



Titta Majasalmi

## Metsänhoitotoimien kuvauksen haasteet globaaleissa ilmastomalleissa

---

**Majasalmi T.** (2021). Metsänhoitotoimien kuvauksen haasteet globaaleissa ilmastomalleissa. Metsätieteen aikakauskirja 2021-10547. Tieteen tori. 5 s. <https://doi.org/10.14214/ma.10547>

**Yhteystiedot** Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennetun ympäristön laitos, Espoo

**Sähköposti** [titta.majasalmi@aalto.fi](mailto:titta.majasalmi@aalto.fi)

**Hyväksytty** 29.3.2021

---

### Johdanto

Metsänhoitotoimien vaikutusta ilmastomuutokseen ei ole mahdollista tutkia ilmastomalleilla, jotka perustuvat globaaleihin maanpeitekarttoihin. Globaaleissa maanpeitekartoissa boreaaliset metsät on usein luokiteltu havu- ja lehtimetsiin, joka tarkoittaa, että jos alue on luokitettu metsäksi, ovat sen parametrit varttuneen metsän arvoja. Tämän vuoksi harvennusten, metsänlannoituksen, metsänuudistustoimien tai metsän rakenteen ja albedon välisiä riippuvuuksia ei saada huomioitua mallinnuksessa. Tämän kirjoituksen tarkoituksena on selventää, miksi metsänhoitotoimien huomioiminen ilmastomalleissa on haastavaa, ja kuvata yksi vaihtoehtoinen tapa, jolla ongelmaa on lähdetty ratkaisemaan.

### Metsien kuvaus ilmastomalleissa

Ilmastomallit ovat fysiikan lakeihin perustuvia matemaattisia järjestelmiä maan, meren, ilmakehän ja jään vuorovaikutussuhteiden simuloimiseksi. Ilmastomallien avulla voidaan tutkia esimerkiksi sään dynamiikkaa tai ilmastomuutosta ennustamalla pitkän aikavälin muutoksia lämpötilassa ja sademäärissä. Ilmastomallit sisältävät maan ja ilmakehän rajalla toimivia osamallikokonaisuuksia, joita kutsutaan englanniksi termillä ”land surface model” (LSM) mutta joille ei ole täsmällistä suomenkielistä käännöstä. Viitataan tässä kirjoituksessa ilmastomallien maan ja ilmakehän osamallikokonaisuuksiin termillä ”biosfäärimalli” (kr. βίος, bios, elämä ja σφαίρα, sfaira, kehä), joka heijastelee merkitykseltään englanninkielistä vastinettaan. Esimerkiksi globaali ilmastomalli ”The Community Earth System Model” (CESM) sisältää maanpinnan ja ilmakehän rajalla toimivan osamallikokonaisuuden nimeltään ”Community Land surface Model” (CLM). CLM on suunniteltu simuloimaan niin hydrologisia, biogeofysikaalisia, biogeokemiallisia kuin väestönkasvun kehitykseen liittyviä prosesseja. CLM-biosfäärimallissa maanpeite kuvataan käyttäen 16 luokkaa: kartta-

hilan solut luokitetaan ensin pääluokkiin, kuten jäätikkö, järvi, kosteikko, rakennettu ympäristö ja kasvillisuus. Nämä pääluokat voidaan jakaa alaluokkiin, kuten metsä ja pelto, ja alaluokka metsä voidaan edelleen jakaa esimerkiksi havu- ja lehtimetsiin. CLM:n maanpeitekuvaus edustaa yhtä kehittyneimmistä maanpeitekuvauksista, sillä usein maanpeiteluokkien määrä biosfäärimalleissa vaihtelee välillä 5–16.

Globaalien ilmastomallien käyttämien maanpeitekarttojen maaresoluutio on tyypillisesti 0,05 astetta, joka vastaa päiväntasaajalla noin 31 neliökilometrin laajuista aluetta (5,6 km × 5,6 km). Edellä mainittua karttahilaa kutsutaan englanniksi termillä ”Climate Modeling Grid” (CMG), jonka voisi suomentaa esimerkiksi ilmastomallinnushilaksi. Ilmastomallinnushilan karkea maaresoluutio tarkoittaa, että todellisuudessa jokainen hilaruutu sisältää useita maanpeiteluokkia (ts. on maanpeiteluokkien mosaiikki). Nykyisin on saatavissa myös hienomman maaresoluution maanpeiteluokituksia, jotka kuvaavat maanpinnat käyttäen jopa 22:ta eri maanpeiteluokkaa. Hyvänä esimerkkinä on Euroopan avaruusjärjestön ”Climate Change Initiative” (CCI) -maanpeitekartat, joiden karttahilaruudun koko on 0,0028 astetta, joka vastaa päiväntasaajalla noin 0,1 neliökilometrin laajuista aluetta (0,3 km × 0,3 km). Harmillisesti myös CCI:n maanpeitekartat tyytyvät luokittelemaan metsät havu-, lehti- tai sekametsiksi. Huomionarvoista kuitenkin on, että CCI:n maanpeitekartoissa käytetty luokitus sallisi metsiksi luokitettujen hilasolujen edelleen luokittamisen tiheisiin ja avoimiin metsiin, mutta toistaiseksi suomalaiset metsät on luokitettu vain havu-, lehti- ja sekametsiksi. Käytännössä edellä mainittu luokitus tarkoittaa, että jos maa-alue on luokitettu metsäksi, ovat sen ominaisuuksia kuvaavat parametrit varttuneen metsän arvoja, olipa sitten kyseessä taimikko tai ikimetsä.

Biosfäärimalleissa maanpeiteluokkien ominaisuuksille on yleensä määritelty kiinteät parametrit. Esimerkiksi CLM:ssä jokaiselle kasvillisuutta sisältävälle maanpeiteluokalle on ennalta määrätty kasvillisuuden rakennetta kuvaavat parametrit: pohjapinta-alalla painotettu puiden keskipituus, latvuspituus ja lehtialan maksimaalinen määrä. Lehtialan vuodenaikaisia muutoksia säädellään usein käyttäen sekä kiinteitä parametreja että erillisiä malleja, joiden kautta mallinnetaan lehtien puhkeamista ja varisemista. Lisäksi maanpeiteluokille on määritelty mm. niiden optiset ominaisuudet, joiden avulla esimerkiksi maanpinnan albedo saadaan laskettua. Kasvillisuuden optiset ominaisuudet on biosfäärimalleissa usein määritelty näkyvän valon (400–700 nm) ja lähi-infrapunaisen (701–2500 nm) aallonpituusalueen yli laskettuina keskiarvoina. Esimerkiksi CLM-malli täsmentää parametrit lehtien ja rungon heijastukselle ja läpäisylle (engl. reflectance, transmittance), joiden summa on yhtä kuin albedo. Ilmastomallinnushilasolun maanpinnan albedoarvo voidaankin laskea käyttäen täydellistä säteilynsiirtomallia tai vaihtoehtoisesti eri maanpeiteluokkien albedoarvojen pinta-aloilla painotettuna keskiarvona.

## **Metsänhoitotoimien huomioiminen vaatii tarkoitukseen sopivan luokituksen**

Metsänhoitotoimien huomioimiseksi on ensin luotava maanpeiteluokitus, joka erottelee metsät metsänhoitotoimien kannalta keskeisten ominaisuuksien mukaan. Esimerkiksi Suomessa käytettävät harvennusmallit perustuvat tietoon metsäalueen metsätypistä, puuston pohjapinta-alasta, valtapituudesta ja puulajista. Vaikka nämä tiedot ovat saatavilla tehtäessä käytännön metsätalouden päätöksiä, eivät ne sinällään sovi käytettäväksi ilmastosimulaatioissa. Jatkuvien muuttujien, kuten pohjapinta-ala tai valtapituus, käyttö ei ole mahdollista ilmastosimulaatioissa, sillä niiden käyttämä maanpeiteluokkien määrä on tarkasti rajattu (esim. CLM:ssä 16 luokkaa). Metsien ilmastovaikutuksiin keskittyvien simulointien yhteydessä puhutaan usein metsien ’ikärakenteen’ kuvauksesta, jolla voidaan tarkoittaa joko metsäalueen puuston ikäluokkajakaumaa (ts. sana rakenne ei tässä käytössä

liity puun kokoon tai rakenteeseen vaan jakauman muotoon) tai puun rakenteen kytkeytymistä puun kokoon (ts. kyseessä on yksinkertaistus, koska puun iän ja koon välinen korrelaatio ei usein ole kovin vahva – ja vaihtelee alueen, puulajin ja metsänhoitomenetelmien mukaan). Asiayhteydestä riippuu, kumpaa edellä mainittua asiaa ikärakenteen kuvauksella tarkoitetaan. Terminä 'ikärakenne' kuvastaa kuitenkin hyvin ilmastomallin keskeistä tehtävää ennustaa ajassa tapahtuvia muutoksia.

Yksi vaihtoehto pohjoismaisten metsänhoitotoimien huomioimiseksi ilmastomallissa on ensin päättää kuvattavien puulajien määrä ja tämän jälkeen katsoa, montako rakenneluokkaa kullekin puulajille voidaan määrittää. Esimerkiksi jos maanpeiteluokkia saa olla enintään 16, niin kolmen puulajin ja neljän puulajin sisäisen rakenneluokan (yht. 12 metsäluokkaa) lisäksi jää malliin käytettäväksi vielä neljä luokkaa kuvaamaan esimerkiksi peltoja, järviä, kosteikkoja ja rakennettua ympäristöä. Metsäluokkien raja-arvojen määrittämisen jälkeen hienon maaresoluution kartta-aineistoja (esim. Luonnonvarakeskuksen monilähdeinventointien temaattiset kartta-aineistot, joiden maaresoluutio on 16 m × 16 m) voidaan käyttää maa-alueiden luokittamiseen. Tämän jälkeen luokitellut kartta-aineistot voidaan summata laajempien hilasolujen tasolle (esim. CCI:n maaresoluutioon ~ 0,3 km × 0,3 km). Hienon maaresoluution aineistojen summaaminen (ts. aggregointi) karkeampaan resoluutioon mahdollistaa nopeamman laskennan, kun jokaisen maanpeiteluokan suhteellinen osuus kussakin hilasolussa voidaan esittää omana karttatasonaan. Näin menetellen voidaan tutkimuskysymyksestä ja käytettävän mallin rajoitteista riippuen valita, kuinka monen maanpeiteluokan kautta hilasolun maanpeite kuvataan ilmastomallissa.

Vaikka itse ilmastosimulaatiot toteutetaan ilmastomallinnushilan resoluutiossa, sopii keskimääräisen maaresoluution (esim. CCI) käyttö hyvin alueellisiin mallinnustehtäviin, kuten esimerkiksi tutkittaessa Fennoskandian metsien ilmastovaikutuksia. Tällöin voidaan käyttää ns. 'offline'-simulaatioita, joilla esimerkiksi maankäytön muutoksia, metsien kasvua jne. simuloidaan tietyn ajan yli (esim. viiden vuoden sykleissä) käyttäen keskiresoluution karttatasoja, ja keskiresoluution karttatasot summataan ilmastomallinnushilan resoluutioon ennen tiedon syöttämistä itse ilmastomalliin. Ilmastomallista saadaan vastineeksi esimerkiksi lämpö- ja sadetiedot seuraavalle 5 vuoden kaudelle, ja niiden perusteella metsiä voidaan taas kasvattaa käyttäen keskiresoluution karttatasoja. Offline-analyysin etuna on, että sen avulla saadaan huomioitua vaihtelu metsän rakenteessa (tai kasvussa ja metsänhoitotoimissa), jota ei olisi muutoin mahdollista huomioida. Näiden simulaatioiden heikkoutena on kuitenkin, ettei kaikkia fysikaalisia vuorovaikutussuhteita ja takaisinkytkentöjä saada huomioitua.

## Metsänhoitotoimien ajallinen simulointi

Kuten yllä todettiin, käytettävästä luokituksista riippuu, millaisia metsänhoitotoimenpiteitä voidaan huomioida itse ilmastosimulaatioissa. Jo luokitusta hahmotellessa tulisikin miettiä, millaisia metsänhoitotoimia aikoo laskennoissaan huomioida. Tässä yhteydessä on hyvä ymmärtää, ettei ole yhtä ja oikeaa tapaa luokitaa metsiä tai mallintaa kasvusta ja harvennuksista johtuvia siirtymiä eri metsäluokkien välillä.

Yhden puulajin sisällä tapahtuvat rakenneluokkien väliset siirtymät voidaan mallintaa käyttäen erillistä metsän kasvun ja metsänhoidon toimenpiteet huomioivaa simulaattoria. Simulaattori voidaan parametrisoida käyttäen esimerkiksi valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) pysyvien maastokoeala-aineistojen aikasarjoja. Simulaattorilla saadaan tuotettua metsän kasvulle yksinkertaistetut empiiriset mallit, joissa voidaan huomioida esimerkiksi puulaji, lämpöolosuhteiden vaikutus puiden kasvuun, taimien istutustiheys ja luonnolliset metsätuhot. Koska VMI:n pysyvien koealojen mittaussväli on tyypillisesti 5 vuotta, myös empiiriset mallit ennustavat tilannetta 5 vuoden harppauksin. Metsän kehitystä simuloitaessa onkin pidettävä kirjaa menneiden syklien kasvu-

vaikutuksista, sillä empiiriset mallit simuloivat jatkuvaa kehitystä toisiaan seuraavissa 5 vuoden sykleissä. Toisin sanoen jokaisen hilasolun jokaisen metsäluokan kehityksestä on pidettävä kirjaa. Kirjanpidon voi toteuttaa esimerkiksi ns. ämpärimallin mukaisesti. Ämpärimallin mukaan ämpärin täyttymistä seuraa siirtymä seuraavaan rakenneluokkaan, ja siirtymän jälkeen ämpärin täyttyminen alkaa uudelleen.

Maisematasolla hakkuita voidaan simuloida, kunhan tiedetään, paljonko kutakin puulajia on tarkoitus hakata seuraavan 5 vuoden kauden aikana. Laskennan yksinkertaistamiseksi voidaan olettaa, että kaikki puusto hakataan yhdestä hilasolusta kerrallaan. Tämä on kohtuullinen oletus, kun hakkuut aloitetaan puustoisimmista hilasoluista ja kun yksittäiset hilasolut ovat kohtuullisen pieniä. Hakkuut kannattaa aloittaa puulajista, joka on maisematasolla harvinaisin edeten yleisimpiin puulajeihin. Hakkuiden edetessä pidetään kirjaa kunkin puulajin hakkuukertymästä ja hakkuita jatketaan, kunnes jokaisen puulajin 5-vuotiskauden hakkuukiintiö on saavutettu. Hakkuukiintiön ylittävät kuutiometrit voidaan vähentää seuraavan 5-vuotiskauden hakkuukiintiöstä.

## Gloaalien maanpeiteluokituksen vertailemisen vaikeus

Viime vuosikymmeninä globaalien maanpeiteluokituksen, kuten ”The International Geosphere-Biosphere Programme” (IGBP) käyttö erilaisissa biosfäärimalleissa on lisääntynyt merkittävästi tietokoneiden laskentatehojen kasvaessa ja yhä monimutkaistuvien prosessikuvausten yleistyessä. Koska eri biosfäärimallit ovat erikoistuneet vastaamaan erilaisiin tutkimuskysymyksiin, on selvää, ettei universaalien metsäluokituksen kehittäminen ole mielekäästä. Nyt 2020-luvulle tultaessa on ilmaisia satelliittiaineistoja ollut jo pitkään vapaasti saatavilla, ja voisikin olettaa, että metsien kuvaus biosfäärimallien eniten käyttämissä globaaleissa maanpeiteluokituksissa olisi yhtenevä edes havu- ja lehtimetsien levinneisyyden suhteen. Tämä ei ole kuitenkaan itsestäänselvyys, sillä eri maanpeiteluokituksen vertaileminen on ollut (ja on yhä) haastavaa. Vaikka erilaisia maanpeiteluokituksia onkin voitu vertailla luokittelumatriisien avulla, ei tällainen analyysi auta kehittämään parempia ja realistisempia metsäluokituksia ja niihin perustuvia maanpeitetuotteita. Ongelmana on, että luokituksen jälkeen tieto alkuperäisistä jakaumista katoaa, jolloin luokituksen suorat vertailut eivät ole mielekkäitä. Kuitenkin, koska esimerkiksi CLM-malli käyttää IGBP-maanpeiteluokituksen mukaisia latvuspeittävyksiä parametrisoinnissaan, on tarpeen tarkastella luokituksen raja-arvoja uudelleen. Viimeaikaisten tutkimusten perusteella voidaan todeta, että lehti- ja havumetsien alueellinen kuvaus erilaisissa maanpeitetuotteissa voi poiketa toisistaan paljonkin, jopa saman ’tuotepöytä’ sisällä. On selvää, että jos ilmastosimulointien perustalla oleva karttamuotoinen aineisto kuvaa metsien määrän ja alueellisen lehtipuu–havupuusuhteen väärin, ei tulosten todenmukaisuudestaan voida olla varmoja. Nyt jos koskaan on tarve metsätieteelliselle osaamiselle ja Suomen laajoille ja yksityiskohtaisille metsäaineistoille metsien tarkemmaksi kuvaamiseksi biosfäärimalleissa.

## Yhteenveto

Tällä hetkellä ei ole selvää, miten metsiä tulisi hyödyntää ilmastomuutoksen vastaisissa ponnisteluissa ja siihen liittyvässä poliittisessa päätöksenteossa. Tällaisiin kysymyksiin on kuitenkin mahdollista vastata ilmastosimulaatioiden avulla, sillä simulaatioilla voidaan tutkia metsien ja metsänhoidon vaikutuksia hiilen, energian ja veden kiertoon laajojen maantieteellisten alueiden yli. Ei ole yksiselitteisesti olemassa yhtä ja oikeaa tapaa metsien rakennevaihtelun ja ominaisuuksien kuvaamiseen ilmastomalleissa, mutta jos useammilla malleilla saadaan tuotettua samansuuntaisia

tuloksia, voidaan tuloksista tehdä johtopäätöksiä. Tulosten realistisuuden nimissä tulisi ilmastosimulaatioiden pohjana käytettävien maanpeiteluokitusten kuitenkin kuvata edes havu- ja lehtimetsien levinneisyys jokseenkin yhtenevästi.

## Lähteitä

- Kumkar Y, Astrup R, Stordal F, Bright RM (2020) Quantifying regional surface energy responses to forest structural change in Nordic Fennoscandia. *J Geophys Res Atmos* 125, article id e2019JD032092. <https://doi.org/10.1029/2019JD032092>.
- Majasalmi T, Bright RM (2019) Evaluation of leaf-level optical properties employed in land surface models. *Geosci Model Dev* 12: 3923–3938. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-3923-2019>.
- Majasalmi T, Rautiainen M (2021) Representation of tree cover in global land cover products: Finland as a case study area. *Environ Monit Assess* 193, article id 121. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08898-2>.
- Majasalmi T, Eisner S, Astrup R, Fridman J, Bright RM (2018) An enhanced forest classification scheme for modeling vegetation-climate interactions based on national forest inventory data. *Biogeosciences* 15: 399–412. <https://doi.org/10.5194/bg-15-399-2018>.
- Majasalmi T, Micky A, Antón-Fernández C, Astrup R, Bright RM (2020) A simple grid-based framework for simulating forest structural trajectories linked to transient forest management scenarios in Fennoscandia. *Clim Change* 162: 2139–2155. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02742-1>.