

Kilpisjärven biologinen asema
Kilpisjärvi Biological Station

KILPISJÄRVI NOTES 26

Helsingin yliopisto
University of Helsinki

Havaintoja pohjoisen luonnon
luonnollisesta vaihtelusta
*Observations of natural variation
in northern nature*



2017

KILPISJÄRVI NOTES

26

Julkaisija *Publisher*

Kilpisjärven biologinen asema
Kilpisjärvi Biological Station

Toimittajat *Editors*

Antero Järvinen
Tuomas Heikkilä

Toimituksen osoite

Editorial office

antero.jarvinen@helsinki.fi
Käsivarrentie 14622
FIN-99490 Kilpisjärvi

Paino *Print*

Erweko Oy
2017

Kilpisjärvi Notes on epäsäännöllisin väliajoin ilmestyvä Kilpisjärven biologisen aseman julkaisu. Lehdessä on tieteellisiä tai yleistajuisia artikkeleita sekä eläin- ja kasvitiedonantoja. Käsiteltävä alue on Luoteis-Lappi.

Kilpisjärvi Notes is published at irregular intervals by Kilpisjärvi Biological Station. It contains scientific reports, faunistic and floristic notes etc. The area covered is northwestern Finnish Lapland.

Kilpisjärvi Notes

ISBN 978-951-51-3523-0 (nid.)
ISBN 978-951-51-3524-7 (PDF)
ISSN 0358-3279

Kansi *Cover*

Rautu *Arctic charr*
(Kuva/photo: Antero Järvinen)

Havainnot pohjoisen luonnon luonnollisesta vaihtelusta

Observations of natural variation in northern nature

Muinaisaika.....	2
Lähiaika	4
Arktisesta jäädä.....	8
Vaihtelun suuruudesta.....	11
Monimutkaisia syy-seuraussuhteita	15
Lopuksi.....	19
Kiitokset	21
Tiivistelmä.....	21
Summary.....	22
Kirjallisuus	23

Kirjoittaja

Antero Järvinen, Kilpisjärven biologinen asema, 99490 Kilpisjärvi; antero.jarvinen@helsinki.fi

Professori Antero Järvinen on HY:n Kilpisjärven biologisen aseman johtaja. Hän on tutkinut Enontekiön suurtuntureiden luontoa vuodesta 1973 lähtien. Hän oli aseman perustajan prof. Olavi Kalelan viimeinen oppilas. Kalela tutki mm. 1920 - 1940-lukujen lämpöjaksoa. Järvisen väitöskirja (1984) käsitteli pohjoisen ankaran sään ja ilmaston vaikutuksia varpuslintujen populaatiodynamiikkaan. Tämän kirjoituksen viimeiset täydennykset ovat toukokuulta 2017.

Havainnot pohjoisen luonnon luonnollisesta vaihtelusta

Antero Järvinen

Pohjoinen, “arktinen”, luonto vaihtelee ja muuttuu ajan saatossa. Staattisuus olisi luonnon tila. Missä vaiheessa muutos on niin suurta ja/tai nopeaa, että siitä tulisi huolestua ja ihmisen olisi syytä miettiä, voiko asiaan vaikuttaa? Selvää rajaa ei ole, mutta hyvän lähtökohdan antaa muutoksen vertaaminen luonnollisen vaihtelun voimakkuuteen, vaihteluväliin.

Tämä kirjoitus on lyhyt katsaus pohjoisen luonnon luonnollista vaihtelua käsittelevistä tutkimustuloksista. Viimeaikaisesta ilmastonmuutoksesta on kirjoitettu paljon (pohjoisten alueiden osalta, ks. ACIA 2005; AMAP 2012). Tasapainoisen kuvan koko aihepiiristä saa internetistä vapaasti ladattavasta e-sähkökirjasta (Longhurst 2015). Kirjoitukseni painopiste on kuitenkin varhaisemmissa aikakausissa. Lähihistoriamme lämpötilan kehitys 64. leveyspiirin pohjoispuolella on ollut pääpiirteissään seuraavanlainen: kylmä jakso 1880-1920, lämmin jakso 1921 - 50, kylmä jakso 1951 - 80 ja lämmin jakso 1981 - 2005 (mm. Chylek ym. 2006; Akasofu 2010; Easterbrook 2011; Durantou ym. 2012). Vuoden 2005 jälkeen lämpötila on pysynyt jokseenkin muuttumattomana (<http://www.climate4you.com/>).

Korostan pitkäaikaisten tutkimusten tärkeyttä ympäristömuutosten ja luonnollisten vaihteluvälien selvittämisessä. Yleiskuvan saamista kauan sitten tapahtuneista luonnon-ilmioista hankaloittaa datan puutteen lisäksi se, että lähdeviitteitä etsitään nykyisin pääasiassa internetistä kirjastojen sijasta. Internetistä löytyvät kuitenkin usein vain 1980-luvulla ja sen jälkeen julkaistut englanninkieliset tutkimukset. Siksi olen penkonut myös vanhaa ja arvokasta tutkimustietoa, joka uhkaa unohtua. Vaihtelua kuvaavina esimerkkei-

nä olen käyttänyt etenkin Kilpisjärvellä, maamme “arktisimmalla” alueella, tehtyjen pitkäaikaistutkimusten tuloksia.

Eliökantojen suuruuksiin vaikuttavat monet tekijät. Muuttolintujen kohdalla syyseuraussuhteiden selville saaminen on erityisen vaikeaa, koska myös muuttomatkan ja talvehtimisalueiden olosuhteiden vaihtelu ja mahdolliset muutokset on otettava huomioon. Kilpisjärven biologisen aseman 50-vuotinen kololintutkimus on Pohjois-Euroopan pitkäaikaisin (1966 - 2015; Järvinen 1999; julkaisematon aineisto). Kuvaavaa on, että Länsi-Afrikassa talvehtivan kirjosisiepon Kilpisjärvellä pesivien parien määrä perättäisinä vuosina on poikennut tutkimusjakson aikana tilastollisesti merkitsevästi ($P < 0,05$) 12 kertaa (24 % parivertailuista). Perättäisten vuosien välinen kannanromahdus tai -nousu on ollut usein yli 50%. Intian niemimaalla talvehtivan Lapin satakielen sinirinnan pesimäkanta vaihtelee sekin paljon vuosien välillä. Lajin kanta on meillä supistunut suboptimaalisella eteläreunalla Metsä-Lapissa ja keskittyy nykyisin Tunturi-Lappiin ja optimibiotooppiin tunturikoivikkoon (Valkama ym. 2011; Järvinen 1994a). Vuodesta 1967 vuoteen 2014 sinirinnan saapumisaika Lappiin ei ole kuitenkaan muuttunut (Rauhala ym. 2015).

Joinakin vuosina lisääntyminen voi epäonnistua huonon sään vuoksi laajalla alueella, mikä heijastuu tuleviin kantoihin (Hildén ym. 1982). Eliökannat voivat siis vaihdella nopeasti ja dramaattisesti. Kun olosuhteet ovat yhden tai useamman tekijän vaikutuksesta epäsuotuisat, luonnon monimuotoisuus, Pentti Linkolan “elämänilon summa”, laskee ja päinvastoin. Tarvitaan hyvin pitkä havaintojakso, jotta todellinen muutos (signaali), jos sellai-

nen on tapahtunut, saadaan erotetuksi luonnon normaalista vaihtelusta, kohinasta. Pitkäaikaistutkimus on lisäksi suhteellinen käsite, koska sukupolven pituus vaikuttaa siihen. Varpuslintujen odotettavissa oleva elinikä on usein noin 1,5 vuotta, jolloin jo kymmenen vuoden tutkimusta voidaan pitää pitkäaikaistutkimuksena. Jotta ei tutkittaisi pelkästään samojen yksilöiden dynamiikkaa, pitkäikäisten lajien kuten lokiien kohdalla vastaava luku on 25-250 vuotta (Calder 1984).

Pohjoisen luonnon luonnollisen dynamiikan ja syklien tutkiminen on jäänyt liian vähälle huomiolle (Akasofu 2010). Pitkäaikaisten ilmastovaihtelujen vaikutukset myös voimistuvat pohjoista kohti, mikä korostaa avainvuosien, poikkeuksellisen kylmien tai muuten epäsuotuisien vuosien, merkitystä (Sirén 1961). Pitkiin luonnonsykleihin verrattuna monet, jopa harvinaiset kymmenen vuoden pituiset tutkimukset, ovat lyhytkestoisia ja tuloksiltaan vaikeasti yleistettäviä. Jos tutkimus aloitetaan syklin pohjassa tai nousuvaiheessa ja lopetetaan syklin huipulla, luonnonilmiöstä saadaan aivan virheellinen käsitys. Kun tutkitaan pohjoisen luonnon vaihteluja ja muutoksia, havaintojakson pituuden on oltava vähintään syklin pituinen. Pitkien syklien kohdalla tämä tarkoittaa sitä, että havaintojen on siirryttävä ihmiskupolvelta toiselle. Koska kymmenien vuosien aineiston keruu palkitsee heikosti mm. julkaisujen muodossa, keruutyö sopii parhaiten yhteiskunnan ylläpitämien instituutioiden kuten tutkimusasemien ja museoiden tehtäväksi (Järvinen 1992).

Muinaisaika

Grönlanti on ollut jokseenkin nykyisellä maantieteellisellä paikallaan noin 5 miljoonaa vuotta (Born & Böcher 2001). Esimerkiksi noin 2,3 miljoonaa vuotta sitten se oli metsien peitossa eikä jäätä juuri ollut. Edellisen Eem-interglasiaalin aikana (noin 131000 - 114000 vuotta sitten) Grönlannin ilmasto oli nykyistä interglasiaalia 4-8 astetta lämpimämpi ja jäätikkö oli nykyistä paljon pienempi. Saaresa oli eliöitä, mm. kovakuoriaisia, joita siellä ei ole myöhemmin havaittu (Born & Böcher 2001;

Dahl-Jensen ym. 2013). Lämpimän Bölling-interstadiaalisen aikana noin 14700 - 14000 vuotta sitten lämpötilat nousivat koko pohjoisella pallonpuoliskolla muutamassa vuosikymmenessä viitisen astetta (Ivanovic ym. 2017), jää vetäytyi nopeasti ja ikeirouta sulii. Eläimistöä kuoli sukupuuttoon ja ihminen levittäytyi pohjoiseen. Myöhemminkin lämpötila on joskus noussut nopeasti, esimerkiksi Kanadan arktisella alueella 0,8 astetta/vuosikymmenen 1195 - 1220 jKr. (Moore ym. 2001) ja Länsi-Skandinaviassa yli neljä astetta 75 vuodessa (1800-1875; Zawiska ym. 2017).

Viimeisen jääkauden päätyttyä lämpötila kohosi preboreaalikaudella (noin 9000 - 10000 vuotta sitten) hyvin nopeasti, esimerkiksi Grönlannissa 5-7 astetta muutamassa vuosikymmenessä (Przybylak 2003). Nykyisen holoseeni-interglasiaalin lämpöhuipun aikana esimerkiksi Grönlannin jäätikköiden reunat olivat 10-20 km nykyistä kauempana sisämaassa kuin noin 5000 vuotta sitten. Tällöin myös paleoeskimot asuttivat maan (Born & Böcher 2001). Rosenthalin ym. (2013) mukaan pohjoisella Tyynellämerellä vesi oli samaan aikaan noin kaksi astetta lämpimämpää kuin viimeisen sadan vuoden aikana ja noin 0,7 astetta lämpimämpää kuin viimeisten vuosikymmenien aikana. Koko holoseenikaudella merten luontaiset lämpenemiset ja kylmenemiset ovat olleet suuria ja nopeita (Rosenthal ym. 2013).

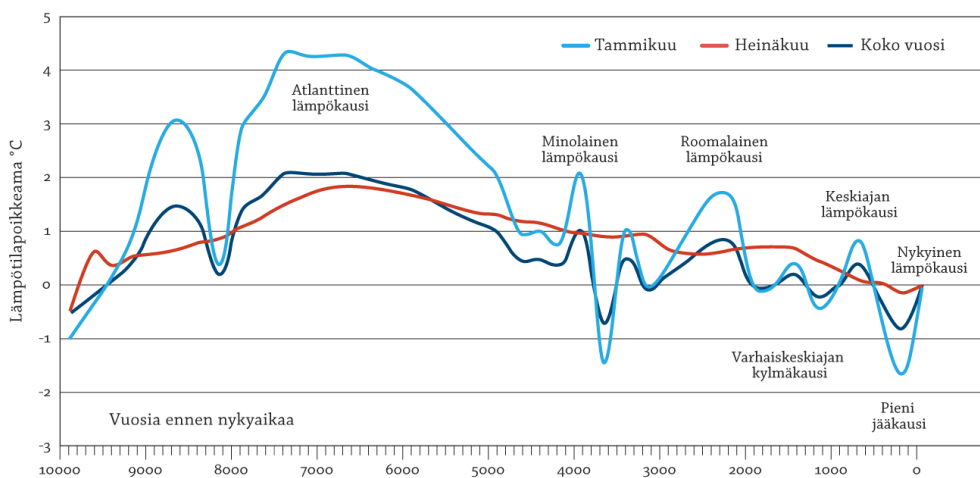
Grönlannin keskiosan kilometrien paksuinen "jäähuippu" (engl. *Summit*, 3200 m mpy) on kaikesta vaihtelusta huolimatta pysynyt muuttumattomana viimeiset 150000 vuotta (Born & Böcher 2001). Jääkausien aikanakin lämpötila on vaihdellut paljon, jopa 5-6 astetta parissa sadassa vuodessa. Vaivaiskoivu ja kataja levisivät Grönlantiin 6500 vuotta sitten. Leppä saapui vasta lämpöhuipun aikana (4500 vuotta sitten) ja on sen jälkeen koko ajan taantunut nykypäivään asti. Eurooppalaiset – viikingit – asuttivat Grönlannin, vihreänmaan, eteläosat 900-luvulla jKr., aikana, jolloin siellä voitiin viljellä viljaa ja haudata vainajat roudattomaan maahan (Behringer 2010; Anderson ym. 2007). Samaan aikaan, 600-1000 jKr., Alaskassa kasvoi järeitä metsiä (runkojen halkaisija jopa 1,6 metriä) alueilla,

jotka ovat nyt jäätiköiden peitossa (<http://www.livescience.com/39819-ancient-forest-thaws.html>). “Vihreämaa” sai nimensä keskiajan lämpökaudella. Keskiajan lämpökauden maailmanlaajuudesta saa käsityksen internetiin kerätyistä julkaisuista ja tutkimuspaikoista (https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=zvwwgQ0tAjx_k.keO5eR4ueHXE; ks. esimerkiksi Jiang ym. 2015; Mark 2016). Pikkujääkausi (noin 1450 - 1850 jKr.) katkaisi suotuisan kehityksen ja tuhosi Grönlannin viikinkikulttuurin. Kun Koillis-Grönlannin jäätiköt laajenivat 1700-luvun lopulla ja 1800-luvun alussa, inuiitit hylkäsivät alueen väliaikaisesti (Ahlmann 1948).

Viimeisen jääkauden aikana Suomessa ja koko Fennoskandiassa ei ollut elämää. Esimerkiksi jääleinikin ja nierian eli raudun pohjoisrajat olivat siirtyneet etelämmäksi suojaan jäältä ja kylmyydeltä. Jääleinikki värjötteli Alppien itäreunalla (Schönswetter ym. 2003) ja rautu Pohjanmerellä (Brunner ym. 2001). Pohjoinen luonto elpyi nopeasti jääkauden päättymisen jälkeen, kun ilmasto oli pitkään hyvin suotuisa ja nykyistä lämpimämpi (kuva 1). Holoseenin

lämpömaksimin aikana noin 7500 - 5000 vuotta sitten, jolloin arktinen merivesi oli jopa kuusi astetta nykyistä lämpimämpää (Beierlein ym. 2015) ja esim. Kilpisjärven pinta jopa 95 m nykyistä korkeammalla (Kujansuu 1967), mm. rautu, jääleinikki ja ihminen (Viljanmaa 2014) valloittivat uudelleen Kölivuoriston. Esimerkiksi Saanan rinteillä, Toskaljärvellä ja Norjan Hardangerviddalla humisivat mahtavat hongat 6000 vuotta sitten. Ne hävisivät tyystin ja korvautuivat kituliailla tunturikoivuilla minolaista lämpökautta (kuva 1) seuranneella kylmällä kaudella. Sen koommin männyt eivät ole pystyneet palaamaan (Eronen & Hyvärinen 1980; Seppä ym. 2002; Indreliid 2014).

Männyn vuosikasvun perusteella Pohjois-Euroopan ilmasto on lämmennyt ja viilentynyt viimeisen 1200 vuoden aikana parikymmentä kertaa, jolloin lämpötila on noussut tai laskenut 30 - 50 vuoden ajan (McCarroll ym. 2013; ks. myös Mudie ym. 2005). Yksittäisten kesien keskilämpötila vaihteli peräti 6,4 astetta. Muutos oli joskus hyvin nopea: vuosien 1450 ja 1453 välillä keskilämpötila putosi 4,3 astetta (McCarroll ym. 2013). Viimeisen 25000 vuoden



Kuva 1. Kilpisjärven lähialueen (Tromssan lääni) lämpötilan kehitys jääkauden päättymisestä noin 10000 vuotta sitten nykyaikaan (Lilleørenin ym. 2012 mukaan Järvinen ym. 2014 a). Kuvasta näkyy erityisesti ilmaston pitkäaikainen viileneminen ja useat nykyistä lämpimämmät kaudet. Atlanttinen lämpökausi = holoseenijän lämpömaksimi. Samankaltaisia tutkimustuloksia on kymmenittäin eri puolilta maailmaa (mm. Lamb 1995; Behringer 2010; Ljungqvist 2010; Brooke 2014). Hannibal, karthagolainen sotapäällikkö, ylitti sotanorsuillaan lähes jäättömät Alpit (Schlüchter & Jörin 2004) ja valloitti Rooman toisessa puunilaissodassa 217 eKr.

Figure 1. Long-term temperature in the Tromsø municipality, northern Norway, during the past 10000 years (Lilleøren et al. 2012). January = blue line, July = red line and annual temperature = black line.

aikana pohjoisen ilmaston lämpeneminen on ollut useita kertoja nykyistä huomattavasti voimakkaampaa ja nopeampaa (Steffensen ym. 2008; Easterbrook 2011; McCarroll ym. 2013).

Lähes koko 10000-vuotisen postglasiaalikauden, jonka aikana esimerkiksi rautu, maailman pohjoisin sisävesikala, kehittyi ja monimuotoistui (Brunner ym. 2001; Wilson ym. 2004; Shikano ym. 2015), ilmasto oli nykyistä lämpimämpi (Andersen & Borns 1994; Alley 2000; Linderholm & Gunnarson 2005; McKay ym. 2008; Humlum ym. 2011; Kobashi ym. 2011). Islannin järvien lämpötilahuippu saavutettiin 8000 vuotta sitten, minkä jälkeen lämpötila on merkittävästi laskenut (Geirsdóttir ym. 2013). Jäämeren pintalämpötila on ollut usein nykyistä lämpimämpi (Durantou ym. 2012; Lohmann & Schöne 2013; Rosenthal ym. 2017; esimerkiksi 1885 - 1935 noin 3 astetta lämpimämpi, Durantou ym. 2012). Fennoskandian tunturialueella kesä- ja talvilämpötilat ovat laskeneet vähitellen 7000-6000 vuoden ajan (Seppä & Birks 2002; Lilleøren ym. 2012; ks. kuva 1). Rautu ja monet muut pohjoiset ja/tai alpiiniset lajit ovat siis kokeneet jääkausien aikana hyvin moninaisia ja vaihtelevia ympäristöoloja ja ovat niistä joustavuudellaan selvinneet. Myös kilpikidusjalkainen, arktisten vesien jokseenkin muuttumattomana säilynyt ”elävä fossiili”, viihtyy yhä Suomessakin (Järvinen ym. 2014b).

Metsänraja on ollut suurimman osan aikaa nykyistä pohjoisempaa (MacDonald ym. 2000; Shiyatov & Mazepa 2011). Siperiassa aikaisemmat lämpimät jaksot olivat ilmeisesti 3-7 astetta nykyistä lämpimämpiä, mutta epävarmuutta tuo se, että monet muutkin ilmastotekijät, kuten lumen syvyys, vaikuttavat metsänrajoihin (MacDonald ym. 2000; Sidorova ym. 2013). Kõlivuoriston jäätiköt hävisivät kokonaan (Bakke ym. 2005, 2013; Wittmeier ym. 2015; Åkesson ym. 2017; ks. myös Nesje ym. 2011) ja Alppien lähes kokonaan (Hormes ym. 2001; Schlüchter & Jörin 2004; Behringer 2010) 5500 vuotta kestäneen holoseenijaksan lämpömaksimin aikana (Itämeren Litorinamerivaihe), kunnes ne alkoivat taas kasvaa roomalaisen lämpökauden jälkeen. Kõlivuoriston jäätiköiden alta on paljastunut

merkkejä noin 2000 vuotta vanhasta asutuksesta (Vedeler & Jørgensen 2013).

Palsasuot syntyivät vasta 5000 - 2000 vuotta sitten, kun ilmasto oli viilentynyt riittävästi (Salonen ym. 2006; Mäkilä ym. 2013). Kesäajan lämpökaudella saamelaiset kesyttivät poron tunturipeurasta Nordland - Tromssan seudulla (Linkola 1985; Venäjällä poro kesytettiin ilmeisesti jo roomalaisella lämpökaudella; Røed ym. 2008). Viimeinen tuhat vuotta on ollut kylmin tuhatvuotisjakso jääkauden jälkeen (kuva 1). Syynä lämpötilan yleiseen laskuun pidetään Maan pinnalle tulevan auringonsäteilymäärän laskua (Opel ym. 2013). Geologisessa mielessä maapallolla vallitsee yhä jääkausi, koska jäätiköitä on molemmilla navoilla (Behringer 2010; Dausmann ym. 2015).

Lähiaika

”Arktisen muutoksen, erityisesti yleisen lämpenemisen, puolesta puhuvat useat viimeaikaiset hälyttävät havainnot: 1) jäätiköiden vetäytyminen, 2) pintalämpötilan nousu, 3) Atlantin pintaveden lämpötilanousu, 4) merijään määrän vähentyminen, 5) ajojään määrän kasvu, 6) syklonien reittien muutokset, 7) biologiset muutokset kuten turskan ja makrillin leviäminen pohjoiseen ja 8) laivaliikenteen helpottuminen.”

Edellä oleva sitaatti on vuodelta 1938. Merijääntutkija Nikolai Nikolaevich Zubov (kuva 2) esitteli nämä havainnot yksityiskohteisesti venäjäksi ilmestyneessä klassikko-teoksessaan ”Arktinen jää”. Yhdysvaltain laivasto piti tätä paksua opusta niin merkittävänä, että käänsi sen englanniksi vuonna 1963 nimellä *Arctic Ice* (ks. myös Ifft 1922; Lysgaard 1949; Zakharov 1997). Zubovin (1938) havainnot lajien leviämisestä pohjoiseen vahvasti kalojen osalta Ahlmann (1948) ja Aurich (1950, 1953), lintujen ja nisäkkäiden osalta Kalela (1940, 1947, 1948, 1949, 1952). Esimerkiksi Länsi-Grönlannissa turskasaalis kasvoi viidestä tonnista vuonna 1913 13000 tonniin vuonna 1946. Myös kolja-, silli- ja ruijanpallassaaliit paranivat (Ahlmann 1948). Vuosiin 1899 - 1908 verrattuna kasvukausi piteni Suomessa 2 - 3 viikkoa vuosina 1929 - 1938 (Keränen 1952). Sama tapahtui myös Tanskassa, Ruotsissa ja



Kuva 2. Venäläinen merijätutkija Nikolai Nikolaevich Zubov (1885 - 1960). Hän tutki 1900-luvun alkupuolen lämpöjaksoa.

Figure 2. Russian sea ice researcher Nikolai Nikolaevich Zubov (1885 - 1960). He studied the warm period of the early 20th century.

Islannissa, missä pohjoiset lintu- ja hyönteislajit korvautuivat vähitellen eteläisillä lajeilla (Ahlmann 1948). Tilanne oli siis nykyisenkaltainen (Møller ym. 2010): lajit levisivät kohti pohjoista ja niiden lisääntymiskaudet aikaistuiivat. Poikkeuksiakin toki on. Esimerkiksi Skotlannin dyynikasvillisuus ei ole reagoinut viimeaikaiseen ilmaston lämpenemiseen (Pakeman ym. 2015).

Edellä mainitut tiedemiehet, joiden tutkimuksia ei juuri tunneta, tutkivat tarkoin noin vuosien 1920 - 1940 ajoittunutta edellistä lämpöjaksoa ja sen vaikutuksia elottomaan ja elolliseen luontoon. Olavi Kalela (1908 - 1974), Kilpisjärven biologisen aseman perustaja ja aikansa johtavia eurooppalaisia eläinekologeja (Stenseth 1985), julkaisi lämpenemisvaiheesta useita tieteellisiä tutkimuksia saksaksi ja suomeksi ja kaksi myös englanniksi. Vuonna 1949 Yhdysvalloissa ilmestyneellä tutkimuksella on hyvin moderni nimi: *Changes in geographic ranges in the avifauna of northern and central Europe in relation to recent changes in climate*, vapaasti suomennettuna "Pohjois- ja Keski-Euroopan lintufaunan levinneisyysalueiden muutoksia suhteessa viimeaikaiseen ilmastomuutokseen". Hyvä esimerkki siitä on mustarastaan leviäminen Suomeen (kuva 3; Kalela 1949).

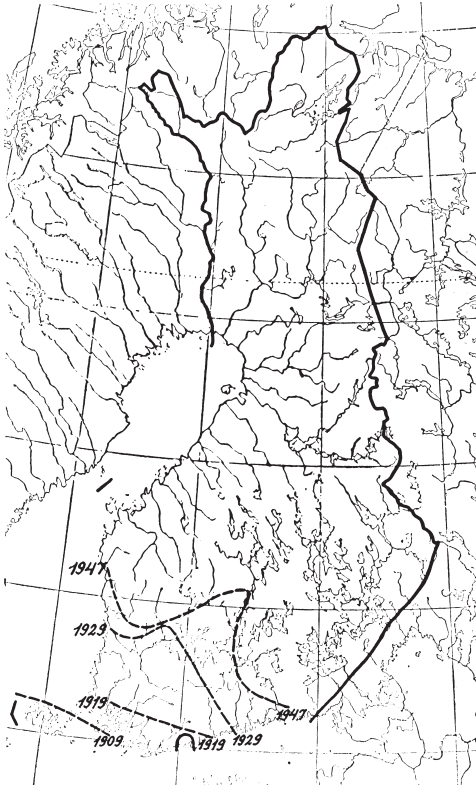
Lamb (1995) havainnollisti, että hyvät sillisaaliit osuvat yhteen Islannin vesillä havaittujen merijääminimien kanssa. Atlantin vuosikymmeniä kestävä luonnollisen pintalämpötilasyklin (*Atlantic Multidecadal Oscillation*, AMO; kuva 4) ja Barentsin meren

lämpötilan välillä on voimakas korrelaatio (Levitus ym. 2009). Klyashtorin & Lyubushin (2007) korostavat arktisen alueen lämpimän ja kylmän jakson 60 - 80-vuotista sykliä ja sen merkitystä kalakannoille (lämpiminä jaksoina kalaa saadaan runsaasti). Lämpötila oli huipussaan 1930-luvulla ja 1940-luvun alussa luultavasti luonnollisen termohaliini kierron seurauksena (ks. myös Zakharov 1997; Polyakov ym. 2003; Frolov ym. 2009). Myös männyn vuosilustoista löytyy sama 60 - 80 vuoden sykli (McCarroll ym. 2014; Ogurtsov ym. 2015).

Tuohon aikaan puhuttiin luonnollisesta, ei ihmisen aiheuttamasta ilmastomuutoksesta, joka alkoi 1800-luvun lopulla, ja pohdittiin ilmiön syitä. Kannatusta sai mm. ilmakehän kierron voimistuminen, minkä vuoksi maapallon eri osien lämpötilat olisivat tasoittuneet. Tämä olisi johtanut pohjoisten alueiden lämpenemiseen (Scherhag 1931; Kincer 1933; Wagner 1940; Ahlmann 1948). Nykykäsityksen mukaan ilmakehän kierron voimistuminen liittyi ainakin osaksi Pohjois-Atlantin oskillaatioon (ns. NAO-ilmiöön), sillä arktinen alue on erityisen herkkä ilmakehän kierron muutoksille (Przybylak 2000, 2003).

Lyhyen ajan sisällä varsinkin Arktiksen, kuten Grönlannin, talvilämpötila voi vaihdella suuressi merivirtojen ja säätilojen vaihtelujen vuoksi. Esimerkiksi talvi 1983 - 84 oli Grönlannissa huippukylmä (-15,2 astetta), mutta vain kaksi vuotta myöhemmin hyvin lämmin (1985 - 86, -2,3 astetta; ero lähes 13 astetta; Born & Böcher 2001), mikä vaikeuttaa ilmaston pitkäaikaista ennustamista. 1951 - 90 keskilämpötilan vuosivaihtelu arktisella alueella oli 6 - 8 astetta (Przybylak 2003). Myös Grönlannin merijään vuosivaihtelu on suurta ja siellä meriveden lämpötilan huippu osui 1930-luvulle. Pitkällä aikavälillä, vuodesta 1880, Grönlanti, Arktiksen kylmin alue (Przybylak 2003), ei ole lämmennyt (e.g. Chylek ym. 2006; Kobashi ym. 2009).

Digitoitujen ilmakuvien antamien tietojen perusteella Kilpisjärven alueen luontotyyppien, kuten tunturikoivikon ja tunturipaljakan, pinta-alassa ei ole tapahtunut muutoksia vuosien 1960 ja 2004 välisenä aikana (Järvinen & Heikkilä 2014). Satelliittikuviin perustuva kasvifenologia antaa saman tuloksen:



Kuva 3. Mustarastaan leviäminen Suomeen 1909 - 1947 (Kalela 1949).

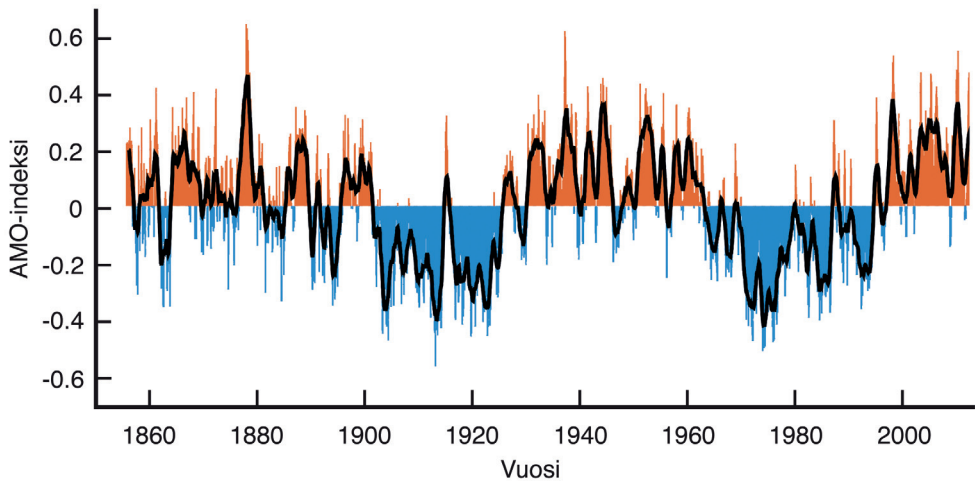
Figure 3. Expansion of the range of the Blackbird (*Turdus merula*) in Finland in 1909-1947 (Kalela 1949).

kasvukauden alkaminen ei ole varhaistunut Fennoskandiassa 67. leveyspiirin pohjoispuolella vuosina 1982 - 2006 (Karlsen ym. 2009). Kilpisjärven tunturikoivun lehtimistä eli hiirenkorvalle tuloa koskeva aikasarja on Pohjois-Fennoskandian pisin. Lehtien puhkeaminen on vaihdellut suuresti vuodesta toiseen (vaihteluväli 32 päivää), mutta keskiarvo on pysynyt jokseenkin samana (Heikkilä & Järvinen 2011; kuva 8). Lapissa männyn silmujen puhkeamisaika vaihtelee kolme viikkoa (Salminen & Jalkanen 2015). Puhkeamisaika on aikaistunut 1960-luvun jälkeen, mutta vastaa nyt 1920- ja 1950-lukujen tilannetta (Salminen & Jalkanen 2015). Käsivarren lintujen pesimäajoissa ei ole tapahtunut oleellisia muutoksia kuten ei lähialueillakaan Ruotsissa ja Norjassa (Barrett 2002; Thingstad ym. 2006; Nyholm 2011;

A. Järvinen, julkaisematon). Tulokset ovat ymmärrettäviä, koska kasvukauden pituus ja sen aikaiset lämpötilat eivät ole muuttuneet (Järvinen ym. 2014b).

Monilla arktisilla alueilla, kuten Grönlannissa, lämpötila vaihtelee syklistesti: 1920- ja 1930-luvut ja osittain 1940-luku olivat nykyistä lämpimämpiä (Klyashtorin & Lyubushin 2007; Frolov ym. 2009; Weißbach ym. 2015), ja sen jälkeen lämpötilat laskivat 1970-luvulle asti (Chylek ym. 2006; Durantou ym. 2012; NASA GISS kotisivu, <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>). Arktiksen lämpötilat nousivat parissa vuosikymmenessä 2 - 5 astetta (paikallisesti talvilämpötila nousi jopa 9 astetta; Przybylak 2003; Bengtsson ym. 2004), ja 1930-luvulla jäävuoria lohkesi Grönlannin jäätiköistä yhtä paljon kuin nykyisin (Andresen ym. 2012). Arktisessa Kanadassa merijään peittävyysaika oli noin kuukautta nykyistä lyhyempi 1887 - 1945 (Durantou ym. 2012). Pohjois-Atlantilla ja pohjoisella Tynellämerellä esiintyy 60-vuotinen merenkorkeussykli, mikä luultavasti vaikuttaa rantaeliöstöön (huiput noin vuosina 1945 ja 2005; Chambers ym. 2012). Suuri vaihtelu, jonka veturina ovat luontaiset syyt, on ominaista Arktikselle kaikilla aikajänteillä (White ym. 2010; Lüdecke ym. 2011; Durantou ym. 2012; Wang ym. 2012).

Holoseeniajan arktisten jääkairausnäytteiden mukaan suurin osa pitkäaikaisesta (satavuotisjaksot) lämpötilan vaihtelusta näyttää olleen luontaista (Lloyd 2015). Sadan vuoden jaksojen keskimääräinen lämpötilan keskiahajonta on ollut 1 °C. Viimeisen sadan vuoden aikana (1906 - 2005) lämpötila on noussut noin 0,7 astetta. Lämpenemissignaalin (0,7 °C) erotaminen suuresta luontaisesta taustakohinanasta ja mahdollisen eron merkityksen tulkitseminen on vaikeaa (Lloyd 2015). Lämpötilahavainnot ovat usein myös autokorreloituneita, jolloin riippumattomien havaintojen lukumäärä saattaa olla kerta- luokkaa pienempi kuin havaintojakson pituus. Reidin (2016) mukaan globaalien keskilämpötilan pieni nousu 166 vuoden aikana (noin 0,5 astetta/sataa vuotta kohti) on esimerkki satunnaisprosessista eikä trendistä.



Kuva 4. Atlantin vuosikymmeniä kestävä luonnollisen pintalämpötilasyklin (*Atlantic Multidecadal Oscillation*, AMO) indeksin kuukausiarvot vuosina 1856 - 2013. Kun indeksi on positiivinen (punainen), vallitsee lämmin ilmastojakso, kun negatiivinen (sininen), kylmä jakso. AMO on ihmisen antama nimilappu tälle ilmakehän mittarille. AMO ja muut ilmaston luonnolliset vaihtelut ovat osa ilmakehää ja sitä mitä lämpötila tekee. Esimerkiksi AMO ei ole syklin aiheuttaja, vaan sen seuraus, havainto. Ilmastomalleissa AMO:n kaltaisia luonnollisia vaihteluita ei ole otettu riittävästi huomioon. Lähde: https://en.wikipedia.org/wiki/Atlantic_multidecadal_oscillation.

Fig 4. Natural Atlantic Multidecadal Oscillation, AMO. AMO index values in 1856 – 2013. Positive indices (red) indicate warm climate periods, negative indices (blue) cold ones.

Lisäksi on muistettava, että pikkujääkauden päättymisen jälkeen 1800-luvun alkupuolelta nykypäivään lämpötila on kohonnut luonnollisista syistä noin 0,5 astetta/100 vuotta (Akasofu 2010). Arktisella alueella sijaitsevista sääasemista lähes 80 % on ihmisasutuksen kuten lentokenttien keskellä, mikä nostaa lämpötiloja luonnollista tasoa korkeammalle (ns. kaupunkiefekti, *urban heat island effect* eli UHI; Soon ym. 2015). Ainoastaan yksi Arktisen kuudesta vähintään 75 vuoden havaintojakson kattavasta sääasemasta on aidosti maaseutuasema, tässä kirjoituksessa esimerkkinä käytetty Sodankylä (Soon ym. 2015).

Sekä Zubovin, Kalelan ja kumppaneiden tutkimien edellisen että nykyisen lämpöjakson aikana luonnonmuutokset osuivat hyvin yhteen 60 - 80 vuoden välein toistuvan AMO-syklin kanssa (kuva 4; Alheit ym. 2013; Miles ym. 2014; McCarthy ym. 2015; Akasofu 2010). Lisäksi varsinkin touko - heinäkuussa esiintyvät vaihtelevat myrskyt vaikuttavat pilvisyyteen ja jäiden liikkeisiin ja siten jään sulami-

seen (Bengtsson ym. 2004; Screen ym. 2011). Edellä mainitut tutkimukset vahvistavat sen kauan tiedetyn tosiasian, että arktisen alueen luontoa ja ekologiaa leimaa kolme suunnaton vaihtelua aiheuttavaa ilmasto- ja jääjaksoa (Koch 1945; Vibe 1967): 1) ajojään jähmettymisvaihe (kylmä, kuiva ja vakaa ilmasto), 2) ajojään pulsaatiovaihe (kostea ja epävakaa ilmasto) ja 3) ajojään sulamisvaihe (lämmin ilmasto). Vaiheessa numero 3 sekä eläinpopulaatiot että kulttuurit ovat kukoistaneet. Ihmisen ja luonnon näkökulmasta suotuisia jääkauden jälkeisiä lämpöjaksoja onkin kutsuttu ilmasto-optimeiksi. Laajan väestötutkimuksen mukaan tavanomaista kylmempi sää tappaa noin 20 kertaa enemmän ihmisiä kuin tavanomaista lämpimämpi sää (Gasparrini ym. 2015; ks. myös Parker 2013).

Edellisen lämpökauden lopulla 27. marraskuuta 1948 Tanskan pääministeri Hans Hedtoft sanoikin puheessaan seuraavasti (Ahlmann 1948): “Viimeisen sukupolven aikaisilla muutoksilla on ollut ratkaiseva vaikutus kaikkeen sosiaaliseen elämään Grönlannissa. Uusi

aikakausi on koittanut. Grönlannin ilmasto on muuttunut ja sen myötä maan luonnolliset ja taloudelliset näkymät ovat parantuneet. Ilmastonmuutoksen tosiasia on havaittu kaikkialla maailmassa. Grönlannissa ilman ja meren lämpötilat ovat nousseet.”

Vuosina 1820 - 2014 koko Arktisen alueen keskimääräinen lämpötilan nousu oli mittaus-ten mukaan seuraava: tammikuu +1,0, heinäkuu ±0,0 ja koko vuosi +0,7 astetta sataa vuotta kohti (van Wijngaarden 2015). Lämpötilan nousu on siis ollut maltillista varsinkin, kun muistetaan, että mittausjaksojen alkupuolella oltiin vielä toipumassa luonnollisesta kylmäkaudesta, pikkujääkaudesta. Suuri osa lämpenemisestä tapahtui yhdessä vuosikymmenessä 1990-luvulla. Heinäkuun lämpötilatrendi oli jopa lievästi laskeva vuosina 1820 - 1990. Lämpeneminen jatkui tasaisena noin vuoteen 1940 saakka, minkä jälkeen lämpötilat laskivat noin yhden asteen 50 vuodessa kunnes alkoivat taas kohota 1990-luvulla. Vuoden 2000 jälkeen lämpeneminen on ollut vähäistä. Vuosina 1750 - 2014 vuotuinen keskilämpötila nousi Euroopassa keskimäärin 0,3 astetta sataa vuotta kohti. Tämä pieni lämpeneminen tapahtui talvella, mutta ei kesällä, ja vastasi Arktisen alueen kehitystä. Viimeisen parin sadan vuoden aikana Pohjola ei siis ole lämmennyt Eurooppaa voimakkaammin eli luonnossa tehdyt mittaukset eivät näytä tukevan ilmastomallien antamaa ennustusta lämpötilannousun vahvistumisesta pohjoisilla alueilla (van Wijngaarden 2015).

Arktisesta jäädästä

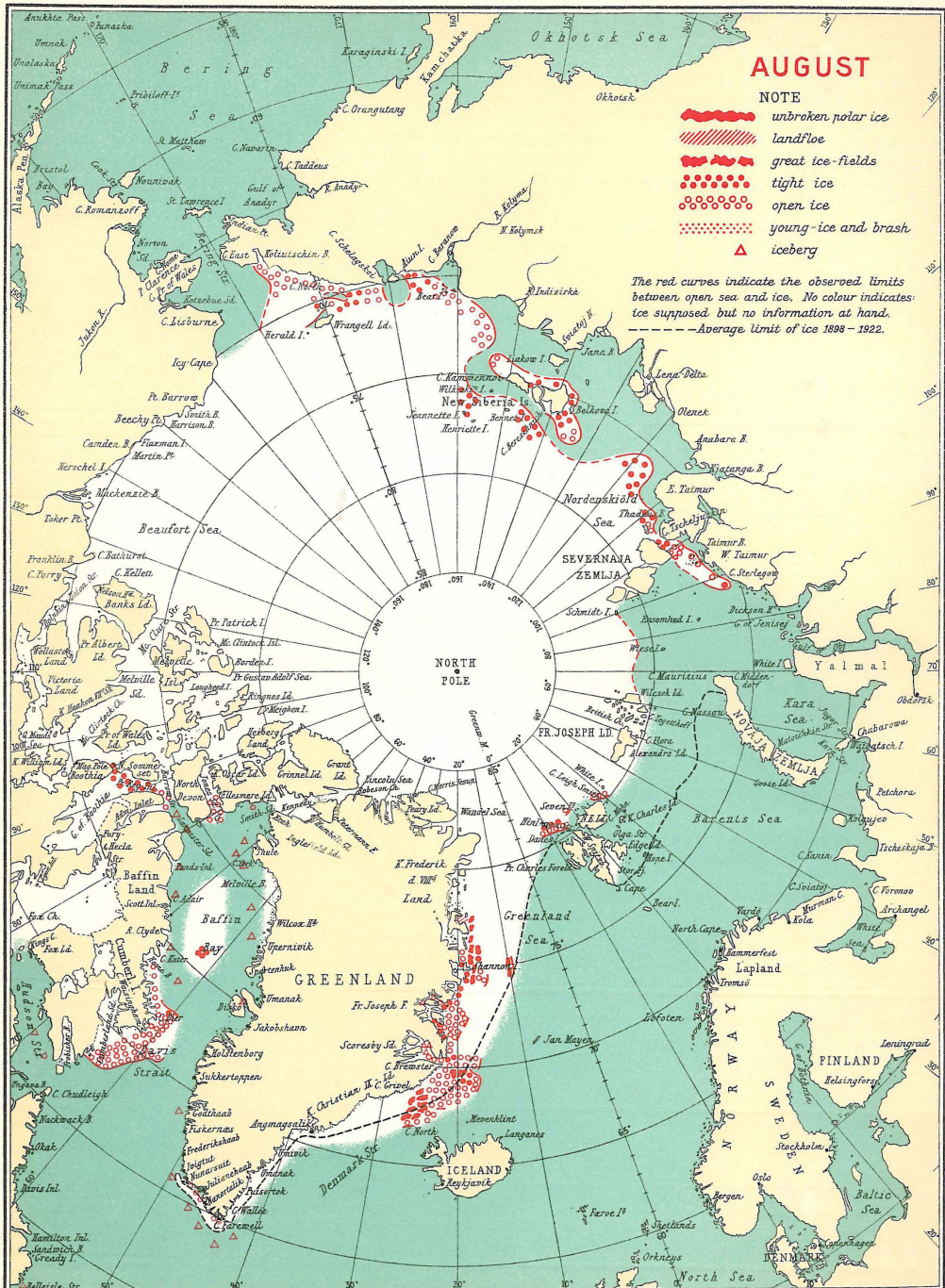
Pohjoisen napa-alueen jään määrä vaihtelee huomattavasti vuodesta toiseen. Vuonna 1938 Roger Verceel kirjoitti kirjassaan “Napojen hyökkäys” seuraavasti (ks. myös Scoresby 1823): “Jotakin erikoista on tapahtumassa: samaan aikaan kun Ranskan keisarikunta on hajoamassa, jäät ovat alkaneet murtua ja kadota. ... Vuosina 1816 ja 1817 jäälautat ajeltivat etelään 40. leveyspiirille saakka. ... Kaikkialla Atlantilla on havaittu 60 metriä korkeita jäävuoria. ... Ja nyt William Scoresby, Englannin kuuluisin valaanpyytäjäkaptteeni, kirjoittaa Sir Joseph Banksille, että kahden viime vuoden aikana hän ei ollut löytänyt yhtään jäätä Grönlannin rannikolta 74. ja 75. leveysasteen väliltä. Tällai-

nen mahdollisuus päästä pohjoisnavalle Grönlannin rannikkoa pitkin ei tule toistumaan vähään aikaan.”

Hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli (IPCC) perustettiin vuonna 1988 arvioimaan ihmisen aiheuttamaa ilmaston lämpenemistä ja sen vaikutuksia. Myöhemmin ilmaston lämpeneminen korvattiin ilmastomuutoksella. Edellinen on tieteellisesti testattavissa oleva hypoteesi, jälkimmäinen ei. Napajään laajuutta on seurattu globaalisti satelliittien avulla vuoden 1978 lopulta lähtien. IPCC:n ensimmäisessä raportissa (1990) ja usein sitä aikaisemminkin (esim. Kukla & Kukla 1974) käytettiin myös toisen sukupolven Nimbus-mikroaalto-satelliittien aineistoa napa-alueilta.

Hoffert & Flannery (1985) esittävät kuvan K. Y. Vinnikovin ja kumppaneiden 1980 ilmestyneestä venäjänkielisestä tutkimuksesta, joka osoitti, että arktisen jään pinta-ala oskilloi selvästi ja että pinta-ala palautui melko nopeasti 1940-luvun minimistä 1970-luvun alun maksimiin. IPCC:n raportissa (1990) sivulla 224 olevasta kuvasta käy ilmi, että arktisen merijään määrä kasvoi voimakkaasti 1970-luvulla, saavutti huippunsa 1979 ja väheni sen jälkeen (merijäätä oli lähes 2 miljoonaa km² vähemmän vuonna 1974 kuin 1979). Jäätä on yhä kesälläkin niin paljon, että se on suuri riski merenkululle (Haas & Howell 2015). Merijään ajoittaisesta ja luonnollisesta vähydestä kertoo myös se, että maaliskuussa 1959 yhdysvaltalainen sukellusvene nousi pintaan jäättömällä pohjoisnavalla (Calvert 1960; vuotuinen jäämaksimi saavutetaan yleensä maaliskuussa). Globaalit satelliitit siis laukaistiin arktisen jään ollessa luonnollisen sykliensä maksimilaajuudessa (Akasofu 2010; Conolly ym. 2017). Pitkällä aikavälillä Arktisen merijään laajuus näyttää riippuvan erityisesti Tyyneeltä valtamereltä Jäämerelle virtaavan lämpimän veden ja auringonsäteilyn voimakkuuden vaihteluista (Stein ym. 2017). Pohjoisen ja eteläisen pallonpuoliskon jään määrä näyttää vaihtelevan vastaikkaisessa rytmissä (IPCC 1990; Marshall ym. 2014; Scafetta & Mazzarella 2015; Humlum 2017). Viime vuosikymmeninä Antarktikan jään määrä onkin ollut ennätysellisen suuri (Scafetta & Mazzarella 2015; <http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere/>).

INFORMATION RECEIVED CONCERNING THE ICE, 1938.



Kuva 5. Arktisen jään laajuus elokuussa 1938 Tanskan ilmatieteenlaitoksen mukaan. 1930-luvun lopulla merijäättä oli yhtä vähän kuin nykyisin. Lähde: http://www.pmel.noaa.gov/arctic/rediscover/dmi_sea_ice_maps/1938/1938_08.pdf.

Figure 5. Extension of the Arctic sea ice according to the Danish Meteorological Institute in August 1938. In the late 1930's there was as little sea ice as today.

Jo huomattavasti ennen satelliittiäikää jään kuukausittaisesta määrästä oli olemassa tarkkoja Tanskan ilmatieteenlaitoksen piirtämiä karttakirjoja (Isforholdene i de Arktiske have, *The state of the ice in the Arctic seas*), jotka julkaistiin vuosittain. Nyt nämä upeat kartat vuodesta 1912 vuoteen 1956 on skannattu internetiin kaikkien saataville (http://www.pmel.noaa.gov/arctic/rediscover/dmi_sea_ice_maps/; kuva 5). Vuosisatoja ja -tuhansia kattava jääanalyysi ei osoita nykyisen jääalan olevan poikkeuksellisen pieni (Zhang 2015). Islannin vesillä ajelehtivan jään määrästä on tietoa jo 1200 vuoden ajalta (Koch 1945; Lamb 1995). Esimerkiksi keskiajan lämpökaudella ajelehtivaa jäätä ei ollut lainkaan. Islannin jäätiköt olivat paljon pienemmät vuosina 870 - 1264 kuin 1300 - 1930. Jäätiköiden sulaminen 1900-luvulla paljasti 600 vuotta jään alla olleet keskiaikaisten maanviljelijöiden viljelmät. Viikinkien 300 maatilalla viljeltiin ohraa ja kasvatettiin suuret määrät karjaa (Ahlmann 1948). Keskiajan lämpökautta lyhyempi niukkajäinen jakso osui 1930-luvulle. Esimerkiksi elokuussa vuonna 1938 oli yhtä vähän jäätä kuin nykyisin elokuussa (kuva 5).

Suurin osa viimeaikaisesta merijään sulamisesta tapahtui vuosien 1995 - 2003 välillä. Viimeisen kymmenen vuoden aikana arktisen jään laskeva trendi näyttää tasoittuneen (Akasofu 2010; Scafetta & Mazzarella 2015; <http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere/> ja <http://www.woodfortrees.org/plot/nsidc-seaice-n/from:2006/to:2016.8/plot/nsidc-seaice-n/from:2006/to:2016.8/trend/plot/nsidc-seaice-n/from:1990/to:2006/plot/nsidc-seaice-n/from:1990/to:2006/trend>). Jokseenkin samanaikaisesti Grönlannin jäämassa on kasvanut (Johannessen ym. 2005; Chen ym. 2006 lyhyt 3,5 vuoden mittausjakso antaa kuitenkin päinvastaisen tuloksen). Tämä on ymmärrettävää, koska vuodenvaihteeseen 1997/1998 osuneen El Niño -merivirtamuutoksen huipun jälkeen sekä satelliitti- että maasäasemien mittaukset osoittavat globaalin lämpenemisen hidastuneen tai päättyneen (Akasofu 2010; Fyfe ym. 2013; Santer ym. 2014; <http://www.climate4you.com/>). Ilmastomallit eivät kyenneet ennustamaan paussia (esimerkiksi Longhurst 2015). Stratosfäärin lämpötilapaussi

on jatkunut 22 vuotta (Humlum 2017). Kaiken kaikkiaan nykyinen Arktisen jään laajuus näyttää olevan normaaleissa rajoissa (Gagné ym. 2017).

Pohjoisilla merillä (Grönlanti, Islanti, Norja, Barentsinmeri ja Karanmeri) jään laajuus on pienentynyt noin kolmasosan 135 vuodessa (1864 - 1998; Vinje 2001). Noin puolet tästä sulamisesta tapahtui jo 1860 - 1900 ennen kuin arktinen alue alkoi lämmetä (Vinje 2001). Viimeaikainen jääkato on ollut samanlaista kuin 1800-luvulla. Pohjoiseen virtaavan lämpimän pintaveden lämpötila on noussut noin asteen pikkujääkauden, Euroopassa vallinneen normaalia kylmemmän ajanjakson (noin 1450 - 1850), päätymisestä, mikä selittää suurimman osan merijään sulamisesta vuoden 1860 jälkeen (Vinje 2001).

Suurimman osan viimeisestä 9000 vuodesta arktinen merijää on ollut suppeampi kuin nykyisin (McKay ym. 2008; Funder ym. 2011; de Vernal ym. 2013; Stranne ym. 2014). Minimi saavutettiin 8500 - 6000 vuotta sitten, jolloin ympärivuotisen merijään raja oli Grönlannin rannikolla noin tuhat kilometriä nykyistä pohjoisempaan (Funder ym. 2011). Jään määrä on kasvanut myös viimeisten satojen vuosien aikana. IPCC:n (2013) mukaan arktisen alueen lämpötila oli 1930-luvulla yhtä lämmin kuin 1990- ja 2000-luvuilla. Viime vuosisadan voimakkain lämpeneminen arktisella alueella tapahtui 1930- ja 1940-luvulla (Przybylak 2003), jolloin ilmakuviin perusteella laskettu ajojään määrä väheni Venäjällä miljoonalla neliökilometrillä (Ahlmann 1948). Scherhag (1931) esitti käsitteen "arktinen lämpeneminen" jo runsas 80 vuotta sitten. Lämpeneminen johti mm. siihen, että Huippuvuorten kaivoksista voitiin laivata hiiltä entisen kolmen kuukauden sijasta seitsemän kuukautta vuodessa (Ahlmann 1948). Jopa 60 prosenttia jään vähenemisestä on voinut johtua kesäkauden ilmakehän kierron luonnollisista muutoksista (Ding ym. 2017; Fan & Yang 2017). Tutkimusten mukaan arktinen merijää saattaa palautua ennalleen eikä sellaista käännepistettä, josta ei olisi paluuta, ole luultavasti olemassa. Häviämisenusteet ovat perustuneet liian yksinkertaisiin tietokonemalleihin (Wagner & Eisenman 2015).



Kuva 6. Leenanlampea (650 m mpy, 1400 m², maksimisyvyys 5 m) ja sen piestä rautu- eli nieriäpopulaatiota on tutkittu Norjassa lähellä Kilpisjärveä vuosina 2009 - 2015 (Shikano ym. 2015). Lammen fenologinen herääminen on ollut joinakin keväinä aikaista (2010, yllä), joinakin myöhäistä (2014, viereinen sivu). Kuvat on otettu 27. toukokuuta (A. Järvinen). Katso myös kuva 10 (s.21).

Vaihtelun suuruudesta

Vanha sanonta “vuodet eivät ole veljeksiä” pätee pohjoisilla alueilla erityisen hyvin (kuva 6). Luontainen suuri vaihtelu näkyy mm. voimakkaana pikkunisäkkäiden kannanvaihteluina (Hanski ym. 1991) sekä lintujen pesimätuloksen (Järvinen 1983) ja metsänrajauiden siementämisen (Hustich 1949) katastrofaalisina epäonnistumisina kylminä kesinä. Sään ja ilmaston luontovaikutuksista on kirjoitettu paljon. Jo kauan on tiedetty, että kylmät jaksot, Hustichin (1949) avainvuodet, lisäävät kuolleisuutta ja rajoittavat eliökantoja toisin kuin lämpimät jaksot (Vibe 1967; Järvinen 1983, 1994b, 1996; Järvinen & Väisänen 1984).

Käytän vaihtelun esimerkkinä Sodankylän keskilämpötilaa eri vuodenaikoina (taulukko 1, kuva 7). Sodankylän havaintosarjan pituus on jo kunnioitettavat 113 - 114 vuotta. Ilmeisesti mittausaseman sijainti, ympäristö ja menetelmät ovat pysyneet vuodesta toiseen jokseen-

kin samankaltaisina, eivätkä ne ole aiheuttaneet tuloksiin suuria virheitä. Vertailuun tuo tosin epävarmuutta se, että Sodankylän alkuvuosikymmenten keskilämpötilatietoja on jostakin syystä jälkikäteen viilennetty 0,25 astetta, mistä syystä lievä viilenevä lämpötilatrendi on muuttunut lievästi lämpeneväksi trendiksi (<http://ilmastorealismia.blogspot.fi/2015/05/kummallisia-justerauksia-suomalaisten.html#more>).

Fyysikoille luonnollinen vaihtelu on tutkimusta häiritsevää melua, ekologeille ihanaa musiikkia (Simberloff 1980), joka saattaa olla koko tutkimuksen pääkohde. Jotta voisimme nauttia ekologisesta “musiikista”, meidän on tunnettava vaihtelun perustaso, perussävel, johon uusia havaintoja, “säveliä”, verrataan. Ilman perustason määrittämistä muutoksia voidaan pitää aiheettomasti hälyttävinä. Voimakas vaihtelu on tavallisesti täysin normaalia. Havaintosarjan pitää olla riittävän pitkä,



Figure 6. Leena's Pond (650 m a.s.l., 1400 m², max depth 5 m). Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) living in the pond have been studied since 2009. Photos, taken the 27th of May, show the phenological difference between early (2010, facing page) and late (2014, above) seasons. Photos: A. Järvinen. See also Figure 10 (p.21).

jotta todennäköiset poikkeavuudet eli signaalit erottuisivat satunnaisesta taustakohinasta. Toisaalta tilastollisen testauksen kannalta tämä on ongelma: pitkän aikasarjan eli suuren otoskoon vuoksi pienikin ero tai trendi tulee helposti tilastollisesti merkitseväksi, mutta sillä ei aina ole käytännön merkitystä. Ympäristö-aikasarjoissa signaali kuten esimerkiksi lämpenemistrendi, jos se ylipäättään on havaittavissa, on tavallisesti kohinaa, kuten luonnollista taustavaihtelua, paljon heikompi, minä vuoksi tulosten merkityksen tulkinta on haastavaa. Esimerkiksi Euraasian arktisella alueella 109 säähavaintoasemasta vain 17 asemalla oli havaittavissa lämpötilassa trendejä, jotka eivät selittyneet luonnollisista ja ihmisestä riippumattomista ilmastovaihteluista. Seitsemästätoista asemastakin vain yksi osoitti kiistatonta lämpenemistä (Franzke 2012).

Tulosten tulkinta jääkin lähes aina tutkijan vastuulle: Missä tapauksissa tilastollisesti

merkitsevä ($P < 0,05$) tulos on myös tieteellisesti (biologisesti) merkittävä? Tieteellisesti merkittävä on usein sama kuin silmiinpistävä. Joku viisas on sanonut: "Jos silmä ei erota muutosta, kuten trendiä tai eroa, mikään määrättilastotiedettä ei vakuuta päinvastaisesta." Kuitenkin vain harvat tyytyvät nykyisin pelkästään Matthewsinkin testiin, joka arvioi vaivattomasti tieteellisen tuloksen kolmella merkittävyysasteella: hämärä (*not obvious*), päivänselvä (*obvious*) ja häikäisevän päivänselvä (*blindingly obvious*). Matthewsinkin testin kehitti 1970-luvulla englantilaisen Wildfowl Trustin professori Geoffrey Matthews.

Todellisuuteen perustuvan Sodankylän lämpötilan analyysitulokset jakaa varmasti asiantuntijoita, koska vuodenajat poikkeavat niin selvästi toisistaan. Kevätkauden lämpötilan nousu on mielestäni "päivänselvä" ja kaippaa erityistä huomiota ja selitystä, koska sama tilanne näyttää pätevän myös Sodankylä

pohjoisempina Kilpisjärvellä (Järvinen 1989). Myös edellisen lämpöjakson aikana Pohjolan kevät, erityisesti toukokuu, lämpeni, mikä edisti lajien leviämistä pohjoiseen (Kalela 1949). Nykyisen lämpöjakson aikana Arktiksen kevät ja syksy ovat hieman lämmenneet, mutta talvi ja kesä tuskin lainkaan (Przybylak 2000, 2003; taulukko 1). Ilmastomallien ennusteiden mukaan Arktiksen talven olisi pitänyt lämmentä kaikkein eniten, mitä ei ole kuitenkaan tapahtunut (Przybylak 2003). Toisaalta talvisella muutaman asteenkin lämpenemisellä ei ole luonnolle suurta merkitystä, jos lämpötila pysyy silti koko ajan reilusti pakkasella.

Kevään lämpeneminen näkyy myös pohjoisen pallonpuoliskon lumipeitteen laajuudessa, jota on mitattu vuodesta 1967 lähtien. Lokamaaliskuun lumimäärä on pysynyt ennallaan, mutta huhti-toukokuun määrä on ollut laskussa (<http://climate.rutgers.edu/snowcover/>). Yleisesti ottaen pohjoisen pallonpuoliskon lumipeitteen laajuus on ollut vakaa vuodesta 1972 lähtien (Humlum 2017). Pohjoisilla alueilla kuten Kilpisjärvellä luonto ei ole kuitenkaan juuri hyötynyt kevään lämmöstä: kesä tulee sinne hyvin myöhään eikä kesä-elokuu ole lämmennyt (Järvinen & Heikkilä 2014; Järvinen ym. 2014b). Kesän muuttumattomuus näkyy esimerkiksi keräämästäni koivun lehtimistä eli hiirenkorvalletuloa esittävästä aikasarjasta (kuva 8). Myöhäisimmän (2.7.1982) ja varhaisimman (30.5.1985 ja 2013) lehtimispäivän ero on yli kuukausi. Jos alkukesä on kylmä, koko terminen kasvukausi (vuorokauden keskilämpötila yhtä suuri tai yli +5 astetta) jää usein lyhyeksi. Kilpisjärvellä kasvukauden pituutta on mitattu vuodesta 1959 lähtien. Pituus on vaihdellut, mutta pysynyt keskimäärin noin sadassa vuorokaudessa. Kasvukausi oli pisin 1963 (132 vrk), lyhin 1982 (69 vrk). Vaikka kasvun kevätfenologia on monin paikoin aikaisistunut, laajoilla alueilla Pohjois-Euraasiassa ei ole tapahtunut muutosta (Delbart ym. 2006).

Sisävesiemme jäättilannetta on seurattu pitkään (Korhonen 2006). Lapin järviä lukuun ottamatta jo 1800-luvulta asti seuratuissa järvissä on ollut havaittavissa jäidenlähdon aikaisistumista ja jäätymisen myöhäistymistä. Merkittävää on, että järvissä, joissa seuranta alkoi

vasta 1900-luvulla, tilastollisesti merkitseviä muutoksia ei ole juuri havaittu eli suurimmat muutokset tapahtuivat jo 1800-luvulla (Korhonen 2006). Useissa järvissä kaikkein lyhin jääpeiteaika koettiin 1920- ja 1930-luvuilla (Korhonen 2006). Maamme arktisimman järven Kilpisjärven aikasarja, jota Mallan luonnonpuiston vartija Urho Viik kartutti vuosikymmeniä, alkaa vuodesta 1952. Talvina 1997/98 - 2003/04 jääpeiteaika oli tavallista lyhyempi. Samanlainen heikko jääjakso koettiin kuitenkin talvina 1956/57 - 1962/63. Talvella 1962/63 jääpeiteaika oli koko havaintojakson (1952 - 2011) lyhin (198 vuorokautta). Pisin jääpeiteaika oli talvella 1967/68 (245 vuorokautta), mutta aineistossa ei ole havaittavissa lyhenemistrendiä (Suomen ympäristökeskuksen OIVA-tietopalvelu). Kilpisjärven jään maksimipaksuudessa (keskiarvo 89 cm) ei ole tapahtunut muutosta vuonna 1964 alkaneen mittausjakson aikana (Korhonen 2006).

Jos aikasarja on hyvin pitkä kuten lämpötilaesimerkissämme (113 - 114 vuotta), heikkokin trendi on helposti tilastollisesti merkitsevä. Tätä kuvastaa hyvin se, että Sodankylän vuodenaikaistrendien tilastolliset selitysosuudet ovat hyvin pieniä, kevätlämpötilankin osalta vain noin 5 %. Siis 95 % jää selittämättä ja johtuu tuntemattomista tekijöistä. Koko vuoden keskilämpötilassa selitysosuus on 4 % (taulukko 1). Sodankylän keskilämpötila näyttää siis nousseen noin 0,9 astetta sadassa vuodessa eli noin kuusi kertaa luonnollista vaihteluväliä vähemmän. Jakson lämpimimmät vuodet (1937 - 1938) osuvat edelliseen lämpöjaksoon. Nykyaikaan verrattuna 1920 - 1940-lukujen lämpöjaksolta on hyvin vähän luontoaineistoja. Lagercrantzin (1974) keräämä Kilpisjärven pintalämpötila-aineisto kesältä 1939 on harvinainen poikkeus. Sen mukaan vesi oli 1. - 26. heinäkuuta 1939 kylmempää (keskiarvo +10 astetta) kuin 2014 (+11), mutta lämpimämpää kuin 2015 (+8). Kilpisjärven pintaveden pitkäaikainen keskiarvo heinäkuussa on +9,7 astetta (1994 - 2014; Suomen ympäristökeskuksen OIVA-tietopalvelu).

Myös koko arktisella alueella mitatut lämpötilat saavuttivat toistaiseksi ylittämättömän huippunsa 1920 - 30-luvuilla (Opel ym. 2009,

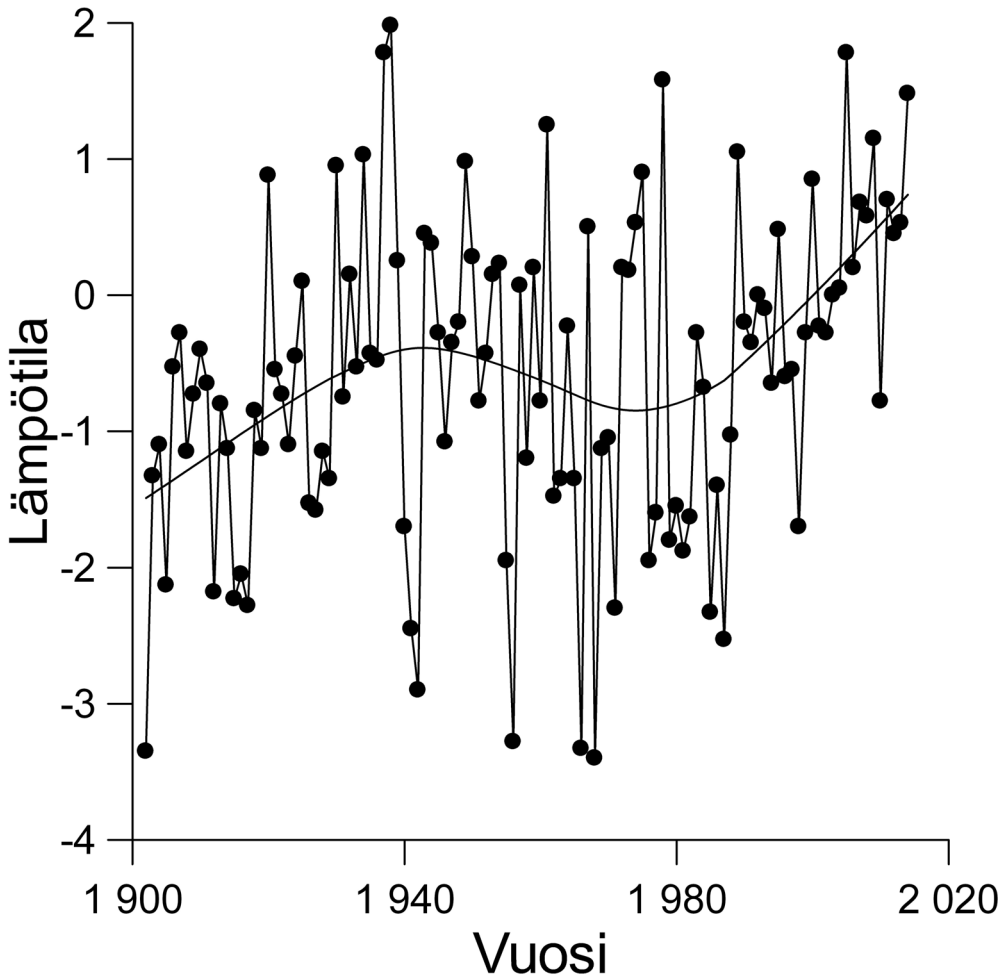
2013; Przybylak 2000, 2007; Akasofu 2010; Klingbjer & Moberg 2003; Weißbach 2015). Pohjoismaisten ilmatieteellisten laitosten NordKlim-aineiston mukaan tämä tosiasia pätee Fennoskandiassakin. Sodankylän kuvaajan perustella näyttää siltä, että lämpeneminen johtuu huippukylmien vuosien harvinaistumisesta. Lämpimien vuosien määrä näyttää säilyneen ennallaan. Tornionjokilaaksosta on poikkeuksellisen pitkä lämpötilasarja (Klingbjer & Moberg 2003). Siellä keskilämpötila kohosi 200 vuodessa yhteensä noin 2 astetta, vuosina 1802 - 1900 hieman enemmän kuin vuosina 1901 - 2000. 1800-luvulla lämpeneminen johtui pääasiassa talvien lämpenemisestä, mutta 1900-luvulla pääasiassa keväiden lämpenemisestä (Klingbjer & Moberg 2003). Ilmasto vaihtelee myös eripituuisissa sykleissä, joiden tulkitseminen on sitä hankalampaa mitä pitemmästä syklistä on kysymys (mm. auringon aktiivisuuden noin 200 vuotta pitkä De Vries/Suess-sykli).

Biologisen vaihtelun suuruus riippuu siitä, mitä eliöpopulaation ominaisuutta tutkitaan (taulukko 2). Parimäärä vaihtelee paljon (vaihtelukerroin noin 50 %), mutta toiset biologiset muuttujat, kuten pesivän naaraan paino tai sen munimien munien koko (tilavuus), vähän (2 - 3 %). Selitys lienee se, että joka vuosi naaraiden on saavutettava tietty kuntoindeksi voidakseen munia kuoriutumiskelpoisia munia. Pesään munittujen munien lukumäärä vaihtelee selvästi vähemmän (7 %) kuin niistä maailmalle lähteneiden lentopoikasten määrä (27 %). Syy lentopoikasmäärän ja siten Kilpisjärven sieppopopulaation (keskimäärin 24 pesivää paria) poikastuoton heilahteluun ovat sattumanvaraisesti ajoittuvat kylmät säät, jotka tappavat munissa kehittyviä alkioita ja/tai vasta-kuoriutuneita poikasia (mm. Järvinen 1983; Järvinen & Väisänen 1984).

Taulukko 1. Talvi (joulu-helmi)-, kevät (maalis-touko)-, kesä (kesä-elo)- ja syyskuukausien (syys-marras) sekä vuoden keskilämpötilan vuosivaihtelun suuruus Sodankylässä 1901-2014 (Ilmatieteen laitos). Talvikaudessa on ollut huikeaa vuosien välistä vaihtelua, mutta toisin kuin muissa vuodenaajoissa, siinä ei ole ollut havaittavissa lämpenemistrendiä (trendit testattu Mann-Kendallin -testillä). Kaikkien tilastollisten mallien uumenissa on kiinnostukseen kohteena olevaa tuntematonta todellisuutta kuvaavia tunnuslukuja (parametreja), matemaattisia "säätimiä", joiden avulla esimerkiksi lämpötilatrendejä kuvaavat regressioyhtälöt toimivat. Otoksesta lasketut "säätimet" ja niiden luotettavuusrajat ovat pakosta pienempiä kuin todelliset rajat. Siksi otoksiin perustuvat mallit liioittelevat ennusteiden luotettavuutta ja tilastollista merkitsevyyttä, vaikka todellisuudessa kyseessä voi olla satunnaisprosessi, jolle on turha etsiä selityksiä (Cowperrait & Metcalfe 2009; Shumway & Stoffer 2011). Esimerkissämme tällainen ennuste on "Muutos/100 vuotta". Jos tässä havaintosarjassa oleva autokorrelaatio ja/tai syklistyys otetaan oikeaoppisesti huomioon, saada erilainen tulos (ks. kuva 7). "Oikean" ja "väärän" tilastollisen testin valinnan vaikutuksesta lämpötilatrendiin katso myös Reid (2016).

Table 1. Winter (Dec – Feb), spring (Mar – Apr), summer (Jun – Aug), autumn (Sep – Nov) and annual mean temperature in Finnish Lapland (Sodankylä) in 1901 – 2014 (Finnish Meteorological Institute). Trends are tested with the Mann – Kendall test (see however the results of the proper ARIMA time-series analysis in Fig. 7).

Vuodenaika <i>Season</i>	Vuosia <i>No. of years</i>	Keski- lämpötila <i>Mean temp.</i>	Minimi <i>Min</i>	Maksimi <i>Max</i>	Vaihtelu- väli <i>Range</i>	Muutos / 100 vuotta <i>Change / 100 years</i>	Selitys- osuus, % <i>Coefficient of determination</i>	Merkitsevyys <i>Significance</i>
Talvi/ <i>winter</i>	113	-12,7	-20	-7,4	12,6	+0,07	0,03	0,81
Kevät/ <i>spring</i>	114	-1,9	-6,4	+2,3	8,7	+1,65	5,2	0,0003
Kesä/ <i>summer</i>	114	+12,5	+9,6	+15,5	5,9	+0,69	1,8	0,031
Syksy/ <i>autumn</i>	114	-0,5	-4,4	+3,5	7,9	+1,06	1,7	0,042
Koko vuosi/ <i>whole year</i>	113	-0,6	-3,4	+2,0	5,5	+0,90	3,9	0,001



Kuva 7. Sodankylän vuotuinen keskilämpötila 1902 - 2014 ($n = 113$; Ilmatieteen laitos). Kuvaajasta erottuu noin 80 vuotta pitkä sykli, jota LOWESS-tasoite havainnollistaa. Jakson kaksi lämpimintä vuotta olivat 1937 (+1,8 astetta) ja 1938 (+2,0). Kylmimmät vuodet olivat 1902 ja 1968 (-3,4 astetta). Koko aineiston keskiarvo on -0,6 astetta. Kun data analysoidaan oikeaoppisesti aikasarjamenetelmillä, jotka ottavat huomioon mm. aineistossa olevan autokorrelaation ja syklisyyden, niin Akaiken informaatiokriteerin perusteella "paras" sitä kuvaa malli on ns. ARIMA (1,0,0) -malli (Cowpertwait & Metcalfe 2009; Shumway & Stoffer 2011): Tulevia vuosikeskilämpötiloja voidaan ennustaa luotettavimmin edellisten vuosien keskilämpötilojen avulla ilman trendiä.

Figure 7. Mean annual temperature in Finnish Lapland (Sodankylä) in 1902 - 2014 (Finnish Meteorological Institute) showing about 80 years long cycle. Two warmest years are 1937 and 1938, the coldest years being 1902 and 1968. Statistical time-series analysis (ARIMA) indicates that there is no trend in the temperature data.

Monimutkaisia syy-seuraussuhteita

Jo Viben (1967) Grönlannin lintujen ja nisäkkäiden kannanvaihteluja käsittelevä klassikkotutkimus osoitti, että lämpiminä jaksoina sekä arktiset eliöt että ihmiset kukoista-

vat. Sama on ollut havaittavissa Kilpisjärven suurtuntureillakin niin kasvien kuin eläinten lisääntymistuoton vaihteluina (mm. Järvinen & Heikkilä 2014). Kylmään sopeutuneillekin lajeille lämpö on tärkeää, jopa elinehto. Esimerkiksi arktisten vesien rautu kestää

Taulukko 2. Kilpisjärven kirjosieppotutkimus on pitkäaikaisin (1966 - 2015) napapiirin pohjoispuolella tehty kololintutkimus. Vuosittaisten pesimäbiologisten tunnuslukujen vaihtelun suhteellinen suuruus vaihtelukertoimella (100 x keskihajonta/keskiarvo) mitattuna. Ilmari Hustich (1949, 1978) käytti vaihtelukertoimesta nimitystä hasardikerroin. Mitä suurempi hasardikerroin, sitä suurempi on luonnollisten katastrofien riski. Järvinen (1999) ja julkaisematon aineisto.

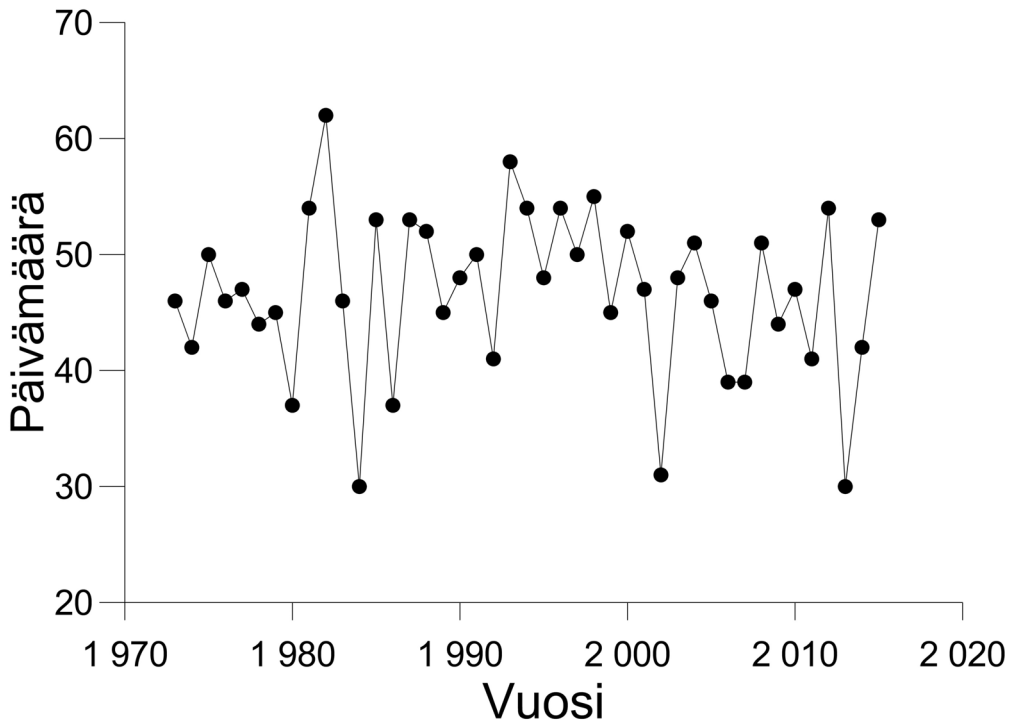
Table 2. The Pied Flycatcher (*Ficedula hypoleuca*) population study carried out in Kilpisjärvi (69°N) since 1966 is the longest nest-box study north of the Arctic Circle. Coefficient of variation is used as a "hazard coefficient" that indicates risks of natural catastrophes in different breeding parameters. Data: A. Järvinen.

Muuttuja <i>Variable</i>	Tutkimus- vuosia <i>No. of years</i>	Keskiarvo <i>Mean</i>	Keskihajonta <i>SD</i>	Vaihtelukerroin, % <i>CV, %</i>	Minimi <i>Min</i>	Maksimi <i>Max</i>
Pesivien parien määrä <i>No. of breeding pairs</i>	50	24	11	46	8	57
Naaraan paino, g <i>Female weight, g</i>	42	14,7	0,4	3	13,7	15,7
Munan tilavuus, cm ³ <i>Egg volume, cm³</i>	41	1,56	0,04	2	1,48	1,63
Munaluku / pesä <i>Eggs / nest</i>	50	5,5	0,4	7	4,5	6,3
Lentopoikasia / pesä <i>Fledglings / nest</i>	50	3,8	1,0	27	1,4	5,6

ja "nauttii" lyhytaikaisesti hyvin lämpimästä, lähes 20-asteisesta pintavedestä, jossa plankton- ja muu ravinnontuotanto on huipussaan lyhyen kesän aikana. Vasta kun veden lämpötila nousee 10 asteeseen, raudut aktivoituvat ja alkavat ruokailla pintavedessä (kuva 9). Poikkeuksellisen lämpiminä kesinä tämä on mahdollista jo heinäkuun ensimmäisellä viikolla. Kylminä kesinä, joita voi olla kolmekin peräkkäin (Järvinen ym. 2014 b; Boulanger-Lapointe ym. 2017), suotuisia oloja ei ehkä tule koko kesänä, mikä vaikeuttaa vararavinnon keräämistä ja kalojen selviämistä pitkän talven yli. Esimerkiksi vuonna 2015 tutkimuslampeni (kuva 6) pintavesi ylitti 10 asteen rajan vain 34 päivänä, ensimmäisen kerran 13. heinäkuuta ja viimeisen kerran 27. elokuuta. Kertaakaan ei päästy 15 asteeseen (vuoden maksimi oli 12,3 astetta). Kõlivuoriston suurtureiden vähintään viisi metriä syvissä järvissä ja lammissa pintavesi lämpiää vain noin kolmen metrin syvyyteen asti kevät- ja syyskiertoa lukuun ottamatta. Tätä syvemmillä raudut voivat vilvoitella, koska kesähelteelläkin lämpötila on siellä alle 10 astetta.

Syyt eliöiden menestymiseen tai menehtymiseen ja muihin luonnonmuutoksiin ovat usein hyvin monimutkaiset. Esimerkiksi Lapin pikkunisäkkäiden 4-5 vuoden kannanvaihtelusyklien katoaminen 1980- ja 1990-luvuilla osui yhteen ilmaston lämpenemisen kanssa (Henttonen & Hanski 2000), mutta 2000-luvulla syklit palasivat (Heikki Henttonen, suull.). Jääleinikin harvinaistumisen suurtureilla arveltiin aluksi johtuvan ilmaston lämpenemisestä, mutta syyksi paljastuikin porojen liikalaidunnus. Jääleinikit eivät kestä syödyksi tulemista, vaan ne kääpiöityvät sekä lopettavat kukkimisen ja siementämisen, mikä johtaa populaation häviämiseen (Järvinen 1987 a; Järvinen & Järvinen 2014). Poromäärä ja liikalaidunnus ovat kasvaneet dramaattisesti Suomen, Norjan ja Ruotsin Lapissa vuodesta 1950 lähtien (Hallanaro & Pylvänäinen 2002). Käsivarren paliskunta on voimakkaasti liikalaidunnettu (Mattila 2014).

Lapintiaisen harvinaistuminen Käsivarren tunturikoivikoissa ei sekään johdu ilmastosta, vaan risteytymisestä sukulaislajin hömötiaisen kanssa (Järvinen 1987 b). Molemmat lajit ovat eläneet alueella niin kauan kuin tiedetään



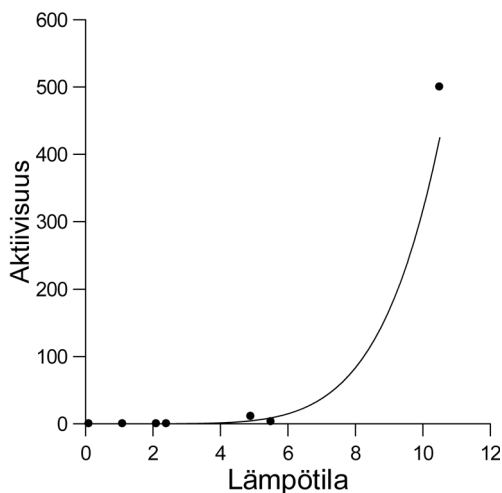
Kuva 8. Tunturikoivun hiirenkorvan ilmaantuminen Kilpisjärven biologisen aseman piha-alueella vuosina 1973 - 2015. Lehtimispäivämäärä = päivä jolloin yli 50 % koivuista on hiirenkorvalla (30 = 30. toukokuuta jne.). Hiirenkorva = lehtiruoti on juuri näkyvissä. Tunturikoivun fenologiassa ei ole havaittavissa trendiä (Mann-Kendallin -testi, $n = 43$, $P = 0,61$). A. Järvisen keräämä aineisto (ks. Heikkilä & Järvinen 2011).

Figure 8. Leafing of mountain birches (*Betula pubescens* subsp. *czerepanovii*) in Kilpisjärvi, NW Finnish Lapland (69°N), in 1973-2015. There is no statistical trend in this phenological data set. Data: A. Järvinen.

(Järvinen 1983). Risteyvät ovat lisääntymiskykyisiä, mutta niiden poikastuotto on heikko. Suurin osa alueen pesijöistä on nykyisin "höpintiaisia", joissa naaras on lapintiaisen ja koiras hömötiainen. Grönlannin ruokkilintukantojen katastrofaalisen romahduksen syy on puolestaan inuiittien harjoittama silmitön metsästys (Hansen 2002).

Ilmastonvaihtelun luontovaikutuksia on tutkittu melko paljon, mutta esim. pohjoisten alueiden maankäytön muutosten selvittäminen on jäänyt vähälle huomiolle. Jo Kalela (1938) arvioi, että Kokemäenjoen alueen 149 pesimälintulajista 29 % oli hyötynyt ja 18 % oli kärsinyt ihmisen aiheuttamista ympäristömuutoksista. Maa- ja metsätalous, soiden kuivatus, rakentaminen, metsästys ja vaino, suo- jelu jne. vaikuttavat lajistoon. Viimeaikaisissa tutkimuksissa porojen liikalaidunnuksen mitattavat vaikutukset metsänraja-alueiden

kasvistoon ja eläimistöön ovat nousseet esille (Norokorpi ym. 2008). Mittausteni mukaan pienen tunturijärven tai -lammen veden johtokyky kasvaa, jos suuri porotokka viipyy sen läheisyydessä pitempään. Laiduntavien eläinten eritteet päätyvät lopulta veteen ja rehevöittävät sitä. Jos vedessä elää rehevöitymiselle herkkiä ja talvisesta hapen vähydestä kärsiviä eliöitä, kuten rautuja, niiden populaatiot voivat kärsiä, jopa hävitä. Rautu ei voi yleensä muuttaa pois asuttamastaan tunturivedestä. Lapin lintukantojen laskevalle suuntaukselle on etsitty selityksiä mm. ilmastonmuutoksesta (Lehikoinen ym. 2014). Ilmastonmuutosuhka vaanii tulevaisuudessa, vuosikymmenien tai vuosisatojen päässä, mutta liikalaidunnus ekosysteemi- vaikutuksineen on akuutti, jo vuosikymmeniä Lapin luontoa muokannut tekijä.



Kuva 9. Leenanlammen rautujen aktiivisuuden riippuvuus pintaveden lämpötilasta kesä-heinäkuussa 2014. Rautujen aktiivisuuden indeksinä käytettiin vedenalaisessa videokuvassa 20 minuutin aikana vilahtevien rautujen määrää. A. Järvinen, julkaisematon aineisto.

Figure 9. Relationship between surface water temperature and Arctic charr activity according to video recordings (number of charr seen during 20 minutes) in Leena's Pond in June – July, 2014. Data: A. Järvinen.

Nykyinen porojen liikalaidunnus on uhkatekijä, johon tunturiluonto ei ole voinut sopeutua ja siltä suojautua. Suomen luontotyyppejen uhanalaisuuskartoituksen mukaan tuntureita uhkaa kaksi päätekijää, tärkeysjärjestyksessä ensimmäisenä porojen liikalaidunnus ja toisena ilmastonmuutos (Norokorpi ym. 2008). Tunturi-Lapin poromäärä on aivan muuta kuin "luonnontila", jota villi tunturipeura joskus edusti. Etelä-Norjan tuntureilla yhä elävän villin tunturipeuran tiheys on 0,5 - 1 eläintä/km² (Falldorf 2013). Vertailukohdaksi sopii myös samaan *Rangifer tarandus*-lajiin kuuluva pohjoisamerikkalainen karibu, jonka tiheys on 0,05 - 0,5 eläintä/km² (Fuller & Keith 1981; Heard ym. 1986; Dumond ym. 2013). Tunturipeura- ja kaributiheys on 10 - 100 kertaa pienempi kuin Tunturi-Lapin porotiheys. Karibut ja tunturipeurat voivat lisäksi liikkua laajalti ja vaihtaa laidunalueita ravintotilanteen mukaan.

Suomessa poronpaimennus alkoi ensimmäisenä Käsivarressa, mutta vasta noin 500 vuotta sitten (Linkola 1985; Helle 2004).

Ennen sitä saamelaiset pyydystivät tunturipeuroja mm. kuoppa-ansoilla. Kesyporomäärä oli pitkään hyvin pieni, korkeintaan muutamia kymmeniä eläimiä perhettä kohti ja vain joitakin satoja koko Käsivarressa (Linkola 1985; nykyisin Käsivarressa on yli 10000 poroa; Mattila 2014). Porot haittaavat lintukantoja kuluttamalla pesimäbiotoopit linnuille kelpaamattomiksi tuhoamalla kasvipeitteen, joka toimii lintujen tai niiden ravintoeläinten suojana tai ravintona. Joitakin havaintoja on myös siitä, että porot myös syövät maassa pesivien lintujen munia tai poikasia (Bousfield & Syroechkovskiy 1985) samalla tavoin kuin esimerkiksi lampaat ja saksanhirvet saadakseen mineraaleja ja proteiineja (Furness 2009). Jämsän niemimaalla nenetsien eli jurakkisamojedien porojen liikalaidunnus on aiheuttanut suurta vahinkoa jäkälille, heinille, varvuille, linnuille ja pikkunisäkkäille (Golovatin ym. 2012).

Ilmastonmuutoksen ylikorostaminen on jättänyt muut tärkeät pohjoista luontoa muuttavat tekijät varjoon. Liikalaidunnus kuuluu unohdettuihin teemoihin. Kasvillisuuden tuhoutuminen sekä eroosio ja ääritapauksessa aavikoituminen muuttavat koko ekosysteemiä, myös ilmastoa. Aavikoitumista on hyvin vaikea peruuttaa. Ensimmäinen tuhon merkki on maaperän viljavuuden katoaminen, jota seuraa nopea rappio. Lopulta maaperän rakenne murenee eikä se enää kykene säilyttämään kosteutta, koska kasvillisuuden muutokset vaikuttavat maaperän vedenpidätyskykyyn (Schneider & Mesirow 1976). Ihmisen toiminta näkyy myös siinä, että kymmeniä miljoonia Euroopassa pesiviä muuttolintuja pyydystetään luvottomasti ruuaksi ja hovin vuoksi Välimeren alueella (Brochet ym. 2016), mikä sekkin vaikeuttaa ilmastonmuutosten lintuvaikutusten arviointia.

Ilmastonmuutoksen (lämpenemisen) on arveltu aiheuttavan sukupuuttoaalton. Toistaiseksi yhtään selkärankaisten sukupuuttoon ei ole voitu laittaa viimeaikaisen lievän lämpenemisen syyksi, ei Suomessa eikä koko maailmassa (Freeman & Herron 2004; Lomolino ym.

2010, Botkin 2016: 127 - 137). Joitakin epäilyjä on, kuten eräiden trooppisten sammakolajien häviäminen, mutta niidenkin syyt ovat osoitautuneet luultua monimutkaisemmiksi (mm. eläinkaupoista lähtöisin olevat sairaudet ja biotooppien tuhoutuminen; Berger ym. 1998; Collins 2004). Maankäytön muutokset ja vaino (metsästys) ovat ilmastomuutosta suurempi sukupuuttouhka (Willis & Bhagwat 2009). Biopolttoaineiden tuotannosta on tullut uusi merkittävä uhka kestäväälle kehitykselle (Pimentel 2003; Gerasimchuk & Koh 2013).

Luonnollisia sukupuuttoja on tapahtunut aina. Ihmisen aiheuttaman sukupuuttoaallon huippu osui löytöretkien aikaan vuosiin 1500 - 1910. Lajeja kuoli saarista, mutta ei juuri mantereilta. Noin 4430 nisäkäslajista ainoastaan kolme mannerlajia on kuollut sukupuuttoon viimeisen 500 vuoden aikana (Baillie ym. 2004): siniantilooppi (Etelä-Afrikka, noin 1780), algeriangaselli (1800-luvun loppu) ja omiltemenkaniini (Meksiko, 1900-luvun alku). Vastaavasti maapallon noin 10000 lintulajista vain kuusi on hävinnyt mantereilta. Kaikkien häviämisten syy on ollut ihmisen suoranainen vaino ja esimerkiksi kosteikkojen kuivattaminen ja sademetsien hakkaaminen. Sukupuuttojen määrä on laskenut 1960-luvun jälkeen. Sukupuuttovaara on tietysti koko ajan olemassa. Pääsyy tulevaankin tuhoon on ihmispopulaation kasvu. Tapamme itsekkäästi mm. suuria petonisäkkäitä ja tuhoamme eliöiden elinympäristöjä. Tiikeri on ehkä suurimassa vaarassa hävitä, mutta jääkarhu näyttää voivan hyvin (Crockfort 2015). Jääkarhukanta on viisinkertaistunut 1960-luvulta (noin 5000 eläintä) nykypäivään (noin 25000). Jääkarhu on selvinnyt useista lämpimistä interglasiaaleista ja jopa aikakausista, jolloin arktista merijäätä ei ollut lainkaan kesäisin (Hailer ym. 2012; Cronin ym. 2014). Arktiset meriekosysteemit ovat hyvin joustavia ja ne ovat sopeutuneet sekä lämpimiin (ei kesäistä jäätä) että kylmiin olosuhteisiin (Cronin & Cronin 2015). Näyttää siltä, että viimeisen 1,5 miljoonan vuoden aikana ei ole kuollut sukupuuttoon yhtään merielämään sopeutunutta arktista selkärangkaislajia (jääkarhu, mursu, hylkeet jne.; Cronin & Cronin 2015).

Levinneisyysalueet ovat sykkiviä, välillä jotkut lajit taantuvat, mutta useimmiten ne palaavat. Tässäkin tapauksessa staattinen tila olisi luonnotonta. Vuosien saatossa on koettu dramaattisia pohjoisten lintukantojen romahduksia, joita on tavallisesti seurannut elpyminen. Esimerkiksi Suomen leppälintukanta romahti 1960-luvulta 1970-luvun puoliväliin mennessä (Kilpisjärven kanta pieneni jopa 75 %; Järvinen 1981), mutta on sittemmin palannut entiselleen. Romahduksesta syytettiin – luultavasti aivan oikein – pitkäaikaista kuivuutta Sahelian alueella, jossa laji talvehtii. Tuolloin ei puhuttu ilmaston lämpenemisestä vaan kylmenemisestä. Nyt, kun aavikoiden reunat ovat alkaneet vihertää (Donohue ym. 2013; Dardel ym. 2014; Kaptué ym. 2015), kaukomaattajien, kuten leppälinnun, aavikkomatkan ylitys on luultavasti helpottunut. Pohjoiset eliölajit ovat joustavia ja ovat tottuneet 10 asteen suuruisiin lämpötilan vuosiheilahteluihin kuukausikeskiarvoissa. Poikkeuksellisen hyvinä eli lämpiminä vuosina kannat toipuvat huonojen eli kylmien vuosien tuhoista (Järvinen 1984). Kylmyys, ei lämpö, rajoittaa kasvien ja eläinten menestymistä arktisilla alueilla.

Lopuksi

“Jokainen vuodenaika on takuulla ’poikkeuksellinen’, lähes joka kuukausi on yksi kaikkein kuivimmista tai kosteimmista tai tuulisimmista, kylmimmistä tai kuumimmista. Näiden havaintojen pitäisi pikemminkin puhua liioittelua vastaan, mutta jotkut tuppaaavat niitä päinvastoin paisuttelemaan.” (Pall Mall Gazette, 10. tammikuuta 1871; <http://trove.nla.gov.au/ndp/del/article/1298497>.) Pohjoisilla alueilla sään ja ravintovarojen suuri vuosittainen vaihtelu eli suuri ilmastollinen hasardikerroin (Hustich 1978) aiheuttaa sen, että epäsuotuisina, kylminä kesinä tai jaksoina esimerkiksi lintuja pesii tavallista vähemmän mm. siksi, että ne eivät muuta niin pohjoiseen kuin lämpiminä kesinä, tai että metsänraja-alueen metsät eivät uudistu. Kylmyyden aiheuttama pesivien lintuparien heikko poikastuotto pienentää tulevien vuosien kantoja. Jos kylmän ja huonon pesimäkauden jälkeen koittaa vielä kylmä ke-

vät, pesiviä muuttolintuja on erityisen vähän (Järvinen 1983).

Luonto reagoi luonnolliseen (Kalela 1949) ja/tai ihmisen aiheuttamaan ilmaston muuttamiseen, mutta myös lukemattomiin muihin elinympäristön muutoksiin, kuten asutuksen ja rakentamisen laajenemiseen sekä luonnonympäristöjen muokkaamiseen ja hävittämiseen (metsien hakkuu, soiden kuivatus, liikalaidunnus jne.). Vaihteluun on lukuisia luonnollisia syitä (Steele 2013). Luonnollinen vaihtelu on perusta, johon mm. ihmisen aiheuttamia poikkeamia voidaan verrata. Esimerkiksi Lapin lämpötilojen kuukausikeskiarvojen vuosivaihtelu on 10 - 15 kertaa suurempi kuin keskiarvoissa havaittu trendi. Perustason selvittäminen vaatii vuosikymmenten työn. Aineistojen kerääminen edellyttää pysyviä tutkimusasemia, joiden toiminta on turvattu pitkälle tulevaisuuteen ja joissa arvokkaat aineistot säilyvät ja siirtyvät tutkijasukupolvelta toiselle häviämättä historian hämärään.

Ihmiset – tutkijat, rahoittajat ja toimittajat mukaan lukien – “rakastavat” kauhukuvia, kuten dramaattisia trendejä ja eroja ja ovat usein pettyneitä, kun eivät näe niitä. Kauhukuvien puutteen pitäisi kuitenkin olla ilon aihe. Lisäksi meillä on taipumus nähdä muutokset katastrofeina, mitä ne eivät välttämättä ole. Jos kauhukuvia on näköpiirissä, ne vahvistuvat, jos niiden tukena ovat pitkät havaintosarjat. Pohjoisen ilmaston syklisen vaihtelun vuoksi (Lamb 1995) luonnosta kerättyjen havaintosarjojen on oltava entistä pitempiä. Monimutkaisia ekosysteemejä ja niissä tapahtuvia muutoksia on hyvin vaikea tulkita ilman luotettavaa aineistoa. Luonnollisia ilmaston- ja varsinkin luonnonmuutoksia tulisi tutkia huomattavasti nykyistä enemmän, kuten maailman johtaviin klimatologeihin kuulunut brittiläisen *Climatic Research Unitin* (CRU) perustaja Hubert Lamb (1913 - 1997) on todennut (Lewin 2015). Tämä on hankalaa, koska tieteen rahoitusjärjestelmät eivät riittävästi tue pitkäaikaisia tutkimuksia ja turvaa niiden maastotöiden ylläpitoa, vaikka niiden tuottama data on mm. mallinnusten validoinnin kulmakiviä (esim. Botkin 2016).

Vuonna 1966 tieteen suurmies, fyysikko Richard Feynman, sanoi opettajille pitämässään esitelmässä: “Tiede perustuu vakaumukseen asiantuntijoiden tietämättömyydestä.” Viime kädessä Luonto-äiti eikä esimerkiksi konsensus on erotuomari, joka päättää, onko vaihtelu normaalia vai epänormaalia. “Tieteellä ei ole mitään tekemistä konsensuksen kanssa. Konsensus on poliitikkojen toimintaa. Päinvastoin, tieteessä riittää, että yksi tutkija sattuu olemaan oikeassa eli hänen tutkimustuloksensa ovat luotettavia ja yhteensopivia reaali maailman kanssa. Se, mikä merkitsee, on tulosten toistettavuus. Historian suuret tiedeihmiset ovat suuria juuri siksi, että he mursivat konsensuksen.” (Crichton 2009.)

Ennustaminen, futurologia, on tieteiskirjallisuutta. Asiantuntijoiden esittämiin tulevaisuudenkuviin on vaikea luottaa, mutta heidän pitkäaikaiset havaintonsa menneisyydestä voivat antaa vinkkejä tulevaisuuden suunnasta. Varsinkin jos tehdään useita ennustuksia tulevasta ilmastosta, on etukäteen määriteltävä mitä dataa käytetään, sillä muuten voidaan saada mikä tahansa haluttu tulos (esim. Motulsky 2014: 197 - 198). Ilmastomallit ennustavat arktisille alueille suuria muutoksia, mutta analogiamenetelmät eli luonnosta tehdyt todelliset mittaukset ja havainnot ennustavat lieviä muutoksia (2000-luvulla pientä lämpenemistä ja sateiden vähenemistä; Przybylak 2003; ks. myös Kahl ym. 1993; Longhurst 2015: 171 - 175; Scafetta & Mazzarella 2015; Green & Armstrong 2007; van Wijngaarden 2015). Malleissa ei ole ilmeisesti otettu riittävästi huomioon luonnollisia säätelymekanismeja ja -oskillaatioita (Frolov ym. 2009; Scafetta & Mazzarella 2015). Arktisesta ilmastosta kirjan kirjoittanut klimatologian, meteorologian ja paleoklimatologian professori Rajmund Przybylak (2003: 222) toteaa mm.: “Klimatologeilla ja mallintajilla on vielä paljon töitä. ... Suurimmat ristiriidat mallien ennusteiden ja nykypäivän välillä löytyvät napa-alueilta.”

Arktiset alueet ovat lämmenneet ja kylmenneet toistuvasti vuosituhansien saatossa. Jää on vetäytynyt ja laajentunut ja eliöyh-

teisöjen rakenne on koko ajan muuttunut. Uutta tietoa saadaan jatkuvasti. Esimerkiksi metaania syövien bakteerien ansiosta arktiset suot, jotka syntyivät jääkauden jälkeen (Mäkilä ym. 2013), pikemminkin sitovat kuin vapauttavat metaania lämpiminä aikoina (Lau ym. 2015). Pohjoisessa luonnossa on vielä runsaasti tutkittavaa niin vanhoille kuin nuorille luonnontutkijoille, joiden havaintojen pohjalta malleja voidaan testata ja tarvittaessa tarkentaa.

Kiitokset

Kiitän seuraavia henkilöitä avusta: Leslie Hyde, Risto Jalkanen, Leena Järvinen, Juha Merilä, Harri Sulonen ja Mikko Taavitsainen.

Tiivistelmä

Kirjoitus on katsaus pohjoisen luonnon luonnollisesta, ei ihmisen aiheuttamasta, vaihtelusta. Se perustuu suureen määrään vanhoja ja uusia tutkimuksia sekä kirjoittajan omiin Luo-

teis-Lapissa kerättyihin pitkäaikaisaineistoihin. Aikajänne on jääkaudesta nykyaikaan. Pohjoiset alueet ovat lämmenneet ja kylmenneet toistuvasti ja usein syklistesti vuosituhansien saattossa. Vetäytynyt tai laajentunut jää on aiheuttanut ekosysteemimuutoksia. Suurten vuosia, vuosikymmeniä, vuosisatoja ja vuosituhansia kestävien luonnollisten vaihteluiden vuoksi ihmisen aiheuttamia muutoksia, jotka ovat nykyisinkin luonnollisissa rajoissa, on vaikea erottaa taustahälystä. Nykyinen lämmin jakso on samankaltainen kuin useat aikaisemmat lämpöjaksot kuten atlanttinen, minolainen, roomalainen ja keskiajan lämpökausi, kuin myös 1920-1940 havaittu lämpeneminen. Aikaisempien sukupolvien merkittävä, mutta valitettavasti unohdettu, tutkimustyö nostetaan sille kuuluvaan arvoon. Esimerkiksi Olavi Kalela (1908-1974), Kilpisjärven biologisen aseman perustaja, julkaisi useita tutkimuksia ”ilmastonmuutoksen” vaikutuksista lintuihin ja nisäkkäisiin 1920-1940.



Kuva 10. Leenanlampi kuvattuna 27. toukokuuta 2017. Kuva: Antero Järvinen.

Figure 10. Leena's Pond on the 27th of May, 2017. Photo: Antero Järvinen.

Summary: Observations of natural variation in northern nature

This paper is a review of natural, non-anthropogenic, variations observed in northern nature. It is based on a large number of old and new published research as well as facts taken from my own long-term data sets collected in NW Finnish Lapland. The time-scale is from the ice ages to the present. Northern areas have warmed and cooled repeatedly, often cyclically, during millennia. Ice has retreated or expanded with corresponding ecosystem changes. Due to huge annual, decadal, centennial and millennial

natural fluctuations, human caused changes, which are within natural limits even today, are difficult to detect from the background noise of natural variation. The present warm period is similar to many previous ones, for instance, Atlantic, Minoan, Roman and Medieval warm periods, as well as the warming of 1920 - 1940. The important work, now sadly forgotten, carried out by scientists of past generations is particularly acknowledged. For instance, Olavi Kalela (1908 – 1974), the founder of Kilpisjärvi Biological Station of the University of Helsinki, published several studies of the effects of “climate change” on birds and mammals during 1920 – 1940.

Kirjallisuus

- ACIA 2005: Arctic climate impact assessment. – Cambridge University Press, Cambridge, 1042 s. ISBN 0-521-61778-2
- AMAP 2012: Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost. SWIPA 2011
- Overview Report. – Arctic Council, Oslo, 112 s. ISBN 978-82-7971-073-8.
- Ahlmann, H. W. 1948: The present climatic fluctuations. – Geographical Journal 112: 165–195.
- Akasofu, S. 2010: On the recovery from the Little Ice Age. – Natural Science 2: 1211–1224.
- Alheit, J., Licandro, P., Coombs, S., Garcia, A., Giráldez, A., Santamaría, M. T. C., Slotte, A. & Tsikliras, A. C. 2014: Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) modulates dynamics of small pelagic fishes and ecosystem regime shifts in the eastern North and Central Atlantic. – Journal of Marine Systems 131: 21–35.
- Alley, R. B. 2000: The younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland. – Quaternary Science Reviews 19:213–226.
- Andersen, B. G. & Borns, H. W. 1994: The Ice Age world. An introduction to Quaternary history and research with emphasis on North America and Northern Europe during the last 2.5 million years. – Scandinavian University Press, Oslo, 208 s. ISBN 8200218104
- Anderson, D. E., Goudie, A. S. & Parker, A. G. 2007: Global environments through the Quaternary. – Oxford University Press, Oxford, 359 s. ISBN 0198742266
- Andresen, C. S., Straneo, F., Ribergaard, M. H., Bjørk, A. A., Andersen, T. J., Kuijpers, A., Nørgaard-Pedersen, N., Kjær, K. H., Schjøth, F., Weckström, K. & Ahlstrøm, A. P. 2012: Rapid response of Helheim Glacier in Greenland to climate variability over the past century. – Nature Geoscience 5: 37–41.
- Aurich, H. J. 1950: Besteht für 1950 Aussicht auf eine Sardellenfischerei in der Nordsee. – Fischereiwelt 2: 526–528.
- Aurich, H. J. 1953: Verbreitung und Laichverhältnisse von Sardelle und Sardine in der südöstlichen Nordsee und ihre Veränderungen als Folge der Klimaänderung. – Helgoländer Meeresun. 4: 175–204.
- Baillie, J. E. M., Hilton-Taylor, C. & Stuart, S. N. (toim.) 2004: 2004 IUCN red list of threatened species. A global assessment. – IUCN, Cambridge, 191 s. ISBN 2-8317-0826-5
- Bakke, J., Dahl, S. O., Paasche, Ø., Løvlie, R. & Nesje, A. 2005: Glacier fluctuations, equilibrium-line altitudes and palaeoclimate in Lyngen, northern Norway, during the Lateglacial and Holocene. – Holocene 15:518–540.
- Bakke, J., Trachsel, M., Kvisvik, B. C., Nesje, A. & Lyså, A. 2013: Numerical analyses of a multi-proxy data set from a distal glacier-fed lake, Sørsendalsvatn, western Norway – Quaternary Science Reviews 73: 182–195.
- Barrett, R. T. 2002: The phenology of spring bird migration to north Norway. – Bird Study 49:270–277.
- Behringer, W. 2010: A cultural history of climate. – Polity Press, Cambridge, 295 s. ISBN 978-0745645292
- Beierlein, L., Salvigsen, O., Schöne, B. R., Mackensen, A. & Brey, T. 2015: The seasonal water temperature cycle in the Arctic Dicksonfjord (Svalbard) during the Holocene Climate Optimum derived from subfossil *Arctica islandica* shells. – The Holocene 25: 1197–1207.
- Bengtsson, L., Semenov, V. A. & Johannessen, O. M. 2004: The early twentieth-century warming in the Arctic – A possible mechanism. – J. Climate 17: 4045–4057.
- Berger, L., Speare, R., Daszak, P., Green, D. E., Cunningham, A. A., Goggin, C. L., Slocombe, R., Ragan, M. A., Hyatt, A. D., McDonald, K. R., Hines, H. B., Lips, K. R., Marantelli, G. & Parkes, H. 1998: Chytridiomycosis causes amphibian

- mortality associated with population declines in the rain forests of Australia and Central America. – PNAS 95: 9031–9036.
- Born, E. W. & Böcher, J. 2001: The ecology of Greenland. – Ministry of Environment and Natural Resources, Nuuk, 429 s. ISBN 87-558-1514-6
- Botkin, D. B. 2016: 25 myths that are destroying the environment. – Taylor Trade Publishing, Guilford, 298 s. ISBN 9781442244924.
- Boulanger-Lapointe, N., Järvinen, A., Partanen, R. & Hermann, T. H. 2017. Climate and herbivore influence on *Vaccinium myrtillus* over the last 40 years in northwest Lapland, Finland. *Ecosphere* 8: 1-11.
- Bousfield, M. A. & Syroechkovskiy, Ye. V. 1985: A review of Soviet research on the Lesser Snow Goose on Wrangel Island, U.S.S.R. – *Wildfowl* 36:13–20.
- Brochet, A.-L., van den Bossche, W., Jbour, S., Ndong' Ang' A., P. K., Jones, V. R., Abdou, W., Al-Hmoud, A., Asswad, N. G., Atienza, J. C., Atrash, I., Barbara, N., Bensusan, K., Bino, T., Celada, C., Cherkaoui, S. I., Costa, J., Deceunninck, B., Etayeb, K. S., Feltrup-Azafzaf, C., Figelj, J., Gustin, M., Kmecl, P., Kocevski, V., Korbeti, M., Kotrosan, D., Laguna, J. M., Lattuada, M., Leitão, D., Lopes, P., Lopez-Jimenez, N., Lucic, V., Micol, T., Moali, A., Perlam, Y., Piludi, N., Portolou, D., Putilin, K., Quaintenne, G., Ramadan-Jaradi, G., Ruzic, M., Sandor, A., Sarajli, N., Saveljic, D., Sheldon, R. D., Shialis, T., Tsiopelas, N., Vargas, F., Thompson, C., Brunner, A., Grimmet, R. & Butchart, S. H. M. 2016: Preliminary assessment of the scope and scale of illegal killing and taking of birds in the Mediterranean. – *Bird Conservation International* 26:1-28.
- Brooke, J. L. 2014: Climate change and the course of global history. – Cambridge University Press, New York, 631 s. ISBN 978-0-521-69218-2
- Brunner, P. C., Douglas, M.R., Osinov, A., Wilson, C.C. & Bernatchez, L. 2001: Holarctic phylogeography of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) inferred from mitochondrial DNA sequences. – *Evolution* 55:573–586
- Calder, W.A. III. 1984: How long is a long-term study? – *Auk* 101:893–894.
- Calvert, J. 1960: Surface at the Pole: the extraordinary voyages of the USS Skate. – McGraw-Hill, New York. 244 s. ISBN 1163814962
- Chambers, D. P., Merrifield, M. A. & Nerem, R. S. 2012: Is there a 60-year oscillation in global mean sea level? – *Geophys. Res. Lett.* 39: L18607, doi:10.1029/2012GL052885.
- Chen, J. L., Wilson, C. R. & Tapley, B. D. 2006: Satellite gravity measurements confirm accelerated melting of Greenland ice sheet. – *Science* 313: 1958–1960.
- Chylek, P., Dubey, M. K. & Lesins, G. 2006: Greenland warming of 1920–1930 and 1995–2005. – *Geophys. Res. Lett.* 33: L11707, doi:10.1029/2006GL026510.
- Collins, J. P. 2004: Where have all the frogs gone? – *Natural History* 113: 44–49.
- Conolly, R., Conolly, M. & Soon, W. 2017: Re-calibration of Arctic sea ice extent datasets using Arctic surface air temperature records. – *Hydrological Sciences Journal*, <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1324974>
- Cowpertwait, P. S. P. & Metcalfe, A. V. 2009: Introductory time series with R. – Springer, Dordrecht, 256 s. ISBN 978-0387886978
- Crichton, M. 2009: Three speeches by Michael Crichton. – SPPI Commentary & Essay Series, 45 s.
- Crockfort, S. 2015: Twenty good reasons not to worry about polar bears. – *GWPF Briefing* 14: 1–21.
- Cronin, T. M. & Cronin, M. A. 2015: Biological response to climate change in the Arctic Ocean: the view from the past. – *Arktos* 1:1-18.

- Cronin, M. A., Rincon, G., Meredith, R. W., MacNeil, M. D., Islas-Trejo, A., Cánovas, A. & Medrano, J. F. 2014: Molecular phylogeny and SNP variation of polar bears (*Ursus maritimus*), brown bears (*U. arctos*), and black bears (*U. americanus*) derived from genome sequences. – *Journal of Heredity* 105:312–23.
- Dahl-Jensen, D. & NEEM 2013: Eemian interglacial reconstructed from a Greenland folded ice core. – *Nature* 493:489–494.
- Dardel, C., Kergoat, L., Hiernaux, P., Mougín, E., Grippa, M. & Tucker, C. J. 2014: Re-greening Sahel: 30 years of remote sensing data and field observations (Mali, Niger). – *Remote Sensing of Environment* 140: 350–364.
- Dausmann, V., Frank, M., Siebert, C., Christl, M. & Hein, J. R. 2015: The evolution of climatically driven weathering inputs into the western Arctic Ocean since the late Miocene: Radiogenic isotope evidence. – *Earth and Planetary Science Letters* 419: 111–124.
- Delbart, N., Le Toan, T., Kergoat, L. & Fedotova, V. 2006: Remote sensing of spring phenology in boreal regions: A free of snow-effect method using NOAA-AVHRR and SPOT-VGT data (1982–2004). – *Remote Sensing of Environment* 101: 52–62.
- de Vernal, A., Hillaire-Marcel, C., Rochon, A., Fréchette, B., Henry, M., Solignac, S. & Bonnet, S. 2013: Dinocyst-based reconstructions of sea ice cover concentration during the Holocene in the Arctic Ocean, the northern North Atlantic Ocean and its adjacent seas. – *Quaternary Science Reviews* 79: 111–121.
- Ding, Q., Schweiger, A., L’Heureux, M., Battisti, D. S., Po-Chedley, S., Johnson, N. C., Blanchard-Wrigglesworth, E., Harnos, K., Zhang, Q., Eastman, R. & Steig, E. J. 2017: Influence of high-latitude atmospheric circulation changes on summertime Arctic sea ice. – *Nature Climate Change* 7:289–295.
- Donohue, R. J., Roderick, M. L., McVicar, T. R. & Farquhar, G. D. 2013: Impact of CO₂ fertilization on maximum foliage cover across the globe’s warm, arid environments. – *Geophysical Research Letters* 40:3031–3035.
- Dumont, M., Sather, S. & Harmer, R. 2013: Observation of Arctic island barren-ground caribou (*Rangifer tarandus groenlandicus*) migratory movement delay due to human induced sea-ice breaking. – *Rangifer*, Special Issue 33: 115–122.
- Durantou, L., Rochon, A., Ledu, D., Massé, G., Schmidt, S. & Babin, M. 2012: Quantitative reconstruction of sea-surface conditions over the last 150 yr in the Beaufort Sea based on dinoflagellate cyst assemblages: the role of large-scale atmospheric circulation patterns. – *Biogeosciences* 9:5391–5406.
- Easterbrook, D. (toim.) 2011: Evidence-based climate science. – Elsevier, Amsterdam, 400 s. ISBN 978-0123859563
- Eronen, M. & Hyvärinen, H. 1980: Kilpisjärvi jääkaudesta nykyaikaan. – *Luonnon Tutkija* 84: 7–10.
- Falldorf, T. 2013: Habitat use of wild Reindeer (*Rangifer t. tarandus*) in Hardangervidda, Norway. – NINA Report 982, 254 s.
- Fan, S. & Yang, X. 2017: Arctic and East Asia winter climate variations associated with the Eastern Atlantic pattern. – *Journal of Climate* 30:573–583.
- Franzke, C. 2012: On the statistical significance of surface air temperature trends in the Eurasian Arctic region. – *Geophys. Res. Lett.* 39, L23705, 5 pp., doi:10.1029/2012GL054244.
- Freeman, S. & Herron, J. C. 2004: Evolutionary analysis. Third edition. – Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, 802 s. ISBN 0131442791

- Frolov, I. E., Gudkovich, Z. M., Karklin, V. P., Kovalev, E. G. & Smolyanitsky, V. M. 2009: Climate change in Eurasian Arctic shelf seas. Centennial ice cover observations. Praxis Publishing, Chichester, 164 s. ISBN 978-3-540-85875-1
- Fuller, T. K. & Keith, L. B. 1981: Woodland caribou population dynamics in northeastern Alberta. – *J. Wildl. Manage.* 45: 197–213.
- Funder, S., Goosse, H., Jepsen, H., Kaas, E., Kjær, K. H., Korsgaard, N. J., Larsen, N. K., Linderson, H., Lyså, A., Möller, P., Olsen, J. & Willerslev, E. 2011: A 10,000-year record of Arctic Ocean sea-ice variability – View from the Beach. – *Science* 333: 747–750.
- Furness, R. W. 2009: Predation on ground-nesting seabirds by island populations of red deer *Cervus elaphus* and sheep *Ovis*. – *Journal of Zoology* 216:565–573.
- Fyfe, J. C., Gillett, N. P. & Zwiers, F. W. 2013: Overestimated global warming over the past 20 years – *Nature Climate Change* 3: 767–769.
- Gagné, M.-E., Fyfe, J. C., Gillett, N. P., Polyakov, I. V., Gregory M., Flato, G. M. 2017: Aerosol-driven increase in Arctic sea ice over the middle of the 20th Century. – *Geophys. Res. Lett.*, doi: 10.1002/2016GL071941
- Gasparri, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, I., Zanobetti, A., Schwartz, J., Tobias, A., Tong, S., Rocklöv, J., Forsberg, B., Leone, M., De Sario, M., Bell, M. L., Guo, Y.-L. L., Wu, C.F., Kan, H., Yi, S.-M., Coelho, M., Saldiva, P. H. N., Honda, Y., Kim, H. & Armstrong, B. 2015: Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. – *The Lancet* 386: 369–375.
- Geirsdóttir, Á., Miller, G. H., Larsen, D. J. & Ólafsdóttir, S. 2013: Abrupt Holocene climate transitions in the northern North Atlantic region recorded by synchronized lacustrine records in Iceland. – *Quaternary Science Reviews* 70: 48–62.
- Gerasimchuk, I. & Koh, P. Y. 2013: The EU biofuel policy and palm oil: Cutting subsidies or cutting rainforest? – Research Report of the International Institute for Sustainable Development (IISD), 19 s. http://www.iisd.org/gsi/sites/default/files/bf_eupalmoil.pdf
- Golovatin, M. G., Morozova, L. M. & Ektova, S. N. 2012: Effect of reindeer overgrazing on vegetation and animals of tundra ecosystems of the Yamal peninsula. – *Czech Polar Reports* 2: 80–91.
- Green, K. C. & Armstrong, J. S. 2007: Global warming: forecasts by scientists versus scientific forecasts. – *Energy & Environment* 18: 997–1021.
- Haas, Ch. & Howell, S. E. L. 2015: Ice thickness in the Northwest Passage. – *Geophys. Res. Lett.* 42: 7673–7680.
- Hailer, F., Kutschera, V. E., Hallström, B. M., Klassert, D., Fain, S. R., Leonard, J. A., Arnason, U. & Janke, A. 2012: Nuclear Genomic Sequences Reveal that Polar Bears Are an Old and Distinct Bear Lineage. – *Science* 336: 344–347.
- Hallanaro, E.-L. & Pylvänäinen, M. (toim.) 2002: Nature in Northern Europe “ Biodiversity in a changing environment. – Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 350 s. ISBN 9289306351
- Hansen, K. 2002: A fairwell to Greenland’s wildlife. – *Baeredygtighed*, Nuuk, 154 s. ISBN 8789723015
- Hanski, I., Hansson, L. & Henttonen, H. 1991: Specialist predators, generalist predators, and the microtine rodent cycle. – *J. Anim. Ecol.* 60: 353–367.

- Heard, D. C., Williams, T. M. & Jingfors, K. 1986: Precalving distribution and abundance of barren-ground caribou on the Northeastern Mainland of the Northwest Territories. – *Arctic* 39:24–28.
- Heikkilä, T. & Järvinen, A. 2011: Saamelaisalueen luonto ja sen muutokset. – Kirjassa: Saamentutkimus tänään, s. 56–76, Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Helsinki. ISBN 978-952-222-220-6
- Helle, T. 2004: Poro. Kirjassa: Järvinen, A. & Lahti, S. (toim.), Suurtuntureiden luonto. – Palmenia-kustannus, Helsinki, s. 192–193. ISBN 9789521011429
- Henttonen, H. & Hanski, I. 2000: Population dynamics of small rodents in northern Fennoscandia. – Kirjassa J. N. Perry, R. H. Smith, I. P. Woiwod & D. R. Morse (toim.), Chaos in real data, s. 73–96, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. ISBN 978-94-010-5772-1
- Hildén, O., Järvinen, A., Lehtonen, L. & Soikkeli, M. 1982: Breeding success of Finnish birds in the bad summer of 1981. – *Ornis Fennica* 59: 20–31.
- Hoffert, M. I. & Flannery, B. F. 1985: Model predictions of the time-dependent response to increasing carbon dioxide. – Kirjassa: MacCracken, M. C. & Luther, F. M. (toim.), Projecting the climate effects of increasing carbon dioxide, s. 150–190, Report DOE/ER-0237, U.S. Department of Energy, Washington D.C., 381 s.
- Hormes, A., Müller, B. U. & Schlüchter, Ch. 2001: The Alps with little ice: evidence for eight Holocene phases of reduced glacier extent in the Central Swiss Alps. – *The Holocene* 11: 255–265.
- Humlum, O. 2017: The state of the climate 2016. – *GWPF Report* 23:1-37.
- Humlum, O., Solheim, J. E. & Stordahl, K. 2011: Identifying natural contributions to late Holocene climate change. – *Glob. Planet. Change* 79:145–156.
- Hustich, I. 1949: On the correlation between growth and the recent climatic fluctuation. – *Geogr. Ann.* 31: 90–105.
- Hustich, I. 1978: The growth of Scots pine in northern Lapland, 1928–77. – *Ann. Bot. Fennici* 15: 241–252.
- Ifft, G. N. 1922: The changing Arctic. – *Monthly Weather Review*, November 1922: 589.
- Indrelid, S. 2014: Oppdagelser på Hardangervidda. – John Grieg AS, Bergen, 224 s. ISBN 9788273261083
- IPCC 1990: Climate change. The IPCC scientific assessment. – Cambridge University Press, Cambridge, 365 s. ISBN 978-0521407205
- IPCC 2013: Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge University Press, Cambridge, 1535 s. ISBN 978-1107661820
- Ivanovic, R. F., Gregoire, L. J., Wickert, A. D., Valdes, P. J. & Burke, A. 2017: Collapse of the North American ice saddle 14,500 years ago caused widespread cooling and reduced ocean overturning circulation. – *Geophys. Res. Lett.* 44:383-392.
- Jiang, H., Muscheler, R., Björck, S., Seidenkrantz, M.-S., Olsen, J., Sha, L., Sjolte, J., Eiriksson, J., Ran, L., Knudsen, K.-L. & Knudsen, M. F. 2015: Solar forcing of Holocene summer sea-surface temperatures in the northern North Atlantic. – *Geology* 43, doi:10.1130/G36377.1
- Johannessen, O. M., Khvorostovsky, K., Miles, M. W. & Bobylev, L. P. 2005: Recent ice-sheet growth in the interior of Greenland. – *Science* 310: 1013–1016.
- Järvinen, A. 1981: Population trends in the redstart *Phoenicurus phoenicurus* in northern Fennoscandia. – *Ornis Fennica* 58:129–131.

- Järvinen, A. 1983: Breeding strategies of hole-nesting passerines in northern Lapland. – *Ann. Zool. Fennici* 20:129–149.
- Järvinen, A. 1984: The breeding ecology of hole-nesting passerines in extreme northern conditions. – Ph. D. Thesis, Dept. Zool., Univ. Helsinki.
- Järvinen, A. 1987 a: Microtine cycles and plant production: what is cause and effect? – *Oikos* 49: 352–357.
- Järvinen, A. 1987 b: A successful mixed breeding between *Parus cinctus* and *Parus montanus* in Finnish Lapland. – *Ornis Fennica* 64: 158–159.
- Järvinen, A. 1989: Patterns and causes of long-term variation in reproductive traits of the pied flycatcher *Ficedula hypoleuca* in Finnish Lapland. – *Ornis Fennica* 66: 24–31.
- Järvinen, A. 1992: Pitkäaikaisten tutkimusten merkityksestä ekologiassa. – *Luonnon Tutkija* 96:103–107.
- Järvinen, A. 1994 a: Sinirinta – Kilpisjärven lintu. – *Kilpisjärvi Notes* 13: 1–16.
- Järvinen, A. 1994 b: Global warming and egg size of birds. – *Ecography* 17:108–110.
- Järvinen, A. 1996: Correlation between egg size and clutch size in the Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca* in cold and warm summers. – *Ibis* 137:620–623.
- Järvinen, A. 1999: Neljä vuosikymmentä kirjosiieppotutkimusta Kilpisjärven tunturikoivikossa. – *Linnut-vuosikirja* 1998: 94–100.
- Järvinen, A. & Heikkilä, T. 2014: Kilpisjärven pitkäaikaisten tutkimusten sanoma: paljon vaihtelua, hieman muutosta. – Kirjassa: Järvinen, A., Heikkilä, T. & Lahti, S. (toim.), *Tieteen ja taiteen tunturit*, s. 42–54, Gaudeamus, Tampere. ISBN 978-952-495-336-8
- Järvinen, A., Heikkilä, T. & Lahti, S. (toim.) 2014 a: *Tieteen ja taiteen tunturit*. – Gaudeamus, Tampere, 358 s.
- Järvinen, A. & Järvinen, L. 2014: Jäähyväiset jääleikille. – Kirjassa: Järvinen, A., Heikkilä, T. & Lahti, S. (toim.), *Tieteen ja taiteen tunturit*, s. 349–351, Gaudeamus, Tampere. ISBN 978-952-495-336-8
- Järvinen, A., Lakka, H.-K. & Sujala, M. 2014 b: Arktinen kilpikidusjalkainen, tunturivesien elävä fossiili, löydetty jälleen Suomesta. – *Luonnon Tutkija* 118: 19–24.
- Järvinen, A. & Väisänen, R. A. 1984: Reproduction of pied flycatchers (*Ficedula hypoleuca*) in good and bad breeding seasons in a northern marginal area. – *Auk* 101: 439–450.
- Kahl, J. D., Charlevoix, D. J., Zaitseva, N. A., Schnell, R. C. & Serreze, M. C. 1993: Absence of evidence for greenhouse warming over the Arctic Ocean in the past 40 years. – *Nature* 361: 335–337.
- Kalela, O. 1938: Über die Regionale Verteilung der Brutvogelfauna im Flussgebiet des Kokemäkjoki. – *Ann. Zool. Soc. Zool. Bot. Fenn. Vanamo* 9: 1–297.
- Kalela, O. 1940: Zur Frage der neuzeitlichen Anreicherung der Brutvogelfauna in Fennoskandien mit besonderer Berücksichtigung der Austrocknung in den früheren Wohngebieten der Arten. – *Ornis Fennica* 17: 41–59.
- Kalela, O. 1947: Suomen eläimistön viimeaikaisista muutoksista. – *Suomen Luonto* n:o 1: 7–16.
- Kalela, O. 1948: Hillerin levinneisyysmuutoksista Suomessa. – *Suomen Riista* 2: 77–96.
- Kalela, O. 1949: Changes in geographic ranges in the avifauna of northern and central Europe in relation to recent changes in climate. – *Bird-Banding* 20: 77–103.
- Kalela, O. 1952: Changes in the geographic distribution of Finnish birds and mammals in relation to recent changes in climate. – *Fennia* 75:38–51.
- Karlsen, S. R., Høgda, K.A., Wielgolaski, F. E., Tolvanen, A., Tømmervik, H., Poikolainen, J. & Kubin, E. 2009: Growing-season trends in Fennoscandia 1982–2006, determined from satellite and phenology data. – *Climate Research* 39: 275–286.
- Kaptué, A. T., Prihodko, L. & Hanan, N. P. 2015: On regreening and degradation in Sahelian watersheds. – *PNAS* 112: 12133–12138.

- Keränen, J. 1952: On temperature changes in Finland during the last hundred years. – *Fennia* 75: 5–10.
- Kincer, J. B. 1933: Is our climate changing? A study of long-term temperature trends. – *Monthly Weather Review* 61.
- Klingbjør, P. & Moberg, A. 2003: A composite monthly temperature record from Tornedalen in northern Sweden, 1802–2002. – *Int. Journal of Climatology* 23: 1465–1494.
- Klyashtorin, L. B. & Lyubushin, A. A. 2007: Cyclic climate changes and fish productivity. – Vniro Publishing, Moscow, 223 s. ISBN 978-5-85382-339-6
- Kobashi, T., Severinghaus, J. P., Barnola, J. M., Kawamura, K., Carter, T. & Nakaegawa, T. 2009: Persistent multi decadal Greenland temperature fluctuation through the last millennium. – *Climate Change* 100:733–756.
- Kobashi, T., Kawamura, K., Severinghaus, J. P., Barnola, J.-M., Nakaegawa, T., Vinther, B. M., Johnsen, S.J. & Box, J. E. 2011: High variability of Greenland surface temperature over the past 4000 years estimated from trapped air in an ice core. – *Geophys. Res. Lett.* 38: 1–6.
- Koch, L. 1945: The East Greenland ice. – *Meddelelser om Grønland*, vol. 130, No. 3: 1–374.
- Korhonen, J. 2006: Long-term changes in lake ice cover in Finland. – *Nordic Hydrology* 37: 347–363.
- Kujansuu, R. 1967: On the deglaciation of western Finnish Lapland. – *Bull. Comm. Géol. Finl.* 232: 1–98.
- Kukla, G. J. & Kukla, H. J. 1974: Increased surface albedo in the Northern Hemisphere. Did satellites warn of the weather troubles of 1972 and 1973? – *Science* 183: 709–714.
- Lagercrantz, C.-L. 1974: Kilpisjärvitraktens klimat, tjäle och postglaciala klimatutveckling: observationer gjorda 1938–39. – *Terra* 86: 62–67.
- Lamb, H. H. 1995: Climate, history and the modern world. – Routledge, London, 433 s. ISBN 978-0415127356
- Lau, M. C. Y., Stackhouse, B. T., Layton, A. C., Chauhan, A., Vishnivetskaya, T. A., Chourey, K., Ronholm, J., Mykytczuk, N. C. S., Bennett, P. C., Lamarche-Gagnon, G., Burton, N., Pollard, W. H., Omelon, C. R., Medvigy, D. M., Hettich, R. L., Pfiffner, S. M., Whyte, L. G. & Onstott, T. C. 2015: An active atmospheric methane sink in high Arctic mineral cryosols. – *The ISME Journal* 9: 1880–1891.
- Lindholm, M., Ogurtsov, M., Jalkanen, R., Gunnarson, B.E. & Aalto, T. 2014: Six temperature proxies of Scots pine from the interior of northern Fennoscandia combined in three frequency ranges. – *Journal of Climatology*, 13 s.
- Lehikoinen, A., Green, M., Husby, M., Kälås, J. A. & Lindström, Å 2014: Common montane birds are declining in northern Europe. – *J. Avian Biol.* 45: 3–14.
- Levitus, S., Matishov, G., Seidov, D. & Smolyar, I. 2009: Barents Sea multidecadal variability. – *Geophysical Research Letters* 36, L19604, doi:10.1029/2009GL039847.
- Lewin, B. 2015: Hubert Lamb and the transformation of climate science. – *GWPF Report* 17:1–45.
- Lilleøren, K. S., Etzelmüller, B., Schuler, T. V., Gislås, K. & Humlum, O. 2012: The relative age of mountain permafrost – estimation of Holocene permafrost limits in Norway. – *Global Planetary Change* 92-93: 209–223.
- Linkola, M. 1985: Saamelaisten poropaimentolaisuuden vaiheet. – *Kirjassa: Lappi 4. Saamelaisten ja suomalaisten maa*, s. 167-187, Karisto, Hämeenlinna. ISBN 951-23-2004-5,
- Linderholm, H. W. & Gunnarson, B. E. 2005: Summer temperature variability in central Scandinavia during the last 3600 years. – *Geograf. Ann.* 87A: 231–241.

- Ljungqvist, F. C. 2010: A new reconstruction of temperature variability in the extratropical Northern Hemisphere during the last two millennia. – *Geogr. Ann.* 92 A: 339–351.
- Lloyd, P. J. 2015: An estimate of the centennial variability of global temperatures. – *Energy & Environment*, 26: 417–424.
- Lohmann, G. & Schöne, B. R. 2013: Climate signatures on decadal to interdecadal time scales as obtained from mollusk shells (*Arctica islandica*) from Iceland. – *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 373:152–162.
- Lomolino, M. V., Riddle, B. R., Whittaker, R. J. & Brown, J. H. 2010: *Biogeography*. Fourth edition – Sinauer Associates, Inc., Sunderland, 878 s. ISBN 978-0878934942
- Longhurst, A. 2015: Doubt and certainty in climate science. – Vapaasti ladattava e-sähkökirja, 239 s. (<https://curryja.files.wordpress.com/2015/09/longhurst-clean.pdf>).
- Lüdecke, H.-J., Link, R. & Ewert, F. K. 2011: How natural is the recent centennial warming? An analysis of 2249 surface temperature records. – *Int. J. Mod. Phys. C* 22:1139–1159.
- Lyysgaard, L. 1949: Recent climatic fluctuations. – *Folia Geographica Danica* 5: 1–85.
- MacDonald, G., Velichko, A. A., Kremenetski, C. V., Borisova, O. K., Goleva, A. A., Andreev, A. A., Cwynar, L. C., Riding, R. T., Forman, S. L., Edwards, T. W. D. & Aravena, R. 2000: Holocene treeline history and climate change across Northern Eurasia. – *Quaternary Research* 53: 302–311.
- Mark, S. Z. 2016: Mid-Holocene marine paleoclimate reconstruction through sclerochronological analysis of *Arctica islandica* from Finnmark, Rolvsøya, Northern Norway. – Honors Theses, 154. <http://scarab.bates.edu/honorsthesis/154>.
- Marshall, J., Armour, K. C., Scott, J. R., Kostov, Y., Hausmann, U., Ferreira, D., Shepherd, T. G. & Bitz, C. M. 2014: The ocean's role in polar climate change: asymmetric Arctic and Antarctic responses to greenhouse gas and ozone forcing. – *Phil. Trans. R. Soc. A* 372:20130040.
- Mattila, E. 2014: Ylä-Lapin talvilaidunnavioinnin tuloksia. Uusimmat arviot vuodelta 2012 ja vastaavia tuloksia vuodelta 2004. – Metlan työraportteja 282: 1–55.
- McCarroll, D., Loader, N., Jalkanen, R., Gagen, M., Grudd, H., Gunnarson, B., Kirchhefer, A., Friedrich, M., Linderholm, H., Lindholm, M., Boettger, T., Los, S., Remmele, S., Kononov, Y., Yamazaki, H., Young, G. & Zorita, E. 2013: A 1200-year multiproxy record of tree growth and summer temperature at the northern pine forest limit of Europe. – *The Holocene* 23: 471–484.
- McCarthy, G. D., Haigh, I. D., Hirschi, J. J.-M., Grist, J. P., Smeed, D. A. 2015: Ocean impact on decadal Atlantic climate variability revealed by sea-level observations. – *Nature* 521: 508–510.
- McKay, J. L., de Vernal, A., Hillaire-Marcel, C., Not, C., Polyak, L. & Darby, D. 2008: Holocene fluctuations in Arctic sea-ice cover: dinocyst-based reconstructions for the eastern Chukchi Sea. – *Canadian Journal of Earth Sciences* 45: 1377–1397.
- Miles, M. W., Divine, D. V., Furevik, T., Jansen, E., Moros, M. & Ogilvie, A. E. J. 2014: A signal of persistent Atlantic multidecadal variability in Arctic sea ice. – *Geophys. Res. Lett.* 41: 463–469.
- Moore, J. J., Hughen, K. A., Miller, G. H. & Overpeck, J. T. 2001. Little Ice Age recorded in summer temperature reconstruction from varved sediments of Donard Lake, Baffin Island, Canada. – *Journal of Paleolimnology* 25:503–517.

- Motulksy, H. 2014: Intuitive biostatistics. A nonmathematical guide to statistical thinking. – Oxford University Press, Oxford, 540 s. ISBN 978-0199946648
- Møller, A. P., Fiedler, W. & Berthold, P. 2010: Effects of climate change on birds. – Oxford University Press, Oxford, 336 s. ISBN 978-0-19-956974-8
- Mudie, P. J., Rochon, A. & Levac, E. 2005: Decadal-scale sea ice changes in the Canadian Arctic and their impacts on humans during the past 4,000 years. – *Environmental Archaeology* 10: 113–126.
- Mäkilä, M., Säävuori, H., Kuznetsov, O. & Grundström, A. 2013: Suomen soiden ikä ja kehitys. – Geologian tutkimuskeskus. Turvetutkimusraportti 443, 41 s.
- Nesje, A., Pilø, L. H., Finstad, E., Solli, B., Wangen, V., Ødegård, R. S., Isaksen, K., Støren, E. N., Bakke, D. I. & Andreassen, L. M. 2011: The climatic significance of artefacts related to prehistoric reindeer hunting exposed at melting ice patches in southern Norway. – *The Holocene* 22: 485–496.
- Norokorpi, Y., Eeronheimo, H., Eurola, S., Heikkinen, R., Johansson, P., Kumpula, J., Mäkelä, K., Neuvonen, S., Sihvo, J., Tynys, S. & Virtanen, R. 2008: Tunturit. – Julkaisussa: Raunio, A., Schulman, A. & Kontula, T. (toim.). Suomen luontotyypin uhanalaisuus, Osa 2: Luontotyypin kuvaukset, Suomen ympäristö 8: 467–541. ISBN 978-952-11-3025-0
- Nyholm, N. E. I. 2011: Dynamics and reproduction of a nest-box breeding population of Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca* in a subalpine birch forest in Swedish Lapland during a period of 46 years. – *Ornis Svecica* 21: 133–156.
- Ogurtsov, M., Lindholm, M., Jalkanen, R. & Veretenenko, S. 2015: Evidence for the Gleissberg solar cycle at the high-latitudes of the Northern Hemisphere. – *Advances Space Research* 55: 1285–1290.
- Opel, T., Fritzsche, D., Meyer, H., Schütt, R., Weiler, K., Ruth, U., Wilhelms, F. & Fischer, H. 2009: 115-year ice-core data from Akademii Nauk ice cap, Severnaya Zemlya: high-resolution record of Eurasian Arctic climate change. – *Journal of Glaciology* 55: 21–31.
- Opel, T., Fritzsche, D. & Meyer, H. 2013: Eurasian Arctic climate over the past millennium as recorded in the Akademii Nauk ice core (Severnaya Zemlya). – *Climate of the Past* 9: 2379–2389.
- Pakeman, R. J., Alexander, J., Beaton, J., Brooker, R., Cummins, R., Eastwood, A., Fielding, D., Fisher, J., Gore, S., Hewison, R., Hooper, R., Lennon, J., Mitchell, R., Moore, E., Nolan, A., Orford, K., Pemberton, C., Riach, D., Sim, D., Stockan, J., Trinder, C. & Lewis, R. 2015: Species composition of coastal dune vegetation in Scotland has proved resistant to climate change over a third of a century. – *Global Change Biology* 21: 3737–3747.
- Parker, G. 2013: Global crisis. War, climate change & catastrophe in the seventeenth century. – Yale Univ. Press, New Haven, 871 s. ISBN 978-0-300-20863-4.
- Pimentel, D. 2003: Ethanol fuels: energy balance, economics and environmental impacts are negative. – *Natural Resources Research* 12: 127–134.
- Polyakov, I. V., Bekryaev, R. V., Alekseev, G. V., Bhatt, S., Colony, R. L., Johnson, M. A., Maskhtas, A. P. & Walsh, J. D. 2003: Variability and trends of air temperature and pressure in the maritime Arctic, 1875–2000. – *Journal of Climate* 16: 2067–2077.
- Przybylak, R. 2000: Temporal and spatial variation of surface air temperature over the period of instrumental observations in the Arctic. – *International Journal of Climatology* 20: 587–614.

- Przybylak, R. 2003: The climate of the Arctic. – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 288 s. ISBN 978-90-481-6226-0.
- Przybylak, R. 2007: Recent air-temperature changes in the Arctic. – *Ann. Glaciol.* 46: 316–324.
- Rauhala, P., Suopajärvi, M. & Suopajärvi, P. 2015: Kemin-Tornion alueen linnut. – Pentti Rauhala Kemi, 239 s. ISBN 978-952-93-5407-8
- Reid, J. 2016: There is no significant trend in global average temperature. – *Energy & Environment* 28: 302-315.
- Rosenthal, Y., Linsley, B. K. & Oppo, D. W. 2013: Pacific Ocean heat content during the past 10,000 years. – *Science* 342: 617–621.
- Rosenthal, Y., Kalansky, J., Morley, A. & Linsley, B. 2017: A paleo-perspective on ocean heat content: Lessons from the Holocene and Common Era. – *Quaternary Science Reviews* 155: 1–12.
- Røed, K. H., Flagstad, Ø., Nieminen, M., Holand, Ø., Dwyer, M. J., Røv, N. & Vilà, C. 2008: Genetic analyses reveal independent domestication origins of Eurasian reindeer. – *Proc. R. Soc. B* 275: 1849–1855.
- Salminen, H. & Jalkanen, R. 2015: Modeling of bud break of Scots pine in northern Finland in 1908–2014. – *Frontiers of Plant Science* 6: 1–7.
- Salonen, V.-P., Eronen, M. & Saarnisto, M. 2006: Käytännön maaperägeologia. – Kirja-Aurora Turku, 237 s. ISBN 9789512922475
- Santer, B. D., Bonfils, C., Painter, J. F., Zelinka, M. D., Mears, C., Solomon, S., Schmidt, G. A., Fyfe, J. C., Cole, J. N. S., Nazarenko, L., Taylor, K. E. & Wentz, F. J. 2014: Volcanic contribution to decadal changes in tropospheric temperature. – *Nature Geoscience* 7: 185–189.
- Scafetta, N. & Mazzarella, A. 2015: The Arctic and Antarctic sea-ice area index records versus measured and modeled temperature data. – *Advances in Meteorology* Volume 2015, ID 481834, 8 s. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/481834>.
- Schneider, S. H. & Mesirov, L. E. 1976: The genesis strategy. Climate and global survival. – Plenum Press, New York, 419 s. ISBN 0-306-30904-1
- Scherhag, R. 1931: Eine bemerkungswerte Klimaänderung über Nord-Europa. – *Ann. Hydr. Mar. Meteorologie*: 57–67.
- Schlüchter, Ch. & Jörin, U. 2004: Holz- und Torffunde als Klimaindikatoren. Alpen ohne Gletscher? – *Die Alpen* 6: 34–47.
- Schönswetter, P., Paun, O., Tribsch, A. & Niklfeld, H. 2003: Out of the Alps: colonization of Northern Europe by East Alpine populations of the Glacier Buttercup *Ranunculus glacialis* L. (Ranunculaceae). – *Mol. Ecol.* 12:3373–3381.
- Scoresby, W. 1823: Journal of a voyage to the northern whale-fishery: including researches and discoveries on the eastern coast of west Greenland, made in the summer of 1822, in the ship Baffin of Liverpool. – Archibald Constable, Edinburgh, 559 s.
- Screen, J. A., Simmonds, I. & Keay, K. 2011: Dramatic interannual changes of perennial Arctic sea ice linked to abnormal summer storm activity. – *Journal of Geophysical Research* 116: DOI 10.1029/2011JD015847.
- Seppä, H. & Birks, H. J. B. 2002: Holocene climate reconstructions from Fennoscandian tree-line area based on pollen data from Toskaljavi. – *Quat. Res.* 57:191–199.

- Seppä, H., Nyman, M., Korhola, A. & Weckström, J. 2002: Changes of the tree-lines and alpine vegetation in relation to post-glacial climate dynamics in northern Fennoscandia based on pollen and chironomid records. – *J. Quat. Sci.* 17:287–301.
- Shikano, T., Järvinen, A., Marjamäki, P., Kahilainen, K. K. & Merilä, J. 2015: Genetic variability and structuring of Arctic Charr (*Salvelinus alpinus*) populations in northern Fennoscandia. – *PLoS ONE* 10: 1–17.
- Shiyatov, S. G. & Mazepa, V.S. 2011: Climate-driven dynamics of the forest-tundra vegetation in the polar Ural Mountains – *Contemporary Problems of Ecology* 4: 758–768.
- Shumway, R. H. & Stoffer, D. S. 2011: Time series analysis and its applications. – Springer, Dordrecht, 596 s. ISBN 978-1441978646
- Sidorova, O. V., Saurer, M., Andreev, A., Fritzsche, D., Opel, T., Naurzbaev, M. M. & Siegwolf, R. 2013: Is the 20th century warming unprecedented in the Siberian north? – *Quaternary Science Reviews* 73: 93–102.
- Simberloff, D. 1980: A succession of paradigms in ecology: Essentialism to materialism and probabilism. – *Synthese* 43: 3–39.
- Sirén, G. 1961: Skogsgrarutallen som indikator för klimatfluktuationerna i norra Fennoskandien under historisk tid. – *Commun. Inst. Forest. Fenniae* 54: 1–66.
- Soon, W., Connolly, R. & Connolly, M. 2015: Re-evaluating the role of solar variability on Northern Hemisphere temperature trends since the 19th century. – *Earth-Science Reviews* 150: 409–452.
- Steele, J. 2013: Landscapes & cycles. – CreateSpace Independent Publishing Platform, 342 s. ISBN 978-1490390185
- Steffensen, J. P., Andersen, K. K., Bigler, M., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Fischer, H., Goto-Azuma, K., Hansson, M., Johnsen, S. J., Jouzel, J., Masson-Delmotte, V., Popp, T., Rasmussen, S. O., Rothlisberger, R., Ruth, U., Stauffer, B., Siggaard-Andersen, M.-L., Sveinbjörnsdóttir, A. E., Svensson, A. & White, J. W. C. 2008: High-resolution Greenland ice core data show abrupt climate change happens in few years. – *Science* 321: 680–684.
- Stenseth, N. Chr. 1985: Professor Olavi Kalela. – *Annales Zool. Fennici* 22: 208–210.
- Stranne, C., Jakobsson, M. & Björk, G. 2014: Arctic Ocean perennial sea ice breakdown during the Early Holocene Insolation Maximum. – *Quaternary Science Reviews* 92: 123–132.
- Thingstad, P. G., Nyholm, N. E. I. & Fjeldheim, B. 2006: Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca* population dynamics in peripheral habitats in Scandinavia. – *Ardea* 94: 211–223.
- Valkama, J., Vepsäläinen, V. & Lehikoinen, A. 2011: The third Finnish breeding bird atlas. – Finnish Museum of Natural History and Ministry of Environment. <<http://atlas3.lintuatlas.fi/english>, ISBN 978-952-10-7145-4.
- van Wijngaarden, W. A. 2015. Arctic temperature trends from the early nineteenth century to the present. – *Theor. Appl. Climatol.* 122:567-580.
- Vedeler, M. & Jørgensen, L. B. 2013: Out of the Norwegian glaciers: Lendbreen – a tunic from the early first millennium AD. – *Antiquity* 87: 788–801.
- Vercel, R. 1938: *Al'assaut des pôles*. – Albin Michel, Paris, 253 s. (ks. myös http://www.scm.s.a.e.u/archives/SCM_RC_2015_08_24_EN.pdf).
- Vibe, Ch. 1967: Arctic animals in relation to climatic fluctuations. – *Meddelelser om Grønland*, vol. 170, No. 5, s. 1–227.

- Viljanmaa, S. 2014: Jääkauden jälkeistä asutushistoriaa. - Kirjassa: Järvinen, A., Heikkilä, T. & Lahti, S. (toim.). Tieteen ja taiteen tunturit, s. 117–129, Gaudeamus, Tampere. ISBN 978-952-495-336-8
- Vinje, T. 2001: Anomalies and trends of sea-ice extent and atmospheric circulation in the Nordic seas during the period 1864–1998. – *Journal of Climate* 14: 255–267.
- Wagner, A. 1940: Klimaänderungen und Klimaschwankungen. – Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 221 s.
- Wagner, T. J. W. & Eisenman, I. 2015: How climate model complexity influences sea ice stability. – *Journal of Climate* 28: 3998–4014.
- Wang, K. C., Dickinson, R. E., Wild, M. & Liang, S. 2012: Atmospheric impacts on climatic variability of surface incident solar radiation. – *Atmos. Chem. Phys.* 12: 9581–9592.
- Weißbach, S., Wegner, A., Opel, T., Oerter, H., Vinther, B. M. & Kipfstuhl, S. 2015: Spatial and temporal oxygen isotope variability in northern Greenland – implications for a new climate record over the past millennium. – *Clim. Past Discuss.* 11: 2341–2388.
- White, J. W. C., Alley, R. B., Brigham-Grette, J., Fitzpatrick, J. J., Jennings, A. E., Johnsen, S. J., Miller, G. H., Nere, R. S. & Polyak, L. 2010: Past rates of climate change in the Arctic. – *Quaternary Science Reviews* 29: 1716–1727.
- Willis, K. J. & Bhagwat, S. A. 2009: Biodiversity and climate change. – *Science* 326: 806–807.
- Wilson, A. J., Gíslason, D., Skúlason, S., Snorrason, S. S., Adams, C. E., Alexander, G., Danzmann, R. G. & Ferguson, M. M. 2004: Population genetic structure of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* from northwest Europe on large and small spatial scales. – *Mol. Ecol.* 13: 1129–1142.
- Wittmeier, H. E., Bakke, J., Vasskog, K. & Trachsel, M. 2015: Reconstructing Holocene glacier activity at Langfjordjøkelen, Arctic Norway, using multi-proxy fingerprinting of distal glacier-fed lake sediments – *Quaternary Science Reviews* 114: 78–99.
- Zakharov, V. F. 1997: Sea ice in the climate system: A Russian view. – NSIDC Special Report 16: 1–71. Boulder CO, USA: National Snow and Ice Data Center.
- Zawiska, I., Luoto, T. P., Nevalainen, L., Tylmann, W., Jensen, T. C., Obremska, M., S³owiński, M., Woszczyk, M., Schartau, A. K. & Walseng, B. 2017: Climate variability and lake ecosystem responses in western Scandinavia (Norway) during the last Millennium. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 466: 231–239.
- Zhang, R. 2015: Mechanisms for low-frequency variability of summer Arctic sea ice extent. – *PNAS* 112: 4570–4575.
- Zubov, N. N. 1963 (1938): Arctic ice. – U.S. Navy Electronics Laboratory, San Diego, 491 s.
- Åkesson, H., Nisancioglu, K. H., Giesen, R. H. & Morlighem, M. 2017: Simulating the evolution of Hardangerjøkulen ice cap in southern Norway since the mid-Holocene and its sensitivity to climate change. – *The Cryosphere* 11: 281–302.

Kilpisjärvi Notes

- 1 (1976) **Seppo Lahti:** Vertebrates of Northwestern Lapland (Luoteis-Lapin selkärangaiset).
- 2 (1978) **Heikki Henttonen:** Pohjois-Suomen pikkujyrsijöiden lajien välisistä suhteista (Interspecific relations among small rodents in northern Finland).
Antero Järvinen: Kololinnut subarktisessa kesässä (Hole-nesting passerines under subarctic summer conditions at Kilpisjärvi, Finnish Lapland).
Kari Laine: Piirteitä kukinnan sekä marja- ja siemensatojen vuotuisista vaihteluista Kilpisjärvellä (Aspects of annual variations in the number of flowers, berries and seeds in the Kilpisjärvi area).
- 3 (1980) **Heikki Henttonen, Antero Järvinen & Kari Laine:** Mallan luonnonpuiston kasveista, linnuista ja nisäkkäistä (Plants, birds and mammals in the Malla nature reserve).
- 4 (1980) **Antero Järvinen & Mikko Pyl:** Nesting habits of the bluethroat *Luscinia svecica* at Kilpisjärvi, Finnish Lapland (Sinirinnan pesinnästä Kilpisjärvellä).
Johan Tast: Breeding season and litter size of the field vole *Microtus agrestis* at Kilpisjärvi, Finnish Lapland (Peltomyyrän *Microtus agrestis* lisääntymiskausi ja poikuekoko Kilpisjärvellä).
Asko Kaikusalo: Kilpisjärven seudun päästäiset (The shrews of the Kilpisjärvi area, Finnish Lapland).
- 5 (1981) **Katriina Metsänheimo:** Kilpisjärven suursienistä ja syyssienisadosta (Larger fungi and their autumn yields at Kilpisjärvi, Finnish Lapland).
Seija Väre: Matkailun aiheuttamat häiriötekijät Kilpisjärven seudulla (Environmental effects of tourist traffic in NW Finnish Lapland).
- 6 (1982) **Olavi Kalela:** Movements of the Norwegian lemming *Lemmus lemmus* in 1970, a year with extremely large populations (Tunturisopulin vaelluksista poikkeuksellisen runsaan kannan vuotena 1970).
Seppo Eurola, Hannu Kyllönen & Kari Laine: Kilpisjärven Jehkatstunturin luonnosta. I. Kasvipeite, korkeusvyöhykkeet ja maanpäällinen biomass (The nature of the fjeld Jehkats (Kilpisjärvi, NW Lapland, 69°01'N, 20°50'E). I. The belts, vegetation types and above ground biomass).
Johan Tast: Ornithological reports (Lintutiedonantoja).
- 7 (1982) **Antero Järvinen & Hannu Pietiäinen:** (eds.) Research activities at Kilpisjärvi Biological Station.
- 8 (1984) **Antero Järvinen:** The breeding ecology of hole-nesting passerines in extreme northern conditions. PhD Thesis.
- 9 (1986) **Olavi Kalela:** Origin of mammal colonies and herds (Nisäkkäiden yhteiskunta- ja laumaelämän kehityksestä).
Seppo Eurola, Hannu Kyllönen & Kari Laine: Kilpisjärven Jehkatstunturin luonnosta. II. Lämpö-, lumi- ja maaperäekologiaa (The nature of the fjeld Jehkats (Kilpisjärvi, NW Lapland, 69°01'N, 20°50'E). II. The temperature, snow and soil conditions).
Johan Tast: Occurrence of the water vole *Arvicola terrestris* at Kilpisjärvi, NW Finnish Lapland (Vesimyyrän esiintymisestä Kilpisjärvellä).

- 10 (1987) **Antero Järvinen:** Basic climatological data on the Kilpisjärvi area, NW Finnish Lapland.
- 11 (1989) **Rauni Partanen & Aulikki Tervonen:** Torografiakartan 1:50000 nimistö Enontekiön Käsivarressa Lätäsenosta pohjoiseen yhtenäiskoordinaatiston mukaan (The nomenclature of the topography maps 1:50000 in Northwestern Finnish Lapland north of the river Lätäseno according to the uniform grid system).
- 12 (1991) **Seppo Eurola & Risto Virtanen:** Key to the vegetation of the northern Fennoscandian fjelds.
- 13 (1994) **Antero Järvinen:** Sinirinta - Kilpisjärven lintu (The bluethroat *Luscinia svecica*, a characteristic bird of NW Finnish Lapland).
- 14 (1996) **Antero Järvinen & Arto Muinonen:** Luoteis-Lapin selkärangaiset (Vertebrates of Northwestern Finnish Lapland).
- 15 (2001) **Milla Rautio:** Ecology of zooplankton in subarctic ponds, with a focus on responses to ultraviolet radiation. PhD Thesis.
- 16 (2001) **Sanna Sorvari:** Climate impacts on remote subarctic lakes in Finnish Lapland: limnological and paleolimnological assessment with a particular focus on diatoms and lake Saanajärvi. PhD Thesis.
- 17 (2003) **Seppo Eurola, Sanna Huttunen & Pirjo Welling:** Enontekiön suurtuntureiden (68°45' - 69°17'N; 20°45' - 22°E) paljakkakasvillisuus [(Vegetation of the fjelds of NW Enontekiö, Finnish Lapland (68°45' - 69°17'N; 20°45' - 22°E)].
- 18 (2004) **Seppo Eurola, Sanna Huttunen & Pirjo Welling:** Enontekiön suurtuntureiden (68°45' - 69°17'N; 20°45' - 22°E) paljakan kasvilajistosta [(Floristic statistics of the fjelds of NW Enontekiö, Finnish Lapland (68°45' - 69°17'N; 20°45' - 22°E)].
- 19 (2006) **Laura Forsström:** Phytoplankton ecology of subarctic lakes in Finnish Lapland. PhD Thesis.
- 20 (2007) **Marjut Nyman:** Distribution of non-biting midges (Diptera, Chironomidae) in subarctic lake in Finnish Lapland - applications in lake classification and palaeolimnology. PhD Thesis.
- 21 (2008) **Antero Järvinen & Rauni Partanen:** Stand dynamics of mountain birch, *Betula pubescens* ssp. *czerepanovii* (Orlova) Hämet-Ahti, in NW Finnish Lapland.
- 22 (2010) **Johan Tast, Asko Kaikusalo & Martti Lagerström:** Diet and breeding biology of the Rough-legged Buzzard *Buteo lagopus* in Northern Finnish Lapland.
- 23 (2010) **Heikki Häkkinen & Pekka Kauppila:** Kilpisjärven matkailukeskuksen sosioekonominen rakenne ja kehityksen seuranta: paikkatietonäkökulma.
- 24 (2013) **Henna Pihlajaniemi, Marja Uusitalo & Rauni Partanen:** Kilpisjärven kyläympäristön kestävät kasvit.
- 25 (2015) **Bertalan Galambosi & Zsuzsanna Galambosi:** Biomass and quality of natural and cultivated roseroot *Rhodiola rosea* L. originated from North Lapland.
- 26 (2017) **Antero Järvinen:** Havaintoja pohjoisen luonnon luonnollisesta vaihtelusta - Observations of natural variation in northern nature.

Kilpisjärven biologinen asema Helsingin yliopisto

Kilpisjärven biologinen asema (perustettu 1964) on Helsingin yliopiston luonnontieteellinen tutkimusasema. Asema (69°03'N, 20°50'E) sijaitsee subalpiinisessa tunturikoivuvyöhykkeessä. Koivuvyöhyke ulottuu noin 600 metrin korkeuteen. Suomessa ainoastaan Kilpisjärven seudulla on yli 1000 metrin korkeuteen kohoavia tuntureita. Tammikuun keskilämpötila on -13,3°C, helmikuun -13,0°C, kesäkuun +7,5°C ja heinäkuun +11,1 °C. Vuoden keskilämpötila on -2,1°C ja vuotuinen sadanta 453 mm (luvut vuosien 1952-2014 keskiarvoja). Lumi sulaa tunturikoivikosta kesäkuun alussa. Kilpisjärven luonto on monipuolinen, mikä johtuu alueen sijainnista ilmastollisella ja geologisella rajavyöhykkeellä. Erityisesti muusta Suomesta poikkeava eläimistö ja kasvisto ovat houkutelleet biologeja Kilpisjärvelle.

Kilpisjärvi Biological Station University of Helsinki

Kilpisjärvi Biological Station (founded in 1964) is a scientific research station belonging to the University of Helsinki. The station (69°03'N, 20°50'E) is situated in the subalpine birch forest zone in Finnish Lapland. The upper boundary of the birch forest lies at about 600 m. Kilpisjärvi is the only part of Finland with altitudes of 1000 m or more. Mean temperature in January is -13,3°C, in February -13,0°C, in June +7,5°C and in July +11,1°C. Yearly mean temperature is -2,1°C and annual mean precipitation 453 mm (mean values of 1952-2014). The snow in the birch forest melts in early June. The situation of Kilpisjärvi in a climatic and geologic border zone results in a great variety of habitats within a restricted area. The unique fauna and flora, which differ from those of any other part of Finland have made the region especially attractive to biologists.



ISBN 978-951-51-3523-0 (nid.)
ISBN 978-951-51-3524-7 (PDF)
ISSN 0358-3279

Erweko Oy
2017