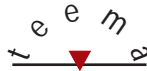


Heikki Hänninen

Mallit metsäntutkijan työkaluna



Johdanto

Metsäntutkimus voidaan jakaa karkeasti perustutkimukseen ja soveltavaan tutkimukseen. *Metsällisessä perustutkimuksessa* tutkijan tehtävänä on kuvata ja selittää metsäluonnon, metsätalouden tai metsätekniiikan ilmiöitä ja lainalaisuuksia. Vaikka metsätieteen eri osa-alueiden tutkimuskohde- teet ovatkin monessa suhteessa hyvin erilaisia, niin eri osa-alueita yhdistää kuitenkin metsällisen aihe- piirin lisäksi yhteinen tutkimuksen perusasetelma. Tutkijan tehtävänä on piirtää teoreettinen kuva niistä reaali maailman osista, jotka hän on tutkimuskoh- teeksensa valinnut. Tieteenfilofiassa käytetään täs- tä työstä nimikettä käsitteen- ja teorianmuodostus. Käsitteen- ja teorianmuodostus on luonteeltaan his- toriallinen prosessi, joka ei koskaan tule täysin val- miiksi. Vanhat ja vakiintuneet teorit voivat niitä uudelleen testattaessa aina tarkentua tai osoittautua suorastaan vääriksi. *Metsällisessä soveltavassa tut- kimuksessa* kehitetään perustutkimuksesta saatujen teorioiden ("tiedon") pohjalta menetelmiä käytän- nön metsätaloutta varten. Tässä vaiheessa tarvitaan työn pohjaksi myös tietoa inhimillisistä arvoista, eli siis siitä, mihin metsätaloutta harjoitettaessa pyri- tään.

Malli-käsitettä käytetään tutkimuksessa hyvin monessa eri merkityksessä. Malli-käsitteellä voi- daan viitata tutkimuksen päämääränä olevaan teo- reettiseen kuvaan tutkimuskohteesta. Usein malli- käsitteelle annetaan kuitenkin vaatimattomampi sta- tus. Mallia käytetään kyllä kuvaamaan tutkimuskoh-

teenä olevaa reaali maailman osaa, mutta jo mallia laadittaessa tiedetään sen olevan monessa suhtees- sa puutteellinen. Tällöin voidaan puhua mallista tut- kijan työkaluna, jota tarvitaan tutkimuksen viemi- seksi eteenpäin.

Tässä kirjoituksessa tarkastellaan eräitä mallien käyttöön liittyviä yleisiä periaatteellisia kysymy- ksiä. Lähinnä tarkastellaan matemaattisia malleja, joiden käyttö on yleistynyt metsätieteen eri osa-alu- eilla sekä perus- että soveltavassa tutkimuksessa merkittävästi viime vuosikymmeninä. Monet tarkas- teltavista kysymyksistä koskevat kuitenkin myös sanallisia ja graafisia malleja. Esimerkit on valittu kirjoittajan oman suuntautumisen vuoksi pääosin metsäekologian alalta.

Mallien realistisuus, tarkkuus ja yleistettävyyys

Mallien rakentamisessa pyritään Levinsin (1966) mukaan mahdollisimman suureen realistisuuteen, tarkkuuteen ja yleistettävyyteen. Levins (1966) ei määritellyt näitä kolmea käsitettä, minkä vuoksi täs- sä sovelletaan Hännisen (1984, 1990) määrittelyitä. *Realistisessa* mallissa esitettävät relaatiot perustu- vat todellisiin kausaalisuhteisiin (eivät satunnaisiin korrelaatioihin) tai ovat muuten merkittäviä tutkit- tavan ilmiön teorian kannalta. Realistiselta mallilta edellytetään edelleen, että siitä ei saa puuttua il- miöön merkittävästi vaikuttavia tekijöitä. Malli on *tarkka*, mikäli sen ennusteiden ja havaintojen väli-

nen erotus on pieni. *Yleistettävyyys* mittaa mallin pätevyysalueen laajuutta.

Periaatteessa voidaan kuvitella absoluuttisen realistinen malli, joka kuvaisi tyhjentävästi tutkimuksen kohteena olevaa reaalimaailman osaa. Tällainen malli olisi myös sataprosenttisen tarkka, ts. sen ennusteiden ja havaintojen välinen erotus olisi aina nolla. Tällaista absoluuttisen realistista mallia ei kuitenkaan pystytä käytännössä koskaan rakentamaan. Tämän vuoksi tutkimuksessa joudutaan pohtimaan, mihin ominaisuuksiin mallintamisessa pyritään. Perustutkimuksessa painotetaan erityisesti mallin realismia, koska tavoitteena on lisätä tieteellistä ymmärrystä tutkimuskohteesta. Mallin tarkkuus ei ole tässä tapauksessa ensisijaisen tärkeää. Soveltavassa tutkimuksessa pyritään useimmiten rakentamaan mahdollisimman tarkkoja malleja, koska mallia sovelletaan käytännön metsätaloudessa eri toimenpidevaihtoehtojen seuraamusten ennustamiseen. Mallin realismi ei ole tässä tapauksessa sen hyvyyden ensisijainen kriteeri. Mallin yleistettävyyteen pyritään sekä perus- että soveltavassa tutkimuksessa.

Realistinen malli säilyttää kohtuullisen tarkkuutensa testausilanteesta toiseen, koska se kuvaa suhteellisen kattavasti ilmiöön vaikuttavat kausaalisuhteet. Vähemmän realistisen mallin tarkkuus voi sen sijaan vaihdella merkittävästi sen mukaan, koetellaanko testitilanteessa mallin epärealistisia osia vai ei. Hänninen (1995) esimerkiksi testasi puiden pituuskasvun alkamista ennustavaa fenologista mallia sekä luontaisissa olosuhteissa (nykyilmasto) että lämmennyttyä ilmasto vastaaavissa olosuhteissa pienoiskasvihuoneissa (skenaarioilmasto). Malli pystyi ennustamaan suhteellisen tarkasti kasvun alun luontaisissa olosuhteissa, mutta se menetti tarkkuutensa täysin skenaarioilmastossa. Mallin realismissa oli siis jokin merkittävä puute huolimatta mallin suhteellisen suuresta tarkkuudesta nykyilmastossa. Tämä puute ei kuitenkaan tullut esiin, ennenkuin mallia testattiin skenaarioilmastossa.

Hännisen (1995) tulokset viittaavat siihen, että mallien realismi on viime kädessä tärkeää myös soveltavassa tutkimuksessa. Ei ole suotavaa, että käytännön toimenpiteiden suunnittelussa käytettävä malli menettää aikaisemman suuren tarkkuutensa uudessa soveltamistilanteessa. Tällainen vaara on olemassa tulevina vuosikymmeninä metsäsuunnit-

telussa, mikäli suunnittelujärjestelmän pohjana oleva metsänkasvumalli ei ota riittävän hyvin huomioon muuttuvan ilmaston vaikutusta metsänkasvuun.

Empiiriset ja teoreettiset mallit

Empiiriset mallit perustuvat ns. induktiiviseen päättelyyn l. päättelyyn yksityisestä yleiseen. Mallin pohjana on empiirinen havaintoaineisto, johon sovitetaan tilastollisten käyränsovitusmenetelmien avulla kirjallisuudesta valittu yhtälö. Empiiristen mallien käyttö on erityisen tyypillistä metsänarvioimistieteessä, esimerkkinä vaikkapa puun pituuden mallintaminen rinnankorkeusläpimitan funktiona Näslundin pituuskäyrän avulla. *Teoreettiset mallit* perustuvat puolestaan deduktiiviseen päättelyyn, ts. päättelyyn yleisestä yksityiseen. Mallin pohjana on havaintoaineistoista riippumaton oletus l. hypoteesi, josta johdetaan loogisen päättelyn avulla ennuste erikseen määriteltyä koetta varten. Hypoteesiä testataan vertaamalla ennustetta myöhemmin kerättävään havaintoaineistoon. Tällaista menetelmää kutsutaan hypoteettis-deduktiiviseksi menetelmäksi (HDM). Hypoteettis-deduktiivisessa menetelmässä tutkimusalan teoria ohjaa erityisen voimakkaasti empiirisen tutkimuksen suuntaamista. Teoreettiset mallit ovat saaneet viime vuosina entistä enemmän jalansijaa metsäekologiassa, erityisesti testattaessa hypoteettis-deduktiivisen menetelmän avulla erilaisia luonnonvalinnan teoriasta johdettuja, kasvien rakenteen ja toiminnan optimaalisuutta koskevia hypoteesejä.

Empiiristen mallien käyttö on yleensä tyypillistä kunkin tutkimusalan alkuvaiheessa, jolloin pääpaino on tutkimuskohteen kuvauksessa. Teoreettisten mallien käyttö yleistyy myöhemmin tutkimuksen painopisteen siirtyessä entistä enemmän ilmiöiden selittämiseen abstraktien teorioiden avulla. Jotkut tieteenfilosofit ovat ottaneet jopa niin jyrkän kannan, että empiiristen mallien avulla saatuja tuloksia ei tule ollenkaan hyväksyä tieteellisessä teorianmuodostuksessa. Tämän mukaan siis hypoteettis-deduktiivinen menetelmä on ainoa oikea tieteellinen menetelmä. Tällaiseen jyrkkyyteen ei ole mitään syytä ainakaan metsäekologiassa, missä tutkimus etenee käytännössä induktiivisen komponentin (empiiriset mallit) ja deduktiivisen komponentin (teoret-

tiset mallit) vuorotellessa. On lisäksi syytä huomata, että puhtaan induktiivista tai deduktiivista tutkimusta ei ole käytännössä edes olemassa. Myös empiiristen mallien pohjana olevien aineistojen keräämistä ohjaa jonkinlainen esiyymmärrys tai teoria, ja toisaalta aikaisemmat havainnot vaikuttavat aina jossakin määrin teoreettisten mallien pohjana olevien hypoteesien kehittämiseen.

Mallit loogisena argumenttina

Mallien käyttö loogisena argumenttina tarkoittaa niiden seuraamusten (implikaatioiden) paljastamista loogisen päättelyn tai laskemisen avulla, jotka aiheutuvat mallin olettamuksista. Tätä menetelmää käytetään hypoteettis-deduktiivisen menetelmän yhteydessä, kun mallista johdetaan testattavia ennusteita. Mallia käytetään loogisena argumenttina myös tietokonesimulaatiossa. Metsänarvioimistieteessä ja käytännön metsäsunnittelussa on käytetty tietokonesimulaatiota jo pitkään metsänkasvun ennustamiseen. Tietokonesimulaatio on nykyisin keskeinen menetelmä myös metsäekologiassa, erityisesti viime vuosina yleistyneessä ilmastomuutos-tutkimuksessa.

Tietokonesimulaation tulokset määräytyvät täysin mallin olettamusten mukaan. Tulokset eivät siis sisällä mitään varsinaisesti uutta tietoa, vaan ne ovat periaatteessa pääteltävissä mallin olettamuksista. Käytännössä tällainen päättely ei ole mahdollista, vaan ennusteiden johtamiseen vaaditaan simulaatiota tietokoneen avulla. Simulaation tuloksia tulkitessa tulee muistaa, että niiden luotettavuus riippuu täysin simulaatiossa käytetyn mallin luotettavuudesta. Simuloinnin avulla saatavat ennusteet voivat muuttua, mikäli simuloinnissa käytettävää mallia joudutaan muuttamaan empiirisestä tutkimuksesta saatujen tulosten vuoksi. Näin on käynyt mm. viime aikoina tutkittaessa tietokonesimulaation avulla ilmastomuutoksen vaikutusta metsäpuiden talvehtimiseen boreaalisissa olosuhteissa. Vielä joitakin vuosia sitten puiden vuosirytmimallilla tehdyt skenaariosimuloinnit ennustivat ilmastomuutoksen aiheuttavan dramaattista pakkasvaurioiden lisääntymistä (Hänninen 1991). Empiirisen tutkimuksen perusteella edelleenkehitettyllä mallilla tehdyt uudemmat simuloinnit sen sijaan ennustavat

huomattavasti vähäisempää pakkasvaurioiden lisääntymistä tai eräissä tapauksissa jopa pakkasvaurioiden vähentymistä ilmastomuutoksen seurauksena (Leinonen 1996).

Black box -mallit ja mekanistiset mallit

Luontoa voidaan tutkia usealla eri hierarkisella organisaatiotasolla, alkaen alkeishiukkasista ja päätyen maailmankaikkeuteen. Metsäekologiassa tarkastelutaso vaihtelee yleensä kasvinosatasosta (esim. lehden fotosynteesinopeuden valovaste) metsikkötasolle (metsikön ravinnekierto ja biomassatuotos). Vastaavia tutkimuskohteen hierarkisia tarkastelutasoja voidaan erottaa myös muilla metsätieteen osa-alueilla.

Black box -malliksi kutsutaan mallia, jossa tarkasteltavaa ilmiötä selitettäessä ei oteta huomioon ilmiön ilmenemistasoa alempien organisaatiotason ilmiöitä. Esimerkiksi lehden (kasvinosataso) fotosynteesinopeutta selitettäessä ei oteta tällöin huomioon alemmilla organisaatiotasolla (molekyylit, solut) tapahtuvia fotosynteesin osaprosesseja, kuten tehdään *mekanistisessa mallissa*. Käsitteillä black box -malli ja mekanistinen malli on merkitystä ainoastaan silloin, kun tarkasteltava perustaso on valittu. Lehden tasolla rakennettu fotosynteesinopeuden malli esimerkiksi on black box -malli, mikäli perustasoksi on valittu kasvinosataso, mutta mekanistinen malli, mikäli perustasona on metsikkötaso.

Syvällinen ymmärrys metsäekosysteemin toiminnasta on mahdollista saavuttaa vain yhdistämällä usealla eri organisaatiotasolla tehtyjä tutkimuksia. Tutkimuksessa tarvitaan siis sekä karkeita black box -malleja, että pienipiirteisempiä mekanistisia malleja. Näin lienee asianlaita myös muilla metsätieteen osa-alueilla.

Yksinkertaistaminen mallintamisessa

Malleja laadittaessa joudutaan aina tekemään yksinkertaistuksia, ts. jättämään tietoisesti joitakin tarkasteltavaan ilmiöön vaikuttavia tekijöitä mallin ulkopuolelle. Muussa tapauksessa mallista tulisi toivottaman monimutkainen, jolloin mm. mallin

parametrien estimoiminen kävisi mahdottomaksi. Yksinkertaistuksia tehdessään tutkija joutuu tasapainoilemaan tavoitteena olevan mahdollisimman suuren realistisuuden ja tutkimuksen käytännöllisten seikkojen vaatiman yksinkertaisuuden välillä. Kaikki ilmiöön merkittävästi vaikuttavat tekijät pitäisi saada malliin mukaan ilman, että mallista tulee hallitsemattoman monimutkainen.

Juuri yksinkertaistamisen vuoksi mallit on hedelmällisintä nähdä tutkijan työkaluna, ei mallin esittäjän lopullisena kantana tutkimastaan ilmiöstä. Rosenzweigin (1973) huomautus kuvastaa erinomaisesti tätä mallin työväline-tulkintaa: ”Voimme tietenkin periaatteessa sijoittaa kaikki ilmiöön liittyvät aspektit malliin, mikäli tunnemme ne jo ennalta. Mutta mikäli kaikki ilmiöön liittyvät aspektit tunnetaan, miksi enää tutkia koko ilmiötä?” Jos tällainen kuvitteellinen tilanne joskus toteutuisi, niin silloin metsäntutkijat voisivat keskittyä tutkimisen sijasta juhlimiseen. Tutkimuskohteemme tulevat pitämään huolen siitä, että tällainen vaara ei meitä vaani.

Kirjallisuus

- Hänninen, H. 1984. Voiko luontoa pakottaa kaavoihin? – Matemaattiset mallit ekologian teorianmuodostuksen työvälineinä. *Luonnon Tutkija* 88: 41–47.
- 1990. Perustuotantobiologian menetelmällisiä perusteita. Teoksessa: Lahti, T. & Smolander, H. (toim.). *Johdatus metsien perustuotantobiologiaan*. *Silva Carelica* 16: 11–29.
- 1991. Does climatic warming increase the risk of frost damage in northern trees? *Plant, Cell & Environment* 14: 449–454.
- 1995. Effects of climatic change on trees from cool and temperate regions: an ecophysiological approach to modelling of bud burst phenology. *Canadian Journal of Botany* 73: 183–199.
- Leinonen, I. 1996. A simulation model for the annual frost hardiness and freeze damage of Scots pine. *Annals of Botany* 78: 687–693.
- Levins, R. 1966. The strategy of model building in population biology. *American Scientist* 54: 421–431.
- Rosenzweig, M.L. 1973. Exploitation in three trophic levels. *American Naturalist* 107: 275–294.

■ Professori Heikki Hänninen toimii Helsingin yliopiston ekologian ja systematiikan laitoksella.