

Sari Palmroth

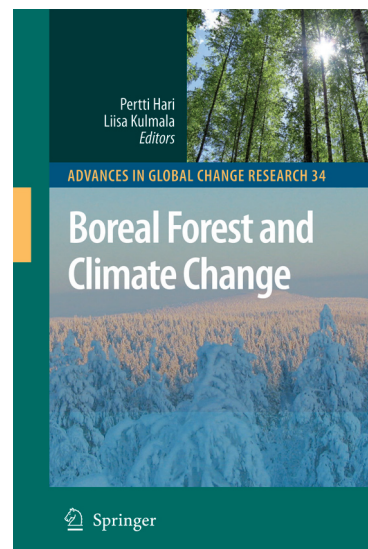
Boreaalinen metsä ja ilmastonmuutos – Prosessit ja ainevirrat puussa, ekosysteemissä ja ilmakehässä

Pertti Harin ja Liisa Kulmalan toimittamassa kirjassa *Boreal Forest and Climate Change* tiivistetty poikkitieteellisen tutkimusryhmän työ viimein kirjan muotoon.

Jo 1970-luvulla Helsingin yliopistossa virinnyt metsäekologien ja fyysikoiden välinen yhteistyö jatkuu nykyisessä Pertti Harin ja Markku Kulmalan perustamassa Ilman pienhiukkaset ja metsäekologia -ryhmässä (Atmospheric Physics and Forest Ecology, APFE). Suuri osa kirjan kirjoittajista on saanut tieteellisen koulutuksensa joko APFE-ryhmässä tai sen edeltäjässä. Yhtä tärkeän sidoksen kirjoittajien välille muodostaa SMEAR-asemilla (Station for Measuring Ecosystem-Atmosphere Relations) tehty tutkimustyö. Muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kirjassa esitetyt mittaustulokset ovat peräisin Varriössä (SMEAR I) ja Juupajoella (SMEAR II) sijaitsevilta mäntymetsikön energia- ja ainevirtoja mittaavilta asemilta. Ryhmän työn peruskivi on sen kvantitatiivinen, perusilmioistä lähtevä lähestymistapa metsän ja sen ympäristön välisten vuorovaikutusten mittaamiseen ja mallintamiseen. Tällainen lähestymistapa mahdollistaa monimutkaisten ja -ulotteisten ongelmien, kuten ilmastonmuutoksen vaikutusten, tutkimisen ja ennustamisen.

Pertti Harin ja Liisa Kulmalan toimittamassa kirjassa yhdistetään uusin biologinen (fysiologinen, ekologinen ja mikrobiologinen), kemiallinen ja fyysikaalinen (meteorologinen) tietämys boreaalisten metsien ja ilmaston välisten vuorovaikutusten ym-

Hari, P. & Kulmala, L. (eds.). 2008. **Boreal Forest and Climate Change**. Advances in global change research 34. Springer. 582 pp. ISBN 978-1-4020-8717-2



märtämiseksi. Tieteellinen lähestymistapa ja käytetyt työkalut – teoreettinen, dynaaminen ja tilastollinen mallinnus – on esitelty luvussa 2. Samoin SMEAR-asetat, tärkeimpien mittausten menetelmien taustat ja laitteiden toimintaperiaatteet on yksityiskohtaisesti kuvattu. Erityisesti painotetaan mittaustulosten tulkintaa.

huolellista suunnittelua ja virhelähteiden tarkastelun tärkeyttä. Tällainen lähestymistapa mittausten suunnitteluun ja tulosten analysointiin on valitettavan harvinainen ekologisessa tutkimusperinteessä.

Luvuissa 3–6 ilmakehän, kasvillisuuden ja maaperän kuvaus on jäsennelty neljän otsikon alle: ympäristötekijät, kuljetus, rakenne ja prosessit. Tämä jäsentely korostaa sekä tutkittavien systeemien samankaltaisuuksia että kirjan monia tarkastelutasoja. Sen avulla luodaan yhteinen kieli ja käsitteistö biologeille, fyysikoille ja kemisteille. Niin maan, puun, metsän kuin ilmakehänkin rakenne on se fysikaalinen ympäristö, jossa eri hierarkiatasojen prosessit tapahtuvat. Rakenne mahdollistaa myös energian ja aineiden virtauksen varastosta toiseen. Näin tapahtuu niin solutasolla kuin kasvillisuusvyöhykkeenkin tasolla.

Luku 7 on edeltävien lukujen synteesi. Siinä tutustutaan massan, energian ja ainemäärän häviämätömyyslakeihin ja siirtoilmiöihin ensin ilmakehää kuvaavien mallien yhteydessä. Sieltä löytyy perustieto ilman pienhiukkasista, niiden lähteistä, ja siitä, miten ne kulkeutuvat, ja muuntuvat ilmakehässä ja vaikuttavat pilvien syntymiseen. Edellisten avulla voidaan esimerkiksi ennustaa, mitä auringon säteilyenergialle tapahtuu ilmakehässä, ja miten ilmakehän pienhiukkasten tai kasvihuonekaasujen määrät vaikuttavat tähän energiataaseeseen.

Lukijalle selviää, että ilmakehän ilmiöitä ei voi selittää ymmärtämättä mitä ilmakehän ja metsän rajapinnalla tapahtuu. Tässä kirjassa ilmakehän ja metsän välisiä energia-, hiili-, vesi- ja typpivirtauksia tarkastellaan kahdella tavalla: perusilmiöistä lähtevien mallien avulla ja suoriin mittauksiin perustuen. Esimerkiksi ekosysteemitason hiilivaihdon tarkastelu lähtee lehtielementin (hyvin pieni lehtilavuus) tasolta. Ilmakehän hiilidioksidin sitominen sokereiksi yhteyttämisessä ja hiilidioksidin vapautuminen hengityksessä ovat molekyyli-tason ilmiöitä, samoin haihtuvien hiilivetyjen muodostuminen sekundääriaineenvaihdunnassa. Metsän puiden vuotuisen hiilenvaihto saadaan, kun kaikkien lehtielementtien sitoman hiilen määrästä vähennetään kaikista elävistä puun osista vapautuneen hiilen määrä. Osa sidotusta hiilestä päätyy puiden kasvaessa uusien kasvinosien rakenteisiin ja osa kerääntyy kuolleina kasvinosina metsämaahan. Karikkeen hajotessa hiili palautuu takaisin ilmakehään. Hetkellisiin aneen-

vaihduntanopeuksiin vaikuttavat sekä puunsisäiset säätömekanismit että ympäristötekijät, kuten auringon säteilyenergian saatavuus ja lämpötila.

Luvussa 7 esitetyn perusteella voikin jo aloittaa esimerkiksi oman hiilitasemallin rakennustyöt. Mikäli lukija on kiinnostuneempi sokereiden ja veden virtauksesta puun sisällä, työkalut siihenkin löytyvät tästä luvusta. Sieltä löytyvät myös tuoreisiin mittaustuloksiin perustuvat tarkastelut tärkeiden kasvihuonekaasujen, dityppioksidin ja metaanin, tuotos- ja kulutusprosesseista metsämaassa. Luku 7 on kirjan painavin luku, ja vaatinee erityisen paljon siltä, jonka työkalupakkiin matemaattiset mallit eivät vielä kuulu. Lähtökohdista riippumatta lukija kuitenkin mielestäni palkitaan luvun lopussa. Tarjolla ovat arviot hiilen, veden ja typen varastoista ja vuotuisista virtauksista ilmakehän ja SMEAR II -aseman tutkimusmännikön välillä.

Luku 8 on lyhyt, mutta metsän kasvun mallintamisen perusteiden ymmärtämisen kannalta tärkeä. Siinä opitaan, että puun hiilenvaihtonopeuksien summaaminen ei yksin riitä kuvaamaan sen eri osien kasvua ja rakenteen muodostumista. Tähän tarvitaan lisäsääntöjä. Varsin usein oletetaan, kuten tässäkin kirjassa, että luonnonvalinnan seurauksena puun rakenne on muodostunut tarkoituksenmukaiseksi. Esimerkiksi puuyksilön haihduttava lehtiala kasvaa suhteessa sitä ylläpitävän puuaineen vedenkuljetukseen ja juurten ravinteidenottokapasiteetin kasvuun. Näitä yksinkertaisia säännönmukaisuuksia voidaan suoraan käyttää puiden ja metsän kasvua kuvaavissa malleissa. MicroForest on tällainen malli ja se on esitelty luvussa 9. MicroForest-mallissa hiili- ja typpiyhdisteet kiertävät puiden lisäksi pintakasvillisuudessa ja metsämassa.

MicroForest on perustyökalu, jonka avulla luvussa 10 ennustetaan ilmastomuutoksen vaikutuksia boreaalisiin metsiin – ja boreaalisten metsien vaikutuksia ilmaston muutosnopeuteen. Metsien hiili- ja typpivarastojen vaihtelua simuloidaan kolmensadan vuoden pituiselle jaksolle, vuodesta 1800 vuoteen 2100. Näiden simulointien perusteella arvioidaan ensinnäkin, että boreaalisten metsien lehvästömässä kasvaa nykyisestään. Tämä heikentää auringonsäteilyn takaisinheijastumista rajapinnoilta ja siten voimistaa ilmastomuutosta. Toisaalta ennustetaan, että puuaineen hiilivarasto kasvaa (jolloin ilman hiilidioksidipitoisuuden nousu hidastuu) ja

eloperäisten pienhiukkasten tuotanto lisääntyy (jolloin auringonsäteilyn takaisinheijastus ilmakehästä lisääntyy). Lueteltujen ilmiöiden nettovaikutus ilmastomuutokseen on negatiivinen. Toisin sanoen boreaaliset metsät todennäköisesti hiukan hidastavat ilmastomuutoksen etenemistä.

Lukijaa muistutetaan, että tämän tason tarkastelu on karkea ja siihen perustuvat ennusteet epävarmoja. Tämä johtuu esimerkiksi siitä, että ennusteet ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden nousun vaikutuksista yhteyttämisnopeuteen ovat epävarmoja, samoin ennusteet ilmakehän pienhiukkasten määrän kehityksestä. Lisäksi ennusteiden perustana olevat mallit ovat niillä kuvattavia systeemejä yksinkertaisempia. Esimerkiksi MicroForest ei tee eroa erilaisten metsien välillä. Simuloinneissa ei myöskään oteta huomioon mahdollisia muutoksia pohjoisten alueiden vesikierrossa.

Boreal Forest and Climate Change on kattava, tieteenaloja aidosti yhdistävä oppikirja. Sen esitystapa ja painotukset heijastavat APFE-ryhmän pitkää metsien perustuotantobiologian ja ekologisten maastomittausten tutkimusperinnettä sekä sen uraauurtavaa ilmakehäfysiikan ja erityisesti pienhiukkasten tutkimusta. Tästä näkökulmasta tarkasteltuna kirja on käsittääkseni ainoa laatuaan.

Kirja etenee loogisesti ja muodostaa kokonaisuuden, jonka jokaisessa luvussa sovelletaan edellisissä käsiteltyä tietoa. Yhtenäiset virtauskaaviot läpi kirjan on sen ehdoton vahvuus ja mielestäni helpottavat luettavuutta melkoisesti. Lisäksi kirjan erityiseksi

ansioiksi voi lukea sen, että tarkastelujen taustalla olevat oletukset, sekä mallien ja mittausjärjestelmien yksityiskohdat, ovat lukijan käytettävissä. Tällaisen tiedon perusteella lukija kykenee arvioimaan tehtyjä johtopäätöksiä ja muodostamaan omansa.

Tieteenalojen yhteensulautumisella on rajansa. Toimittajien lisäksi kirjoittamiseen on osallistunut 65 kirjoittajaa useilta tieteenaloilta. Kirjoitustyyli ja tekstin painotukset vaihtelevat. Osa tästä epäyhtenäisyydestä johtuu tieteenalojen eroista; esimerkiksi metsämaatietien kirjoitusperinne poikkeaa meteorologian vastaavasta. Lisäksi kirjan jäsentelyn vaikutus kokonaisuuteen on kahtalainen. Jäsentely on oivaltava ja korostaa kirjan poikkitieteellistä otetta. Samalla se valitettavasti synnyttää myös epäjatkuvuuskohtia. Tämä johtaa lukemattomiin kirjansisäisiin viittauksiin ja saattaa vaikeuttaa osajärjestelmien (ilmakehä, kasvillisuus, maaperä) kokonaisuusien hahmottamista.

Pertti Harin ja Liisa Kulmalan toimittaman kirjan kohderyhmä on ainakin yhtä laaja kuin sen kirjoittajakunnan edustamien tieteenalojen kirjo. Se on esimerkiksi ympäristöfysiikan käsikirja ekologille tai metsäekologian vastaava ympäristöfyysikolle. Se on erinomainen oppikirja molemmilla – ja niihin yhdistyvillä – tieteenaloilla.

■ MMT Sari Palmroth, Nicholas School of the Environment, Duke University. Sähköposti sari.palmroth@duke.edu