

## Alaska lämpenee

OLAVI HEIKKINEN

Maantieteen laitos, Oulun yliopisto

Vierailin kesällä 1999 Alaskassa. Tutustuin käyntini aikana metsiin ja ikiroutaan kohdistuvaan tutkimukseen tavaten tutkijoita ja kierrellen kentällä. Seuraavassa esittelen muuttuvia ympäristöoloja ja niihin kohdistuvaa tutkimusta.

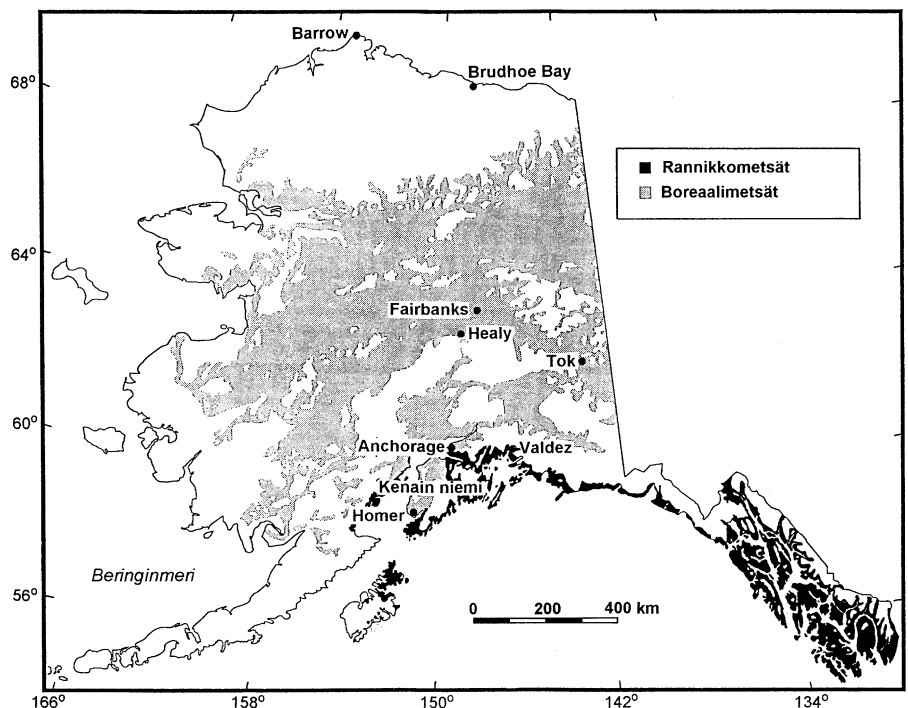
Alaska (kuva 1) on Yhdysvaltojen suurin osavaltio. Sen maapinta-ala on 1 519 000 km<sup>2</sup>. Siitä neljä viidesosaa sijaitsee ikirouta-alueella. Metsää on 37 prosenttia pinta-alasta (Pearson & Hermans 1998: 18). Taloudellisesti tuottavat metsät sijaitsevat ikiroudattomilla mailla, missä maaperä on puun kasvulle suotuisa. Alaskan boreaalista metsistä vain 12 prosenttia eli 5,5 miljoonaa hehtaaria on niin tuottavia, että niitä voidaan nimittää taloudellisessa mielessä metsämaaksi (Juday ym. 1998: 25).

Laajuutensa vuoksi Alaskan ilmastossa on suuria alueellisia eroja. Lisäksi mereisyys-mantereisuustekijä ja vuoristot säätelevät voimakkaasti lämpöoloja ja sateita.

Viimeisen 100 vuoden aikana maapallon ilmasto on lämmennyt noin 0,5 celsiusastetta. Yhdeksi lämpenemisen syyksi katsotaan kasvihuonevaikutuksen voimistuminen. Alaskassa ilman lämpötilat näyttävät nousseen selvästi 1970-luvun puolivälin jälkeen (Weller ym. 1998).

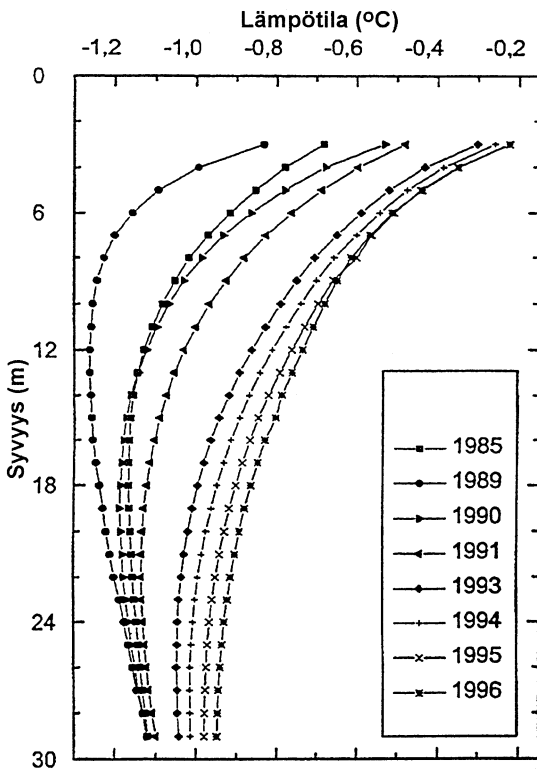
Alaskassa on paljon lunta ja jätää. Tuollaisessa ympäristössä lämpeneminen ilmenee herkästi. Muutokset tuntuvat ekosysteemeissä ja vaikuttavat ihmisen toimintoihin. Meteorologiset havainnot osoittavat, että Alaskan ilmasto on lämmennyt viimeisen neljännesvuosisadan aikana noin kaksi celsiusastetta. Kohonneiden lämpötilojen vuoksi ikirouta on paikoin Alaskaa sulamassa. Beringinmeren jääpeitteen alan on arvioitu pienentyneen viisi prosenttia viimeisen 30 vuoden aikana. Useimmat jäätiköt kutistuvat (kuva 2) (Weller ym. 1998). Neljä viidestä Fairbanksin kautta virtaavan Tananajoen varhaisimmasta jäidenlähdestä sattuu 1990-luvulle; jäiden lähtöä on havain-

Kuva 1. Alaska ja sen metsät (Juday ym. 1998). Rannikkometsät voidaan Pohjoismaissa käytetyn terminologian mukaan sisällyttää pääosiltaan etelä- ja keskiboreaalisiin vyöhykkeisiin, niiden voimakkaasti oseaanisiin sektoreihin (esim. Tuhkanen 1984, 1992). Karttaan on merkitty tekstissä mainittuja paikkoja.





Kuva 2. Exit-jäätikkö Kenain niemimaalla on yksi Alaskan monista jäätiköistä, jotka pienenevät. Jäätikön reuna oli kuvassa näkyvän merkin kohdalla vuonna 1951. (Kuva: Katri Heikkinen, 07/1999)



Kuva 3. Ikiroudasta laaditut lämpötilaprofiilit osoittavat ikiroudan lämmenneen vuodesta 1989 lähtien. Tulokset ovat Healystä, toistasataa kilometriä Fairbanksistä lounaaseen. Alueella on syntynyt ilmaston lämpenemisestä johtuen termokarstimuotoja (Osterkamp ym. 1998).

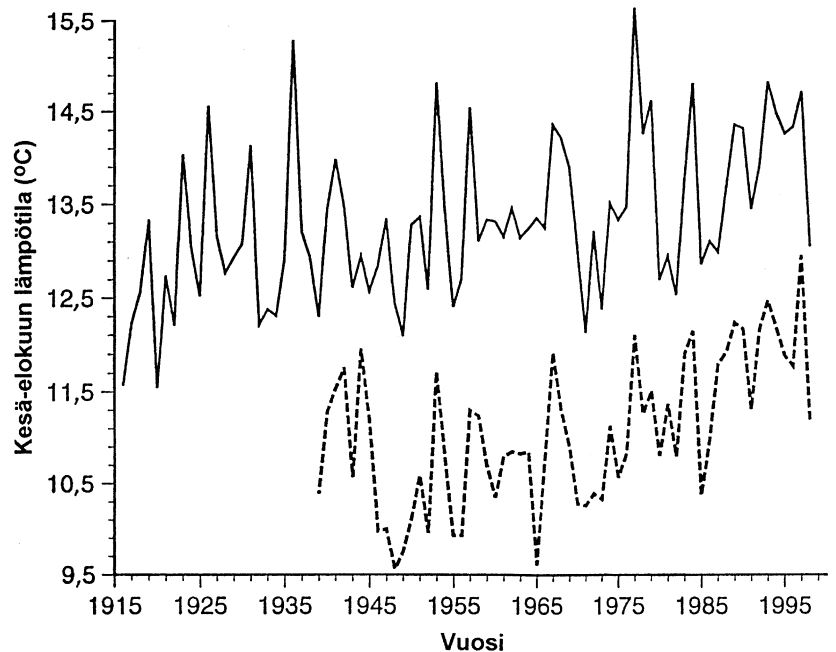
noitu 82 vuotta. Barrowssa kesäkauden lumettomien päivien lukumäärä oli 1950-luvulla alle 80, 1990-luvulla yli 100 (Environment... 1999).

Mainitut muutokset ovat sopusuunnassa laadittujen ilmastomallien kanssa. Kuitenkin Alaskan ja Luoteis-Kanadan lämpenemisvauhti on ylittänyt ennustetun kasvihuonevaikutuksen, eikä lämpeneminen kokonaisuudessaan välttämättä johdu yksin kasvihuonevaikutuksesta (Weller ym. 1998).

Viimeisen neljännesvuosisadan aikainen Alaskan ilmaston lämpeneminen on pidentänyt kasvukautta. Tämä potentiaalisesti laajentaa boreaalivyöhykettä, lisää metsäntuottoa ja viljasatoja. Ilmaston lämpeneminen on tehostanut evapotranspiraatiota, mikä on tehnyt ilmaston kuivemmaksi vuosisadannan keskimääräisestä kasvusta huolimatta. Niinpä ainakin eteläisen Keski-Alaskan alavien seutujen kuuset ovat alkaneet kärsiä kuivuudesta (*moisture stress*). Puiden kasvuvaikeudet puolestaan lienevät osasy tuhohyönteisten lisääntymiseen ja metsien kuolemaan (Juday ym. 1998).

### Herkkä tasapaino

Noin 80 prosenttia Alaskasta on ikirouda-alueita. Suuri osa vuodesta toiseen jäässä pysyvistä maasta on noin 10–20 metrin syvyyteen ulottuvaa jäärikasta ikiroutaa, joka on osin sulamassa. Sulaminen tapahtuu hitaasti pääasiassa pinnalta alaspäin (kuva 3). Jos nykyinen ilmaston lämpeneminen (kuva 4) jatkuu, entistä enemmän jäärikasta ikiroutaa sulaa luoden kumpareiden ja vetisten painaumien luonnehtimaa termokarstimaisemaa.



Kuva 4. Kesälämpötilojen kehitys eteläisessä Keski-Alaskassa. Ylempi käyrä Anchorage, alempi käyrä Homer (Juday ym. 1999).

Muutoksella on vaikutusta myös ihmisten toimintaan (Osterkamp ym. 1998: 115).

Kairausreijistä mitatut ikiroudan lämpötilat ovat Pohjois-Alaskassa 2–4 celsiusastetta korkeampia kuin 30–100 vuotta sitten (Lachenbruch & Marshall 1986). Varsinkin epäjatkuvan ikiroudan alueilla maaperä on lämmennyt huomattavasti ja on eräin paikoin sulamassa (Osterkamp 1994).

Ikiroudan sulaminen sortaa taloja, lisää teiden ylläpitokustannuksia ja uhkaa öljyjohtojen turvallisuutta (kuvat 5 ja 6). Sulavilla ikiroutamailla rinteet ovat käyneet entistä labilimmiksi, mistä syystä maanvyöryt ovat yleistyneet. Ikiroudan sulamisesta johtuen myös maisema muuttuu, kun osasta metsiä tulee soita ja kosteikkoja.

Keskustellessani Alaskan yliopiston (Fairbanks) metsätieteiden laitoksen tutkijan Glenn Judayn kanssa hän kertoi, että ikiroudan kannalta vuoden keskilämpötila 0... –2 celsiusastetta on kriittinen lämpötila. Riippuu kasvillisuudesta, varsinkin sammalpeitteestä, ja myös talvisen lumipeitteen vahvuudesta, esiintyykö paikalla ikiroutaa tuossa lämpötilassa. Usein tietyllä alueella ikiroutaa esiintyy varjoisilla pohjoisrinteillä mutta ei etelärinteillä, jota aurinko lämmittää. Laaksoihin ja mataliin paikkoihin yleensä kehittyvä lämpötilan inversiotilanne, mikä saattaa olla ratkaiseva tekijä roudan monivuotiseen säilymiseen.

Esimerkiksi Fairbanksin seuduilla on kriittisiä alueita, joilla ihmisen toiminta on aiheuttanut ikiroudan sulamista. Ihminen on hakannut metsiä ja

poistanut maanpinnan suojakerroksen viljellessään maata. 1970-luvun lopulta alkaen sulaminen näyttää lisääntyneen myös luontaisesti, sillä vuoden lämpötilat ovat nousseet ikiroutaa sulattavaksi. Kasvamaan päin olleet sadanta-arvot ovat tietyillä alueilla kasvattaneet talvista lumipeitettä, mikä on vähentänyt kylmän ilman johtumista maaperään.

Glenn Juday myös kertoi, että puulajit viestivät monella tavalla alustastaan. Amerikanhaapa (*Populus tremuloides*) kasvaa Fairbanksin seuduilla ikiroudattomilla aloilla. Koivu voi kasvaa missä vaan. Valkokuusi (*Picea glauca*) karttaa ikirouta-alueita. Vaatimattoman mustakuusen (*Picea mariana*) neulaset pysyvät puussa pitempään kuin muilla alueen havupuilla. Se pystyy kasvamaan ikirouta-alueilla, missä on vain ohut, vähäravinteinen ja kesäisin sulava aktiivikerros. Lehtikuusi tarvitsee paljon valoa ja paljon tilaa juurille eikä ole siksi kilpailukykyinen. Suhteellisen pienetkin kasvuolosuhteiden muutokset voivat näin ollen muuttaa metsien puulajisuhteita.

### Kenttäkokeita ja tutkimushankkeita

Alaskassa on tilaa kenttäkokeille. Kesällä 1999 seurasin kun yhdysvaltalaiset, kanadalaiset ja japanilaiset tutkijat polttivat Fairbanksin kaupungin lähellä lähes 700 hehtaarin alalta pääosin ikiroudan päällä kasvavaa boreaalista metsää. Kokeen taustalla oli maapallon kasvihuoneilmaston



Kuva 5. Jäärikkaan iki-roudan sulaminen ja siihen liittyvä termokarstiutuminen aiheuttaa tievaurioita. Kuva parikymmentä kilometriä Tokista lounaaseen. (Kuva kirjoittajan, 07/1999)



Kuva 6. Tämän Brudhoe Bayltä Valdeziin johtavan noin 1 300 kilometriä pitkän öljyjohtoon rakentaminen tuli kalliiksi. Näin paljolta siksi, että johto kulkee pitkiä matkoja jäärikkaalla ikiroudalla, joka on pystytävä pitämään roudassa. (Kuva kirjoittajan, 07/1999)

liittyvä ajatus, että borealisilla metsillä on suuri vaikutus maapallon ilmastoon ja että boreaalisten metsien muutoksista riippuu, ovatko nuo metsät maapallon hiilen nieluja vai lähteitä. Maailman borealiset metsät käsittävät 17 prosenttia maapallon pinta-alasta. Kokeen tarkoituksena olikin saada selvyyttä metsäpalojen vaikutuksesta hiili- ja typibudjettiin ja hankkia tarkkaa tietoa metsäpalo-prosessista ja metsäpalojen vaikutuksesta ekosysteemeihin.

Tutkijat analysoivat myös metsäpalon vaikutusta alla olevaan ikiroutaan. Ikiroutaan on varastoitunut metaania, joka on paljon tehokkaampi kas-

vihuonekaasu kuin hiilidioksidi. Jos metsäpalo tuhoaa maata peittävän kunnan, ikirouta alkaa helposti sulaa ja metaania vapautuu ilmakehään, mikä voimistaa kasvihuonevaikutusta.

Ennen Fairbanksin lähellä tehtyä koetta, oli vastaava metsäpalo järjestetty Siperiassa vuonna 1995 ja Kanadassa vuonna 1996. Tosin nuo alueet eivät ole ikirouta-alueita (Hinzman 1999).

Mittavista projekteista mainittakoon hankkeet, joissa tutkitaan erityyppisillä metsän- ja puurajoilla kasvavan valkokuusen vuosikasvua ja lisääntymistä suhteessa ilmastoon (Juday ym. 1999). Yksi Pohjois-Alaskaa ja samalla latitudinaalista eli poh-

Kuva 7. Metsää alavassa Keski-Alaskassa, missä viimeaikainen ilmaston lämpeneminen ja evapotranspiraation voimistuminen ovat aiheuttaneet kuuselle kosteusstressiä. (Kuva kirjoittajan, 07/1999)



joista metsänrajaa edustava tutkimuspaikka on Kugururok Riverillä (noin 68° N). On havaittu, että yleensä valkokuusen paksuuskasvu on Alaskan pohjoisilla alueilla lisääntynyt kesälämpötilan nousun myötä (Jacoby ym. 1999), vaikkakaan kaikki puuyksilöt eivät kuivuuden vuoksi enää reagoi selvästi lämpötilaan. 1900-luvun loppupuolella pohjoisella pallonpuoliskolla sekä latitudinaalisen että altitudinaalisen metsänrajan puiden kasvu on käynyt vähemmän sensitiiviseksi lämmölle (Briffa ym. 1998), mikä merkitsee muun muassa sitä, että metsänraja voisi ilman lämpötilan puolesta siirtyä pohjoisemmaksi ja ylemmäksi. Pohjois- ja Länsi-Alaskassa valkokuusen raja on edennyt tietyillä alueilla. Puun etenemistä sen nykyisten lämpötilojen määräämälle rajalle jarruttaa se, etteivät uudet siemenet oikein pääse juurtumaan tundran paksukunttaiseen alustaan.

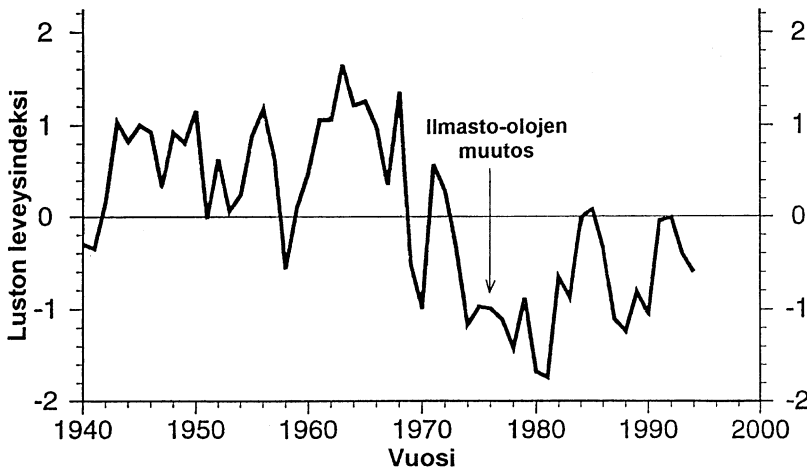
Toinen valkokuusen tutkimuspaikka on Rock Creekillä liki kilometrin korkeudessa Denalin kansallispuistossa noin Fairbanksin ja Anchorage kaupunkien puolivälissä. Tutkimuspaikka edustaa altitudinaalista eli vuoriston ylempää metsänrajaa. Valkokuusten ikäjakauma osoittaa, että niiden muodostama puuraja on kohonnut jatkuvasti Pienen jääkauden päättymisestä asti. Viime vuosikymmeninä on ilmaantunut melkoisesti valkokuusen taimia ennen metsättömille rinteille. Lämpenevä ilmasto on siis aiheuttanut puurajan noususta.

Kolmas tutkimuspaikka on nimeltään Tustumena Benchlands Kenain niemellä Anchoragesta etelään. Paikka sijaitsee 200–600 metrin korkeudessa ja edustaa altitudinaalista eli vuoriston ylempää metsänrajaa mereisessä ilmastossa. Täällä yl-

lättäen vain vähemmistöllä valkokuusista on positiivinen korrelaatio lustonleveyyksiensä ja kesän lämpötilan välillä. Tästä on päätelty, että lämpötila ei yleensä ole enää minimitekijä kuusen kasvulle ja että puut voisivat kasvaa nykyistä korkeammalla. Ilmasto on lämmennyt täällä niin nopeasti viime vuosikymmeninä (kuva 4), että puuraja ei ole ehtinyt siirtyä mukana. Kenain vuorilla sekä valkokuusi että sitkankuusi (*Picea sitchensis*) toki taimettavat ylärinteitä.

Neljäs valkokuusen tutkimuspaikka sijaitsee Bonanza Creekillä muutamia kymmeniä kilometrejä Fairbanksista lounaaseen. Se kuuluu Yhdysvaltojen LTER (Long-Term Ecological Research) tutkimuspaikkaverkostoon. Tämä tutkimuspaikka edustaa poikkeuksellisesti alemmaa puurajaa (*low altitude treeline*) ja sijaitsee 130–180 metrissä kuivan, ruohon ja varpujen luonnehtiman stepin ja havumetsäisen boreaalivyöhykkeen välissä (kuva 7).

Bonanza Creekillä valkokuuset ovat alkaneet kärsiä kuivuudesta, kuten ilmeisesti yleisemmin keskisen Alaskan matalilla, lämmenneillä ja vähästeisillä alueilla. Erityisesti vuoden 1976 jälkeiset vuodet ovat olleet kuuselle stressaavia ja sen paksuuskasvu on jäänyt pysyvästi vähäiseksi (kuva 8). Tästä syystä kuusimetsät ovat alttiita hyönteistuhoilille ja sitten kärsivinä tai kuolleina myös metsäpaloille. Kenties osa kuusimetsistä saattaa muuttua puistomaisiksi haapametsiksi. Nykyään haavan kapeat vyöhykkeet erottavat Keski-Alaskassa toisistaan puuttomia ruohostoja ja havupuiden hallitsemaa boreaalista metsää (Juday ym. 1999).



Kuva 8. Lustodiagrammi Bonanza Creekiltä alemmalla metsänrajalta, noin 40 kilometriä Fairbanksistä lounaaseen. 1970-luvun puolivälin jälkeen alkanut lämmin ja kuivakesäinen vaihe ilmenee valkokuusen heikentyneenä paksuuskasvuna (Juday ym. 1999).

## Metsätuhot

Ilmastomuutokset ovat joissakin tapauksissa toivottuja, mutta luovat myös uhkakuvia, jotka vetävät puoleensa tutkijoita ja tutkimusrahoja. Monet Alaskan viimeaikaiset metsätuhot on liitetty ainakin välillisesti ilmaston lämpenemisestä aiheutuneeseen evapotranspiraation voimistumiseen. Niin kosteusstressistä, lämpötilan sijaan, on tullut paikoin puunkasvua selviten rajoittava tekijä (Jacoby & D'Arrigo 1995).

Biologiset häiriöt ovat koetelleet Alaskan metsiä. »Western black-headed budworm» (*Acleris gloverana*) syö siellä lähinnä lännen hemlokien (*Tsuga heterophylla*) silmuja ja ensivuoden neulasia. Lähinnä lämmin ja kuivahko kasvukausi lieenee laukaissut tämän tuholaisen massaesiintymiset niin sanottujen rannikkometsien (kuva 1) lännen hemlokien ja sitkankuusen muodostamissa metsissä. »Spruce budworm» (*Choristoneura* spp.) on aiheuttanut suuria metsätuhoja viimeisen kymmenen vuoden aikana muun muassa edellä mainitun Bonanza Creekin alueella (Juday ym. 1998: 36). Keski-Alaskan eteläosissa eräs kuoriainen (*Dendroctonus rufipennis*) on tuhonnut tuhansia neliökilometrejä kuusimetsiä (Werner 1996).

Tuon kuoriaisen tuhot kuusille ovat olleet 1990-luvulla historiallisellakin asteikolla todella mittavat. *Dendroctonus*-kuoriaisen toukat elävät kypsäikäisissä kuusissa puun ja kuoren välissä. Siellä ne syövät tunneleita ympäri puun aiheuttaen lopulta sen kuoleman. Suuret hyönteisvauriot metsissä aiheuttavat usein metsäpaloja, joita salamattavallisimmin syyttävät. Erityisesti leudot kevät suosivat noita hyönteisiä. Tuhot ovat pahoja muun muassa Anchoragesta etelään sijaitsevalla Kenain niemellä.

Eräs arvailtu ei-ilmastollinen syy kuusta vaivaavan kuoriaisepidemian puhkeamiseen on liian tehokas metsäpalojen estäminen viime vuosikymmeninä. Tästä syystä metsissä on paljon vanhoja puita, joita luonto nyt omalla tavallaan »korjaa» (Renick 1994).

Eri hallintoaarojen ja tieteenalojen tutkijat ovat yrittäneet keksiä keinoja tuholaista vastaan. Ongelman laajemmaksi ymmärtämiseksi tutkijaryhmät ovat kairanneet vaurioituneita puita nähdäkseen milloin vuosilustot alkoivat kaveta ja latvus harventua, mikä salli taimien kasvuun lähdön. Näin saadaan tietoa kuusimetsien tilasta ja kehityksestä viimeisen parin vuosisadan ajalta. Lisää tietoa saadaan kairaamalla jo kuolleita puita ja järvisedimenttejä, joista voi löytyä kuoriaisten jätteitä tai niihin viittaavia välillisiä merkkejä. Näillä keinoilla saadaan käsitys siitä, miten usein *Dendroctonus rufipennis*-kuoriainen on vaivannut alueen puita menneisyudessa.

Metsäntutkijat seuraavat laajasti kuoriaisen vaikutusta ja ovat havainneet paitsi puiden kuolemat myös muutoksia kenttäkerroksessa ja sen lajistossa. Parikymmentä vuotta kestäneet tutkimukset osoittavat, että pahoin vaurioituneet metsät eivät kunnolla toinnu vaan muuttuvat avoimiksi, pitkäruohoisiksi puistoiksi, jotka kasvavat hajanaisesti kuusta.

Toisekseen on tutkittu, mitä tapahtuu, kun epidemian kouriin joutuneita kuusikoita ihmisen toimesta harvennetaan ja lannoitetaan, jotta jäljelle jäävät puut saavat enemmän valoa ja ravinteita. Näyttää, että tällainen menettely jarruttaa *Dendroctonus*-kuoriaisen lisääntymistä.

On myös tutkittu hormonien vaikutusta kuoriaiseen. On käytetty kemiallisia yhdisteitä, joita nuo tuholaiset tuottavat keskinäiseen kommunikoin-

tiinsa. Tällä ekologisella tavalla on onnistuttu varsin hyvin uskottelemaan kuoriaisille, että puut jo ovat lukemattomien lajitoerien valtaamia eikä puiden kimppeun enää kannata käydä (Rennick 1994).

### Tutkimusote

Alaskan asukasluku on vain 600 000. Tähän tosiaan suhteutettuna ympäristötutkimus on siellä erittäin voimallista ja monipuolista. Tietysti alueella toimi paljon Alaskan ulkopuolelta tulleita tutkijoita. Tutkimuksessa ja tutkimusrahoituksessa korostuu tulevaisuuden uhkatekijöiden tunnistaminen, kuten myös ennakoitavien uhkien torjuminen tai ainakin niihin sopeutuminen.

Ympäristötutkimushakemuksissa ja -hankkeissa toistuu tietty perusrakenne. Ensin tarkastellaan lyhyesti pitkäaikaisia maailmanlaajuisia ilmastomuutoksia ja niiden vaikutuksia fyysiseen luontoon, eliömaailmaan ja ihmisen toimintaan. Tämän jälkeen käsitellään havaintoihin perustuvia ilmastoperäisiä alueellisia trendejä koskien, tutkittavasta asiasta riippuen, meren ja vesistöjen jääpeitettä, ikiroutaa, jäätiköitä tai lumipeitettä. Sitten ovat vuorossa alueelliset skenaariot, joiden avulla selvitetään tulevaisuuden ympäristömuutoksia ja uhkakuvia. Sen jälkeen korostetaan voimakkaasti lisätutkimusten ja seurannan tarvetta sekä keinoja, joilla jo tiedon tässä vaiheessa voidaan torjua uhkia. Pohditaan myös, miten yhteiskunta voi sopeutua muuttuvaan tulevaisuuteen (management policy). Tutkimushankkeiden tarkoituksena on ratkaista todellisia ja sarastavia ongelmia ja varmistaa niiden lisätutkimus.

Eräs mittava tutkimushanke on LTER (Long-Term Ecological Research), jota tehdään myös Bonanza Creekillä Fairbanksin lähellä Alaskassa, kuten edellä on selostettu. Tuon osahankkeen laajuudesta saa lukija käsityksen vaikkapa omalta tietokoneeltaan [www-osoitteesta <http://www.lter.alaska.edu/html/publications.html>](http://www.lter.alaska.edu/html/publications.html). Siellä esitellään alan kirjallisuutta ja sieltä myös näkee, miten tutkimushankkeet syntyvät, etenevät ja raportoidaan. Asiat viedään internetiin vapaasti luettavaksi.

### KIRJALLISUUS

Briffa, K. R., F. H. Schweingruber, P. D. Jones, T. J. Osborn, S. G. Shiyatov & E. A. Vagonov (1998). Reduced sensitivity of recent tree-growth to temperature at high northern latitudes. *Nature* 391, 678–682.

- Environment: Greenhouse effects (1999). *Time*, December 13, 1999, 46–47.
- Hinzman, L. D. (1999). Frostfire. Kirjoitus saatavissa [www-osoitteesta <http://www.uaf.edu/water/projects/frostfire/frostfire.html>](http://www.uaf.edu/water/projects/frostfire/frostfire.html).
- Jacoby, G. C. & R. D. D'Arrigo (1995). Tree ring width and density evidence of climatic and potential forest change in Alaska. *Global Biogeochemical Cycles* 9: 2, 227–234.
- Jacoby, G. C., R. D. D'Arrigo & G. Juday (1999). Tree-ring indicators of climatic change at northern latitudes. *World Resource Review* 11: 1, 21–29.
- Juday, G. P., V. Barber, E. Berg & D. Valentine (1999). Recent dynamics of white spruce treeline forests across Alaska in relation to climate. *Teoksessa* Kankaanpää, S., T. Tasanen & M.-L. Sutinen (toim.): Sustainable development in northern timberline forests. Proceedings of the Timberline workshop, May 10–11, 1998, Whitehorse, Canada. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 734, 165–187.
- Juday, G. P., R. A. Ott, D. W. Valentine & V. A. Barber (1998). Forests, climate stress, insects, and fire. *Teoksessa* Weller, G. & P. Anderson (toim.): Implications of global change in Alaska and the Bering Sea region. Proceedings of a workshop at the University of Alaska Fairbanks, 3–6 June, 1997, 23–49.
- Lachenbruch, A. H. & B. V. Marshall (1986). Changing climate: geothermal evidence from permafrost in the Alaskan Arctic. *Science* 234, 689–696.
- Osterkamp, T. E. (1994). Evidence for warming and thawing of discontinuous permafrost in Alaska. *Eos* 75: 44, 85.
- Osterkamp, T. E., D. C. Esch & V. E. Romanovsky (1998). Permafrost. *Teoksessa* Weller, G. & P. Anderson (toim.): Implications of global change in Alaska and the Bering Sea region. Proceedings of a workshop at the University of Alaska Fairbanks, 3–6 June, 1997, 115–127.
- Pearson, R. W. & M. Hermans (1998; toim.). *Alaska in Maps. A Thematic Atlas*. 100 s. University of Alaska, Fairbanks.
- Rennick, P. (1994). The Kenai. *Alaska Geographic* 21: 2, 4–11.
- Tuhkanen, S. (1984). A circumboreal system of climatic phytogeographical regions. *Acta Botanica Fennica* 127, 1–50.
- Tuhkanen, S. (1992). The climate of Tierra del Fuego from a vegetation geographical point of view and its ecoclimatic counterparts elsewhere. *Acta Botanica Fennica* 145, 1–64.
- Weller, G., A. Lynch, T. Osterkamp & G. Wendler (1998). Climate trends and scenarios. *Teoksessa* Weller, G. & P. Anderson (toim.): Implications of global change in Alaska and the Bering Sea region. Proceedings of a workshop at the University of Alaska Fairbanks, 3–6 June, 1997, 15–21.
- Werner, R. A. (1996). Forest health in boreal ecosystems of Alaska. *The Forestry Chronicle* 72: 1, 43–46.