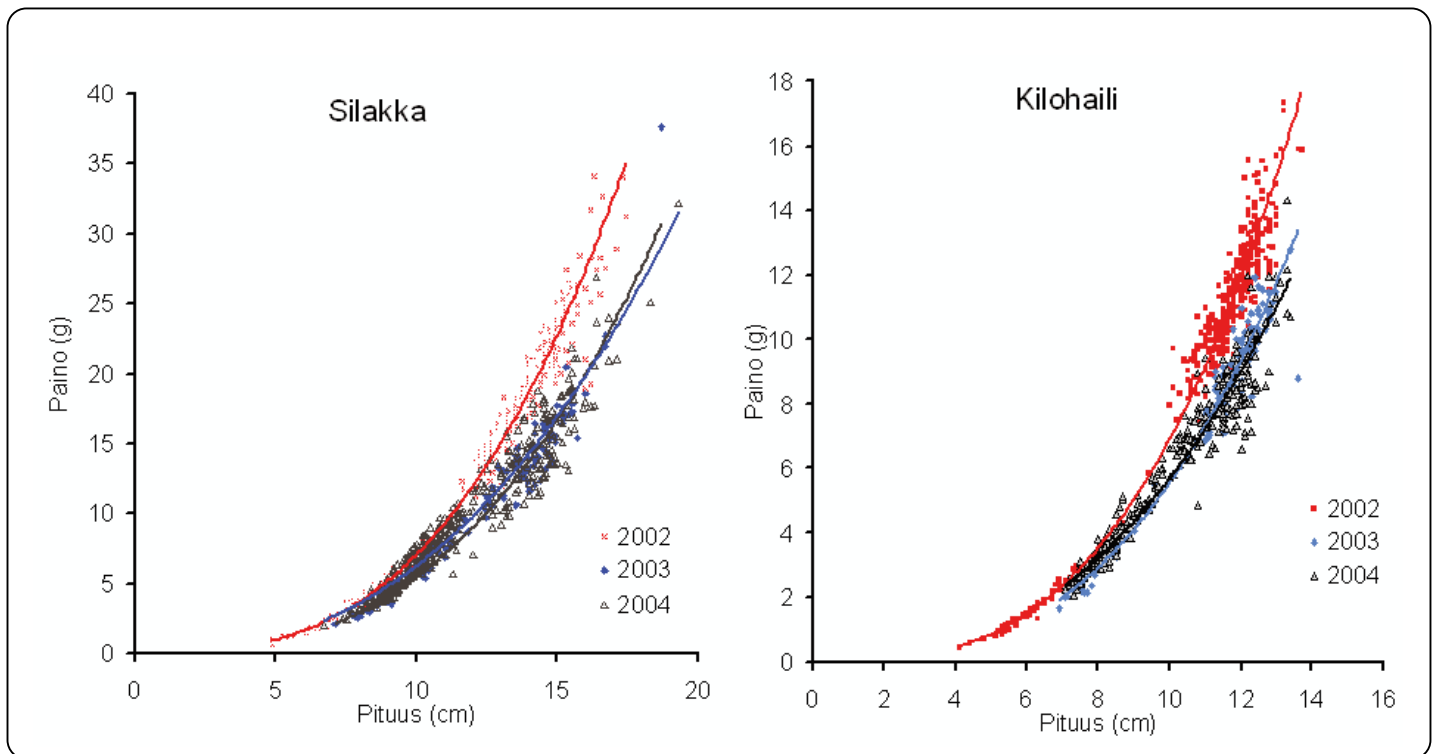
Kuva 10. Havaintopaikan korkeimman suolapitoisuuden vaikutus kalamäärään (logaritmiasteikolla). Kalabiomassa kasvaa suolaisuuden lisääntyessä.

3.2

Kalojen kunto ja kasvunopeuden muutokset

Kun vielä vuonna 2002 kalat olivat hyväkuntoisia, vuonna 2003 silakka ja kilohaili olivat hyvin laihoja ja suuri osa oli selvästi nälkiintyneitä. Niiden pituus-painosuhte osoitti selvää laihtumista edellisvuoteen verrattuna (kuva 11). Vaikka esim. silakan paino yleensä nousee syksyä kohti ja vuosina 2003 ja 2004 näytteenotto oli aikaisemmin kesällä kuin vuonna 2002, tutkimusajankohtien ero ei voi selittää näin suurta eroa kalojen kunnossa näiden vuosien välillä. Tutkimusmatkan aikana vuonna 2003 ja myös kala-aineiston laboratorioskäsitelyn yhteydessä tehtiin myös silakoiden ja kilohailien ikämäärityksiä. Tällöin havaittiin, että vuonna 2003 silakan pituusjakauman huippu, joka oli 90 mm kohdalla koostui edellisenä vuonna syntyneistä kaloista. Siten ne eivät olleet syyskuun 2002 alusta elokuun 2003 keskivaiheille kasvaneet pituutta juuri lainkaan. Myös kilohaililla vuosiluokan 2002 kasvu vuosien 2002 ja 2003 välillä oli vähäistä.

Vuonna 2004 kalojen kunto oli hiukan parempi kuin vuonna 2003, ja erityisesti pienten kalojen kunto oli parantunut. On mahdollista, että syksyn ja talven 2003-2004 aikana kalojen nälkiintyminen johti tavallista korkeampaan kuolevuuteen, mihin viittaavat mm. kalastajien tekemät havainnot kuolleista silakoista rannoilla ja "langanlaihojen" silakoiden epänormaalista käyttäytymisestä rantavesissä syksyllä 2003. Suomenlahdelta saatu Suomen, Viron ja Venäjän yhteenlaskettu silakka- ja kilohailisaalis romahti vuonna 2003 (Meri 2006, ICES 2005), mihin on voinut vaikuttaa nälkiintymistä seurannut korkea kuolevuus, ja osittain myös vuonna 2003 voimaan tullut silmäkooltaan 32 mm tiheämpien troolien käyttörajoitus.



Kuva 11. Suomenlahden silakasta ja kilohailista vuosina 2002, 2003 ja 2004 kerätty pituus-paino-aineisto, sekä sovitetut pituus-painokäyrät.

3.3

Kalojen ravinnonkäyttö

Vuonna 2002 kalojen ravinto koostui lähes pelkästään eläinplanktonista, mutta ravinnonkäytössä oli alueellista sekä kalalajien ja kokoluokkien välistä vaihtelua (kuva 12). Kaikkien lajien ravinnossa olivat yleisiä erityisesti *Bosmina*-vesikirput, ja niiden osuus oli suuri erityisesti pienillä silakoilla ja kilohaileilla. Niiden osuus myös kasvoi itää kohti. Yli 10 cm pituiset silakat ja kilohailit söivät selvästi enemmän hankajalkaisia kuin pienemmät, ja hankajalkaiset runsastuivat länttä kohti. Useimmat hankajalkaislajit ovat sopeutuneet suolaisempaan veteen kuin vesikirput (vrt. Viitasalo ym. 1998) (kuva 13). Tutkituista mahoista kilohaililla suurempi osa sisälsi ravintoa kuin silakalla ja kolmipiikillä, ja kilohaililla mahojen täyteisyys oli suurempi. Tämä tukee ennakkokäsitystä, että kilohaili on tehokas saalistaja, jos tarjolla on pienikokoista eläinplanktonlajistoa.

Kun kolmipiikki alkusyksyllä vuonna 2002 muodosti huomattavan osan avomeren kalastosta, käytti se myös huomattavan osan tarjolla olevista ravintovaroista. Vuoden 2002 tutkimusjakson aikana kolmipiikin ravinnosta muodostivat suuremman osan makeaa lämmintä vettä suosivat eläinplanktonilajit (vesikirput ml. *Cercopagis*-petovesikirppu) kuin silakan ja kilohailin ravinnosta, mikä viittaa siihen, että kolmipiikki eli lähempänä pintaa kuin sillikalat, ja siten pystyi saalistamaan lämmintä vettä suosivaa *Cercopagis*-vesikirppua. Tämä johtunee siitä, että kolmipiikki suosii lämpimämpää vettä toisin kuin silakka ja kilohaili. Kolmipiikin silakkaa ja kilohailia vähäisempi mahan täyteisyyden vaihtelu eri vuorokaudenaikoina (kuva 13) viittaa siihen, että kolmipiikki pystyi syömään myös yöllä vähäisen valon turvin, toisin kuin syvemmällä elävät silakka ja kilohaili. Myös Pohjanlahdella kolmipiikin on havaittu erityisesti yöllä nousevan lähelle pintaa (Jurvelius ym. 1996). Kolmipiikin esiintymistä lähellä pintaa tukevat myös silakasta ja kolmipiikistä tehdyt sinilevätoksiinimittaukset. Kol-

mipiikissä oli korkeammat nodulariinipitoisuudet (*Nodularia* -sinilevän tuottama myrkkyy) kuin silakassa, jossa pitoisuudet olivat pienet (Sipiä ym. 2006). Lähellä pintaa vedessä ja ravintoeläimissä on ainakin levien pintakukinnan aikana korkeammat toksiinipitoisuudet kuin syvemmillä. Siten kolmipiikin kautta voi siirtyä nodulariinia myös petokaloihin enemmän kuin silakan ja kilohailin kautta.

Kun vielä vuoden 2002 aineistojen mukaan ravitseminen ja kunto olivat normaalit, vuoden 2003 aineistot osoittivat, että Suomenlahden planktonsyöjäkaloilla oli selvästi puutetta oikeanlaisesta ravinnosta. Ravintopulaa osoitti ravinnon vähäinen määrä kalojen mahoissa sekä silakoiden ja kilohailien huono kunto (kuva 11). Ilmeisesti kalat myös joutuivat etsimään korvaavia ravintokohteita eläinplanktonin vähyyden vuoksi. Varsinkin suuremmat silakat olivat eläinplanktonin sijaan käyttäneet runsaasti katkoja ja *Mysis*-äyriäisiä (kuva 14), vaikka niiden on raportoitu olevan silakalle tärkeitä ravintokohteita kylmänä vuodenaikana, kun taas kesällä ravinto yleensä koostuu eläinplanktonista (Szypula 1985, Raid ja Lankov 1991, Patokina ja Feldman 1998, Lankov 2002). Kilohaili sen sijaan käytti eläinplanktonia myös vuonna 2003, mikä saattaa osoittaa, että se ei pysty siirtymään korvaavaan ravintoon. Kilohaili on ilmeisesti tehokkaampi planktonravinnon saalistaja kuin silakka, sille riittää vähäisempi eläinplanktonitiheys ja pienemmät saalisyksilöt kuin silakalle. Lisäksi kilohaili ei kasva yhtä suureksi kuin silakka, joten vanhoillekin kilohaille pienikokoinen eläinplankton voi olla riittävää ravintoa samalla kun suuret silakat jo kärsivät ravinnon puutteesta.

Vuonna 2004 silakan ja kilohailin ravinto koostui jälleen miltei yksinomaan eläinplanktonista: silakalla hankajalkaisista ja kilohaililla myös vesikirpuista (kuva 15). Sen sijaan kolmipiikin ravinnossa pintahyönteiset olivat tutkimusjakson aikaan tärkeitä, kuten havaittiin myös vuonna 2003. Ilmeisesti aiemmin ei ole raportoitu avomereltä pyydettyjen kalojen sisältävän näin suuria määriä pintahyönteisiä.

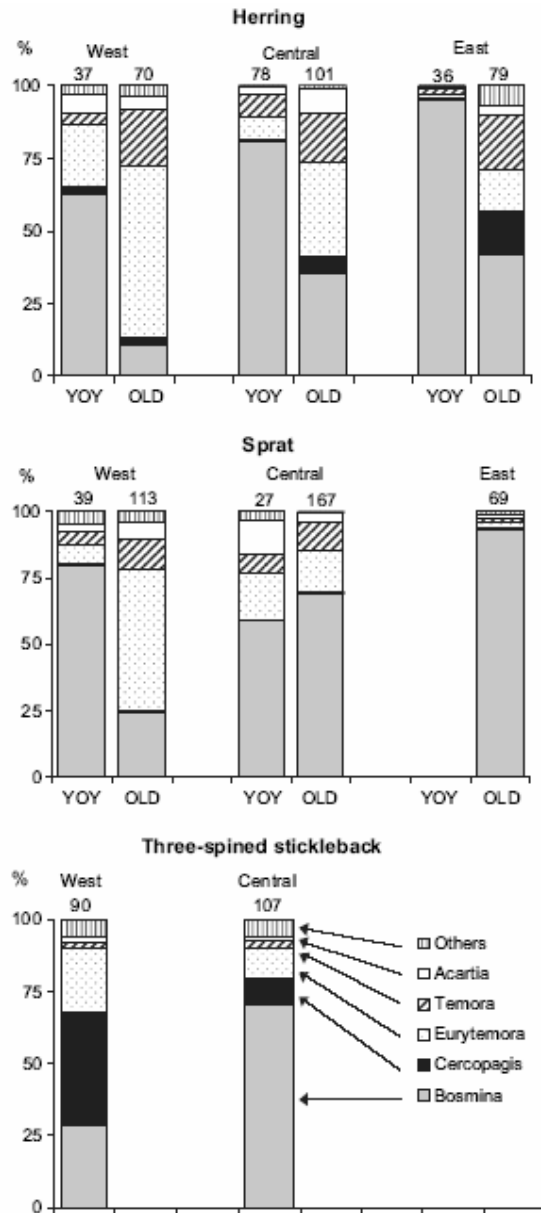
Kaiken kaikkiaan ravintotutkimukset osoittivat kalojen ravinnonkäytön päällekkäisyydet ja toisaalta niiden kyvyn vaihtaa ravintokohteita. Huolimatta ravinnonkäytön eroista erikokoisten silakoiden ja kilohailien sekä kolmipiikin välillä, eri lajit ja kokoluokat ilmeisesti kilpailevat samasta ravinnosta. Ravintokilpailu voi vaikuttaa lajien esiintymisalueisiin. Nuoret kalat ovat tehokkaita saalistajia, jos tarjolla on pientä eläinplanktonia. Koska esim. isojen silakoiden ja pienten kilohailien ravinto on osittain samankaltaista, suuret silakat voivat etsiä alueille, joilla runsas nuorten kalojen joukko ei kilpaile ravinnosta.

Todennäköisesti kaloille sopivan ravinnon tuotanto vaihtelee Suomenlahdella vuosittain, mutta on mahdollista, että Suomenlahdessa esimerkiksi vuonna 2003 oli silakalle ja kilohailille sopivaa planktonravintoa niukemmin kuin aikaisempina vuosina johtuen sekä ympäristömuutoksista, että kalojen aiheuttamasta saalistuksesta. Itämeren suolapitoisuuden lasku, rehevöityminen, pinnan läheisen kerroksen lämpimyyden ja vesimassan voimakas kerrostuneisuus suosii makeaan veteen sopeutunutta eläinplanktonilajistoa, joka ei ole yhtä hyvää ravintoa varsinkaan suurille silakoille kuin suolaisen veden lajisto (Flinkman ym. 1998, Flinkman 1999). Sinileväkukintojen runsastuminen Suomenlahdella 1990-luvulta alkaen (Raateoja ym. 2005) voi haitata kaloja ja eläinplanktonia tuottamalla haitta-aineita kuten nodulariinia, ja sinilevät myöskin voivat haitata eläinplanktonin ja kalojen ravinnonottoa (Karjalainen 2006).

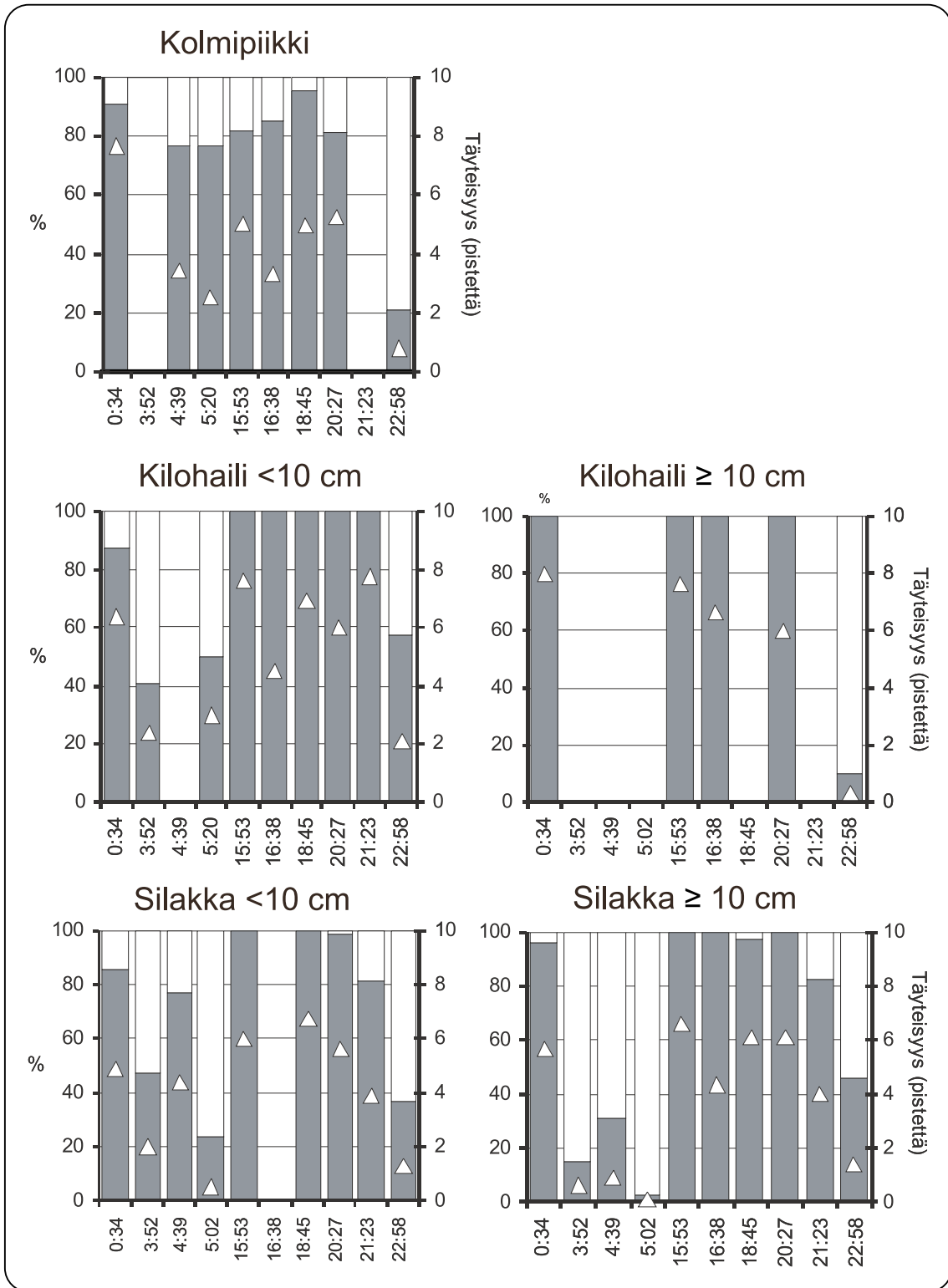
Suomenlahden pohjaeläimistö puuttuu laajoilta alueilta liian alhaisesta happipitoisuudesta vuoksi, joten esimerkiksi silakalla on tarjolla vähän eläinplanktonin korvaavaa ravintoa. Siten suuret silakat kokoluokat myös kilpailevat samasta ravinnosta nuorempien ja muiden planktonia syövien lajien kanssa. Huonot happiolot voivat vaikuttaa myös silakalle ja kilohailille tärkeiden hankajalkaisten runsauteen. Äyriäsplanktonin lepomuodot vajoavat pohjalle ja niiden kehityksen jatkuminen vaatii riittävän happipitoisuuden (Katajisto 2006). Talvella 2002-2003 Suomenlahden syvissä osissa oli alhainen happipitoisuus poikkeuksellisen laajoilla alueilla. Vesi-

massan täyskierto jäi vajavaiseksi syksyllä 2002 ja vedet jäätyivät poikkeuksellisen aikaisin lämpimän syksyn jälkeen, joten jään alle jäi lämmintä vähähappista vettä, josta happi kului pitkän jäätalven aikana loppuun (Knuuttila, julkaisematon). On mahdollista, että hapettomissa oloissa eläinplanktonin pohjalle talvehtivista lepomonista syntyi tavallista pienemmät uudet hankajalkais- ja vesikirppusukupolvet keväällä 2003. Eräs mahdollinen syy tavallista vähäisempään eläinplanktonmäärään vuonna 2003 (Viitasalo, julkaisematon) voisi olla Suomenlahteen tulokaslajina kotiutuneen *Cergopagis*-vesikirpun aiheuttama saalistus, koska se saalistaa muuta äyriäisplanktonia (Ojaveer ym. 2000). Kuitenkaan esim. Merentutkimuslaitoksen vuonna 2003 samanaikaisesti tämän tutkimuksen näytteenoton kanssa keräämissä eläinplanktonnäytteissä (30 näyteasemaa Suomenlahdella) ei *Cergopagis*-vesikirppua esiintynyt. Toisaalta kalojen ravinnossa *Cergopagis*-vesikirppua esiintyi melko runsaasti, samalla kun muuta ravintoa oli hyvin niukasti. On mahdollista, että myös *Cergopagis*-vesikirpun saalistus on voinut alentaa muun äyriäisplanktonin määrää samalla, kun eläinplanktonia ilmeisesti syntyi talven jälkeen niukasti ja planktonia syövää kalaa oli runsaasti.

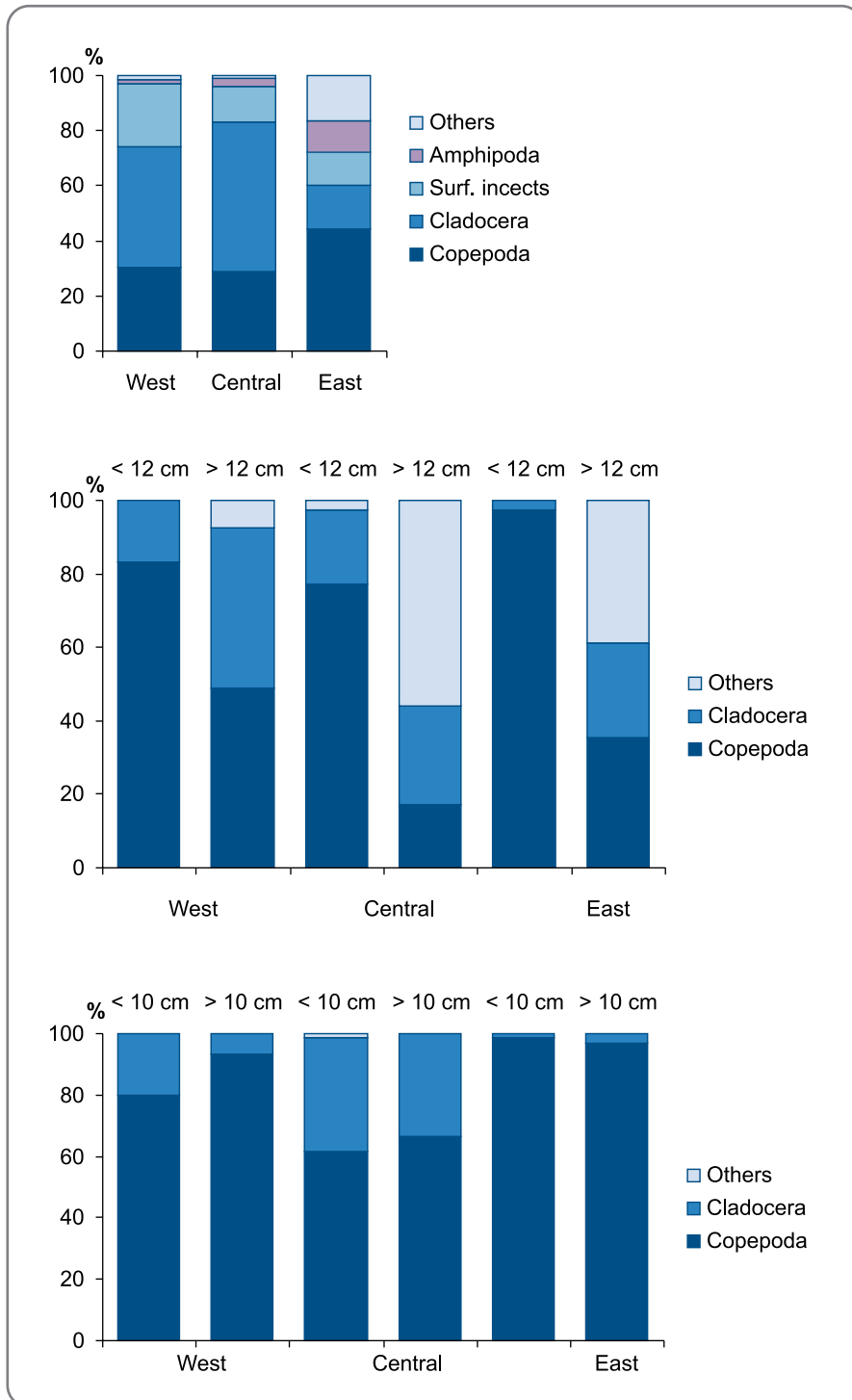
Ennen vuotta 2003 silakan ja kilohailin kalastus Suomenlahdella oli tehokasta, ja tuotti vuosittain melko vakaita kokonaissaaliita (Meri 2006). Vuonna 2002 Itämeren muilla osa-alueilla syntyi poikkeuksellisen suuria silakka- ja kilohailivuosisuokkia (ICES 2005). Varsinkin Pohjanlahdella ko. vuosiluokka oli huomattavasti suurempi kuin mikään aiemmin havainnoitu. Myös Suomenlahdella havaittiin runsaasti 1-vuotiaita silakoita ja kilohaileja vuoden 2002 syyskuussa (kuvat 3-4). Itämeren pääaltaalla silakan ja kilohailin on osoitettu vaikuttavan eläinplanktonmääriin ja -lajistoon, minkä johdosta näiden kalalajien kasvu on riippuvaista kantojen tiheydestä (Möllman ym. 2005, Casini ym. 2006). Siten on mahdollista, että runsaat vuosiluokat söivät eläinplanktonin vähiin Suomenlahdella vuonna 2003. Ravinnon vähäisyydestä seurasi kalojen kunnon heikkeneminen ja kuolleisuuden kasvu. Ravinnon vähyys on myös voinut vaikuttaa kalojen vaelluksiin toisaalta ulapan sekä rannikonläheisten vesien välillä ja toisaalta Suomenlahden sekä Itämeren pääaltaan välillä. Kalakantojen heikko tila yhdessä tuolloin voimaan tulleiden troolien silmäkokosäädösten kanssa johtivat silakan ja kilohailin saaliiden romahdukseen vuonna 2003. Kaiken kaikkiaan vuoteen 2002 asti harjoitetun voimakkaan kalastuksen vaikutukset Suomenlahden silakan ja kilohailin osakannoille ovat heikosti tunnetut, koska ei tiedetä millaisista kutupopulaatioista näiden kalojen kannat muodostuvat ja kuinka paljon osapopulaatiot sekoittuvat keskenään. Äskettäin on esitetty, että pohjoisen Itämeren, mukaan lukien Suomenlahden silakat, erottuvat eteläisemmistä osakannoista geneettisesti (Jørgensen ym. 2005).



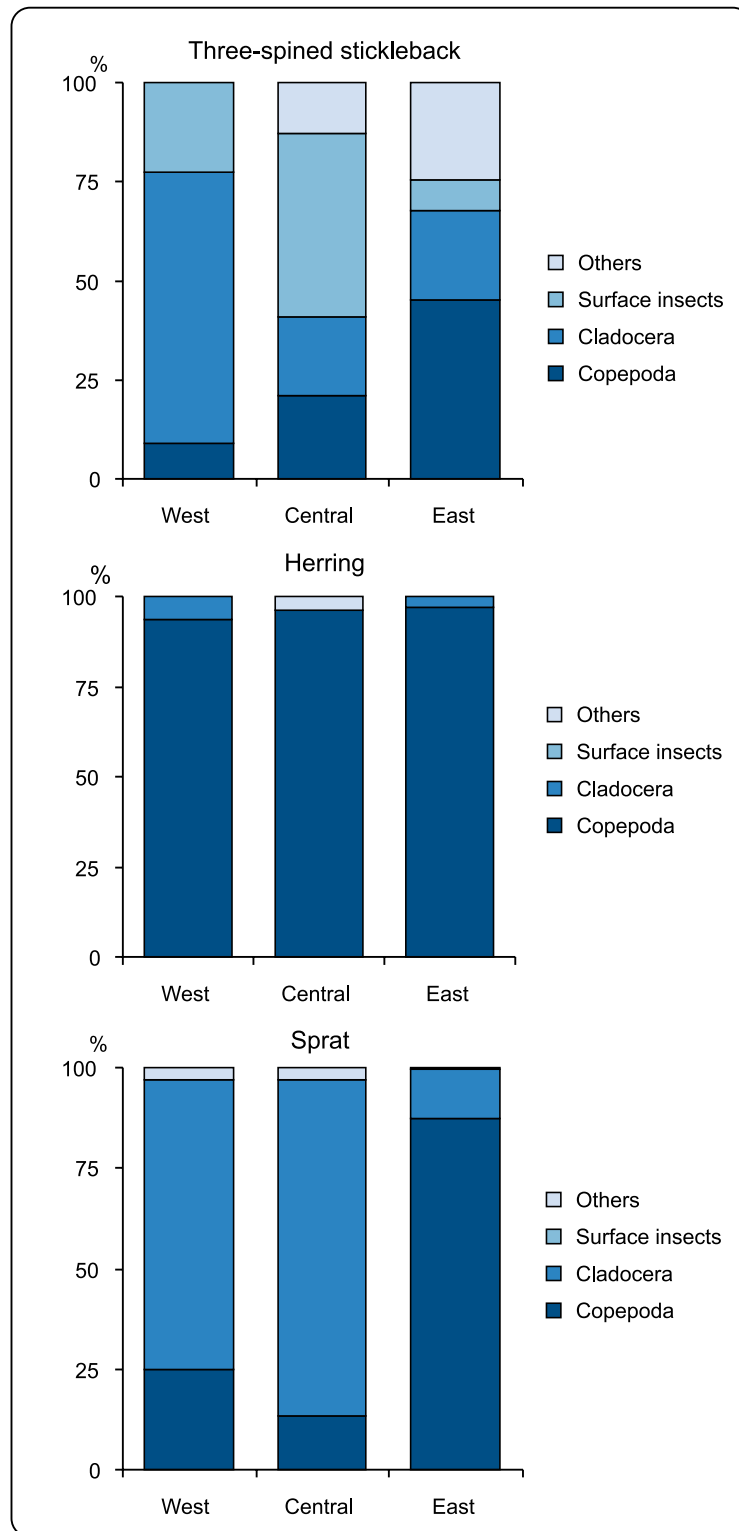
Kuva 12. Kalojen (Herring = silakka, sprat = kilohaili, three-spined stickleback = kolmipiikki) ravinnonkäyttö vuonna 2002 kokoluokittain ja Suomenlahden eri osa-alueilla (West = länsi, Central = keski, East = itäosa). Acartia, Temora ja Eurytemora ovat hankajalkaisia, Cercopagis = "petovesikirppu", Bosmina = kuuluu vesikirppuihin, Others = muut ravintokohteet). YOY = ikäryhmä 0+ ja OLD = ikäryhmät >0+. Kuva julkaisusta Peltonen ym. (2004).



Kuva 13. Ravintoa sisältäneiden majojen osuus kolmipiikeistä, kilohailleista ja silakoista (harmaat pylväät) ja majojen suhteellinen täyteisyys (kolmiot) vuoden 2002 tutkimusten mukaan.



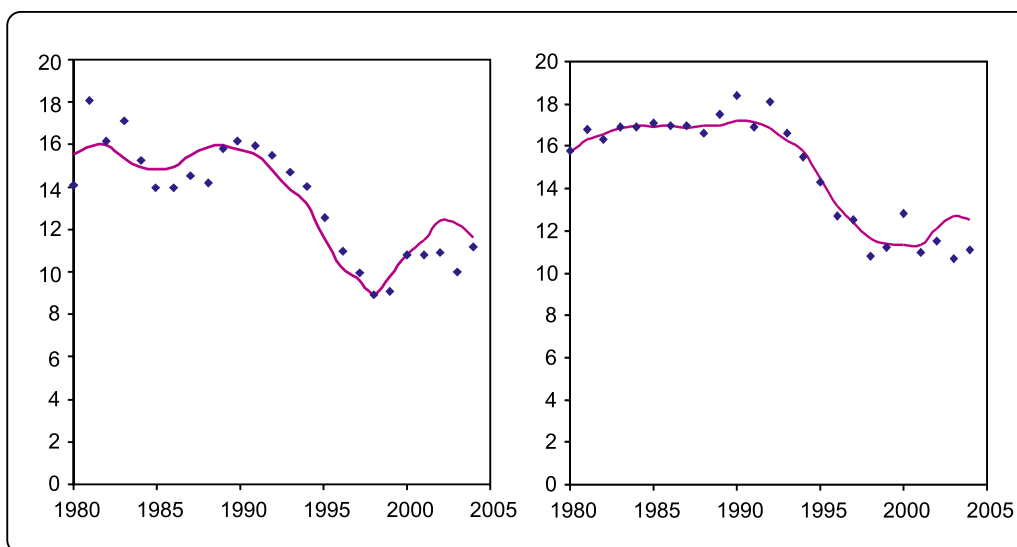
Kuva 14. Kolmipiikin (ylin), silakan (keskellä) ja kilohailin ravinnon koostumus kesällä 2003 Suomenlahden länsiosalla (=west), keskiosalla (=central) ja itäosalla (=east). Silakan ja kilohailin ravinnon koostumus on esitetty kokoluokittain. Amphipoda = katkat, Surf. insects = pintahyönteiset, Cladocera = vesikirput, Copepoda = hankajalkaiset, Others = muut.



Kuva 15. Kolmipiikin (ylin), silakan (keskellä) ja kilohailin ravinnon koostumus kesällä 2004. Silakan ja kilohailin ravinnon koostumus on esitetty Suomenlahden eri osa-alueilla (west = länsiosa, central = keskiosa, east = itäosa). Ravintokohteiden selitykset kuten kuvassa 14.

Silakan ja kilohailin kasvu- sekä populaatiomallinnus

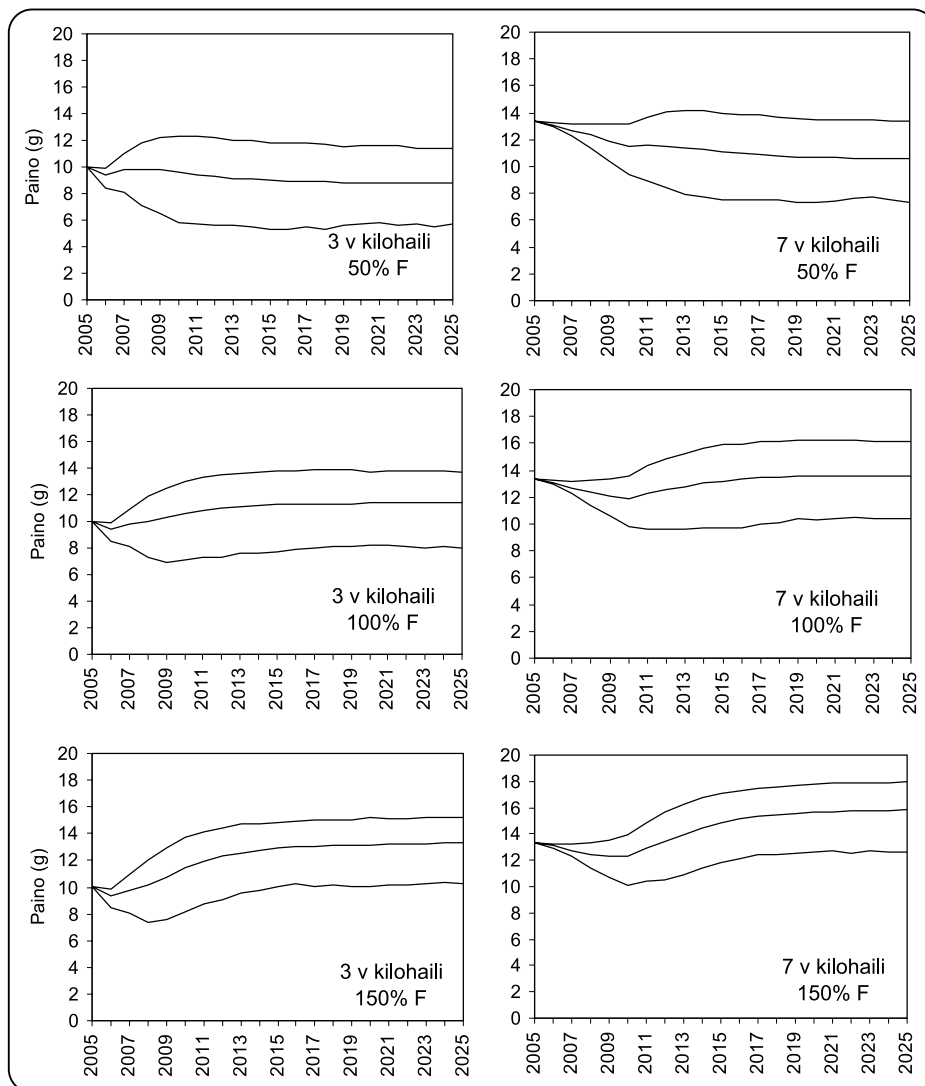
Silakan ja kilohailin kasvunopeus oli erityisesti kilohailikannan tiheydestä riippuvaa – kasvu heikkenee kilohailin runsastuessa. Runsas silakkakanta heikensi jonkin verran kilohailin kasvua, mutta ei juuri vaikuttanut silakan kasvuun. Suolapitoisuus vaikutti voimakkaasti silakan kasvunopeuteen, ilmeisesti ravinnontuotannon välityksellä. Kasvumallit selittivät kasvunvaihtelun erittäin hyvin (kuva 16), selitysasteet (r^2) silakalla ja kilohaililla olivat yli 90%.



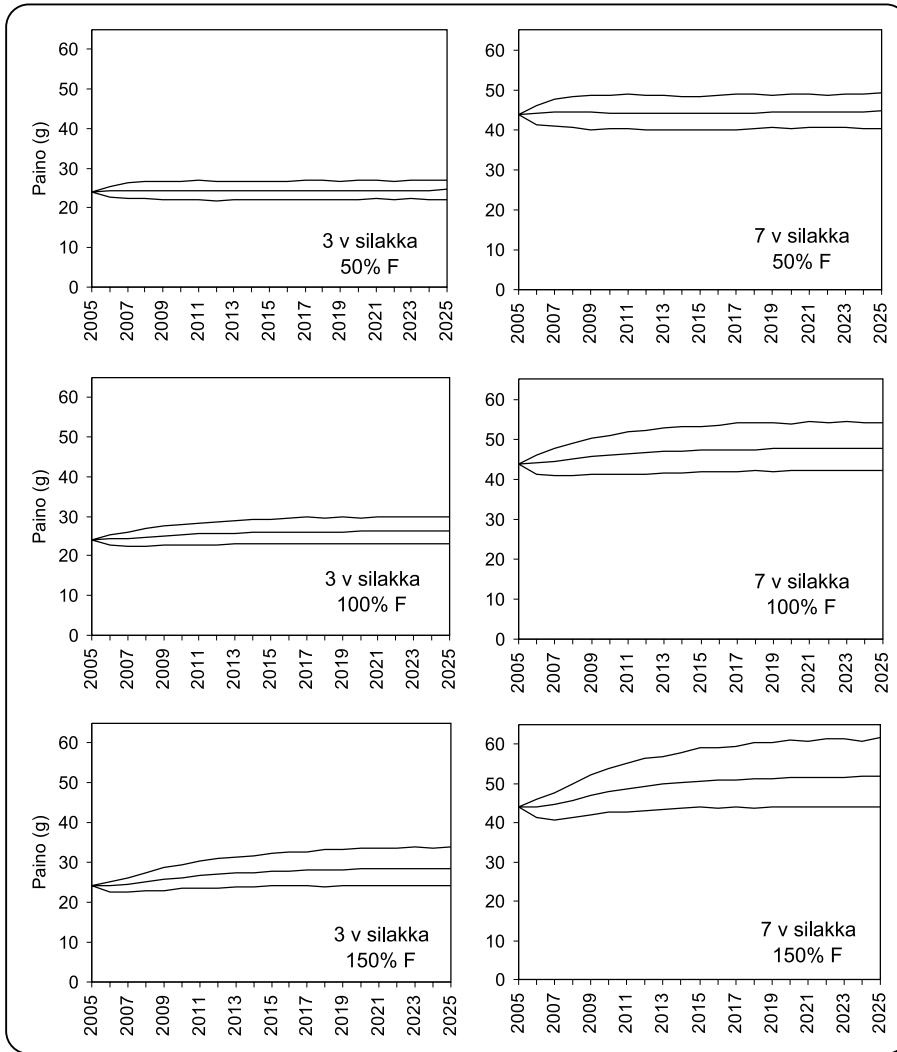
Kuva 16. 4-vuotiaan (vasen kuva) ja 7-vuotiaan kilohailin painot grammoina Itämeren kaupallisessa saaliissa vuosina 1980–2004 (ICES 2005) (pisteet) ja mallinnettu kasvunvaihtelu (yhtenäinen viiva).

Jos kalastusta Itämerellä jatketaan vuosien 2001–2004 keskimääräisellä kalastuskuolevuudella, vuoteen 2025 asti ulottuvien skenaarioitten mukaan kilohailin ja silakan kasvunopeus todennäköisesti jonkin verran lisääntyisi (kuvat 17 ja 18). Samalla kilohailikanta ja –saalis pienenesi, sekä silakkakanta ja –saalis suurensi selvästi (kuvat 19 ja 20). Vuosien kuluessa ennusteen epävarmuutta kuvaavien 5% ja 95% fraktiilien välisen alueen laajuus kasvaa. Alafraktiili (5%) jopa sisältää sen mahdollisuuden, että kilohailin kasvu hidastuisi, eli ennusteisiin sisältyy varsin suuri epävarmuus. Yllättävänä voidaan pitää tulosta, jonka mukaan silakan kutevan kannan biomassa pysyisi vähintään nykyisellä tasolla, vaikka kalastuskuolevuus lisääntyisi 50% (kuva 20). Tähän on syynä se, että simulaatiossa samanaikaisesti myös kilohailin kalastuskuolevuuden oletettiin lisääntyvän 50%. Jos kilohaili vähenee esim. tehokkaan kalastuksen vuoksi, silakan kasvunopeus suurenee, kutevan kannan biomassa kasvaa ja suurempi kuteva kanta tuottaa keskimäärin suurempia jälkeläismääriä.

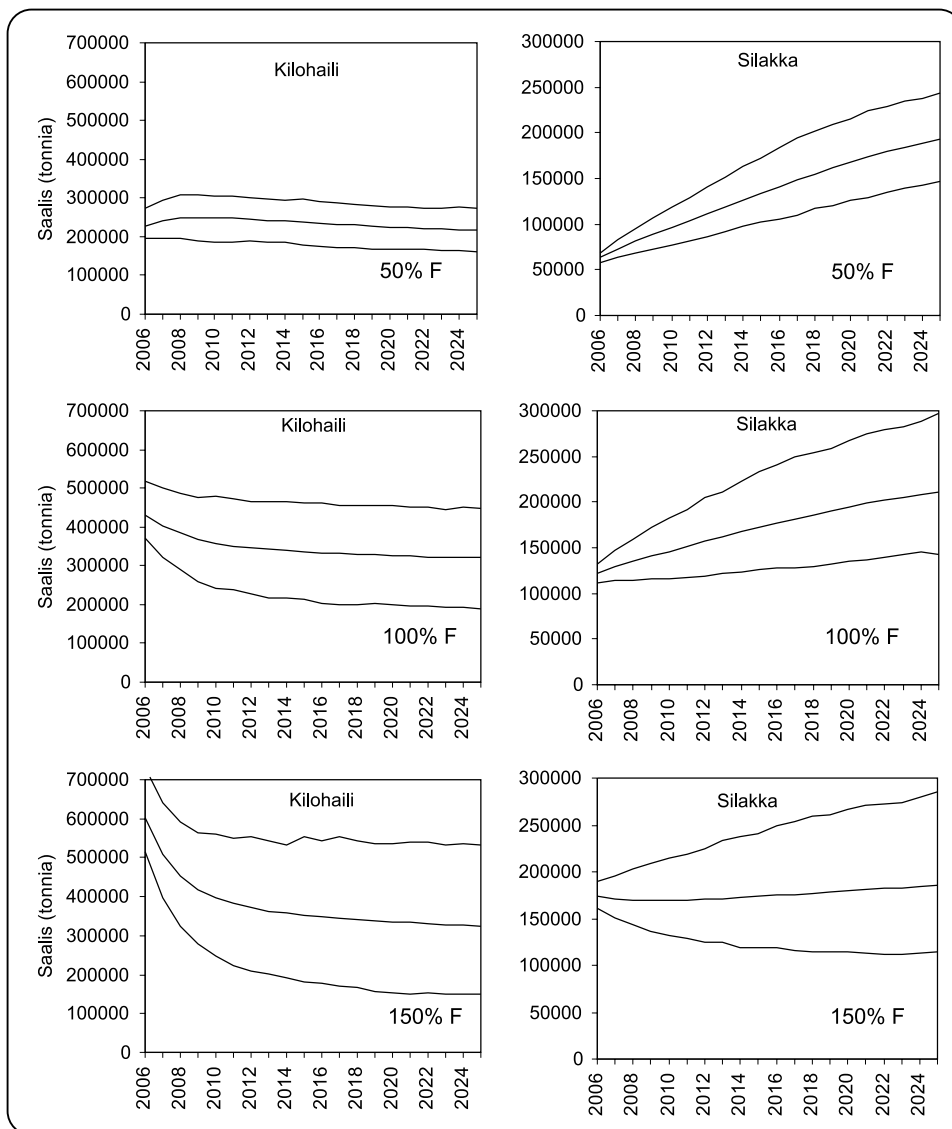
Simulaatiotulokset osoittavat, että Itämeren kalakanta-arvioissa lajien tiheysriippuvan kasvunopeuden huomioon ottaminen voisi muuttaa käsitystä kalastuksensääteilytoimien vaikutuksista. Molempien lajien tehokas kalastus todennäköisesti johtaisi kilohailisaaliin pienentymiseen, koska kilohailin kasvun nopeutuminen ei riittäisi kompensoimaan kalastuksen aiheuttamaa kuolevuutta ja lisääntyminen todennäköisesti heikkenisi kutevan kannan pienentyessä. Tehokas kalastus lisäisi epävarmuutta tulevien vuosien saaliista, koska rekrytoituvat kalat pyydettäisiin nopeammin ja kalastettava kanta koostuisi pienemmästä määrästä vuosiluokkia. Siten yksittäisen vuosiluokan merkitys kannan ja saaliiden suhteen kasvaisi verrattuna siihen, että kalastuskuolevuus pienenesi.



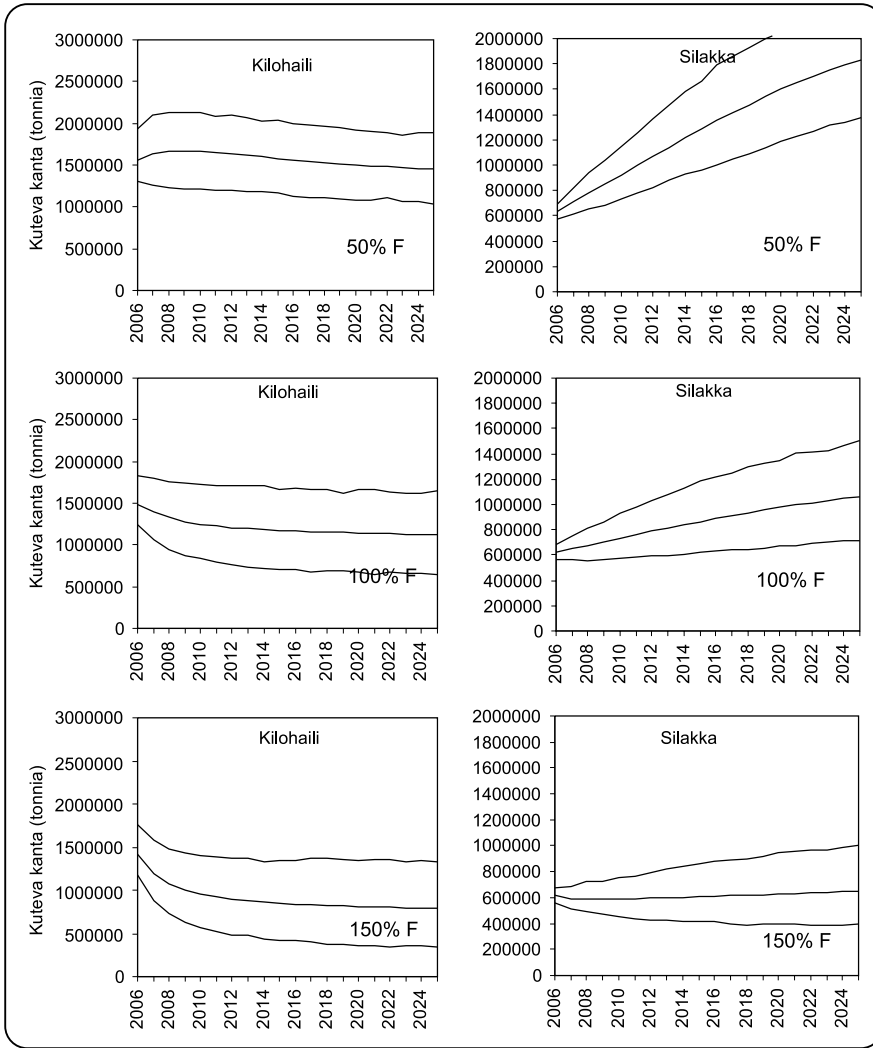
Kuva 17. Kilohailin kasvusimulaatiot eri kalastusvaihtoehdoilla: vuosien 2001-2004 keskimääräinen kalastuskuolevuus 100% F, sekä 50% vähennys (50% F) sekä 50% lisäys (150% F) kalastuskuolevuudessa. Jokainen kaavio perustuu 1000 stokastiseen mallisimulaatioon, ja käyrät edustavat 5% (alin) ja 95% (ylin) fraktiileja ja simulaatioiden keskiarvoa (keskimmäinen).



Kuva 18. Silakan kasvusimulaatiot eri kalastusvaihtoehdoilla: vuosien 2001-2004 keskimääräinen kalastuskuolevuus 100% F, sekä 50% vähennys (50% F) sekä 50% lisäys (150% F) kalastuskuolevuudessa. Jokainen kaavio perustuu 1000 stokastiseen mallisimulaatioon, ja käyrät edustavat 5% (alin) ja 95% (ylin) fraktiileja ja simulaatioiden keskiarvoa (keskimmäinen).



Kuva 19. Kilohailin ja silakan saalisennusteet vuoteen 2025 olettaen 50% vähennys molempien lajien kalastuskuolevuudessa (50% F, yläriivi), vuosien 2001 keskimääräinen kalastuskuolevuus (100% F, keskimäinen rivi) ja 50% lisäys (150% F, alarivi) kalastuskuolevuudessa. Kuvissa käyrät edustavat 1000 simulaation perustuvaa keskiarvoa (keskimäinen käyrä) sekä 5% ja 95% fraktiileja.



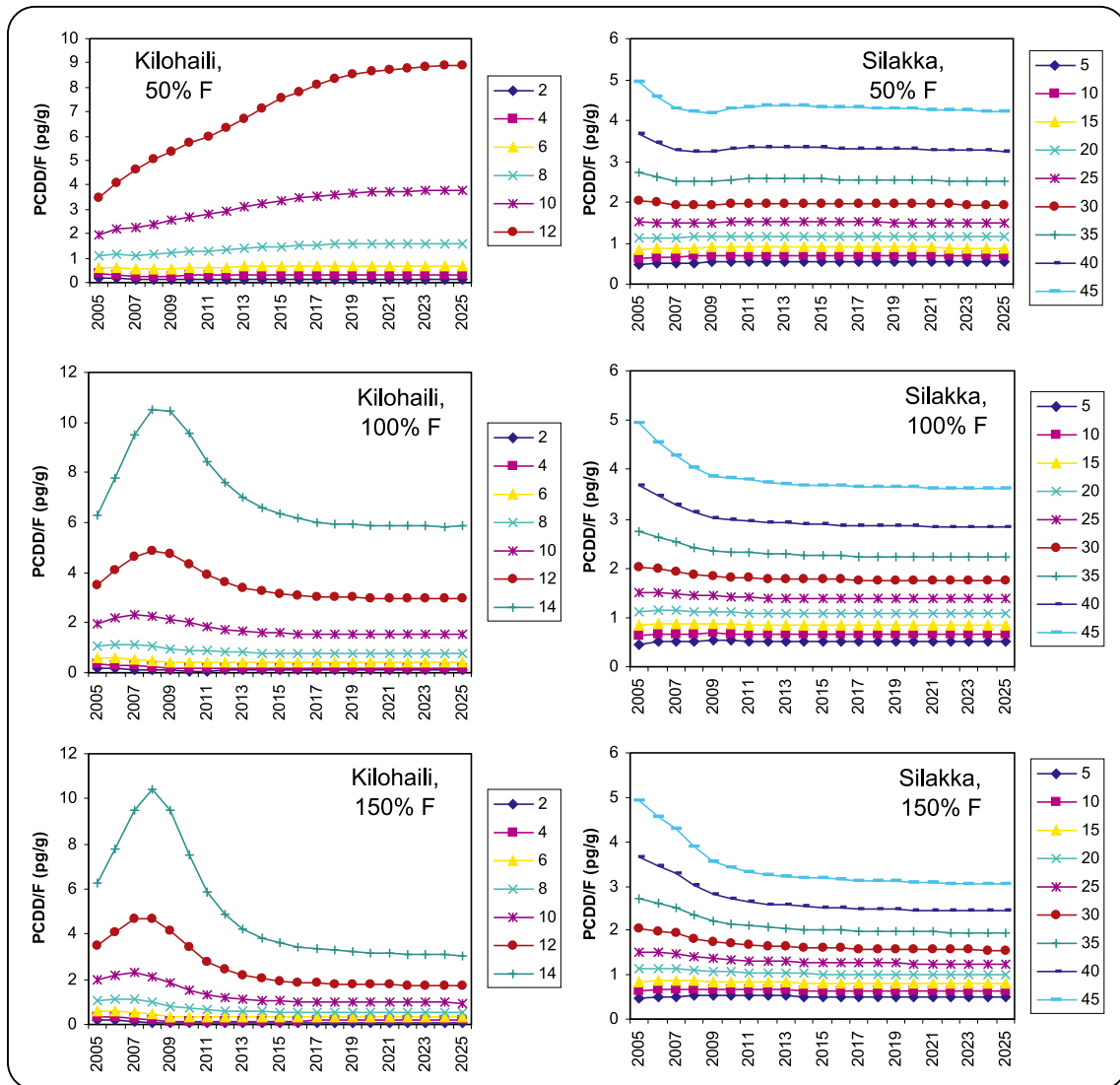
Kuva 20. Ennusteet kilohailin ja silakan kutevan kannan koosta (tonneina) eri kalastusvaihtoehdoilla. Selitykset kuten edellisessä kuvassa.

Ennusteet silakan ja kilohailin organoklooripitoisuuksista

Olettaen, että kalastuskuolevuus pysyisi vuosien 2001-2004 tasolla, bioakkumulatiomalli ennusti kilohailin dioksiini- ja furaanipitoisuuksien ensin kasvavan melko huomattavasti ja sen jälkeen niiden kääntyvän laskuun (kuva 21). Nousu kilohailin pitoisuuksissa selittyy kasvuennusteilla, joiden mukaan kilohailin kasvu on hidasta alkuvaiheessa johtuen tämänhetkisestä kilohailinkannan tilasta. Varsinkin kilohailin suurimman kokoluokan pitoisuudet ylittävät selvästi 4pg/g, joka on EU:n säätämän raja-arvo PCDD/F-yhdisteille. Silakalla pitoisuus sen sijaan lähtee laskuun ja se asettuu alemmalle tasolle kuin lähtötilanteessa.

Jos kalastuskuolevuus vähenee 50%, kilohailin pitoisuuksien ennustetaan varsinkin suurimmassa painoluokassa kasvavan huomattavasti. Silakalla pienissä kokoluokassa ei nykytilanteeseen verrattuna olisi suurta muutosta, mutta vanhimmissa tapahtuisi pientä laskua. Jos kalastusta lisätään 50%, kilohailin pitoisuudet aluksi todennäköisesti kasvaisivat selvästi, mutta asettuisivat myöhemmin lähtötilannetta alemmalle tasolle. Silakan pitoisuudet alenisivat selvästi.

Ennusteisiin väistämättä sisältyy huomattavia epävarmuuksia, koska esim. lisääntymisen onnistuminen tulevina vuosina vaikuttaa olennaisesti kalakantoihin. Vaikka monien eri epävarmuustekijöiden samanaikainen huomioon ottaminen on vaikeaa, tulisi sellainen tutkimus tehdä ennen kuin kaloihin kerääntyvien ympäristömyrkkyjen pitoisuuksien alentamista voitaisiin käyttää yhtenä säätelytavoitteena.



Kuva 21. Ennusteet muutoksissa kilohailin ja silakan PCDD/F- pitoisuuksista painoluokittain (kilo- haililla 2-14 g painoiset ja silakalla 5-45 g painoiset) kalastuskuolevuuden(F) muuttuessa (F nousee tai vähenee 50%).

4 Johtopäätökset

Vuoteen 2002 asti Suomenlahdesta saatiin hyviä silakka- ja kilohailisaaliita (Meri 2006). Tutkimusjakso 2002-2004 oli kuitenkin poikkeuksellinen Suomenlahdella, koska sen aikana vuonna 2003 silakka- ja kilohailisaaliit Suomenlahdella romahtivat. Romahdusta voidaan vain osittain selittää kalastuksensäätelymillä. Troolikalastuksesta tulleiden tietojen mukaan oli ilmeistä, että Suomenlahdella ei ollut riittävästi kalaa kalastuksen harjoittamiseksi, varsinkaan kun samanaikaisesti kalastussäännökset estivät tiheimmillä perillä varustettujen troolien käytön. On todennäköistä, että erityisissä olosuhteissa planktonsyöjäkalat voivat syödä ravinnon niin vähiin, että kalat nälkiintyvät ravinnonpuutteesta. Nälkiintymistä on havaittu aikaisemminkin Suomenlahdella, mutta saalistilastojen mukaan aikaisemmat nälkiintymisilmiöt eivät ole olleet läheskään yhtä merkittäviä. Aiemmin ei ilmeisestikään ole havaittu kilohailin nälkiintymistä. Tässä tutkimuksessa tehdyt havainnot silakan ja kilohailin erittäin vähäisestä kasvusta vuonna 2003 tukevat käsitystä tuolloin vallinneesta ravinnonpuutteesta. Suomenlahden tärkeimmät kalakannat liittyvät pääaltaan kantoihin, siellä tapahtuvat muutokset voivat herkästi heijastua Suomenlahteen. Suomenlahti on merikalalajien levinneisyyden reuna-alueita, missä jo pienet muutokset ympäristössä voivat olla erittäin haitallisia lajin elinvoimaisuudelle. Itämeren pääaltaalla, sen pohjoisinta osaa lukuun ottamatta, vastaavaa saaliiden romahdusta ei tapahtunut. Siellä syntyvät kilohailit kilpailevat Suomenlahden silakkakantojen kanssa ravinnosta kun silakat vaeltavat pääaltaalle, ja toisaalta kilohaili vaeltaa Suomenlahdelle. Siten kilohailin runsaus ilmeisesti vaikuttaa Suomenlahden silakan kasvuun.

Hanke on osoittanut, että ympäristötekijöiden avulla oli mahdollista selittää suuri osa kalatiheyden alueellisesta vaihtelusta, ja on mahdollista kehittää menetelmiä, joilla voidaan ennustaa meren tilan muutosten vaikutuksia kalastolle.

Tutkimustuloksia ei sellaisenaan voi käyttää kalastuksen säätelyn välineinä, mutta ne osoittavat muutamia seikkoja, jotka voitaisiin ottaa huomioon kalakantojen arvioissa ja kalastuksen säätelyssä. Eri kalalajeja arvioitaessa ja kalastuksensäätelysuosituksia tehtäessä tulisi kyetä ottamaan huomioon ympäristön kantokyky ja ympäristötekijöiden muutosten vaikutukset kantokykyyn. Lisäksi tulisi pyrkiä ottamaan huomioon mm. kalojen kasvun vaihtelu, koska tämän tutkimuksen mukaan kilohailin ja silakan kasvua on mahdollista mallintaa ottaen huomioon kantojen tila, lajien vuorovaikutukset ja suolapitoisuuden muutokset. Simulointien laajat vaihteluvälit osoittivat, että malli oli herkkä epävarmuudelle emokanta-rekryytisuhteessa. Tämä estää tarkkojen skenaarioiden laatimisen usean vuoden päähän, mutta malli kuitenkin osoittaa todennäköiset kehityssuunnat erilaisilla lähtöoletuksilla.

Kalastuskuolevuuden muutokset voivat aikaansaada muutoksia dioksiinien ja furaanien pitoisuuksissa varsinkin kilohailin eri painoluokissa. Silakan kasvunopeuteen ja kerääntyvien myrkkujen pitoisuuksiin ilmeisesti vaikuttavat ympäristötekijät, kuten suolaisuuden muutosta seuraavat muutokset ravintovaroissa. Kuitenkin myös esim. kalojen luonnollisessa kuolevuudessa tapahtuvat muutokset (esim. turskakan-

nan muutokset ja turskan saalistus) voivat merkittävästi vaikuttaa kantojen tilaan, kalojen kasvunopeuteen ja dioksiinien kertymiseen.

Kiitokset

Tutkimuksen toteuttaminen ei olisi ollut mahdollista ilman Kaakkois-Suomen TE-keskuksen myöntämää KOR-rahoitusta ja yhteistyötä Kauko Poikolan kanssa. Tähän tutkimushankkeeseen saatiin materiaalia myös mm. Suomen Akatemian Bireme-ohjelman CYBER/Trofia hankkeen ja Dioxmode hankkeiden kautta sekä hankkeeseen liittyviin töihin tukea myös Kymenlaakson liitolta. Merellä tehdyissä töissä tutkimusalus Muikun miehistön panos Matti Jalkasen ja Jukka Kettusen johdolla oli ratkaiseva. Tutkimusaluksella tehtyyn työhön osallistuneesta tutkimushenkilöstöstä erityisesti Raimo Riikonen ja Timo Myllylä ansaitsevat erityiskiitokset, unohtamatta muita osallistujia. Yhteistyö Suomen ympäristökeskuksessa Saara Bäckin kanssa on toiminut hienosti hankkeen valmistelusta lähtien. Martti Raskin ja Timo Jääskeläisen apua kiitän tutkimusyhteistyöstä RKTL:n kanssa. Yhteistyö Markku Viitasalon ja hänen johtamansa Merentutkimuslaitoksen planktonekologian tutkimusryhmän kanssa on tarjonnut uudenlaisia mahdollisuuksia tehdä koko ekosysteemin kattavaa tutkimusta. Yhteistyö Miska Luodon (SYKE ja Oulun yliopisto) kanssa teki mahdolliseksi uusien mallinnusmenetelmien käyttöönoton. Tommi Malinen ja Seppo Knuutila antoivat arvokkaita kommentteja käsikirjoitukseen.

Kirjallisuus

- Arrhenius, F. ja Hansson, S. 1993. Food consumption of larval, young and adult herring and sprat in the Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series* 96: 125-137.
- Arrhenius, F. ja Hansson, S. 1994. *In situ* food consumption by young-of-the-year Baltic Sea herring *Clupea harengus*: a test of predictions from a bioenergetics model. *Marine Ecology Progress Series* 110: 145-149.
- Aro, E. 1989. A review of fish migration patterns in the Baltic. Papp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer. 190: 72-96.
- Balk, H. ja Lindem, T. 2004. Sonar4 and Sonar5-pro. Post-processing system. Operator manual v5.9.3. Lindem Data Acquisition. 326 s.
- Casini, M., Cardinale, M., and Hjelm, J. 2006. Inter-annual variation in herring, *Clupea harengus*, and sprat, *Sprattus sprattus*, condition in the central Baltic Sea: what gives the tune? *Oikos*, 112, 638-650.
- European Commission 2006. Commission regulation (EC) No 199/2006 of 3 February 2006 amending Regulation (EC) No 466/2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs as regards dioxins and dioxin-like PCBs. *Official Journal of the European Communities* 2006, L 32, 34-38.
- Flinkman, J., Aro, E., Vuorinen, I. ja Viitasalo, M. 1998. Changes in northern Baltic zooplankton and herring nutrition from 1980s to 1990s: top-down and bottom-up processes at work. *Marine Ecology Progress Series* 165:127-136.
- Flinkman, J. 1999. Interactions between plankton and planktivores of the northern Baltic Sea: selective predation and predation avoidance. *Walter and Andrée Nottbeck Foundation Scientific Reports* 18. 24 s.
- Haddon, M. 2001. *Modelling and quantitative methods in fisheries*. Chapman & Hall. 406 s.
- Hewett, S.W. ja Johnson, B.L. 1992: A fish bioenergetics model 2, an upgrade of a general bioenergetics model 2, upgrade of a generalized bioenergetics model for a fish growth for microcomputers. UW Sea Grant Technical Report No. WIS-SG-92-250.
- Hilborn, R. ja Walters, C.J. 1992. *Quantitative fisheries stock assessment. Choice, dynamics & uncertainty*. Chapman & Hall. New York. 570 s.
- ICES 2001. Manual for the Baltic international acoustic survey (BIAS). 115 s. Teoksessa: Report of the Baltic international fish survey working group. ICES CM 2001/H:2, Ref.: D. ICES, Copenhagen.
- ICES 2005. Report of the Baltic fisheries assessment working group. ICES advisory commission on fishery management. ICES CM 2005/ACFM:19, Ref. H. 607 s.
- Isosaari, P., Kankaanpää, H., Mattila, J., Kiviranta, H., Verta, M., Salo, S. ja Vartiainen, T. 2002. Spatial distribution and temporal accumulation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and biphenyls in the Gulf of Finland. *Environmental Science and Technology*. 36: 2560-2565.
- Isosaari, P., Lundebye, A.K., Ritchie, G., Lie, O., Kiviranta, H. ja Vartiainen, T. 2005. Dietary accumulation efficiencies and biotransformation of polybrominated diphenyl ethers in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Food Additives and Contaminants* 22: 829-837.
- Jurvelius, J., Leinikki, J., Mamylov, V. ja Pushkin, S. 1996. Stock assessment of pelagic three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*): A simultaneous up- and down-looking echo-sounding study. *Fisheries Research*. 27: 227-241.
- Jørgensen, H.B.H., Hansen, M.M., Bekkevold, D. Ruzzante, D.E. ja Loeschcke, V. 2005. Marine landscapes and population genetic structure of herring (*Clupea harengus* L.) in the Baltic Sea. *Molecular Ecology*. 14: 3219-3234.
- Karjalainen, M. 2005. Fate and effects of *Nodularia spumigena* and its toxin, nodularin, in the Baltic Sea planktonic food webs. *Finnish Institute of Marine Research - Contributions*. No. 10. 34 s.
- Kauppila, P. ja Bäck, S. 2001 The state of the Finnish coastal waters in the 1990's. *The Finnish Environment*. N:o 472. Finnish Environment Institute. Helsinki.
- Katajisto, T. 2006. Benthic resting eggs in the life cycles of *calanoid* copepods in the northern Baltic Sea. *Walter and Andrée Nottbeck Foundation Scientific Reports*. No. 29. Helsinki.
- Kiviranta, H., Hallikainen, A., Ovaskainen, M.-L., Kumpulainen, J. ja Vartiainen, T. 2001. Dietary intake of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and polychlorinated biphenyls in Finland. *Food Additives and Contaminants*. 18: 945-953.
- Kooijman, S. A. L. M. 2000. *Dynamic Energy and Mass Budgets in Biological Systems*, Second Edition. Cambridge University Press.
- Lankov, A. 2002. Feeding ecology of the pelagic fishes in the northeastern Baltic Sea in 1980-1990s. *Talinn Pedagogical University Dissertations in Natural Science*. 6: 1-53
- Lips, U., Pitkänen, H., Kauppila, P., Alenius, P. ja Nekrasov, A. 2002. Meteorological, hydrological and hydrographical forcing. In: HELCOM, 2002. *Environment of the Baltic Sea Area 1994-1998*. *Baltic Sea Environment Proceedings* No. 82B. p. 74-76.
- MacKenzie, B., Almesjö, L., ja Hansson, S. 2004. Fish, fishing, and pollution reduction in the Baltic Sea. *Environmental Science and Technology*. 38: 1970-1976.
- MacLennan, D.N., Fernandes, P.G. ja Dalen J. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES Journal of Marine Science*. 59: 365-369.
- Maravelias, C.D., Reid, D.G. ja Swartzman, G. 2000. Seabed substrate, water depth and zooplankton as determinants of the prespawning spatial aggregation of North Atlantic herring. *Marine Ecology Progress Series*. 195: 249-259.

- Meri 2006. State of the Gulf of Finland in 2004. Haahti, H., Kangas, P. (toim.), Alenius, P., Antsulevich, A., Basova, S., Berezina, N. A., Haapasaari, H., Jaanus, A., Jolma, K., Kauppila, P., Knuuttila, S., Korhonen, M., Kotta, J., Laine, A., Leivuori, M., Lips, U., Litvinchuk, L.F., Maximov, A., Norkko, A., Orlova, M.I., Peltonen, H., Pitkänen, H., Pönni, J., Raateoja, M., Räsänen, J., Salo, S., Vainio, J., Vepsäläinen, J., Verta, M. Helsinki, Meritutkimuslaitos. 25 s. Meri 55. ISBN 951-53-2839-X, ISSN 1238-5328.
- Möllmann, C., Kornilovs, G., Fetter, M. ja Köster, F. W. 2005. Climate, zooplankton, and pelagic fish growth in the central Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 1270-1280.
- Ojaveer, H., Simm, M., Lankov, A. ja Lumberg, A. 2000. Consequences of invasion of a predatory cladoceran. *ICES CM 2000/U:16*. 10 s.
- Parmanne, R., Hallikainen, A., Isosaari, P., Kiviranta, H., Koistinen, J., Laine, O., Rantakokko, P., Vuorinen, P.J. ja Vartiainen, T. 2006. The dependence of organohalogen compound concentrations on herring age and size in the Bothnian Sea, northern Baltic. *Marine Pollution Bulletin* 52: 149-161.
- Parmanne, R., Rechlin, O. ja Sjöstrand, B. 1994. Status of herring and sprat stocks in the Baltic Sea. *Dana* 10: 29-54.
- Patokina, F.A. ja Feldman, V.N. 1998. Peculiarities of trophic relations between Baltic herring (*Clupea harengus membras* L.) and sprat (*Sprattus sprattus balticus* Schneider) in the south-eastern Baltic Sea in 1995-1997. *ICES CM 1998/CC:7*.
- Peltonen, H. ja Balk, H. 2005. Acoustic target strength of herring (*Clupea harengus* L.) in the northern Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science*. 62: 803-808.
- Peltonen, H., Kiljunen, M., Kiviranta, H., Vuorinen, P.J., Verta, M. ja Karjalainen, J. 2006a. Predicting effects of exploitation rate on weight-at-age, population dynamics and bioaccumulation of PCDD/Fs and PCBs in herring (*Clupea harengus* L.) in the northern Baltic Sea. *Environmental Science and Technology* (lähetetty arvioitavaksi).
- Peltonen, H., Luoto, M., Pääkkönen, J.-P., Karjalainen, M., Tuomaala, A., Pönni, J. ja Viitasalo, M. 2006b. Pelagic fish abundance in relation to regional environmental variation in the Gulf of Finland, Northern Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science* (lähetetty arvioitavaksi).
- Peltonen, H., Vinni, M., Lappalainen, A. ja Pönni, J. 2004. Spatial feeding patterns of herring (*Clupea harengus* L.), sprat (*Sprattus sprattus* L.), and the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.) in the Gulf of Finland, Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 966-971.
- Pitkänen, H., Lehtoranta, J., Peltonen, H., Laine, A., Kotta, J., Kotta, I., Moskalenko, P., Mäkinen, A., Kangas, P., Perttilä, M. ja Kiirikki, M. 2003. Benthic release of phosphorus and its relation to environmental conditions in the estuarial Gulf of Finland, Baltic Sea, in the early 2000s. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 52: 173-192.
- Raateoja, M., Seppälä, J., Kuosa, H. ja Myrberg, K. 2005. Recent changes in trophic state of the Baltic Sea along SW coast of Finland. *Ambio*. 34: 188-191.
- Rahikainen, M., Peltonen, H. ja Pönni, J. 2004. Unaccounted mortality in northern Baltic Sea herring fishery – magnitude and effects on estimates of stock dynamics. *Fisheries Research*. 67: 111-127.
- Raid, T. ja Lankov, A. 1991. On growth of the Baltic herring in the Gulf of Finland. *International Council for the Exploration of the Sea. Baltic Fish Committee. ICES CM 1991/J:11*. 6 s.
- Rudstam, L.G., Hansson, S., Johansson, S. ja Larsson, U. 1992. Dynamics of planktivory in a coastal area in the Northern Baltic Sea. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 80: 2-3.
- Rönkkönen, S., Ojaveer, E., Raid, T. ja Viitasalo, M. 2004. Long-term changes in Baltic herring (*Clupea harengus membras*) growth in the Gulf of Finland. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 61: 219-229.
- Simrad, 1995. Simrad EY500 portable scientific echosounder. Instruction manual. 86 p.
- Sipiä, V., Kankaanpää, H., Peltonen, H., Vinni, M. ja Meriluoto, J. 2006. Transfer of nodularin to three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.), herring (*Clupea harengus* L.) and salmon (*Salmo salar* L.) in the northern Baltic Sea. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. (painossa).
- Stephenson, R., Peltonen, H., Kuikka, S., Pönni, J., Rahikainen, M., Aro, E. ja Setälä, J. 2001. Linking biological and industrial aspects of the Finnish commercial herring fishery in the northern Baltic Sea. Teoksessa: F. Funk, J. Blackburn, D. Hay, A.J. Paul, R. Stephenson, R. Toresen, ja D. Witherell (toim.). 2002. *Herring: Expectations for a new millennium*. University of Alaska Sea Grant, AK-SG-01-04, Fairbanks, s. 741-760.
- Szypula, J. 1985. Comparative studies on herring and sprat feeding in the southern Baltic within 1978-1982. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*. 15: 75-89.
- Thurrow, F. 1997. Estimation of the total fish biomass in the Baltic Sea during the 20th century. *ICES Journal of Marine Science*. 54: 444-461.
- van den Berg, M., Birnbaum, L., Bosveld, A.T.C., Brunstrom, B., Cook, P., Feeley, M., Giesy, J.P., Hanberg, A., Hasegawa, R., Kennedy, S.W., Kubiak, T., Larsen, J.C., van Leeuwen, F.X.R., Liem, A.K.D., Nolt, C., Peterson, R.E., Poellinger, L., Safe, S., Schrenk, D., Tillitt, D., Tysklind, M., Younes, M., Waern, F. ja Zacharewski, T. 1998. Toxic equivalency factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for humans and wildlife. *Environmental Health Perspectives* 106: 775-792.
- Viitasalo, M., Helminen, H. ja Kuosa, H. 1998. Proportion of copepod biomass declines together with decreasing salinity in the Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science*. 55: 767-774.
- Windell, J. T. 1971. Food analysis and rate of digestion. In *Methods for assessment of fish production in fresh waters*. W. E. Ricker (toim.). Blackwell. Oxford. s. 197-203.

KUVAILULEHTI

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus (SYKE)			Julkaisu-aika Marraskuu 2006
Tekijä(t)	Heikki Peltonen, Mikko Kiljunen, Mika Vinni, Jari-Pekka Pääkkönen, Jukka Pönni, Mika Rahikainen ja Antti Lappalainen			
Julkaisun nimi	Suomenlahden tilan muutokset – vaikutukset avomerialueen kalakantoihin ja kalastukseen			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 50/2006			
Julkaisun teema	Luonnonvarat			
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana ainoastaan Internetistä www.ymparisto.fi/julkaisut			
Tiivistelmä	<p>Kaakkois-Suomen työvoima- ja elinkeinokeskus myönsi vuosina 2002-2005 KOR-varoista (kalatalouden ohjauksen rahoitusväline) rahoitusta hankkeelle ” Suomenlahden tilan muutokset – vaikutukset kalakannoille ja kalastukselle”. Hanke toteutettiin Suomen ympäristökeskuksen johdolla, mutta sen toteuttamiseen osallistui myös tutkijoita Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksesta, Merentutkimuslaitoksesta sekä Helsingin ja Jyväskylän yliopistoista.</p> <p>Hankkeessa arvioitiin ympäristötekijöiden ja niissä tapahtuvien muutosten vaikutuksia Suomenlahden avomerialueen kalojen alueelliseen runsaudenvaihteluun, kalojen ravinnonkäyttöön ja kalojen kuntoon. Tutkimuksessa havaittiin, että GAM-mallinnuksen (yleistetty additiivinen malli) avulla kalatiheyden vaihtelut avomerialueella voitiin selittää suureksi osaksi ympäristötekijöistä johtuviksi. Tutkimusajanjakson aikana Suomenlahden kalakannoissa tapahtui voimakkaita muutoksia. Sekä silakoiden että kilohailien osoitettiin vuonna 2003 kärsineen ravintopulasta. Kalat olivat laihoja ja suuri osa oli selvästi nälkiintyneitä. Nuorten kalojen kasvun havaittiin olevan erittäin vähäistä vuonna 2003. Kalojen nälkiintymisestä seurannut silakka- ja kilohailikantojen huono tila yhdessä samanaikaisesti voimaan tulleiden pyydysrajoitusten kanssa aiheutti Suomenlahden silakka- ja kilohailisaaliiden ennennäkemättömän voimakkaan romahduksen vuonna 2003.</p> <p>Hankkeessa myös arvioitiin, miten mahdolliset kalastuksessa tulevaisuudessa tapahtuvat muutokset vaikuttaisivat dioksiinien ja furaanien kertymiseen Suomenlahden ja Itämeren pääaltaan silakkaan ja kilohailiin. Hankkeessa kehitettiin mallit, joiden avulla osoitettiin olevan mahdollista kuvata kilohailin ja silakan kasvun riippuvuutta kalatiheydestä ja ympäristötekijöistä. Malleja käytettiin ennustettaessa kalastuksen vaikutuksia kalakantojen tilaan ja dioksiinien kertymiseen silakkaan ja kilohailiin. Kehitetyn mallin avulla kalastuskuolevuuden osoitettiin potentiaalisesti vaikuttavan erityisesti kilohailin kasvuun ja dioksiinien kertymiseen kilohailiin. Silakan kasvunmuutoksiin ja dioksiinien kerääntymiseen todennäköisesti vaikuttavat kalatiheyden ohella Itämeren suolapitoisuuden muutokset.</p>			
Asiasanat	Suomenlahti, kalastus, kalatalous, ympäristömuutokset, mallinnus, GAM, silakka, kilohaili, PCDD/F, dioksiinit, furaanit			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Kaakkois-Suomen TE-keskus (EU:n KOR-rahoitus)			
	ISBN (nid.)	ISBN 952-11-2471-7 (PDF)	ISSN (pain.)	ISSN 1796-1637 (verkkoj.)
	Sivuja 40	Kieli Suomi	Luottamuksellisuus Julkinen	Hinta (sis.alv 8 %)
Julkaisun myynti/ jakaja				
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki			
Painopaikka ja -aika				

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands Miljöcentral (SYKE)			Datum November 2006
Författare	Heikki Peltonen, Mikko Kiljunen, Mika Vinni, Jari-Pekka Pääkkönen, Jukka Pönni, Mika Rahikainen och Antti Lappalainen			
Publikationens titel	Suomenlahden tilan muutokset – vaikutukset avomerialueen kalakantoihin ja kalastukseen (Förändringarna i Finska vikens tillstånd – hur påverkas fiskstammarna och fisket inom den öppna havszonen)			
Publikationsserie och nummer	Miljö i Finland 50/2006			
Publikationens tema	Naturtillgångar			
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns att få endast på internet www.ymparisto.fi/julkaisut			
Sammandrag	<p>Sydöstra Finlands arbetskrafts- och näringscentral finansierade åren 2002-2005 projektet "Förändringarna i Finska vikens tillstånd – hur påverkas fiskstammarna och fisket". Projektet slutfördes under Finlands miljöcentrals ledning, men forskare från Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet, Havsforskningsinstitutet samt från Helsingfors och Jyväskylä universitet deltog.</p> <p>Inom projektet utvärderades hur diverse miljöfaktorer samt förändringar i dessa påverkade variationen i fiskarnas regionala förekomst och utbredning på den öppna Finska viken, samt deras diet och kondition. Projektet påvisade med hjälp av GAM-modellering (allmän additiv modell) att största delen av variationen inom fisktätheten på det öppna havsområdet kunde hänföras till miljöfaktorer. Under forskningsperioden skedde stora förändringar i fiskstammarna på Finska viken. Man påvisade att såväl strömming som vassbuk led av födobrist år 2003. Fiskarna var magra och största delen klart utsvultna. Tillväxten hos unga fiskar visades ha varit ytterst låg år 2003. Som en följd av detta var vassbuchs- och strömmingsstammarna i dåligt skick, och tillsammans med de i samma veva införda fångstbragsbegränsningarna ledde detta till att strömmings- och vassbuckfångsten år 2003 kollapsade mer drastiskt än någonsin tidigare.</p> <p>Projektet uppskattade också hur eventuella förändringar i fisket i framtiden skulle påverka anrikningen av dioxiner och furaner i strömming och vassbuk från Finska viken och den egentliga Östersjön. Inom projektet utvecklades modeller med hjälp av vilka det visade sig vara möjligt att beskriva hur strömmingens och vassbukens tillväxt beror av fisktäthet och miljöfaktorer. Modellerna användes för att förutsäga hur fisket påverkar fiskstammarnas tillstånd samt dioxinets anrikning i strömming och vassbuk. Med hjälp av den utvecklade modellen påvisades det att fiskedödigheten potentiellt kunde påverka vassbukens tillväxt samt anrikningen av dioxin i vassbuk. I strömmingens fall påverkas sannolikt tillväxten och dioxinanrikningen av fisktätheten samt förändringarna i Östersjöns salthalt.</p>			
Nyckelord	Finska viken, fiske, fiskerihushållning, miljöförändringar, GAM, strömming, vassbuk, PCDD/F, dioxin, furan			
Finansiär/ uppdragsgivare	Sydöstra Finlands arbetskrafts- och näringscentral (EU)			
	ISBN (hft.)	ISBN 952-11-2471-7 (PDF)	ISSN (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	Sidantal 40	Språk finska	Offentlighet offentlig	Pris (inneh. moms 8 %)
Beställningar/ distribution				
Förläggare	Finlands miljöcentral, PB 140, 00251 Helsingfors, Finland			
Tryckeri/tryckningsort och -år				

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Finnish Environment Institute (SYKE)			<i>Date</i> November 2006
<i>Author(s)</i>	Heikki Peltonen, Mikko Kiljunen, Mika Vinni, Jari-Pekka Pääkkönen, Jukka Pönni, Mika Rahikainen and Antti Lappalainen			
<i>Title of publication</i>	Suomenlahden tilan muutokset – vaikutukset avomerialueen kalakantoihin ja kalastukseen (Environmental changes in the Gulf of Finland – influences on open sea area fish stocks and fisheries)			
<i>Publication series and number</i>	The Finnish Environment 50/2006			
<i>Theme of publication</i>	Natur resources			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>				
<i>Abstract</i>	<p>The Employment and Economic Developing Centre for Southeastern Finland financed during 2002-2005 through EU-funding tools a project " Environmental changes in the Gulf of Finland – influences on fish stocks and fisheries". The project was carried out by researchers in the Finnish Environment Institute (SYKE) together with scientists from Finnish Game and Fisheries Research Institute, Finnish Marine Research Institute, University of Helsinki and University of Jyväskylä.</p> <p>The final report of the project summarizes the research work conducted to evaluate the influences of environmental changes on spatial distribution of fish in the Gulf of Finland area, on fish condition and feeding. An analysis of environmental and hydroacoustic fish stock assessment data with general additive models (GAM) revealed that geographic, hydrographic and food resource variables explained the spatial distribution of clupeid fish especially at larger than 1 km distances. In smaller scales the variability in fish abundance may have partly arisen from fish behavior like shoaling, not linked to environmental variability. Substantial changes in fisheries and fish stocks occurred during the duration of this study. In 2003 herring and sprat nutrition and condition deteriorated, and a substantial proportion were starving. As at the same time restrictions for fishing gear came into force, the herring and sprat fisheries in the Gulf of Finland experienced an unforeseen collapse.</p> <p>The project also explored if it would be possible to manage bioaccumulation of dioxins and furans in clupeid fishes by changing exploitation rates. In the project, models were developed in order to explore possible changes in herring and sprat growth assuming that exploitation rate would change. The model was applied to forecast influences of fishing on fish stock dynamics and on bioaccumulation of dioxins and furans in herring and sprat. The modeling results indicated that sprat growth is strongly dependent on exploitation rates. Thus, fisheries could act as a management tool to control concentrations of persistent organic pollutants in sprat. However, herring growth and dioxin accumulation is obviously also strongly linked with other environmental factors, especially with salinity of the Baltic Sea.</p>			
<i>Keywords</i>	Gulf of Finland, fishery, environmental change, modeling, GAM, herring, sprat, PCDD/F, dioxins, furans			
<i>Financier/ commissioner</i>	Environmental changes in the Gulf of Finland – influences on fish stocks and fisheries			
	ISBN (pbk.)	ISBN 952-11-2471-7 (PDF)	ISSN (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	<i>No. of pages</i> 40	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> Public	<i>Price (incl. tax 8 %)</i>
<i>For sale at/ distributor</i>				
<i>Financier of publication</i>	Finnish Environment Institute, P.O.Box 140, FIN-00251 Helsinki, Finland			
<i>Printing place and year</i>				

Rehevöityminen ja ympäristömyrkkyjen kertyminen eliöstöön vaikuttavat merkittäväällä tavalla Itämeren kalakantoihin ja kalastukseen. Tämä tutkimusraportti käsittelee Suomenlahden avomerialueen kalastossa ja kalojen ravinnonkäytössä 2000-luvulla tapahtuneita muutoksia, ja etsii syitä näihin muutoksiin. Tuona ajanjaksona Suomenlahden silakka- ja kilohailisaaliit romahtivat ennennäkemättömällä tavalla, ja romahduksen arvioidaan suureksi osaksi johtuvan ympäristömuutoksista ja lajien välisestä vuorovaikutuksista. Nopeat muutokset kalakantojen tilassa ja alueellisissa runsaudenvaihteluissa asettavat uusia haasteita kalakantojen arvioinnille ja kalastuksen säätelylle. Kalojen tarkastelu vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa on erityisen tärkeää Itämerellä, missä merikalalajit elävät levinneisyytensä ääri rajoilla. Kalakantojen tila ja kalastus vaikuttavat myös ympäristömyrkkyjen kerääntymiseen kaloihin. Tässä raportissa arvioidaan myös, voisiko olla mahdollista kalastuksella aikaansaada sellaisia muutoksia silakka- ja kilohailikannoissa, jotka johtaisivat kalojen nopeampaan kasvuun ja pienempiin organokloorien (dioksiinien) pitoisuuksiin.



EUROOPAN UNIONI

ISBN 952-11-2471-7 (PDF)

ISSN 1796-1637 (verkkokj.)