

**METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN  
TIEDONANTOJA**

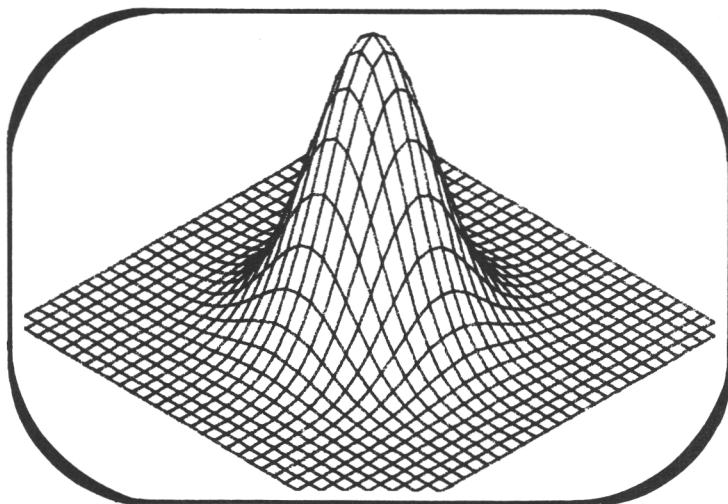
**42**

**Matemaattinen osasto**



# **METSÄTIETEIDEN LÄHESTYMISTAVOISTA JA MENETELMISTÄ**

**TOIM. PERTTI HARI**



**Helsinki 1982**



METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 42

Matemaattinen osasto

METSÄTIETEIDEN LÄHESTYMISTAVOISTA  
JA MENETELMISTÄ

Toim. Pertti Hari

Helsinki 1982

Helsinki 1982  
ISSN 0358-4283

## ESIPUHE

Metsäntutkimuslaitos suorittaa metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävää tutkimusta. Normaalisti se tapahtuu ratkomalla metsätalouden käytännössä esiin tulevia ongelmia; työ on vahvasti soveltavaan tutkimukseen suuntautunutta ja ongelmakesteistä.

Tutkimustehtävät ovat hyvin erilaisia ja nykyisin nopeasti muuttuvat olosuhteet luovat nopeassa tahdissa uusia haasteita. Esimerkiksi teollisen toiminnan aiheuttamien ympäristömuutosten (happosateet, kasvava ilman CO<sub>2</sub> pitoisuus jne.) vaikutusten ennustaminen puiden kasvuun on tutkimusongelma, josta ei ole aikaisempaa kokemusta. Tarvitaan siis hyvää ongelmanratkaisukykyä, mikä asia painottaa tutkittavan alan tuntemuksen lisäksi teoreettisten ja menetelmällisten valmiuksien tärkeyttä. Jokainen tutkimusongelma tulisikin ratkaista sen itsensä asettamalla teoreettisilla ja menetelmällisillä ehdoilla.

Lisäksi menetelmät kehittyvät jatkuvasti, ja ajan tasalla pysymiseksi on niiden käyttöä harjoitettava. Menetelmistä - vaikka ne olisivat kuinka hyviä tahansa - ei ole hyötyä ellei niitä osata käyttää.

Tutkimuksen teoreettisten ja menetelmällisten aspektien harrastusta siis tarvitaan myös Metsäntutkimuslaitoksessa. Harrastuksen edistämiseksi ja keskustelun virittämiseksi on Metsäntutkimuslaitoksen tutkijapäivien vuosina 1980 ja 1981 ongelman asetelua ja menetelmiä koskeneet esitelmät koottu yhteen. Ne eivät muodosta yhtenäistä kokonaisuutta vaan käsittelevät kukin osaltaan tutkimuksessa esiintulevia asioita. Esitelmät on ryhmitelty eräiden alaotsikkojen alle.

Tässä julkaisussa joidenkin esitelmien nimet ja sisällöt eroavat jonkin verran tutkimuspäivillä esitetyistä, koska kaikista esitelmistä ei ollut kirjallista versiota esityshetkellä.

Pitäjännäki, helmikuu 1982

Pertti Hari

## Toistettavuus ja yleistettävyyys

Toistettavuus ja yleistettävyyys filosofisina periaatteina: Leila Taiminen 1

Otannan ja yleistettävyyden ongelma metsäntutkimuksessa (yhteenveto vuosien 1980 ja 1981 esitelmistä): Kullervo Kuusela 10

## Teoria ja empiria

Metsäntutkimusongelman täsmentäminen käytännön ja teorian vuorovaikutuksena: Matti Seppo Palo 15

Kokeellisen metsäntutkimuksen perusteita: Pertti Hari 27

Taloudelliset teoriat ja todellisuus: Pekka Ollonqvist 31

## Tutkimusmenetelmät

Tutkimusongelman metodisista hahmottamistavoista: Pertti Hari 52

Tilastotiede päättelyn apuvälineenä: Jaakko Heinonen ja Timo Pekkonen 56

Dynaamisista malleista: Risto Sievänen 65

Leila Taiminen

TOISTETTAVUUS JA YLEISTETTÄVYYS  
FILOSOFISINA PERIAATTEINA

Toistettavuus ja tutkiva subjekti

Toistettavuuden periaate liitetään tavallisimmin tieteellisen kokeen suorittamiseen. Kokeen avulla tutkija pyrkii testaamaan jotakin hypoteesia tai saamaan selville, mitä tietyissä olosuhteissa tapahtuu. Hypoteesina on se, että jos A pätee, niin silloin B pätee, eli jos vallitsevat tietyt olosuhteet (A), niin tapahtuu tietty ilmiö (B). Tätä testatakseen tutkija luo tarkoituksellisesti tilanteen, jossa kyseiset ehdot ovat täytetyt. Sen jälkeen hän havainnoi sitä, mitä tapahtuu. Kokeen ajatellaan tavallisesti joko konfirmoivan hypoteesia tai osoittavan sen virheelliseksi. Hypoteeseihin ja tieteellisiin kokeisiin tosin liittyy monia filosofisia ja tieteen käytännön ongelmia, jotka näin lyhyt tieteellisen kokeen luonnehdinta sivuuttaa.

Toistettavuuden periaatteella tarkoitetaan tässä yhteydessä yksinkertaisesti sitä, että tieteelliset havainnot ja kokeet ovat toistettavissa; toistojen avulla tutkija voi parantaa havainnon laatua ja siten lisätä tutkimustulostensa luotettavuutta.

Mutta periaate on ymmärrettävissä toisellakin tavalla. Tässä tulkinnessa ei ole kyse siitä, että y k s i t y i n e n tutkija voi suorittaa saman kokeen monta kertaa, vaan siitä, että k e n e n t a h a n s a on periaatteessa mahdollista tehdä sama koe. Toistettavuuden periaatteella tarkoitamme siis myös sitä, että jonkin tieteellisen havainnon tai kokeen olisi voinut tehdä kuka havaitsija tahansa, joka olisi

ollut samassa tilanteessa. Luonnolla ei ole suosikkeja, vaan se "näyttäytyy" kaikille samanlaisena. (Ks. Kaplan, 1964, ss. 127-128.)

Tämän tulkinnan mukaan toistettavuus merkitsee intersubjektiivisuutta. Toistamisen avulla varmistetaan se, ettei havaintoon ole sekoittunut muita tekijöitä kuin ne, jotka ovat kaikille havaitsojille yhteisiä. Intersubjektiivisuudeksi tulkitusta toistettavuudesta tulee siten tieteen objektiivisuuden tunnusmerkki.

Intersubjektiivisuuden vaatimus voidaan esittää yleisemmin julkisuusperiaatteena, joka on tieteellisen menetelmän yksi keskeinen periaate: Tutkijan esittämä väite tai teoria tulee tiedeyhteisössä hyväksytyksi siten, että tutkija esittää väitteensä tai teoriansa tueksi perusteluja, jotka saavat muut hyväksymään sen. Perustelut, jotka voivat olla tieteellisiä kokeita tai joitakin loogisesti päteviä päätelmiä, ovat luonteeltaan julkisia eli sellaisia, että kuka tahansa asianmukaisen koulutuksen saanut henkilö voi ne toistaa. (Ks. Ketonen, 1976, s. 15, ja Niiniluoto, 1980a, s. 83.)

Käsiteltyissä toistettavuuden periaatteen tulkinnoissa on kyse tutkijoiden, tutkivien subjektien, toiminnasta. Näin tulkittuna toistettavuus on epäilemättä metodologisesti tärkeä periaate. Jos se hylättäisiin, olisi mahdollista ajatella, että on olemassa yksityistä tietoa, joka ei ole muiden saavutettavissa eikä julkisesti perusteltavissa, että voi olla olemassa korkeampia henkisiä kykyjä ja että tieteellisessä tutkimuksessa on luvallista vedota älylliseen tai mystiseen intuitioon. Tämä johtaisi siihen, että tutkija voisi väittää mitä tahansa vaatien samalla väitteensä hyväksymistä tieteelliseksi tiedoksi.

Tieteen objektiivisuuden takeena on usein pidetty sitä, että tieteelliset havainnot ja kokeet eivät ole riippuvaisia mistään teoreettisista ennako-oletuksista. Erityisesti parin viime vuosikymmenen ajan monet tieteenfilosofit ovat



kuitenkin esittäneet, ettei ole olemassa puhdasta havaintoa eikä puhtaita tosiasioita vaan ennako-oletuksemme vaikuttavat siihen, mitä havaitsemme, ja tutkimusta tehdään aina jonkin teoreettisen kehikon sisällä. Mutta jos lisäksi väitetään, että eri viitekehykset hyväksyneiden tutkijoiden on mahdotonta keskustella rationaalisesti viitekehystensä paremuusjärjestyksestä, niin silloin toistettavuuden periaatekin rajoittuu koskemaan vain niitä tutkijoita, joilla on samanlainen teoreettinen tausta ja samanlaiset yleiset ennako-oletukset, sillä vain he voivat havaita samalla tavalla ja päätyä kokeita tehdessään samaan tulokseen.

Toistettavuus, yleistettävyyys ja tutkittava objekti

Jos toistettavuuden käsite kytketään yleistettävyyden käsitteeseen, se on mahdollista tulkita vielä yhdellä tavalla. Sen mukaan periaate väittää jotakin tutkittavan objektin luonteesta.

Tätä tulkintaa voidaan valaista tarkastelemalla humanististen ja yhteiskuntatieteiden metodologiaa koskevaa keskustelua. Jo 1800-luvun positivistit esittivät, että mikäli ihmistä tutkivat tieteet mielivät olla tieteitä, niiden on omaksuttava luonnontieteiden metodologia ja sen myötä kausaaliset selitykset sen sijaan, että ne vetoavat selityksissään ihmisten päämääriin ja tarkoituksiin. Saksalainen filosofi WINDELBAND, yksi positivismin vastustajista, puolestaan väitti tieteiden jakautuvan kahteen pääryhmään: nomoteettisiin ja idiografisiin. Nomoteettisia tieteitä ovat luonnontieteet, idiografisia taas ihmistä tutkivat tieteet. Nomoteettisia tieteitä luonnehtii se, että niissä etsitään yleisiä lakeja, noomisia eli lainomaisia yleistyksiä, ja pyritään selittämään ilmiöitä. Idiografiset tieteet sen sijaan kuvailevat yksittäisiä tapahtumia, henkilöitä, historian vaiheita ja kulttuureja ja pyrkivät ymmärtämään niitä. Fysiikka on tämän käsityksen mukaan selvästi nomoteettinen tiede, historia puolestaan on tyyppillinen idiografinen tiede.

Jaon puolustajat siis väittävät, että nomoteettisissa tieteissä tutkittavat kohteet ovat toistuvia ja kokeellisesti toistettavia ja niissä voidaan myös yleistää, kun taas idiografisissa tieteissä tutkittavat kohteet ovat ainutkertaisia, mikä tekee yleistämisen mahdottomaksi.

Keskustelua on käyty lähinnä humanistisissa ja yhteiskuntatieteissä. Ongelmana on yleensä ollut se, onko näillä tieteillä luonnontieteiden tutkimuskohteesta jollakin olennaisella tavalla poikkeava tutkimuskohde, ja jos on, niin seuraako siitä metodologisia eroja. Useimmiten kuitenkin ajatellaan, että luonnontieteet etsivät yleisiä lakeja ja ovat kiistattomasti nomoteettisia tieteitä.

Se merkitsee sitä, että luonnontieteissä hyväksytään toistettavuuden ja yleistettävyyden periaatteet, jotka tässä ymmärretään yhdeksi periaatteeksi: tutkimuskohde, tutkittava objekti, on toistuva ja toistettava, ja siksi on mahdollista yleistää.

Noomiset yleistyksen ilmaistaan yleisten implikaatiolauseiden avulla, joiden muoto on seuraava:

$$(x) (F(x) \rightarrow G(x))$$

Tämä luetaan: kaikille  $x$  pätee, että jos  $x$ :llä on ominaisuus  $F$ , niin  $x$ :llä on ominaisuus  $G$ . (Esim. Kaikki sinisilmäisten vanhempien lapset ovat sinisilmäisiä. Kaikki tukevailla olevat kappaleet, jotka ovat maan pinnan läheisyydessä, putoavat alaspäin.) Filosofit ovat keskustelleet paljon siitä, mikä on lainomaisen yhteyden tunnusmerkki, onko se yleisyys vai välttämättömyys. (Ks. von Wright, 1970, ss. 17-18, ja Niiniluoto, 1980a, ss. 201-205.) Noomisia yleistyksiä luonnehtii joka tapauksessa ainakin se, että ne ovat aidosti universaalisia, niillä ei ole ajallisia eikä paikallisia rajoituksia eikä niiden tueksi esitettävä

evidenssi lankea yhteen sovellusalueen kanssa. Lisäksi edellytetään, että ne kuuluvat johonkin tieteelliseen teoriaan ja että ne siten ovat johdettavissa muista tieteellisistä laeista.

Taustalla on se ajatus, että todellisuus on muuttuva, dynaaminen, mutta muutokset ovat säännönmukaisia ja tiede pyrkii esittämään, miten ilmiöt seuraavat toisiaan ja miten eri ominaisuudet säännönmukaisesti liittyvät toisiinsa. Tämä on osa koko uuden ajan vallalla ollutta galileista tieteenkäsitystä. Kuten kreikkalainen filosofi HERAKLEITOS esitti 400-luvulla eKr., "emme voi astua kahta kertaa samaan virtaan". Tutkija ja tutkittava kohde molemmat muuttuvat.

Siitä ajatuksesta, että todellisuus on jatkuvassa muutoksen tilassa, ei siis kuitenkaan seuraa toistettavuuden ja yleistettävyyden hylkääminen, sillä dynaamisuus ei ole sama kuin mielivaltaisuus, minkä jo Herakleitos ja myöhemmin erityisesti GALILEI ja hänen käsityksensä kannattajat ymmärsivät. Voimme hyväksyä sen, että luonto on jatkuvassa muutoksen tilassa, ja sen, että meidän on mahdollista saada tietoa vain muuttumattomasta eli invariansseista, ja kuitenkin väittää, että meidän on mahdollista saada tietoa luonnosta. Niin kuin suomalainen filosofi EINO KAILA aikanaan kirjoitti teoksessaan "Inhimillinen tieto" (1939), on erotettava toisistaan substantiaaliset invarianssit eli olioiden muuttumattomat olemukset ja relationaaliset invarianssit eli ilmiöiden väliset muuttumattomat suhteet.

Tiede etsii juuri relationaalisia invariansseja, joita ilmaistaan tieteellisillä laeilla. Kaava " $(x)(F(x) \rightarrow G(x))$ " esittää funktionaalisen riippuvuuden: tiettyyn muutokseen tai tapahtumaan liittyy säännönmukaisesti tietty toinen muutos tai tapahtuma. Alituisesti muuttuva luonto noudattaa lakeja; "ilmiöiden lakkaamaton virta" ei ole mielivaltainen. Luonnon dynaamisuus ja pohjattomuus eivät siten ole risti-

riidassa invarianssien etsimisen, toistettavuuden ja yleistettävyyden kanssa.

### Periaatteiden merkitys

Miksi sitten toistettavuuden ja yleistettävyyden periaate on tärkeä, ja miksi se on sisältynyt tieteenkäsitykseen? Jos se hylättäisiin, niin voisimme sanoa, että luonnontiede ei olekaan nomoteettista vaan idiografista tiedettä ja myös metodologia on sen mukainen, luonnontiede kuvaakin vain yksittäisiä tapahtumia ja pyrkii ymmärtämään niitä.

Tällä olisi melko radikaaleja seurauksia: Jos luonnontiede pyrkii pelkästään tulkitsemaan yksittäisiä ilmiöitä ja jos yleistäminen ei ole mahdollista, niin ei ole myöskään mahdollista rakentaa tieteellisiä teorioita, jotka juuri koostuvat yleisistä laeista. Jos ei ole olemassa yleisiä lakeja, ei ole mahdollista selittää ilmiöitä eikä ennustaa niitä. Jos tiede ei voi esittää mitään jos - niin-muotoisia yleisiä väitteitä, ei tieteen tuloksia voida myöskään hyödyntää. Ainoaksi mahdollisuudeksi jää se, että tutkija käsitteellistää kunkin tapahtuman aina sen jälkeen kun se on tapahtunut ja hän itse ehkä "sivistyy" jokaisessa ymmärtämistapahtumassa jollakin tavoin.

Mutta asettaako kukaan toistettavuuden ja yleistettävyyden periaatetta kyseenalaiseksi? Varsinaista "idiografista luonnontiedettä" ei ole ehdotettu, mutta esimerkiksi RUDOLF STEINERIN goetheanistisen luonnontieteen mukaan galileinen ajatustapa ei ole riittävä elollisen luonnon tutkimuksessa vaan se pätee lähinnä vain elottoman luonnon alueella. Steinerin hengentieteellisen metodin avulla ei pyritä etsimään yleisiä kausaalilakeja vaan yritetään eläytyä luontoon ja tavoittaa yksityisten ilmiöiden olennaiset piirteet. Päämääränä on löytää olioiden "olemukset". Steinerin mukaan yksityistä ilmiötä ei pidä selittää sen ulkopuolisten kausaalisten vaikuttajien avulla vaan sitä on tarkasteltava

ilmiön oman sisäisen periaatteen ilmauksena.

Tämä ei ole suoranaisesti idiografista mutta kylläkin jonkinlaista "ymmärtävää" luonnontiedettä, ja toisaalta se myös palaa vanhaan aristoteliseen luonnontieteeseen, jossa etsitään substantiaalisia invariansseja ja johon ei sisälly "tieto on valtaa" -ideaa siinä mielessä, että siinä korostettaisiin luonnon hallitsemisen ja hyödyntämisen ajatusta. Tällaista luonnontiedettä ovat muiden muassa jotkut luonnonsuojelijat viime aikoina kannattaneet. Galileista näkemystä on kritikoitu siitä, että se saa meidät suhtautumaan luontoon väärällä tavalla. Mikään ei kuitenkaan estä galileisen tieteenkäsityksen puolustajaa kannattamasta myös luonnonsuojelua. Me voimme toki itse valita sen, mihin me luonnon säännönmukaisuuksien tuntemusta käytämme, ja olla luonnon hallitsijoina hyviäkin hallitsijoita, mikäli niin haluamme.

ARISTOTELEESTA poiketen goetheanistisen luonnontieteen kannattajat ajattelevat, että on olemassa korkeampia tiedostamistapoja, joiden kautta voidaan tavoittaa luonnossa piileviä henkisiä voimia. Tämä merkitsee sitä, että hyväksytään sellaisia tiedostuksen muotoja, jotka ylittävät sen, mitä julkisuusperiaate sallii.

Myös PAUL FEYERABENDIN metodologista anarkismia kannattava tutkija voisi joissakin tilanteissa hylätä toistettavuuden periaatteen, sillä Feyerabendin käsityksen mukaan sellaista metodologista periaatetta ei olekaan, jota ei voitaisi rikkoa, mikäli tieteen edistys niin vaatii. Tuskin on kuitenkaan helppoa ratkaista sitä, milloin tieteen edistys todella niin vaatii. Feyerabendin kantaan ei ehkä voi suhtautua aivan vakavasti; pikemminkin sitä on arvioitava liian ahtaan empiristisen tieteenfilosofian vastaisena äärimmäisenä reaktiona.

Julkisuusperiaatteeksi ja yleistettävyyden periaatteeksi tulkitun toistettavuuden periaatteen hyväksyminen tai hyl-

kääminen on sidoksissa siihen, mitä me ylipäänsä tieteellä tarkoitamme. Näyttää siltä, että tiede satujen, myyttien ja taiteen luomisesta poikkeavana inhimillisenä toimintana on mahdollinen vain, jos periaatteet hyväksytään.

#### KIRJALLISUUSLUETTELO

- FEYERABEND, P. 1975. *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*. 339 s. London. NLB.
- HINTIKKA, J. 1969. *Tieto on valtaa ja muita aatehistoriallisia esseitä*. 296 s. Porvoo-Helsinki. WSOY.
- KAILA, E. 1939. *Inhimillinen tieto*. 271 s. Helsinki. Otava.
- KAPLAN, A. 1964. *The Conduct of Inquiry: Methodology for Behavioral Science*. 428 s. San Francisco. Chandler.
- KETONEN, O. 1976. *Se pyörii sittenkin*. 201 s. Porvoo-Helsinki. WSOY.
- KUHN, T. 1970. *The Structure of Scientific Revolutions*. 210 s. Chicago. The University of Chicago Press. Toinen, laajennettu painos. (Ensimmäinen painos v. 1962.)
- LAKATOS, I. & MUSGRAVE, A. (eds.) 1970. *Criticism and the Growth of Knowledge*. 282 s. London. Cambridge University Press.
- NAGEL, E. 1961. *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation*. 618 s. London. Routledge & Kegan Paul.
- NIINILUOTO, I. 1980a. *Johdatus tieteenfilosofiaan. Käsitteen- ja teorianmuodostus*. 314 s. Keuruu. Otava.
- 1980b. *Tieteen tuntomerkit*. *Tiede* 2000 (1): 5-9.
- STEINER, R. 1961. *Wahrheit und Wissenschaft / Erkenntnistheorie der Goetheschen Weltanschauung*. 172 s. Stuttgart. Verlag Freies Geistesleben. (Ilm. alun perin saksaksi v. 1886 / v. 1891.)
- 1972. *Johdatus ihmisen ja maailman henkiseen tiedostamiseen*. 174 s. Helsinki. Tammi. (Ilm. alun perin saksaksi v. 1904.)
- SUPPE, F. (ed.) 1977. *The Structure of Scientific Theories*. 818 s. Urbana-Chicago-London. University of Illinois Press.

WINDELBAND, W. 1907. Präludien. 464 s. Tübingen. Verlag von  
J.C.B. Mohr.

VON WRIGHT, G.H. 1970. Tieteen filosofian kaksi perinnettä.  
Helsingin yliopiston filosofian laitoksen julkaisuja N:o  
1. 32 s.

- 1971. Explanation and Understanding. 230 s. London.  
Routledge & Kegan Paul.

Kullervo Kuusela

#### OTANNAN JA YLEISTETTÄVYYDEN ONGELMA METSÄNTUTKIMUKSESSA

Otannan ja yleistettävyyden ongelmaa on havainnollistettu klassillisella esimerkillä:

Turisti saapuu ensimmäistä kertaa vieraaseen maahan. Rautatieasemalla punatukkainen, isonenäinen ja romuluinen kanta- ja kuljettaa hänen matkalaukkunsa junalta taksille. Illalla turisti kirjoittaa kotiin, että tämän mielenkiintoisen maan kaikki miehet ovat punatukkaisia, isonenäisiä ja romuluisia.

Esimerkki voi tuntua liioittelulta, mutta kutakuinkin samantlaisella otannalla ja tulosten yleistämisellä on viime aikoina tutkimuksen nimissä kuvattu mm. männyn istuttamista.

Männyn viljelyyn liittyy tapaus, jossa tutkimustulosten näyttelyssä esitellään juuristoltaan epämuodostuneita männyn viljelytaimia. Samassa yhteydessä ei ilmoiteta, mikä osuus viljelymännystä on saanut epämuodostuneen juuriston. Näyttelyssä kävijälle annetaan mahdollisuus epätieteelliseen yleistykseen, että näin käy kaikille viljelymännysille. Aiheeseen liittyy vielä metsänhoidon professorin kommentti, että "tällaista tarvitaan". Jos tällaista tutkimustulosten esittelyä todella tarvitaan, niin samalla on sanottava suoraan, että tarvitaan ihmisten harhaanjohtamista.

On julkaistu lause: "Korjausvauriot voivat vähentää puiden kasvua 30 %." Jos lauseella tarkoitetaan yksityisiä puita, niin se on tarpeeton. Jokainen tietää, että korjuuvaurio voi tappaakin yksityisen puun, jolloin sen kasvun menetys on 100 %. Jos taas lauseella tarkoitetaan, niinkuin sen myös voi lukea, että korjuuvauriot voivat vähentää puiden kasvua hehtaaria kohti 30 %, niin ilman tarpeellisia taustatietoja (joiden puuttuminen on yleensä osa epätieteellistä



ja harhauttamaan tarkoitettua yleistämistä) joutuu miettimään, miten tulos on saatu aikaan. Jos kasvun vähennys on 30 % hehtaaria kohti, niin vaurioita täytyy olla niin paljon, että ne vastaavat erittäin voimakkaan yliharvennuksen kasvua pienentävää vaikutusta. Jos taas lause tarkoittaa, että korjuuvaurio pienentää keskipuista 30 %:n kasvua 30 % (mikä on jo puiden särkemistä tahallaan), niin tällöinkään ei puiden kasvu hehtaaria kohti pienene 30 %, koska vaurioitumattomat puut suurentavat kasvuaan vaurioituneiden kustannuksella. Lause on joko huolimaton kielenkäyttöä tai koneellista korjuuta vastustavan mielentilan aiheuttama epätieteellinen yleistäminen.

Istutettuja paksuoksaaisia männyn taimikoita koskeva havainto yleistetään muotoon: "Istutetut männiköt kehittyvät niin paksuoksaiksi, että niistä saadaan vain kuitupuuta." (Asiasta on julkaistu kokonainen lehtiartikkeli.) Kuitenkin tiedetään, että perustamistavan mahdollisen vaikutuksen lisäksi taimien alkuperä, alkuperän ja kasvupaikan ilmaston suhde, kasvupaikan ravinteisuus ja vesitalous sekä kasvatustiheys vaikuttavat oksaisuuteen. Lainausmerkeissä oleva yleistyslause ei voi olla edes objektiiviseksi tarkoitettua tietoa.

Viimeaikaista kirjoittelua ja keskustelua seuraamalla ei voi välttyä vaikutelmalta, että epätieteelliset ja harhaanjohtavat yleistyksset ovat lisääntyneet. Tuntuu kuin niillä harjoitettaisiin tarkoituksellista kiihotusta. Oma selitykseni ilmiölle on:

Suomalainen demokratia on ylikypsytynyt vaiheeseen, jossa mielipide alkaa painaa enemmän kuin todennettu tieto. Tämä taas johtuu siitä, että poliittinen valta perustuu äänestyskannatukselle ja että äänestäjien käyttäytymiseen vaikuttavat enemmän mielipiteet ja ennakkoluulot kuin tieto. On myös yleistynyt käsitys, jonka mukaan "näkemykseen perustuva tieto" on vähintään yhtä hyvä kuin todennettu tieto. Näyttää siltä, että osa tutkijan virkojen ja toimien haltijoistakin tekee työtään tiedostaen tai tiedostamatta tavoit-

teena saada ennakkoluuloja ja mielipiteitä vahvistavia "tuloksia" ja miellyttää niillä poliittisen vallan haltijoita.

Muotikäyttäytyminen ja tieteellisyyden periaatteiden rappeutuminen vaikeuttavat muutoinkin vaikeata harhattomaksi tarkoitettun otannan ja tulosten yleistämisen ongelmaa. Keskimääräisen tutkijan koekenttien pinta-ala on kymmeniä ja enintään satoja hehtaareja. Kuitenkin hänen tulisi saada tuloksia, jotka edistävät metsätalouden harjoittamista 20 milj. metsähehtaarilla. Suomen metsäpinta-ala on niin suuri, että sen kokoa ja vaihtelua ei ihminen, tutkijakaan, kykene mieltämään. Ja kuitenkin tutkijan on saatava tälle pinta-alalle yleistyskelpoisia tuloksia. Vaikeutta vielä lisää se, että moni tutkija näkee metsästä vain koekenttensä ja sen osan metsää, mikä on matkareitin varrellatoimistosta koekentille.

Kun on kysymys metsätalouden harjoittamista edistävästä tutkimustyöstä, niin virheellinen yleistäminen aiheuttaa taloudellista tappiota lukuunottamatta niitä tapauksia, joissa metsätalouden harjoittaja on liian taitava ja kokenut tarttuakseen virheellisen yleistyksen lankaan. Mutta vaikka taloudellista vahinkoa ei metsätalouden harjoittamisessa synnyisikään, niin virheellisestä yleistämisestä on seurauksena tutkimusvarojen hukkaan menoa ja tutkimukseen sekä tutkijoihin tunnetun luottamuksen vähenemistä.

Taito käyttää harhatonta otantaa ja yleistää oikein on metsäntutkijan tärkein ominaisuus. Sen puuttumista ei voi korvata millään muulla taidolla.

Yleistämistä on periaatteessa kahta lajia. Niistä toista voidaan kutsua loogiseksi yleistämiseksi. Siinä muodostetaan olemassaolevaa tietoa hyväksi käyttäen teoreettisia malleja tutkimuksen kohteesta. Malleja analysoimalla ja keskenään vertailemalla voidaan saada tutkimuksen kohteesta uutta tietoa "loogisina väistämättömyyksinä". Koska malleissa voi olla virheitä, on yleistämisen tulokset todennettava empiirisesti.

Toisessa lajissa suoritetaan kokeita ja rajoitettuihin koealueisiin kohdistuvia mittauksia ja havaintoja olettamalla, että koealueet edustavat harhattomasti kokonaisuutta, minkä jälkeen tuloksista yleistetään kokonaisuutta koskevia päätelmiä. Esim. harvennushakkuiden vaikutusta metsän kasvuun ja kehittymiseen tutkitaan koealoilla, joiden yhteinen pinta-ala vaippoineen on 20 ha ja tuloksia sovelletaan samanlaisista metsää kasvavilla 5 milj. hehtaarilla.

Kokeisiin ja otantaan perustuvassa tutkimuksessa on toisistaan erotettavia vaiheita, joiden tietoinen toteuttaminen tieteellisyyden periaatteita noudattaen vähentää virheellisten yleistysten riskiä.

1. Tutkimustehtävä tunnistetaan ja kuvataan.

2. Kootaan olemassaoleva tieto aiheesta. Muodostetaan tutkimuksen kohteesta olemassaolevan tiedon perusteella teoreettisia malleja. Päätellään malleista mahdollinen uusi tieto, todetaan puuttuva ja epävarma tieto sekä täsmennetään tutkimustehtävä.

3. Suunnitellaan kokeet, mittaukset, havainnot ja otanta tulostuksineen mallien muodostamassa kehikossa siten, että tulokset täyttävät tilastomatemattisen harhattomuuden vaatimuksen ja mahdollistavat luotettavuus- ja edustavuusanalyysin. Kokeen luonteesta riippuen sisällytetään siihen niin monta tietoa, että satunnaismuuttujien vaikutus voidaan eliminoida tutkittavien muuttujien vaikutuksesta.

4. Suoritetaan kokeet, mittaukset ja havainnot mahdollisimman tarkoilla menetelmillä ja huolellisesti sekä varotaan systemaattisia virheitä, joita tilastomatemattinen luotettavuusanalyysi ei paljasta.

5. Tulokset analysoidaan ja selvitetään niiden yleistettävyyden alue.

6. Tulokset ja niihin perustuvat päätelmät esitetään sisällyttäen tuloksiin tilastollisen luotettavuuden tunnuksat ja

kuvaus harhattoman soveltamisen alueista.

7. Dokumentoidaan aineisto ja julkaistaan tutkimus siten, että työn kaikki vaiheet ovat toisten riittävän ammattitaidon omaavien tutkijoiden toistettavissa ja tarkistettavissa.

Kaiken tämänkään jälkeen tutkimus ei ole vielä "valmis". Sen tuloksia ja tuloksien hyväksikäyttöä metsätalouden harjoittamisessa tulee jatkuvasti todentaa. On varmistauduttava siitä, että tulokset todella kuvaavat todellisuutta. Metsäntutkijan tehtäviin kuuluu tutkimustulosten perusteella aikaansaatavien ja ylläpidettävien tietojärjestelmien jatkuva todentaminen, tarkistaminen ja täydentäminen.

Menestyvän tutkimuksen avainsanoja ovat julkisuus, yksiselitteisyys, loogisuus ja rehellisyys.

Tutkijakoulutuksessa on otettava huomioon, että tutkijan viroissa ja toimissa tulee aina olemaan henkilöitä, jotka eivät syystä tai toisesta koskaan edes tajua kaikkia tieteilisen työn keskeisiä käsitteitä. On "tutkijoita", jotka eivät tajua, mitä on esim. harhaton näyte, keskivirhe, loogisuus tai todentaminen. Tällaisista henkilöistä on sanottu, että taso-olennoille on turha puhua kolmannesta ulottuvuudesta. Heidän kaltaisensa metsäntutkijat eivät saa koskaan ilman pikkutarkkaa ohjausta ja valvontaa tuloksia, joista on hyötyä metsätalouden harjoittajalle.

Matti Seppo Palo

METSÄNTUTKIMUSONGELMAN TÄSMENTÄMINEN KÄYTÄNNÖN JA TEORIAN  
VUOROVAIKUTUKSENA

"Ongelman on tultava tutuksi  
ennen kuin sen voi ratkaista."

Lars Ahlfors 1978

1. Johdanto

Metsätieteitä on Suomessa harjoitettu melko laajasti (LEIKOLA 1981). Silloin tällöin on metsätieteitä tarkasteltu myös tutkimusprosessina. Metsäntutkimuslaitoksen metsämaatiieteen professori (1923-1955) V. T. AALTONEN kirjoitti (1945) aihepiiristä kokonaisuesityksen "Tieteellinen tutkimustyö - opastusta aloitteleville luonnontutkijoille". Tämä oli ensimmäinen alansa suomenkielinen opas. MATTI KÄRKKÄINEN kirjoitti sittemmin (1979) uudelleen oppaaseen sisältyneen tutkimusraportin laadintaa koskevan osan.

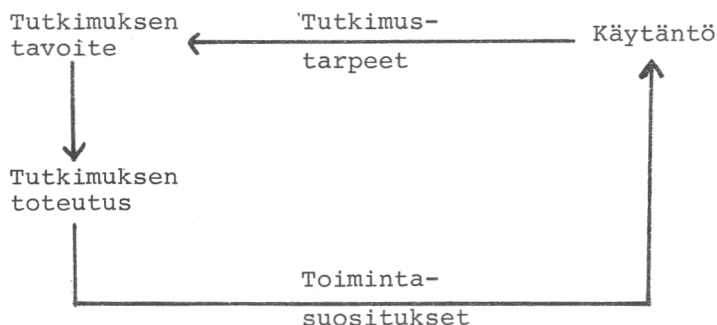
MARJA ALESTALO (1981) analysoi metsätieteiden tulosten hyödyntämistä ja siihen liittyviä pulmia. Tässä artikkelissa tarkastelukulma on Alestalon näkökulmaan verrattuna vastakkainen: metsätieteiden tutkimusongelman täsmentäminen "käytännön" antamista virikkeistä.

Jo AALTONEN (1945, s. 132) kiinnitti huomiota tutkimusongelman täsmentämisen merkitykseen esimerkiksi seuraavasti: "Tehtävän oikea asettaminen merkitsee usein sen ratkaisemista". JAAKKO HINTIKAN (1981) mukaan tieteen johtopäätökset ovat vastauksia sopivalle tietolähteelle esitettyihin kysymyksiin, siksi kysymykset ovat tärkeitä. Hintikka ehdotti, että tutkijat voisivat ottaa oppia esimerkiksi Sherlock Holmesin työskentelytavasta: salapolii-sille vastaukset ovat ilmeisiä, niin pian kuin oikeat kysymykset on esitetty.

## 2. Perinteinen metsätieteen käsitys

Metsätalouden ja metsäteollisuuden päätöksentekijät ja suunnittelijat ovat olleet metsätieteille perinteisesti tutkimustarpeiden osoittajia. Metsäntutkimuslaitoksessa on ollut neuvottelukunta vuodesta 1953 ja joukko myöhemmin perustettuja eri metsätieteenalojen ja tutkimusasemien neuvotteluryhmiä, joissa "käytännön" edustajat ovat voineet esittää tutkimustarpeitansa. Lisäksi useat tutkijat ovat henkilökohtaisen työskentelyn ja/tai vuorovaikutuksen seurauksena saaneet näkemystä käytännölle tärkeistä tutkimusaiheista.

Metsäntutkija on usein käsitetty joko päätöksentekijän neuvonantajaksi tai itse päätöksentekijäksi käytäntöä koskevissa pulmakysymyksissä. Tämän tutkimusmallin mukaan tutkija saa tutkimustarpeensa suoraan käytännöltä. Tästä tutkimustarpeesta muotoillaan sitten ns. tutkimuksen tavoite, jonka jälkeen toteutetaan muut tutkimusprosessin vaiheet ja metsäntutkija antaa ohjeet toimintasuosituksiksi käytännön päätöksentekijälle (kuva 1).

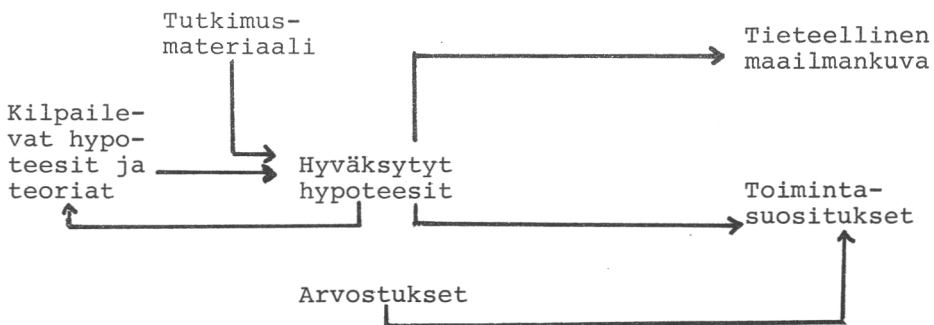


Kuva 1. Perinteinen metsäntutkimuksen prosessi

Tämä perinteisesti usein sovellettu metsäntutkimuksen prosessi muistuttaa esimerkiksi NIINILUODON (1980, s. 64) kuvailemaa behavioralistista tieteenkäsitystä. Sen mukaisesti tieteellä ei katsota olevan pysyviä teoreettisluonteisia tuloksia. Tiedemies ei kysy mitä voidaan tietää, vaan miten tulee toimia. Tämän mallin mukaan toimittaessa ei juuri sovelleta salapoliisi- maista kysymysten etsintää tai anneta mahdollisuutta tutkijan luovalle mielikuvitukselle terävöittää tutkimuksen perustavanluonteista alkuvaihetta ratkaistavan ongelman teoreettisen täsmentämisen avulla.

### 3. Kognitivistinen tieteenkäsitys

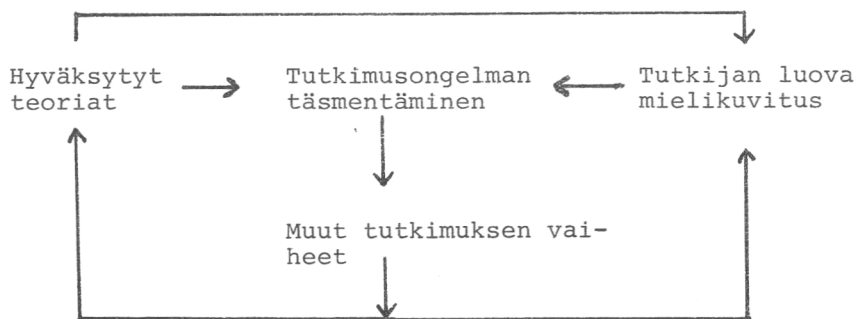
Kognitivistisen tieteenkäsityksen (esimerkiksi NIINILUOTO 1980, s. 65-67) mukaan tutkija ei ole ensi sijassa neuvonantaja tai päätöksentekijä, vaan totuudenetsijä, joka pyrkii lisäämään tietoa etsimällä ja testaamalla hypoteeseja, jotka voidaan hyväksyä osaksi tieteellisen tiedon kokonaisuutta eli "tieteellistä maailmankuvaa". Kognitivismi ei toisaalta kiellä sitä, että tiede toimii myös toimintasuositusten antajana käytännölle (kuva 2).



Kuva 2. Kognitivistinen tieteenkäsitys (NIINILUOTO 1980, s. 66)

Kognitivistisen tieteenkäsityksen mukaan kilpailevat hypoteesit ja teorit vaikuttavat keskeisesti tutkimusongelmien täsmentämiseen ja kysymyksen asetteluun. Hyväksytyjen hypoteesien joukossa tapahtuu jatkuvasti muutoksia: uusia hypoteeseja hyväksytään ja aikaisemmin hyväksytyjä hypoteeseja hylätään tai muutetaan uuden tutkimusmateriaalin valossa. Tämä vaikuttaa puolestaan tieteellisen maailmankuvan muotoutumiseen ja käytännölle annettaviin toimintasuosituksiin.

Perustutkimus ei luonnollisesti anna toimintasuosituksia. Perustutkimuksen prosessi (kuva 3) on käytännön suhteen vastakkainen perinteisen metsäntutkimuksen prosessille (kuva 1). Perustutkimuksessa tutkimustarve syntyy tieteellisen maailmankuvan sisältämien teorioiden antamista virikkeistä. Tutkimusongelma täsmennetään perustutkimuksessa teoreettiselta pohjalta tutkijan luovan mielikuvituksen avulla. Muiden tutkimuksen toteutusvaiheiden jälkeen tuloksina saadut hyväksytyt tai hylätyt hypoteesit saattavat muuttaa perustutkimuksen "hyväksytyjen" teorioiden sisältöä ja antaa uusia virikkeitä mielikuvitukselle.



Kuva 3. Perustutkimuksen prosessi



#### 4. Uusi käsitys metsätieteistä

Vallitseva behavioralistinen käsitys metsätieteiden olemuksesta välittömästi käytäntöä palvelevana (kuva 1) ei jätä sijaa kognitivistiselle tieteenkäsitykselle (kuva 2). Käsitys metsäntutkimuksen prosessista kytkeytyy siis näkemykseen siitä, kuinka lähellä tai kaukana perustutkimuksesta metsätieteet toimivat.

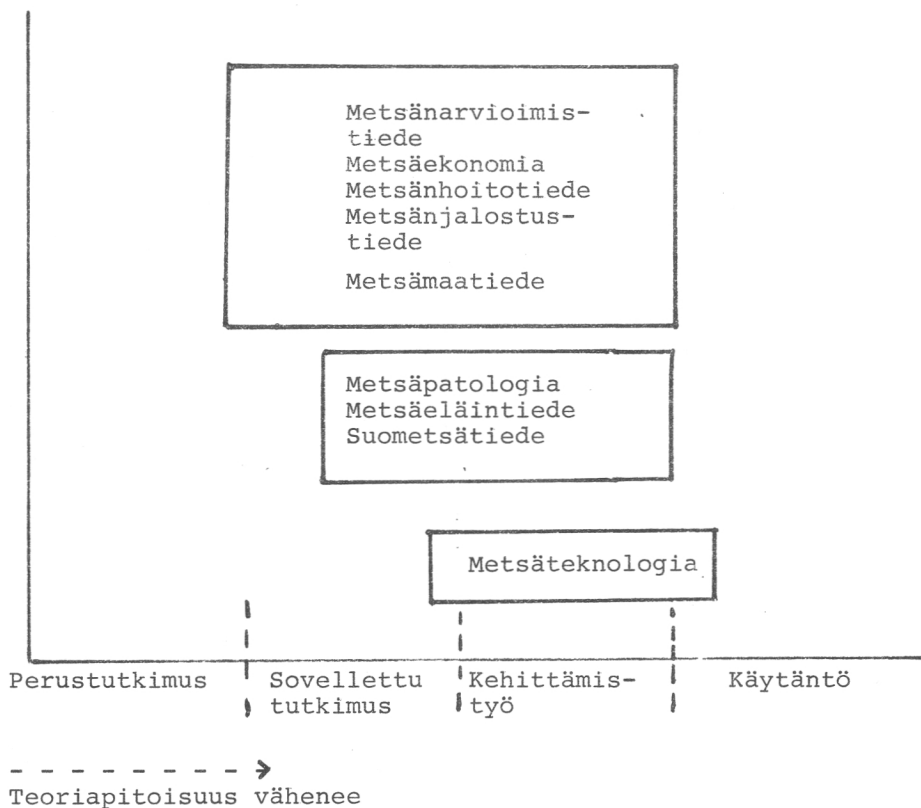
Koko tutkimus- ja kehittämistyön alue jaetaan usein perustutkimukseen, sovellettuun tutkimukseen ja kehittämistyöhön. OECD:n käsikirjaan perustuen on esimerkiksi Tilastokeskus (1971, s. 8) soveltanut tutkimus- ja kehittämistoiminnan aiheuttamien menojen tilastointiin seuraavia näiden käsitteiden määritelmiä.

"Perustutkimuksella tarkoitetaan sellaista omaperäistä toimintaa uuden tiedon saavuttamiseksi, joka ei ensisijaisesti tähtää mihinkään määrättyyn käytännön tavoitteeseen tai sovellutukseen. Perustutkimusta ovat aineiden ja ilmiöiden ominaisuuksien, rakenteiden ja sisäisten riippuvuussuhteiden analyysit, joiden tavoitteena on esim. uusien hypoteesien, teorioiden ja yleisten lakien luominen."

"Sovelletulla tutkimuksella tarkoitetaan sellaista omaperäistä toimintaa uuden tiedon saavuttamiseksi, joka pääasiallisesti tähtää johonkin määrättyyn käytännön tavoitteeseen tai sovellutukseen. Sovelletussa tutkimustyössä pyritään löytämään sovellutuksia perustutkimuksen tuloksille sekä luomaan uusia menetelmiä tai keinoja tiettyjen erityisten ongelmien ratkaisemiseksi ja ennalta määrättyjen tavoitteiden saavuttamiseksi."

"Kehittämistyöllä tarkoitetaan tiedon käyttämistä uusien aineiden, tuotteiden, tuotantoprosessien menetelmien, järjestelmien tai palvelusten aikaansaamiseksi tai olemassa olevien parantamiseksi. Tutkimus- ja kehittämistoimintaan on aina sisällytettävä jotain uutta."

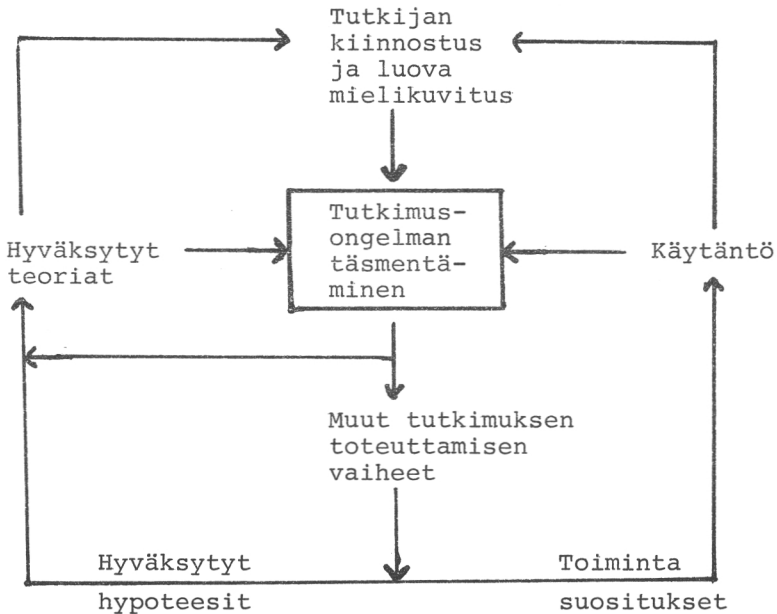
Tutkimus- ja kehittämistyön eri osa-alueiden väliset rajat ovat luonteeltaan liukuvia. Niiden täsmällinen määrittelyminen tutkimustoiminnan luokitteluksi ei läheskään aina ole mahdollista. Määritelmien avulla voidaan kuitenkin arvioida, että pääosa toteutetusta metsäntutkimuksesta on painottunut soveltavan tutkimuksen ja kehittämistyön alueille. Aika ajoin on esitetty myös, että metsätieteissä tulisi tehdä "soveltavaa" perustutkimusta eli metsätieteiden edistymiselle välttämätöntä perustutkimusta, jota varsinaista perustutkimusta harjoittavat tieteenalat eivät tuota. Eri metsätieteidenalojen tuntuma perustutkimukseen ilmeisesti vaihtelee (kuva 4).



Kuva 4. Arvio eri metsätieteidenalojen luonteesta

Jos hyväksytään kuvan 4 mukainen arvio eri metsätieteenalojen luonteesta, täytyy perinteistä käsitystä metsäntutkimuksen prosessista muuttaa. Sellaisenaan perinteinen käsitys sopii ehkä yleensä metsäteknologiaan ja muiden metsätieteenalojen kehittämistyöhön painottuviin tutkimusaiheisiin.

Jos metsäntutkimusaihe sijoittuu sovellettuun tutkimukseen tai perustutkimukseen, kuten usein näyttäisi käyvän, olisi aikaisempaa selvemmin myös metsätieteissä seurattava joko kognitiivististä tieteenkäsitystä (kuva 2) tai sitä lähentelevää metsätieteiden prosessia (kuva 5).



Kuva 5. Uusi käsitys metsätieteiden prosessista.

Soveltavaan tutkimukseen sijoittuva metsäntutkimus olisi usein hedelmällistä nähdä prosessina, jossa käytännön tutkimustarpeesta viriävä tutkimusongelma täsmennetään relevantin joko metsätieteiden sisäisen tai ulkopuolisen teorian sekä tutkijan luovan mielikuvituksen avulla (kuva 5). Mitä vaikeampi ongelma on, sitä suurempaa roolia esittää tutkijan henkilökohtainen kiinnostuminen aihepiiristä ja hänen motiivituimisen ongelman perusteellisen täsmennämiseen. "Ongelman on tultava tutuksi ennenkuin sen voi ratkaista" väittää kansanvälisesti tunnettu matemaatikko LARS AHLFORS (1978). Sama pätee varmasti myös metsätieteissä.

Metsätieteissä tulisi tutkimusongelman täsmennämiseen käyttää entistä enemmän aikaa ja vaivaa. Se tulisi nähdä tutkimushankkeen toteuttamisen tärkeimpänä vaiheena. Jos ongelmaa ei ole riittävästi kuvailtu ja täsmennetty, sitä ei kyetä ratkaisemaan. Todellisen teoreettisesti kiintoisan ja pitkällä aikavälillä relevantin ongelman sijasta tutkimus tuottaa tällöin tuloksia jostain kvasio Ongelmasta tai tuloksia ei synny lainkaan.

Monissa metsätieteiden tutkimuskohteissa voidaan soveltaa deduktiivis-hypoteettista tutkimusotetta. Tällöin tutkimusongelma täsmennetään kuvan 5 periaatteella. Tutkimusongelmasta rajataan ja jäsennetään teoriapitoiset empiirisellä aineistolla testattavissa olevat hypoteesit.

Teorian ja hypoteesin tehtävänä on ohjata empiiristen havaintojen tekoa ja aineiston hankintaa sekä aineiston analyysimenetelmien valintaa. Teoreettisesti riittävän hyvin täsmennetyt hypoteesit vähentävät empiirisen aineiston keruuta, yksinkertaistavat aineiston analyysiä ja helpottavat johtopäätösten tekoa sekä johtavat tätä kautta tutkimuksen laadun kohoamiseen.

Kuvan 5 mukaisessa metsäntutkimuksen prosessissa nähdään toimintasuositusten antaminen käytännölle vain yhtenä tutkimuksen tulosten käyttötarkoituksena. Toinen käyttötarkoitus on teoriavarannon kartuttaminen. Ainakin metsänarvioimistieteen, metsäekonomian ja metsänhoitotieteen aloilla on luotu metsätieteiden omaa teoriavarantoa. Metsätieteiden yhtenä tehtävänä olisi siis nähtävä tämän teoriavarannon lisääminen ja uudistaminen.

#### 5. Systeemiteoria ja tutkimusongelman täsmentäminen

Systeemiteoria erimuotoisena (esimerkiksi von BERTALANFFY 1979) on eräs apuneuvo metsäntutkimusongelmien täsmentämiseen. "Metsällisen tutkimusprojektin suunnittelun systeemi-teoreettinen kehymalli"-julkaisussa (PALO 1971a) todettiin, että metsäntutkimusprojektien suunnittelu on liian usein rajoitettu aineistojen hankinnassa ja analyysissä tarvittujen menetelmien valintaan. Sen sijaan systemaattisten menetelmien sovellutus ongelmien täsmentämiseen, koko projektin tehokkaaseen suunnitteluun ja seurantaan on ollut harvinaista.

Metsä, metsätalous ja metsäsektori ovat metsäntutkimuksen monitahoisia tutkimuskohteita. Systeemikuvaus on eräs tapa jäsentää näiden tutkimuskohteiden kompleksisuutta. Systeemikuvaus mahdollistaa integroivan, joustavan, hierarkkisen ja dynaamisen otteen tutkimuskohteesta. Tutkimuskohteen voidaan kuvitella "kantavan" erilaisia ominaisuuksia, jotka joko ovat tai eivät ole havaittavissa. Kompleksisen kohteen, tutkimuksen kannalta relevanttien, ominaisuuksien (tekijöiden, muuttujien) havainnoinnin helpottamiseksi on edistyneillä tieteenaloilla perinteisesti sovellettu teorioita ja hypoteeseja. Systeemikuvaus tutkimusongelman täsmentämisessä tulee mahdollisuuksien mukaan perustaa relevantteihin teorioihin ja hypoteeseihin.

Systemikuvaus mahdollistaa integroivan, kokonaisuuksia hahmottavan otteen tutkimuskohteesta. Kuvattava systeemi voidaan yleensä nähdä jonkin korkeamman hierarkiatason systeemin alisysteeminä. Toisaalta kuvattavan systeemin komponentti voidaan yleensä kuvata alemman hierarkiatason varsinaisena systeeminä, joka jakaantuu edelleen komponentteihin (alisysteemeihin).

Tutkimuksen tarkoitus (suunnittelutilanne) ratkaisee, millä tasolla systemikuvaus tehdään, mitkä komponentit ja mitkä komponenttien väliset riippuvuussuhteet otetaan kuvaukseen mukaan. Systemikuvaus on siis joustava sekä vertikaalisesti että horisontaalisesti. Eri suunnittelutilanteiden mukaan raja systeemin ja sen ympäristön kesken vaihtelee.

Systemikäsitteen dynaamisuus tekee mahdolliseksi ajan tuomien muutosten kuvaamisen systeemin tilassa. Systeemin tila hetkellä  $t_i$  selvitetään kuvaamalla sen komponenttien tila relevanteilla muuttujilla samalla hetkellä. Aikavälillä  $t_i - t_{i+n}$  mahdollisesti tapahtuneet muutokset systeemin tilassa selvitetään kuvaamalla systeemin komponenttien tila hetkellä  $t_{i+n}$  ja vertaamalla sitä aikaisempaan tilanteeseen. Systeemiin sen ympäristöstä tulevat panokset ja systeemin ympäristöön lähtevät tulosteet sekä systeemin komponenttien väliset vaikutukset aiheuttavat muutoksia systeemin tilaan jollain aikavälillä.

Viime aikoina on metsätieteissä sovellettu systemikuvausta tutkimusongelmien täsmentämiseen eri yhteyksissä (esimerkiksi PALO 1971b; PALO&NISSILÄ 1975; JAATINEN 1978; KILKKI 1979; SEPPÄLÄ, H. & KUULUVAINEN & SEPPÄLÄ, R. 1980; HARI ym. 1982; PALO 1981; RÄSÄNEN 1981).

Systeemikuvaus metsäntutkimusongelman täsmentämisen apuneuvona johtaa luontevasti hypoteettis-deduktiiviseen tutkimusotteeseen, kvantitatiivisten menetelmien ja ryhmätutkimuksen lisääntymiseen sekä suurten tieteidenvälisten tutkimusprojektien toteuttamiseen.

#### VIITTEET

- AALTONEN, V. T. 1945: Tieteellinen tutkimustyö - opastusta aloitteleville luonnontutkijoille. WSOY. Porvoo-Helsinki. 269 s.
- LARS AHLFORS -perin juurin matemaatikko. K. Pietiläisen haastattelu Lars Ahlforstista Suomen Kuvalehti no 34 1978, s. 40 - 41.
- ALESTALO, MARJA 1981: Tutkimustulosten hyödyntäminen ja metsäntutkimus. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja 25. Helsinki. 120 s.
- von BERTALANFFY, L. 1979: General system theory. Foundations, development, applications. G. Braziller Publ. New York. 295 s.
- HARI, P. & KELLOMÄKI, S. & MÄKELÄ, A. & ILONEN, P. & KANNINEN, M. & KORPILAHTI, E. & NYGREN, M. 1982: Metsikön varhaiskehityksen dynamiikka. Acta Forestalia Fennica 177. Helsinki. (Painossa.)
- HINTIKKA, JAAKKO 1981: Sherlock Holmesin työtapa on hyvä esimerkki tieteilijöille. Helsingin Sanomat, 29.12.1981, s. 12.
- JAATINEN, ESKO 1978: Materials and energy accounting and the Finnish forest and timber economy. Seloste: Materiaali- ja energiatilinpito sekä Suomen metsä- ja puutalous. Metsäntutkimusl. Julk. 95.3. Helsinki. 80 s.
- KILKKI, PEKKA 1979: Timber management planning. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos, tiedonantoja 12. Helsinki. 105 s.
- KÄRKKÄINEN, MATTI 1979: Tutkimusraportin laadinnan perusteita. Helsinki, 235 s.

- LEIKOLA, MATTI 1981: Suomen metsätieteellisen julkaisutoiminnan rakenne ja määrällinen kehitys 1909-1978. Structure and development of publishing activity in Finnish Forest sciences in 1909-1978. Acta Forestalia Fennica 1975. Helsinki. 37 s.
- NIINILUOTO, ILKKA 1980: Johdatus tieteenfilosofiaan. Käsitteen ja teorianmuodostus. Otava. Helsinki. 314 s.
- PALO, MATTI 1971 a: A systems oriented frame model for planning reserach projects in forestry. Tiivistelmä: metsällisen tutkimusprojektin suunnittelun systeemi-teoreettinen kehysmalli. Metsäntutkimuslaitoksen Julk. 72.4. Helsinki. 60 s.
- PALO, MATTI 1971 b: Metsällisten projektien verkkosuunnittelu. Summary: Planning forestry projects by means of network analysis. Folia Forestalia 133. Helsinki. 45 s.
- PALO, MATTI 1981: Forest sector statistics improvement for developing countries: System approach and strategic planning. First draft for a manual. FAO. Rome. 256 pp.
- PALO, M. & NISSILÄ, O. 1975: Waste paper recycling: economic and ecological prospects. Seloste: Keräyspaperin käytön ekonomiset ja ekologiset perusteet ja mahdollisuudet. Metsäntutkimusl. Julk. 82.5. Helsinki. 112 s.
- RÄSÄNEN, PENTTI K. 1981: Metsäpuiden taimikasvatus ja metsänviljely. Kehysmalli ja sen käyttö. Helsingin yliopisto, metsänhoitotieteen laitos, tiedonantoja no 29. Helsinki. 99 s.
- SEPPÄLÄ, H. & KUULUVAINEN, J. & SEPPÄLÄ, R. 1980: Suomen metsäsektori tienhaarassa. Folia Forestalia 434. Helsinki 122 s.
- Tilastokeskus 1974: Tutkimustoiminta 1971. Suomen Virallinen tilasto XXXVIII:1. Helsinki. 103 s.



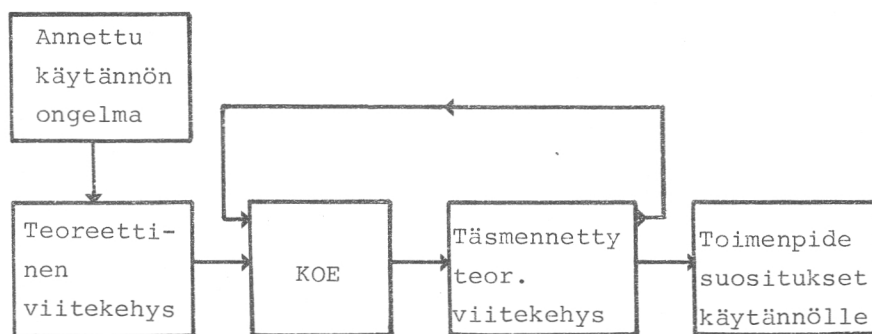
Pertti Hari

#### KOKEELLISEN METSÄNTUTKIMUKSEN PERUSTEITA

Biologista metsäntutkimusta on melko pitkään dominoinut kokeellinen työskentely. Tämän työn kuluessa on perustettu runsaasti kokeita eri puolille maata. Näiden kokeiden perusteella on annettu toimintaohjeita käytännön metsänhoidolle. Toisaalta käytännön metsämiesten taholta on esitetty arvostelua siitä, että tutkimus ei pysty ohjaamaan käytännön toimintaa ja että toimenpidesuosituksat saattavat olla jopa keskenään ristiriitaisia. Tällainen epäluottamus herättää kysymyksen: Ovatko sovelletut tutkimusmenetelmät tarkoituksenmukaisia ja onko menetelmiä sovellettu tehokkaasti? Seuraavassa tarkastelen kokeelliseen tutkimukseen liittyviä yleisiä metodologisia kysymyksiä kiinnittäen erikoisesti huomiota tutkimusalamme kiinteään yhteyteen käytännön metsätalouteen.

Viime aikoina on tieteellisessä keskustelussa korostettu teoreettisen ja käytännönläheisen tutkimuksen vastakohtaisuutta. Tämä on periaatteellinen virhe, sillä käytännönläheistä tutkimusta ei pystytä suorittamaan ilman selvää ja jäsentynyttä teoreettista viitekehystä. Päinvastoin kuin luullaan, ei teoreettisuus ole yhtä kuin vaikeaselkoisuus. Teoreettisen viitekehysten avulla voidaan asiat ilmaista mahdollisimman ekonomisesti so. täsmällisin käsittein eli ymmärrettävästi. Kokeellisen tutkimuksen ensisijaisena tavoitteena on testata viitekehysten vastaavuutta luonnon ilmiöiden kanssa, vasta toissijaisesti yksittäisiä ilmiöitä. Käytännön toimintaa palvelevat ohjeet laaditaan soveltamalla varmennettua teoreettista viitekehystä tarkasteltavaan ongelmaan. Käytännön toimenpidesuosituksiin tähtäävän kokeellisen tutkimuksen etenemistä on hahmotettu kuvassa 1.

Teoria kuvailee tarkasteltavan toiminnallisen kokonaisuuden rakennetta ja sen toimintaan vaikuttavia tekijöitä. Tällainen teoria useimmiten on niin laaja ja monimutkainen, että sitä ei voida välittömästi kokein varmentaa. Sen sijaan useimmiten voidaan teoriasta johtaa hypoteeseja, jotka voidaan kokeellisesti todentaa. Kokeellinen tutkiminen tulisi aloittaa mahdollisimman tarkoituksenmukaisten hypoteesien etsimisellä. Mikäli on kyseessä käytännöstä tullut tutkimustehtävä, se muutetaan teoreettisen viitekehysten avulla tutkimusongelmaksi, joka on mahdollista ratkaista kokein.



Kuva 1. Käytännön toimenpidesuosituksiin tähtäävän kokeellisen tutkimuksen eteneminen.

Kokeellisen tutkimuksen suunnitteluvaiheessa etsitään mahdollisimman tehokas tapa todentaa esitetty hypoteesi. Kaikkien työvaiheiden tulisi olla alisteisia kokeen tarkoitukselle. Näinollen lukuisten teknisten yksityiskohtien ratkaisut pitäisi perustua sovellettavan analyysimenetelmän sekä koeobjektin tarkkaan tuntemukseen.

Metsätieteissä yleisin kokeellinen menetelmä on nykyään ns. faktorikoe, joka perustuu varianssianalyysiin. Yksinkertaisimmassa muodossaan kokeessa tutkitaan vaikuttaako jokin käsittely tarkasteltavaan ilmiöön vai ei. Kokeellisen työn

aluksi pitää tutkijan muodostaa tarkasteltavan ilmiön teoreettinen viitekehys. Tällöin tutkitaan mm. mitkä muut tekijät vaikuttavat ilmiöön. Koe suunnitellaan siten, että muut vaikuttavat tekijät eivät pääse sotkemaan tulosta. Tähän on käytettävissä kaksi keinoa 1. annetaan kokeessa kiinteä arvo vaikuttaville tekijöille, joita ei haluta tutkia tai 2. järjestetään koe siten, että vaikuttavat muuttajat varioivat, mutta niiden vaikutus kokeen tulokseen otetaan huomioon päätelmien teossa.

Kokeessa on tutkittavalla tekijällä useita tasoja. Jotta kontrolloimattomat vaikuttavat tekijät eivät sotkisi koetta järjestetään se useana toistona siten, että kontrolloimattomien tekijöiden vaikutus hajaantuu tasaisesti kaikkien käsittelyjen kesken. Kokeen analysointi perustuu malliin

$$y_{ij} = \mu + A_i + E_{ij}, \quad (1)$$

missä  $y_{ij}$  on käsittelyn  $i$  ja toiston  $j$  tulos,  $\mu$  on kokeen keskiarvo,  $A_i$  on käsittelyn  $i$  vaikutus ja  $E_{ij}$  on virhetermi, joka on luonteeltaan satunnaisluku (keskiarvo = 0 ja hajonta =  $\sigma$ ).

Kokeen tulosten tilastollisen analyysin perusteella saadaan mitta vaikutuksia  $A_i$  koskevien väitteiden epävarmuuden asteelle. Tähän epävarmuuden asteeseen voidaan luonnollisesti vaikuttaa ja siihen tulee myös vaikuttaa kokeen järjestelyllä. Tällaisia keinoja on mm. kontrolloitujen muuttujien valinta ja toistojen lukumäärän valinta.

Faktorikokeen yleistettävyyks on sen käytön suurin ongelma metsäntutkimuksessa, sillä tulokset ovat yleistettävissä vain koskemaan koetta vastaavia olosuhteita. Varsinkin vakiona pidettyjen tekijöiden suhteen yleistyksessä pitää olla erittäin varovainen. Jos havainnot synnyttäneen prosessin luonne on muuttunut, niin silloin myös on suuri vaara yleistettäessä tuloksia päätyä harhaiseen lopputulokseen. Faktorikokeiden tulosten yleistämisen pitäisikin tapahtua siten, että tulosten perusteella tarkennetaan ilmiötä koskevaa teoreettista viitekehystä ja tämän perusteella tehdään käytäntöä palvelevat johtopäätökset.

Ilmiön teoreettinen tarkastelu voi myös johtaa tulokseen, että siinä on olennaista objektien ajallinen muuttuminen. Tällöin useimmiten on tarkoituksenmukaista käyttää dynaamisia malleja tutkimusongelman jäsentämiseen. Esimerkki dynaamisesta mallista on esitetty yhtälössä 2.

$$\frac{dx}{dt} = f(x(t), u(t)), \quad (2)$$

missä  $t$  on aika,  $x$  kuvaa tarkasteltavan systeemin tilaa (esim. läpimitta ja pituus),  $u$  on ympäristön tila ja  $f$  on määritettävä funktio. Siinä on kuvattu objektin tilan muutoksenopeus objektin tilan ja ympäristön tilan funktiona.

Kokeiden suunnittelu pitää aloittaa mallin konstruoinnilla. Tämä malli sisältää parametrejä, joiden arvoja ei tunneta. Kokeen tarkoituksena on testata mallin tarkoituksenmukaisuutta ja tuottaa materiaali parametrien arvojen estimoimiseksi. Tutkittaessa jonkin tekijän vaikutusta pitäisi varmistua siitä, että vaikuttaviksi tekijöiksi malliin 2 on otettu kaikki tutkittavaa tekijää olennaisemmat vaikuttajat. Usein mittaukset rajoittavat olennaisesti dynaamisten mallien identifiointia, sillä usein mallit sisältävät suureita, joita ei voida mitata tai joita voidaan mitata vain välillisesti. Toisaalta dynaamisten mallien avulla voidaan tehokkaasti hyödyntää eri prosessien erilaisia nopeuksia. Kukin koe pitää suunnitella erikseen, koska mitään "sapluunaa" ei ole olemassa.

Dynaamisten mallien hyvä puoli on niiden kiinteä yhteys tarkasteltavan ilmiön teoriaan. Tämä takaa tulosten yleistettävyyden teorian puitteissa kokeiden varmentamalla alueella.

Pekka Ollonqvist

## TALOUDELLISET TEORIAT JA TODELLISUUS

Empiirisen havaintoaineiston käyttö taloustieteellisten teorioiden muodostamisessa ja testauksessa

### SISÄLLYSLUETTELO

1. Johdanto
2. Empiirinen tieto taloustieteellisen teorianmuodostuksen apuvälineenä
3. Taloustieteen teorioiden empiirinen testaus
4. Yksilön päätössäännöt ja kokonaistaloudelliset relaatiot - aggregointiongelman

Lähdeluettelo

## 1. Johdanto

Empiiristen havaintojen merkitys toisaalta teorianmuodostuksen lähtökohtana ja toisaalta teorioiden hyvyyden mittauksen osana vaihtelee eri tieteenaloilla. Empirian merkitys on lisäksi vaihteleva myös saman tieteenalan sisällä eri ajankohtina. Tieteenhistoriasta on usealta eri tieteenalalta löydettävissä näyttöä sille, että empiiristen kokeiden ja mittausten merkitys kilpailevien paradigmojen välisen paremmuuden määrittelyssä korostuu teorianmuodostuksen murrosvaiheissa.

Tieteelliset teoriat ovat tiedeyhteisön jäseniä yhdistäviä ja toisaalta erottavia. Vallitsevan tai vallitsevien doktriinien joutuessa kriisiin joko keskenään tai suhteessa johonkin uuteen teoriaan, empiiristen havaintojen tuomalla todistus- ja/tai ennustevoimalla on tieteenalan valtahierarkian muutoksissa ratkaiseva asema. Tilan muutos hierarkiajärjestyksessä aiheutuu usein juuri uuden empiirisen tuloksen seurauksena. Tieteen edistymisen ns. Kuhnilainen malli rakentuu tämän kaltaiselle oletukselle (ekonomian osalta kts. BLAUG (1976) s. 160 - 167).

Toisaalta empiirisen tiedon suhde teoreettiseen vaihtelee tieteen kehitystason mukaan. Ääriesimerkkinä voitaneen pitää toisaalta pelkkään luokitteluun ja sen alajakoihin rakentuvaa kuvailevaa empiiristä systeemiä sekä toisaalta matemaattisloogisia systeemejä, joissa kaikki teorian lauseet ovat analyttisiä. Tiedon kuvailevassa luokittelussa (esim. metsän puuntuotantokyvyn ja puulajisuhteiden ennustaminen metsän aluskasvillisuuden tunnuskasveihin perustuvalla luokituksella) tieteen edistys toteutuu kuvausta ja luokitusta tarkentamalla, uusien alaluokittelujen tai kokonaan uusille havainnoille perustuvien uusien luokkien kautta.

Toisessa ääritapauksessa loogiseen päättelyyn rakentuvan systeemin kehitys puolestaan on mahdollista ilman synteettisiä lauseita, mikäli struktuuria voidaan looginen konsistenssi säilyttäen yleistää.

Taloustieteissä teorioiden muodostuksessa ja testauksessa empiirisen tiedolla on ollut ja on keskeinen osuus sekä loogisten systeemien edelleenkehittämisessä että eri teorioiden empiirisen hyvyyden mittauksessa. Taloustieteiden kehitys formalisena yhteiskuntatieteenä markkinatalousmaissa on historiallisena prosessina edennyt ensisijaisesti Lakatosilaisena tutkimusohjelmien kilpailuna Kuhnilaisten vallankumousten sijasta (kts. BLAUG, op. cit.). Nykyisenä valtasuuntauksena, ainakin jos asiaa tarkastellaan yliopisto-opetuksen näkökulmasta, on kiistatta positiivinen taloustiede. Tieteen metodina ei sen sisältö ja tutkimusohjelma ole yksiselitteinen, koska eri tutkijoilla ja tutkijaryhmillä on ainakin jossain määrin toisistaan poikkeavia käsityksiä mm. positiivisten ja normatiivisten väitteiden määrittelystä. Positiivistinen epistemologia tarjoaa tukea positiivisen taloustieteen menetelmille ja keskeisiltä osilta yhtäläisyys on selkeä (kts. HOLLIS & NELL (1975)).

Tässä esityksessä on tavoitteena kulutuskäyttäytymistä esimerkiksi käyttäen tarkastella empiirisen tiedon hyväksikäyttöä teorianmuodostuksessa ja -testauksessa. Lisäksi esitellään taloustieteellisessä tutkimuksessa keskeistä aggregoinnin ongelmaa.

Talouden makrotason analyyseissä ja selityksissä yksittäisten talousyksikköjen käyttäytyminen on kyettävä huomioimaan käyttäytymisen erilaisuuksista huolimatta. Yksilötason kulutuskäyttäytymistä koskeva teorianmuodostus, joka johdetaan taloustieteissä yksilön päätöksenteon tavoitteista, on perustana koko yksityistä kulutusta kuvattaessa. Siirtyminen yksilötasolta koko talouden tasolle voidaan suorittaa joko a) muodostamalla makrotason teoria(t) mikrotasolta johdettujen oletusten avulla, tai b) aggregoimalla mikroyksiköiden käyttäytymistä kuvaavat relaatiot yli yksittäisten talousyksikköjen.

Yksityinen kulutus soveltuu esimerkiksi kuvaamaan talousteorian muodostuksen ja testauksen erityispiirteitä. Kokonaiskysynnän ja erityisesti yksityisen kulutuksen säätelyllä on keynesiläisessä makroteoriaperinteessä keskeinen merkitys. Siksi kulutuksen vaikuttamistapoja ja -astetta

koskeva tieto on mallia ennustevälineenä käytettäessä ensiarvoisen tärkeää. Toisaalta yksityinen kulutus on niitä taloustoiminnan osa-alueita, joissa päätöksentekijöiden luku on suuri ja käyttäytymistä ohjaavat tavoitteet ja motiivit moninaisia.

## 2. Empiirinen tieto taloustieteellisen teorianmuodostuksen apuvälineenä

Havaintoaineisto, jota taloudellisista ilmiöistä tuotetaan (passiivinen havaintoaineisto) tai hankitaan nimenomaan tiettyyn tutkimuskäyttöön (aktiivinen havaintoaineisto) on lähes poikkeuksetta ainutkertaista. Näin siksi, että riippuvuudet, joista taloudellisen ilmiökäyttämisen perusteella pyritään saamaan tietoa, ovat jatkuvan muutosprosessin alaisia. Jos tutkija tekee mittauksia käyttäytymisestä tietyillä kuluttajilla tai kuluttajaryhmillä hetkellä  $t$ , saatavilla riippuvuuksilla kulutuksen ja käytettävissä olevien tulojen välillä ei välttämättä ole ennustearvoa a) riippuvuudelle kaudella  $t+n$  tai b) edes ko. kuluttajille yleensä. Yksittäisen kuluttajan päätös kulutukseen käytettävistä tulojen osasta on tarkasteluajan kohtaan ja havaintokohdetta tuolloin ympäröivään todellisuuteen sidoksissa. Tämä on seurausta siitä, että preferenssit, joista tutkimuksen kohteena olevan kulutuskäyttämisen oletetaan seuraavan, ovat sidoksissa kuluttajan sukupuoleen, ikään, perhesuhteisiin, kulutus- ja kokemustaustaan, varallisuuteen yksilötasolla mutta myös talouden yleiseen kehitykseen, talouspolitiikkaan yhteisössä vallalla oleviin arvostuksiin ja sosiaalisiin suhteisiin yhteisötasolla.

Empiirisen aineiston ainutkertaisuus on problemaattista taloustieteissä myös toisessa mielessä. Havainnot eivät ole toistettavissa. Teorianmuodostuksen perustana olevaa empiristä aineistoa on joko käytettävä myös teorian testauksessa tai aineistojen ainutkertaisuus on eliminoitava olosuhteita koskevilla ceteris paribus oletusten avulla. Teorian yleisyys määrää tavallisesti myös empiiristen tulosten yleistettävyyden.



Mitä rajoitetumpi on tutkittava ilmiö, sitä tarkempaan käyttäytymisen empiiriseen identifiointiin (tavallisesti) on mahdollisuuksia. Tästä seuraa samalla pakko rajata testitilanteen hypoteesien ala ja siten myös tulosten yleistettävyyden *et.par.* ehdoin.

Havaintojen ainutkertaisuuteen ja talouden struktuurien jatkuvaan muutokseen vedoten positiivisen taloustieteen tutkimusohjelmassa poiketaan loogisen positivismin yleisistä periaatteista. Loogiselle positivismille ominainen jyrkkä jako analyyttisten ja synteettisten lauseiden välillä on käytössä, muttei kaikkien keskeisten analyyttisten käsitteiden empiirisen oikeellisuuden tutkimus kuulu positiivisen taloustieteen tutkimusohjelmaan. Edellä olevalla tarkoitetaan, että taloustieteen teorianmuodostuksen perustan oletetaan muodostuvan annetuista, oikein mitatuista havainnoista ja niihin välittömässä suhteessa olevista synteettisistä termeistä, kuten positivismissa. Kuitenkin taloudellisen käyttäytymisen ja sitä koskevien havaintojen erityislaatuun vedoten poiketaan loogisen positivismin falsifikaatioperusteista. Osa positiivisen taloustieteen teorioiden väitteistä ei ole falsifioinnin kohteena teorian testauksessa ja näin teorioiden yleistettävyyttä rajataan useimmiten ilman, että siitä eksplisiittisesti mainitaan.

Käsiteltävässä erityistapauksessa kuluttajan käyttäytymisen positiivisessa teorianmuodostuksessa käytetään mm. sellaisia analyttisiä käsitteitä kuin hyöty, hyötyfunktio, kulutuksen tuoma hyöty, hyödyn muutos hyödykemäärien muuttuessa ja korvautuessa toisillaan jne. Ne ovat analyttisiä käsitteitä, joiden oikeellisuutta ei testata positiivisen taloustieteen tutkimusohjelmassa. Näiden käsitteiden ja niitä koskevien lauseiden avulla muotoillun teorian hyväksyminen testauksessa merkitsee, että teorian ala implisiittisesti rajataan vain ko. optimaalisuusperiaatteella toimiviin talousyksiköihin. Kuitenkaan, sitä onko optimaalisuus kuvattavissa käytetyillä analyttisillä termeillä, ei testata.

Kulutuskäyttäytymiselle makrotasolla johdetut teoreettiset mallit positiivisessa perinteessä voidaan jakaa kahteen perustyyppiin: 1) yksittäisten kuluttajien hyötyjen optimointikäyttäytymisestä johdetuista kulutusfunktioista analyytisesti saatuihin makrotason kulutusfunktioihin (aggregointi) ja 2) kulutuskäyttäytymistä koskeva yleisten synteettisten lauseiden avulla johdettuihin makrokulutusfunktioihin.

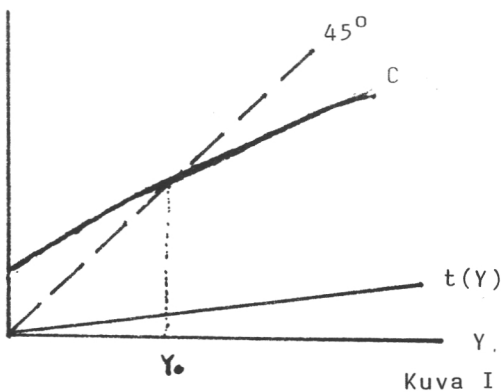
Makrokulutusfunktion nykyisen doktriinin voi katsoa alkaneen KEYNESIN Yleisessä teoriassa (1936) esitetyistä kulutuskäyttäytymistä kuvaavista hypoteeseista. KEYNES määrittelee kulutuksen yksinkertaisena riippuvuutena kansantalouden kokonaiskulutuksen ja reaalisen kansantulon välillä. Kulutusmalli rakentuu a priori päättelylle "ihmissuhteiden tuntemuksesta ja kokemuksen tuomiin tosiasioihin" (KEYNES (1936) s. 96). Keynesin psykologisen lain mukaan rajakulutusalttius (mpc) ja rajasäästäminen (mps) muuttuvat kokonaistulojen muuttuessa. Mallin mpc pienenee tulojen kasvaessa ja voimme kirjoittaa

$$C = C(Y-t(Y)) \quad \text{josta} \quad \frac{\partial C}{\partial Y} = C'(1-t') = mpc \quad (1)$$

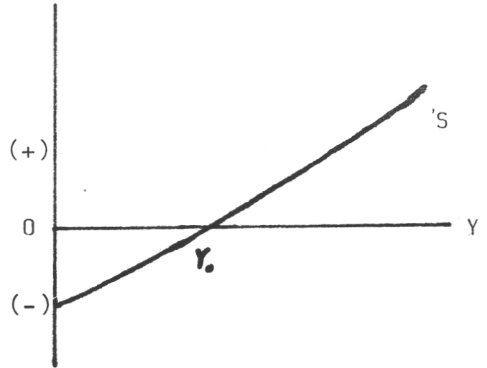
$0 < C'(1-t') < 1$   
 $C =$  yksityinen kulutus  
 $Y =$  reaalitytulo  
 $t =$  verofunktio (tässä  $t(Y)=t \cdot Y$ )

Mallispesifikaation havaintotausta perustuu "yleiseen havaintoon siitä, että yksilöiden säästämisalttius pyrkii kohoamaan heidän reaalisten käytettävissäolevien tulojensa noustessa" (KEYNES (op.cit) s. 97). Säästämisasteen kasvaessa joko a) myös mps kasvaa mpc:n alentuessa tai b) osan kulutuksesta ollessa tuloista riippumatonta voi mps pysyä vakiona. Kulutusfunktio (1) ja sitä vastaava säästämisfunktio s on esitetty kuvassa I.

tulonkäyttö



säästäminen



Kuva I

kulutusfunktio =

$$C = (1-t)Y_0 + C'(1-t')[(Y-Y_0)]$$

säästämisfunktio =

$$S = [1-C'(1-t')] (Y-Y_0)$$

Mallissa oletetaan, että koko kansantulo verojen jälkeen käytetään kulutukseen ja säästämiseen, jolloin  $mpc+mps = 1$ .

Keynesin makrokulutusfunktio on lyhyen aikavälin kokonaistaloudellisen mallin yksityistä kulutusta kuvaava osa. Funktion empiiriset sekä kuluttajabudjetteihin että aikasarja-aineistoihin perustuvat testaukset ovat tuottaneet teoriaa tukevia tuloksia ja käytettävissä oleva reaalitytö on osoittautunut riittävän luotettavaksi yksityisen kulutuksen systemaattisena selittäjänä lyhyen aikavälin makromalleissa. Muuttuvien olosuhteiden kuvaamisessa mallin yhteensopivuus havaintojen kanssa on kuitenkin havaittu riittämättömäksi. Riippuvuuden pysyvyys, joka lyhyellä aikavälillä voidaan perustella olosuhteita koskevalla *cet.par.* oletuksella, on huono muuttuvissa olosuhteissa. KEYNES (op.cit s. 97) toteaa, että objektiivisten olosuhteiden muutoksiin sopeutuminen vaatii yksilöiltä tiettyä periodia kulutustottumusten muuttamiseksi,  $mpc$  oletetaan olevan suurempi pitkällä aikavälillä kuin lyhyellä.

Riippuvuuden pysyvyyttä falsifioivia empiirisiä tuloksia on saatu mm. a) SMITHIESIN (1945) ja MOSAKIN (1945) perhebudjetteihin perustuvissa poikkileikkaustutkimuksissa sekä

b) KUZNETSIN (1946) tutkimuksessa pitkän aikavälin kulutuskäyttäytymisestä USA:ssa samoin kuin BRADYN ja FRIEDMANIN (1947) tutkimuksessa perhebudjettilaskelmissa havaittavista systemaattisista muutoksista pitkän aikavälin kuluessa. Ensiksi mainittujen, toista maailmansotaa edeltäneeseen säästämiskäyttäytymiseen perustuvien ennusteiden on havaittu yliarvioivan sodanjälkeistä käyttäytymistä. Jälkimmäisissä taas on havaittu syklistä vaihtelua pitkällä aikavälillä kulutus/säästämiskäyttäytymisessä.

Empiirisissä tutkimuksissa on tullut osoitettua, että Keynesin mallissa määriteltujen ominaisuuksien lisäksi kulutuskäyttäytymisessä a) keskimääräinen kulutusalttius ei alene pitkällä aikavälillä tulojen noustessa ja b) että keskimääräinen kulutusalttius vaihtelee suhdannevaihtelun mukaan.

Makrokulutusmallin osittainen falsifioituminen sovellutusalan mielessä on johtanut uusien mallispesifikaatioiden kehittämiseen. Esitettyjen mallityyppien perustana on käytetty edellä esitettyjä kulutuskäyttäytymisestä tehtyjä havaintoja. Esitetyistä vaihtoehtoisista struktuureista, joita tässä esitellään, kaksi kuuluu mikroperustaiseen tyyppiin (tyyppi 1) ja yksi suoraan muodostettuihin makrokulutusfunktioihin. Esiteltävien kolmen mallin 1) pysyväiskulutusmallin, 2) elinajan kulutusmallin sekä 3) suhteellisten tulojen mallin keskenäistä paremmuutta ei positiivisen taloustieteen mielessä ole kyetty osoittamaan eikä toisaalta yhdenkään falsifiointi ole tullut yksiselitteisesti hyväksytyä.

Mallien kulutusfunktiot täyttävät Keynesin funktion edellämainitut käyttäytymistä koskevat ehdot ja ovat siten konsistentteja uusklassisten IS-LM makromallistruktuurien kanssa.

Pysyväiskulutusmallin perustana on käytetty edellämainittuja empiirisistä havaintoja FRIEDMANIN & KUZNETSIN (1945) tekemistä perhekohtaisista rahakäyttöselvityksistä. Niissä voitiin havaita kaksi käyttäytymisen kannalta keskeistä perusominaisuutta: 1) korkeatuloiset havaitsevat suhteellisen asemansa huononemisen, kun taas matalatuloiset suhteellisen asemansa paranemisen.

Olttaessa tulojakautuman yläpäässä niiden ihmisten suhteellinen osuus, joilla on hyvä vuosi kasvaa luokasta toiseen ja päinvastoin. 2) kulutustasoa ei suunnitella kunkin teknisten tulojen mukaan, vaan yli ajan tasattujen tulojen mukaan (myös KUZNETS 1946, s. 26).

FRIEDMANIN (1957) esittämä pysyväiskulutusmalli on määritelty hyötyfunktion maksimointitehtävänä. Yksittäisen kuluttajan hyötyfunktion relevantilta ajanjaksolta ( $t = 0, 1, \dots, T$ )

$$U = U(c_0, c_1, \dots, c_t, \dots, c_T) \quad (2)$$

maksimointia rajoittavat hänen käytettävissä olevat tulonsa

$$t=0 \sum_{t=0}^T \frac{y_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{c_t}{(1+r)^t}, \quad \text{missä } r = \text{laskenta-} \quad (3)$$

korkokanta

Maksimointitehtävän ratkaisuna saadaan, mikäli ratkaisu on olemassa, kulutusfunktio kullekin ajankohdalle ( $\tau = 0, 1, \dots, T$ )

$$c_\tau = f_\tau(PV_\tau), \quad \text{jossa } PV_\tau = \sum_{t=\tau}^T \frac{y_t}{(1+r)^t} = \text{tulojen} \quad (4)$$

nykyarvo

Välttämätön ehto ratkaisulle (4) on, että hyötyfunktio (2) on homogeeninen (positiivista astetta). Mallissa suoritettu tulojen ja kulutuksen jako pysyvään ja muuttuvaan komponenttiin perustuu oletukselle siitä, että kuluttaja määrittää kulutukseen käytettävän tulojen osan, pysyväistulon, jota vastaava kulutus, pysyväiskulutus, ei vähennä tulevia kulutusmahdollisuuksia. Pysyväistulon, joka voidaan kirjoittaa

$$y_t^P = r PV_t \quad (5)$$

avulla saadaan pysyväiskulutusfunktio:

$$c_t^P = k^i y_t^P, \quad \text{jossa } k^i = \text{pysyväiskulutusuhde} \quad (6)$$

kuluttajalle i.

Kauden  $t$  kokonaistulo määritellään mallissa osiensa summana ja sille voidaan kirjoittaa:

$$y_t = y_t^p + y_t^s \quad y_t^s = \text{muuttuva tulokomponentti} \quad (7)$$

Tällöin kokonaiskulutus saadaan vastaavasti:

$$c_t = c_t^p + c_t^s \quad (8)$$

pysyvän ja muuttuvan komponentin summana.

Jako komponentteihin perustellaan olettamalla, ettei a) pysyvän ja muuttuvan tulokomponentin välillä ole korrelaatiota eikä b) myöskään muuttuvan tulo- ja kulutuskomponentin välillä, eli

$$1) \rho_{y_p y_s} = 0, \quad 2) \rho_{c_p c_s} = 0, \quad 3) \rho_{y_s c_s} = 0$$

Pysyvän ja muuttuvan tulokomponentin korreloitumattomuudesta seuraa, että jos oletetaan  $y_s$  normaalisti jakautuneeksi  $y_p$ :n ympärille,  $\bar{y}_s$  on positiivinen keskiarvotulon  $\bar{y} = \bar{y}_p$  yläpuolella ja negatiivinen alapuolella. Tällöin siis lyhyen aikavälin kulusalttius on pienempi kuin keskimääräinen (=  $k$ ) (kts. BRANSON 1979) s. 197 - 200).

Pysyväiskulutushypoteesin perustana on oletus hyötyfunktioista, jossa pysyvän tulokomponentin rajakulutusalttius = rajakulutusalttius. Sijoittamalla (5) (6):een voidaan kirjoittaa

$$k_r^i = \frac{1}{\sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+r)^t}}, \quad (9)$$

Mallin hyötyfunktio eri kulutustyyppien suhteen ei ole yksikäsitteinen. Pysyvän kulutuksen suhteen hyötyfunktiossa voidaan peräkkäisten periodien kulutusten  $c_{p_i}$ ;  $c_{p_{i+1}}$  ( $t - i, i+1$ ) välinen korvausjousto kirjoittaa:

$$\frac{U_i(c_{pi})}{U_{i+1}(c_{pi+1})} = \frac{c_{pi+1}}{c_{pi}} \cdot (1 + r) \quad (10)$$

kun taas muuttuvan kulutuksen osalta korvausjousto ei ole eksplisiittisesti määritelty (kts. korreloitumattomuusoletukset edellä). Pysyväiskulutusmalli on yhtälön (10) osalta erikoistapaus elinajan kulutusfunktio mallityypistä.

Elinajan kulutusmallissa (MODIGLIANI & BRUMBERG (1954) ja ANDO & MODIGLIANI (1963)) päätöksentekijä optimoi hyötyfunktiota (2) budjettirajoituksen (3) määrittämässä alueessa. Maksimointitehtävästä ratkaistaan kulutusfunktio (4). Elinajan kulutusmallissa funktio (4) voidaan kirjoittaa:

$$c_\tau = h^i (PV_\tau) \quad \text{jossa } h^i = \text{se osa kulutusta-} \quad (11)$$

jan  $i$  tulojen nykyarvosta,  
jonka hän haluaa käyttää  
kaudella  $\tau$  ( $0 < h < 1$ )

Mikäli odotetuille (= tulevien kausien) tuloille voidaan kirjoittaa funktion

$$y_\tau^e = \frac{1}{1-r} \sum_{t=\tau}^T \frac{y_t}{(1+r)^t} \quad (12)$$

avulla nykyarvo, kulutusfunktio on tällöin muotoa:

$$c_\tau = h^i y_\tau + h^i y_\tau^e [1-r] \quad (13)$$

Peräkkäisten periodien välinen kulutuksen korvausjousto voidaan tässä mallissa kirjoittaa:

$$\frac{U_i(c_i)}{U_{i+1}(c_{i+1})} = \frac{U_{c_{i+1}}}{U_{c_i}} (1+\delta) \quad \text{jossa } U_{c_i} = \frac{\partial U}{\partial c_i} \quad (14)$$

$\delta = \text{aikapreferenssi}$

Korvausjousto määräytyy hyötyfunktion osittaisderivaattojen suhteen perusteella. Jos  $U_{c_i} = \frac{1}{c_i}$  ja  $r = \delta$ , korvausjouston ehto (14) on sama kuin ehto (10) pysyvääiskulutussmallissa.

Mikäli  $r \neq \delta$  kulutus periodeittain vaihtelee riippuen  $r$  ja  $\delta$  suuruussuhteista. Mikäli  $c_i \neq c_j$  ( $i \neq j$ ) kulutusfunktiot voidaan määrätä sijoittamalla ehto:

$$\frac{U_{c_i}}{U_{c_j}} = \left(\frac{1+\delta}{1+r}\right)^{j-i} \quad (15)$$

budjettirajoitteeseen (3) ja ratkaisemalla  $c_i$ :n suhteen (jossa  $i=1, \dots, n$ ).

Elinajan mallin kulutusfunktiossa kulutuksen aikapreferenssi määritellään koko käytettävissäoleville tuloille, kun sen sijaan pysyväistulojen mallissa vain pysyväistuloille.\*)

Kauden  $i$  kulutuksen muutokselle saman kauden tulojen muutoksen suhteen (tilapäinen tulojen nousu) voidaan kirjoittaa:

$$\frac{\partial c_1}{\partial y_1} = \frac{1}{\sum_{t=1}^T \frac{\gamma_t}{\gamma_1} (1+r)^{t-1}} \quad (16)$$

ja tulojen pysyvän nousun suhteen vastaavasti:

$$\sum_{i=1}^T \frac{\partial c_1}{\partial y_1} = \frac{1}{\sum_{t=1}^T \frac{\gamma_t}{\gamma_1} (1+r)^{t-1}} \quad (17)$$

mikäli hyötyfunktiota, joka on muotoa  $U = \sum_{t=1}^T \gamma_t \log c_t \left(\frac{1}{1+r}\right)^{t-1}$  rajoittaa budjettirajoite (3) (vrt. BIÖRN)<sup>t=1</sup>(1980)). Kaavoista (16) ja (17) voidaan havaita, että 1) tilapäinen tulonlisäys aiheuttaa tässä mallityypissä sitä suuremman lisäyksen mitä aikaisemmassa tulokauden vaiheessa lisäys tapahtuu, 2) pysyvän tulonlisän kulutusvaikutus on suurempi kuin tilapäisen.

\*) Varallisuuden vaikutus kulutukseen on jätetty tästä esityksestä yksinkertaistuksen vuoksi pois.



Molemmissa mikrokäyttäytymisestä johdetuissa kulutusfunktioissa oletetaan, että yksittäiset kuluttajat eivät tee tulonkäyttöpäätöksiä vain yhden periodin tulojen ja tulonkäyttötavoitteiden perusteella. Pysyväiskulutusmallissa osa tuloista kulutetaan suunnitelmallisesti, kun taas elinajan mallissa kulutussuunnittelu oletetaan tehtäväksi kaikkien tulojen osalta. Mallit rakentuvat absoluuttisten tulojen hypoteesille, kun sen sijaan kolmas tässä esitettävä mallityyppi on johdettu kulutuksen ja suhteellisten tulojen välistä riippuvuutta koskeville hypoteesille.

Suhteellisten tulojen kulutusmallityypin perushypoteesin mukaan kuluttajan kokonaishyöty ei ole funktio vain kulutettujen hyödykkeiden määrästä, vaan myös näiden määrien suhteesta toisten, viiteryhmiksi koettujen kulutuksesta. Hypoteesille on esitetty perusteita sosiologisista ja psykologisista tutkimuksista sekä eräistä Veblenin ideoista. Yksittäisen kuluttajan hyötyfunktio voidaan kirjoittaa:

$$U = U\left(\frac{c_0}{R_0}, \dots, \frac{c_t}{R_t}, \dots, \frac{c_T}{R_T}\right) \quad , \quad \text{jossa } R_t = \text{painotettu keskiarvo muun populaation kulutuksesta} \quad (18)$$

Mallin hyötyfunktio rakentuu DUESENBERRY (1949) hypoteeseille 1) siitä, että kuluttajat eivät niinkään ole kiinnostuneita absoluuttisesta tulotasosta kuin suhteellisesta ja 2) siitä, että nykyinen kulutus ei ole riippuvainen vain absoluuttisten ja suhteellisten tulojen nykytasosta, vaan myös tasosta, joka on aikaisemmin saavutettu. Empiiriset tutkimukset antoivat vahvistusta oletukselle, että kulutustasoa on vaikeampi sopeuttaa tulojen alentuessa kuin tottua korkeamman tulotason mukaiseen kulutukseen (DUESENBERRY (1949) s. 84 - 85).

Kulutusfunktio on määritelty makrotasolla, jolloin aggregoitu kulutusfunktio voidaan kirjoittaa:

$$C_t = BY_t + r(Y_t^P - Y_t) \quad \text{jossa } B > r > 0 \quad (19)$$

$Y$  = käytettävissäoleva tulo  
 $Y^P$  = edellinen käyt. ol. tulon huipputaso

Mallissa muodostettu hypoteesi kulutuksen ja käytettävissä olevien tulojen välisestä relaatiosta rakentuu oletukselle, että tietystä tulotasosta kulutukseen käytettävä osa talousyksiköllä on suhteessa siihen kulutukseen, joka on ominaista siinä tuloryhmässä, johon ko. yksikkö on kuullunut. Kuluttajan oletetaan tällöin samaistuvan siihen tuloryhmään, johon kuuluvien tulonsaajien keskitulo vastaa hänen viimeisintä huipputuloaan.

Esitellyissä kulutusmalleissa ennuste kokonaiskulutukselle, joka positiivisen taloustieteen traditiossa on teorian validisuuden keskeisin osoitin, saadaan absoluuttisen tulon malleissa yksittäisten kuluttajien kulutuskäyttäytymistä kuvaavista funktioista. Ennuste on tällöin aggregointitavan määrittämä painotettu summa (kts. aggregoinnista luku 4).

Suhteellisen tulon mallissa taas kulutusennuste on kansantulon vakio-osa, jos perheiden suhteellisten tulojen jakautuma pysyy vakiona.

### 3. Taloustieteen teorioiden empiirinen testaus

Edellä on esitelty empiiristen havaintoaineistojen ja tutkimusten käyttöä teorianmuodostuksessa ja teorioiden edelleenkehittelyssä. Positiivisen taloustieteen perinteessä teorioiden muodostamisessa perimmäisenä tavoitteena on ennustaminen. Toisaalta ennustekyky on teorioiden validisuuden testauksessa ratkaisevan tärkeä kriteeri. Instrumentalistisessa traditiossa relevanttien ennusteiden ratkaiseva osuus vielä korostuu teorian hyvyyden kriteerinä (FRIEDMAN (1953) s. 8 - 10).

Analyyttisten termien tulkintaa tai teoriaväittämien totuudellisuuden tutkimusta ei pidetä tarpeellisena analyttinen-synteettinen erottelun takia. Jos analyttiset termit tai teoriaväittämät toimivat hyvin, teorioiden ja niistä johdettujen, käyttäytymistä koskevien mallien empiirisen testauksen tavoitteena ei ole teorian hyvyyden mittaaminen sellaisenaan. Teoriat ovat, kuten edelläesitetyt kulutuskäyttäytymisen teoriat, tällöin vain loogisia tai käsiteellisiä instrumentteja, joiden tehtävänä ei ole

esittää todellisuutta, vaan mahdollistaa havaintojen jäsentely tai ennusteiden laatiminen. Mikäli kulutuskäyttäytymistä kuvaavalla funktiolla saadut ennusteet koetaan riittävän hyviksi, positiivisessa taloustieteessä ei pidetä tärkeänä tutkia, onko kuluttajien käyttäytymistä ohjaavaksi mekanismiksi otettu hyötyjen maksimointi oikea tai edes relevantti. Mikäli empiiriset havainnot falsifioivat testattavat hypoteesit, joudutaan ratkaisemaan, ovatko falsifioinnin syynä teorian taustahypoteesit vai cet.par. ehdot, joita testauksessa käytetään. Teorioista, joilla saadut ennusteet ovat luotettavia eräillä cet.par. ehdoilla, toisilla taas eivät, on teorioiden oikeellisuuden päättelely ongelmallista.

Kulutuskäyttäytymisestä edellä esitettyjen teorioiden empiirisessä testauksessa keskenään kilpailevat teoriat ovat täyttäneet positivistiset validisuus- ja reliabilisuustestaukset. Erityisesti mallit täyttävät keynesiläisen makromallin kulutusfunktiolta edellytetyt ominaisuudet. Pysyväiskulutusmallissa tehty oletus tilapäisten tulojen ja tilapäisen kulutuksen korreloitumattomuudesta on mallin validisuuden kannalta keskeinen ja siksi sitä on tutkittu aktiivisesti empiirisesti. Tulokset ovat olleet keskenään ristiriitaisia. BODKININ (1959) ja HOLMESIN (1971) tulosten mukaan korrelaatio  $\rho_{y_{scs}}$  poikkeaa tilastollisesti merkittävästi nolasta. Sen sijaan REIDIN (1952) mittaukset poikkileikkausaineistolla maanviljelijäperheissä eri ajankohdilta tukevat hänen tulkintansa mukaan pysyväistulojen mallia a) suhteellisen vakaan keskimääräisen kulutusalttiuden (apc) osalta sekä b) kulutuksen alisuhteisen kasvun osalta suhteessa tulojen kasvuun.

Elinajan kulutusmallin makrokulutusfunktion validisuuden testauksessa eri ikäryhmien kulutuskäyttäytymisen identifiointi ja pysyvyys ovat keskeisiä. DOLDEN ja TOBININ (1972) simulointitutkimuksen tulokset elinajan kulutusmallilla, jotka perustuvat mikro-tason poikkileikkausaineistoon vuodelta 1969 USA:ssa, tukevat elinajan kulutusmallia kokonaiskulutuksen selittäjänä. Mallin

empiirisenä testausaineistona on käytetty yhden vuoden poikkeileikkustietoja. Tällöin ennusteiden luotettavuuden edellytyksenä on, ettei suhteellisten osien tai kokonaistalouden muutoksista aiheudu muutoksia kulutusalttiuksiin. BIÖRNIN (1980) poikkeileikkausaineistolla saamat tulokset tukevat myös elinajan mallin mukaista kokonaiskysyntärelaatiota.

TOBIN (1951) on suorittanut testauksia suhteellisten tulojen hypoteesin validisuudesta kolmenlaisella aineistolla, 1) peräkkäisiltä vuosilta samasta perusjoukosta 2) rodullisesti erilaisista ryhmistä samassa paikassa samana ajankohtana ja 3) perhebudjeteilla erikokoisissa kaupungeissa samana ajankohtana. Estimointitulokset vahvistavat absoluuttisten tulojen hypoteesia paremmin kuin suhteellisten tulojen (TOBIN, (1951) s. 113). Sen sijaan tulokset tukevat suhteellisten tulojen mallin postuloimaa kokonaissäätämisteen vakioisuutta.

Kokonaiskulutuksen mallispesifikaatioiden muodostamisessa ja testeissä voidaan havaita taloustieteelliselle positivismille ominainen jako analyttisten ja synteettisten käsitteiden ja lauseiden välillä. Synteettisten lauseiden määrittelyn yksinkertaisuudet sekä cet.par. oletukset tekevät taloustieteen positivistisessä tieteenmetodissa mielekkäiksi eksakteilta ja universaaleilta näyttävien käyttäytymisrelaatioiden muodostamisen.

Kontrolloitujen kokeiden ja toistettavuuden mahdollisuuden puuttuessa teorian oikeellisuuden sijasta on perusteltua käyttää kriteerinä ennustekyvyn sijasta teorian loogista konsistenssia, yksinkertaisuutta, yleisyys- ja laajennettavuuden edellytyksiä. Tieteellisen realismin näkökulmasta positivistista lähestymistapaa on arvosteltu erityisesti empiirisen rajoittuneisuuden vuoksi. Käytetyn metodin tavoitteet universaalilakien mielessä ovat liian rajoittuneet suhteessa niihin historiallisinstitutiivisiin ehtoihin, jotka käyttäytymistä rajoittavat (kts. esim. UUSITALO & UUSITALO (1980)).

#### 4. Yksilön päätössäännöt ja kokonaistaloudelliset relaatiot - aggregointiongelma

Positiivistisen tieteenmetodin yksinkertaisuutta, loogisuutta ja konsistenssia korostavat mallitavoitteet ovat taloudellista päätöksentekoa kuvattaessa ja selitettäessä vaikeasti saavutettavissa. Kokonaistaloudellisten riippuvuuksien osalta tavoitteiden saavuttamisen tekee vaikeaksi erilaisten talousyksiköiden käyttäytymismallien yhdistäminen, aggregointi. Makrorelaatio on konsistentti mikrorelaatioiden kanssa vain, jos aggregoinnin ehdot täytetään.

Aggregoinnin tarpeellisuutta voidaan perustella a) yhtälötasoisella ja b) mallitasoisella validiteetin vaatimuksella. Jälkimmäisellä tarkoitetaan tässä niitä mallin eksogeenisten ja/tai kontrollimuuttujien vaikutusten analyysin edellytyksiä kaikkien käyttäytymisyhtälöiden osalta. Jos tutkitaan veropolitiikan vaikutusta yksityiseen kulutukseen ja julkiseen kulutukseen, ensiksi mainitun selville saamiseksi on aggregoitu funktio välttämätön.

Yhtälötasolla esim. yksityinen kulutus makrotasolla on talousyksikköjen kulutusten summa. Kulutuksen riippuvuus tuloista makrotasolla määritellään keskimääräisenä kaikista talousyksiköistä painotettuna lasketun kokonaistulon suhteen. Jotta funktio olisi validi mittari aggregaattitasolla, sen muuttujien summeeraus on noudatettava ns. aggregointiehto.

Mikäli mikrotason riippuvuuksien osalta validiteettia ja reliabiliteettia koskevat kysymykset on ratkaistu, aggregoidun riippuvuuden konsistenssi suhteessa mikroriippuvuuteen voidaan säilyttää vain eräissä aggregoinnin erikoistapauksissa. Aggregointi voidaan suorittaa a) muodostamalla makroteoria ja etsimällä aggregointistruktuuri mikroteorian mukaisille relaatioille, siten mikro- ja makroteorioiden konsistenssi säilyy, tai b) määrittelemällä makromuuttujat, konsistentti makroteoria ja

aggregoimalla makromuuttujat mikroaineistosta (kts. esim. LANCAS-TER (1966) s. 204). Edellisessä tyypissä oletetaan, että yksittäiselle talousyksikölle on spesifioitu kulutusfunktio

$$c_i = \alpha_i + \beta_i y_i + \varphi_i z_i + \epsilon_i \quad \text{jossa } z_i = \text{kulut-} \quad (20)$$

jan  $i$  k lutukseen  
vaikuttava ei-tulo-  
muuttuja  
 $\epsilon_i$  = virhetermi

Mikrofunktion oletetaan olevan lineaarinen approksimaatio k ytettäviss olevista tuloista  $y_i$  ja muuttujasta  $z_i$ .

Makrofunktion saamiseksi aggregoidaan (20)  $i$ :n suhteen:

$$\sum c_i = \sum \alpha_i + \sum \beta_i y_i + \sum \varphi_i z_i + \sum \epsilon_i \quad (21)$$

$$\sum c_i = \sum \alpha_i + \left( \sum \beta_i \frac{y_i}{\sum y_i} \right) \sum y_i + \left( \sum \varphi_i \frac{z_i}{\sum z_i} \right) \sum z_i + \sum \epsilon_i \quad (21')$$

Aggregoitu funktio (21) voidaan kirjoittaa makrofunktiomuodossa

$$C = A + BY + \phi Z + E \quad (22)$$

Makrofunktion parametrit ovat mikroparametrien painotettuja summia, joissa painoina ovat mikromuuttujien suhteelliset osuudet. Makrofunktion parametrit ovat stabiileja jos a) kullekin  $i$  ja  $j$   $\beta_i = \beta_j$  ( $i \neq j$ ) tai b) jos painot  $\frac{y_i}{\sum y_i}$  ovat stabiileja. Stabiilisuusehto voidaan edellistä heikommassa muodossa kirjoittaa myös ryhmille (kts. KLEIN (1954)), jolloin stabiilisuuden oletetaan olevan voimassa esim. ammatillisesti ryhmiteltyn aineiston sisällä.

Voidaan osoittaa, että välttämätön ja riittävä ehto aggregoinnin konsistenttisuudelle on, että aggregoitavat funktiot ovat

homoteettisia. Kuluttajan käyttäytymistä kuvaavissa mikroyhtälöissä homoteettisuusehdosta seuraa, että kaikkien aggregoitavien talouksien kulutusfunktiot ovat vakiotekijää vaille samoja funktioita. Ehdon rajoittavuudesta voidaan helposti päätellä, että edelläkäsittelyn eksaktin aggregoinnin ehdot ovat voimassa empiiristä testausta ajatellen vain rajoitetussa mielessä. Mikäli empiiriset testaukset mikrofunktioilla osoittavat, ettei homoteettisuusehto ole voimassa, eksaktin makrofunktion konstruointi aggregoimalla ei ole mahdollista.

Kehitetyt ei-lineaariset aggregointimenetelmät mahdollistavat mikrotasolla myös sellaiset oletukset kulutuskäyttäytymisestä, jossa eri talousyksiköiden kulutuksen tulojoustot ovat erilaisia (kts. DEATON & MUELLBAUER (1980) s. 154 - 158).

Aggregointiehtojen rajoittavuudesta voidaan epäsuorasti tehdä päätelmiä suoraan spesifioitujen makroriippuvuuksien validiteetistä.

LÄHDELUETTELO

- Ando A. & Modigliani F. (1963): *The Life Cycle Hypothesis of Saving, Am.Ec. Review*
- Biörn E. (1980): *The consumption Function and the Life Cycle Hypothesis. Scan. J. Ec.*
- Blaug M. (1976): *Kuhn versus Lakatos of Paradigms versus research programmes in the history of economies, teoksessa: Method and appraisal in economics, ed by Latsis S., Cambridge*
- Bodkin R. (1959): *Windwall Income and Consumption, Am.Ec. Review*
- Brady D. & Friedman R. (1947): *Saving and the Income Distribution, teoksessa: Studies in Income and Wealth, NBER, vol. 10, New York*
- Branson W. (1979): *Macroeconomic Theory and Policy, 2nd Ed, New York*
- Deaton A. & Muellbauer J. (1980): *Economics and consumer behaviour, Cambridge.*
- Dolde W. & Tobin J. (1972): *Monetary and Fiscal Effects on Consumption teoksessa: Tobin: Essays in Economics vol. 2, Amsterdam.*
- Duesenberry J. (1949): *Income, Saving and the Theory of Consumer Behaviour, Cambridge, Mass.*
- Friedman M. (1953): *Essays in Positive Economics, Chicago*
- Friedman M. (1957): *A Theory of the Consumption Function, Princeton*
- Friedman R. & Kuznets S. (1945): *Income from Independent Professional Practice, NBER, New York*
- Hollis M. & Nell E. (1975): *Rational Economic Man, Cambridge*
- Holmes J. (1971): *A Condition for Independence of Permanent and Transitory Components of a Series, Journal of Am.Stat.Ass.*
- Keynes J.M. (1931): *General Theory of Employment Interest and Money, Cambridge*
- Klein L. (1946): *The aggregation Problem of a One Industry Model, Econometrica*
- Kuznets S. (1946): *National Product Since 1869, New York*
- Kuznets S. (1953): *Share of Upper Income Groups in Savings, NBER, New York*

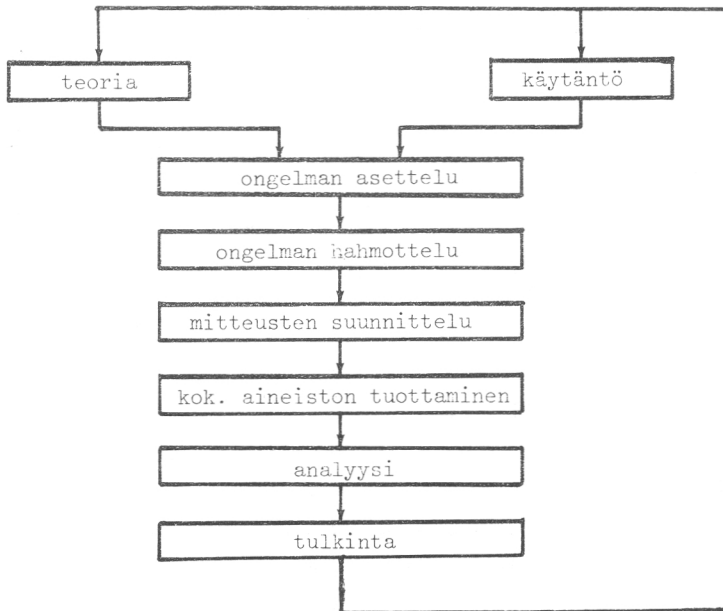


- Lancaster K. (1966): Economic Aggregation and Additivity, teoksessa: *The Structure of Economic Science*, ed by Krupp S., Englewood Cliffs
- Modigliani F. & Brumberg R. (1954): Utility Analysis and the Consumption Function, teoksessa: *Post-Keynesian Economics*, ed by Kurihara K., New Brunswick
- Mosak J. (1945): Forecasting Postward Demand III, *Econometrica*
- Reid M. (1952): Consumption, Savings and Windfall Gains, *Am.Ec.Review*
- Smithies A. (1945): Forecasting Postward Demand I, *Econometrica*
- Tobin J. (1951): Relative Income, Absolute Income and Saving, teoksessa: *Tobin: Essays in Economics*, vol. 2, Amsterdam
- Uusitalo L. & Uusitalo J. (1980): *Scientific Progress and Research Traditions in Consumer Research*, paper for the Annual Conference of Ass.f.Cons. Research, Washington DC.

Pertti Hari

### TUTKIMUSONGELMAN METODISISTA HAHMOTTAMISTAVOISTA

Tutkimustyö on syytä nähdä jatkuvana prosessina, jossa nykyinen työ perustuu aikaisempaan tutkimukseen ja nykyinen toiminta luo edellytyksiä tulevalle työlle (kuva 1). Käsitteiden seuraavassa metodisia näkökohtia, jotka ovat keskeisiä tutkimusongelman hahmottamisessa.



Kuva 1. Tutkimustyön periaatteellinen kulku

Tutkijan perehtyessä laskennallisiin menetelmiin metodisten valintojen pohjaksi, hän kohtaa ainakin kolmentyyppisiä lähestymistapoja: 1. tilastollisia testejä, 2. monimuuttujamenetelmiä ja 3. dynaamisia malleja. Tutkijan tulisi tietoisesti valita näiden vaihtoehtojen välillä. Yleensä tätä valintaa ei paljonkaan pohdita, vaan se tehdään perimätiedon pohjalta, kuten on ennenkin tehty.

Metodisten ratkaisujen tulee perustua ongelman asetteluun. Pohdinnan voi aloittaa vaikka miettimällä kysymystä: I Ratkeako ongelma poikkileikkausaineiston pohjalta vai II onko tarkasteltavassa ilmiössä olennainen piirre ajallinen muuttuminen?

Tarkastellaan aluksi ensimmäistä vaihtoehtoa, eli oletetaan, että ongelma ratkeaa poikkileikkausaineiston pohjalta. Tässä tapauksessa on edelleen kaksi vaihtoehtoa a) ongelmana on, vaikuttaako jokin tekijä vai ei b) ongelmana on kuinka paljon jokin tekijä vaikuttaa.

Tapauksessa Ia metodisena ratkaisuna tulee lähinnä kysymykseen tilastollisten testien käyttö. Metsätieteissä tavallisimmin kysymykseen tuleva tilastollinen testi on t-testi. Siinä tarkastellaan kahden populaation jotakin ominaisuutta, jota mitataan suhdeasteikolla. Tämän ominaisuuden oletetaan noudattavan normaalijakautumaa siten, että molemmissa populaatioissa on sama varianssi. Testin perusteella tehdään näytteen perusteella päätelmiä siitä, ovatko populaatioiden keskiarvot yhtä suuria vai onko ne katsottava erisuuriksi. Esi-merkkejä testin käytöstä löytää vaikka metsänviljelytutkimuksista.

Tapauksessa Ib metodisena ratkaisuna tulevat kysymykseen lähinnä monimuuttujamenetelmät, ensisijaisesti regressioanalyysi. Regressioanalyysin lähtökohtana on, että on olemassa kahden tyyppisiä muuttujia, riippuvia ja riippumattomia. Riippumattomien muuttujien avulla analyysissä pyritään saamaan tietoa riippuvasta muuttujasta riippumattomien muuttujien avulla.

Selkeä esimerkki regressioanalyysin käyttökohteesta on tukin tai puun rungon tilavuuden määrittäminen sen ulkoisten mittojen avulla. Puun geometriasta ja sen ulkoisten mittojen välisistä riippuvuuksista johdetaan teoreettinen malli, jonka parametrien arvot määritetään regressioanalyysin avulla.

Tilanteessa II tarkasteltavan ilmiön olennainen piirre on sen ajallinen muuttuminen. Merkitään vektorilla  $x(t)$  tarkasteltavien muuttujien arvoja hetkellä  $t$  sekä vektorilla  $u(t)$  ilmiöön vaikuttavien tekijöiden arvoja hetkellä  $t$ . Useissa tapauksissa havainnot tehdään määräväleihin. Olkoon  $t_i$   $i$ :nnessä mittauksen ajankohta. Tuloksia analysoitaessa kiinnitetään päähuomio muutoksiin ja niiden aiheuttajiin, eikä niinkään muuttujien arvoihin sinänsä. Tutkittavana on siis  $x(t_i) - x(t_{i-1})$ . Tälle muutokselle laaditaan malli

$$x(t_i) - x(t_{i-1}) = f(x(t_{i-1}), u(t_{i-1})), \quad (1)$$

missä  $f$  on tarkasteltavan ilmiön teoriasta johdettu funktio. Esimerkiksi yhtälön (1) vasen puoli voisi olla metsikön vuoden kasvu ja oikea puoli sen riippuvuus metsikön tilasta ja ympäristötekijöistä. Mallissa  $f$  esiintyvä differenssi on periaatteessa hyvin lähellä derivaattaa. Tästä syystä on se syytä yleistää koskemaan derivaattoja eli

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(x(t), u(t)), \quad (2)$$

missä  $f$  on edelleen tarkasteltavan ilmiön teoriasta johdettu funktio. Näin on päädytty tutkittavan ilmiön dynaamiseen malliin (yhtälöt 1 ja 2).

Mallin periaatteellisen konstruoinnin jälkeen määritetään siinä esiintyvien parametrien arvot. Tämä vaihe on usein hyvin lähellä regressioanalyysissä tehtävää parametrien arvojen määrittämistä. Mutta monien parametrien arvot saattavat myös määräytyä ennakkoinformaation perusteella. Konstruoitua mallia voidaan käyttää tutkittavan ilmiön analysointiin. Esimerkiksi voidaan laskea vektorin  $x(t)$  arvot kunakin hetkenä, jos tunnetaan jokin alkuarvo  $x(t_0)$  ja ilmiöön vaikuttavien tekijöiden arvot hetken  $t_0$  jälkeen.

Analyysimenetelmien valinta hahmottaa hyvin pitkälle jäljellä olevan tutkimuksen. Kokeellisen aineiston tuottaminen pitää tehdä niin, että sovellettavan analyysimenetelmän vaatimukset aineistojen suhteen tulevat riittävässä määrin täytetyksi. Dynaamisia malleja käytetään toistaiseksi melko niukasti. Ne ovat tarkoituksenmukainen analysointikeino useassa tapauksessa ja niiden käyttöä tulisi lisätä. Dynaamisten mallien etuna usein on niiden läheinen liittyminen tarkasteltavan ilmiön teoriaan.

Sovellettava lähestymistapa johdetaan kysymyksen asettelusta. Kaikilla edellä käsitellyillä metodisilla vaihtoehdoilla on oma sovellutusalueensa, jolla se on tehokkain apukeino tutkimusongelmaa ratkaistaessa.

Jaakko Heinonen

Timo Pekkonen

#### TILASTOTIEDE PÄÄTTELYN APUVÄLINEENÄ

Teorian kehitys luonnontieteissä tapahtuu yleensä kaksijakoisena prosessina, jossa aluksi olemassa olevan tiedon varaan rakennetaan teoria ja tämän jälkeen testataan sen sekä todellisuuden välinen yhteensopivuus. Prosessin ensimmäiseen vaiheeseen, uuden teorian mielekkääseen muodostamiseen filosofit ovat esittäneet yleisiä periaatteita, mutta systemaattista menetelmää ongelman analysoimiseksi ei ole kyetty esittämään.

Toiseen vaiheeseen, teorian testaukseen, matemaatikot ovat sensijaan kehittäneet monipuolisen apuvälineistön, tilastolliset menetelmät. Käytännössä teorian testaus tapahtuu keräämällä todellisuudesta havaintoaineisto ja tutkimalla kuinka hyvin teoria on pystynyt ennustamaan aineiston ominaisuuksia. Tällöin joudutaan vastaamaan kahteen kysymykseen. Toisaalta kuinka hyvin testiaineisto on teorian mukainen, miten mitata teorian ja aineiston yhteensopivuutta, toisaalta kuinka yleinen teoria on eli päteekö se myös testiaineiston ulkopuolella? Näitä kysymyksiä ja niihin liittyviä ongelmia pyritään valaistamaan esitelmän ensimmäisessä osassa.

Luonnontieteisiin kuuluu oleellisena osana tutkimuksen kohdejoukon, esimerkiksi Suomen metsien, määrällinen ja laadullinen tuntemus. Tämä on tärkeää erityisesti, kun kohdejoukolla on suuri merkitys ja siihen halutaan kohdistaa kokonaisvaltaista suunnittelua ja toimenpiteitä. Määrä- ja laatu-tiedon hankintaan perusjoukosta on kehitetty otantateoria. Esitelmän toisessa osassa pyritään kuvaamaan teorian perusidea ja pohtimaan

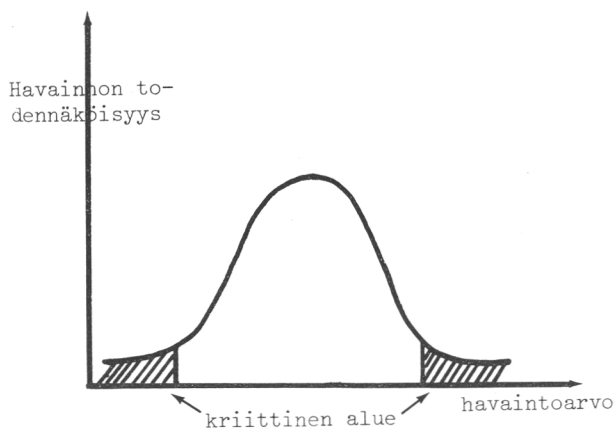
otantaan liittyviä ongelmia. Peräkanneettina esitetään eräs pohdinnoista syntynyt näkökohta tutkimusongelmien asettamisesta.

### 1. Tilastollisesta päättelystä

Tilastotieteessä on kehitetty joukko apuvälineitä, joilla teorian ja havaintojen välistä yhteensopivuutta voidaan tutkia. Idea, johon menetelmät perustuvat on seuraava:

Teoria tai tutkimuksen kohteena oleva osa siitä on puettava hypoteesin muotoon. Hypoteesi on malli todellisuudelle. Se määritellään niin yksityiskohtaisesti, että se yksinkertaisimmillaan määrittelee kunkin mahdollisen havainnon todennäköisyyden. Hypoteesi siis määrittää todennäköisyysjakauman todellisuuden mahdollisille tiloille. Kun hypoteesi on määritelty, mitataan todellisuudesta testihavainto ja lasketaan kuinka todennäköinen se on, jos hypoteesi pitää paikkansa. Tämä todennäköisyys on samalla mitta hypoteesin uskottavuudelle.

Perinteisesti tilastollisessa päättelyssä on käytetty periaatetta, että hypoteesin katsotaan olevan ristiriidassa havainnon kanssa, mikäli havainnon todennäköisyys jää alle määritetyn rajan ts. havainto sattuu hypoteesin määrittämän todennäköisyysjakauman ns. kriittiselle alueelle.



Jakauman kriittinen alue määritetään yleensä siten, että siihen kuuluu 1-10% epätodennäköisimpiä havaintoja.

Vaikka esitetty idea on yksinkertaistettu, se on kantava periaate tilastollisessa testiteoriassa. Monimutkaisuutta tilanteeseen tuo se, että hypoteesi asetetaan usein siten, ettei se määritä täysin todennäköisyysjakaumaa. Hypoteesi saattaa jättää jakauman tiettyjen parametrien arvot määrittämättä, vapaiksi. Esimerkkinä voidaan ajatella regressiomallin muotoon puettua hypoteesia

$$y = a + b x + \epsilon$$

jossa virhetermien jakauman ajatellaan olevan normaalin  $(0, \sigma^2)$ . Tällöin vapaiksi, testiaineistosta estimoitaviksi parametreiksi jätetään usein kertoimet  $a$  ja  $b$  sekä varianssi  $\sigma^2$ . Tilastollisella päättelyllä pyritään vastaamaan kysymyksiin

- a) onko havaintoaineisto yhteensopiva mallin kanssa ja
- b) jos on, niin mitä voidaan sanoa tuntemattomista parametreista tai millä välillä voidaan ennustaa uuden havainnon olevan.

Oleellista tilastollisessa testiteoriassa on, että testattava hypoteesi on määriteltävä siten, että siitä voidaan johtaa todennäköisyysjakauma "todellisuudelle". Tämän jälkeen mitataan testiaineisto, estimoidaan mahdolliset vapaat parametrit ja katsotaan kuinka todennäköinen havaintoaineisto olisi hypoteesin voimassa ollessa. Testiteoria antaa siis ainoastaan mitan havaintojen ja hypoteesin väliselle yhdenmukaisuudelle eikä mitään muuta. Se ei esimerkiksi puutu lainkaan hypoteesin tulkintaan, vaan tämä jää kokonaan soveltajan tehtäväksi. Tästä syystä onkin syytä korostaa, että sovellettaessa tilastollisia testejä, tutkijan on tarkoin määriteltävä, mitä hän haluaa testata, ja toisaalta antaako hänen koejärjestelynsä vastauksen hänen nimenomaiseen kysymykseensä.



Tarkastellaan seuraavaksi päättelyn tulosten yleistettävyyteen liittyviä ongelmia yksinkertaisten regressiomallien avulla. Olkoon esimerkkinä aluksi malli

$$y = a + bx_1 + cx_2 + \varepsilon,$$

jossa  $x_1$  ja  $x_2$  ovat pientä satunnaisvaihtelua lukuunottamatta  $y$ :n todelliset ja ainoat syyt. Oletetaan lisäksi, että riippuvuussuhteet ovat lineaarisia eli että malli on oikean muotoinen. Tällöin ainoa rajoitus valittaessa aineistoa mallin parametrien estimoimiseksi on, että yksilöiden valinnan tulee olla riippumaton virhetermin arvoista. Toisin sanoen samoilta  $x_1$ :n ja  $x_2$ :n arvoilla muuttujan  $y$  arvo ei saa vaikuttaa valintaan. Tässä tapauksessa estimoitu malli on vapaasti yleistettävissä.

Oletetaan seuraavaksi käytännönläheisemmin, että ilmiön kaikkia syitä ei tunneta eikä siten voida havaita. Edellisen mallin sijasta voitaisiin ajatella estimoitavaksi malli

$$y = a + bx_1 + \varepsilon,$$

jossa toinen  $y$ :n syy  $x_2$  jätetään havaitsematta. Tällöin malli kuvaa keskimääräistä  $y$ :n riippuvuutta  $x_1$ :stä, riippuvuutta sellaisissa aineistoissa, joissa  $x_2$ :n jakautuma on havaintoaineiston mukainen.

Tarkastellaan vielä mallia

$$y = a + bx + \varepsilon,$$

jossa  $y$ :n ja  $x$ :n välillä ei ole syy-seuraussuhdetta, vaan niiden arvot on määrännyt jokin prosessi, esimerkiksi kasvuprosessi. Tällöin mallia voidaan soveltaa vain aineistoissa, joissa prosessi on samanlainen kuin koeaineistossa ja vain koeaineiston  $x$ :n vaihteluvälillä.

Edellä esitettiin eräitä yleistettävyyteen liittyviä näkökohtia regressiomallien valossa. Seuraavassa kappaleessa sivutaan ongelmaa vielä otantateoreettiselta kannalta. On kuitenkin syytä korostaa, että tutkimustulosten yleistettävyys tuli si pääsääntöisesti tapahtua tutkimushypoteesin kautta. Tutkimushypoteesissa tulee esittää mitä ilmiöitä ja missä kohdejoukossa tutkitaan ja mitä ennakkokäsitystä aineistosta halutaan testata. Tällöin jo hypoteesi määrää tutkimustulosten sovelutusalueen.

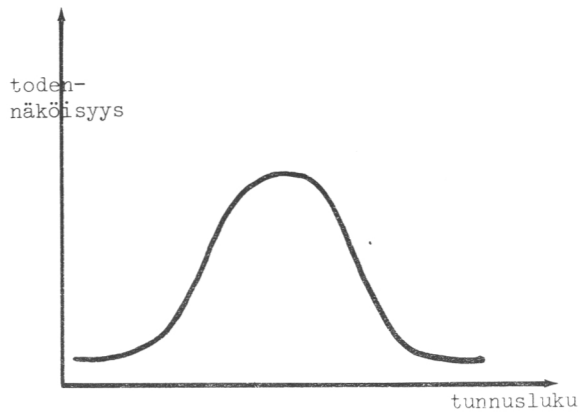
## 2. Otantateoriasta

Kuten johdannossa hahmoteltiin, otantateoria pyrkii selvittämään miten tutkittavasta perusjoukosta voidaan tehdä päätelmä tutkimatta sitä kokonaan. Otantateoria sanoo miten osa perusjoukosta, otos, tulee valita ja miten otoksen tiedot voidaan yleistää perusjoukkoon. Tietyissä tilanteissa otantateoria antaa takeet siitä, että yleistykset ovat harhattomia, lisäksi se antaa yleistyksen luotettavuudelle.

Otannalla pyritään selvittämään yksinkertaisimmillaan yksilöiden kokonaismäärä, eri muuttujien keskiarvot ja totaalit tai tietyn tyyppisten yksilöiden suhteellinen osuus. Monimutkaisempia ovat kysymykset esimerkiksi kuoren keskimääräisestä paksuudesta eri läpimitan arvoilla tai puun keskimääräisestä kuutiomäärästä eri läpimitta-, kapenemis- ja pituusluokissa. Tällöin määritetään usein regressiomalleja kuten kuori- ja kuutiointiyhtälöitä, jotka kuvaavat keskimääräistä asian tilaa perusjoukossa. Edellisen kappaleen viimeinen regressiomalli oli esimerkki tämän tyyppisestä keskiarvoa kuvaavasta yhtälöstä.

Otantaongelmissa mielenkiinnon kohteena ovat vain koko- tai määrätunnukset perusjoukossa. Otantateorian piiriin kuuluvissa ongelmissa ei esimerkiksi tutkita ilmiöiden syy-seuraussuhteita. Näiden suhteen teoria on tunteeton.

Otantateorian perusidea on sängen yksinkertainen. Kun perusjoukosta poimitaan annetun kokoinen otos, tulee poimintaprosessin olla sellainen, että kaikkien mahdollisten otosten poimintatodennäköisyydet ovat ennalta laskettavissa. Koska kutakin mahdollista otosta vastaa tietty mielenkiinnon kohteena olevan tunnusluvun arvo, esimerkiksi keskiarvo tai kokonaismäärä, määrää poimintaprosessi todennäköisyyden myös tunnusluvun eri arvoille. Näin poimintaprosessi määrää tunnusluvuille todennäköisyysjakauman.



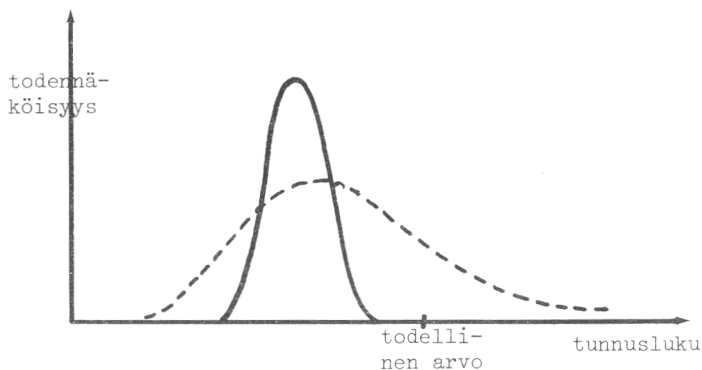
Tästä jakaumasta saadaan eri otoksista laskettujen tunnuslukujen odotusarvo ja hajonta. Tavoitteena on tavallisesti, että tunnuslukujen odotusarvo yhtyy perusjoukon todelliseen arvoon, jolloin otantaproseduuri on harhaton. Toisena tavoitteena on, että tunnuslukujen hajonta olisi mahdollisimman pieni. Tällöin valituiksi tulleesta otoksesta laskettu tunnusluku olisi suurella todennäköisyydellä lähellä oikeaa arvoa. Eräs otantateorian perustehtävä onkin kehittää otantaproseduureja, jotka tuottaisivat mahdollisimman pienen tunnuslukujen hajonnan ja lisäksi proseduuri olisi mahdollisimman harhaton.

Jotta otantateorian perusidea otosten poimintatodennäköisyyksien laskettavuudesta voisi toteutua, liittyy otantaprosessiin satunnaistaminen. Yksinkertaisimmillaan satunnaistaminen on

yksinkertaisessa satunnaisotannassa, jossa kullakin perusjoukon alkiolla on yhtäläinen todennäköisyys, tulla poimituksi otokseen. Tosin yksinkertaista satunnaisotantaa käytetään käytännössä suhteellisen harvoin, sillä se on usein kallis toteuttaa. Lisäksi se ei ole kovinkaan tehokas, menettelyllä saatavista otoksista laskettujen tunnuslukujen hajonta on suuri.

Tarkastellaan seuraavaksi kysymystä ns. harkintänäytteestä ja mitä voidaan sanoa sen käyttämisestä. Harkintänäytteeseen valitaan perusjoukon yksilöt esimerkiksi tyypillisyyden tai helpon tavoitettavuuden perusteella. Ongelmana harkintänäytteissä on, että niistä lasketuista tunnusluvuista ei voida sanoa kovinkaan paljoa, tunnuslukujen harhaisuutta ei voida ennustaa eikä niiden jakauman hajontaa laskea. Tilastomatematiikka ei anna mittaa niiden luotettavuudelle.

Otetaan esimerkiksi harkintänäyte, jossa valinta on tapahtunut yksilöiden tyypillisyyden perusteella. Jos ajatellaan, että sama valitsija suorittaisi useita toisistaan riippumattomia poimintoja, voisivat näytteistä lasketut tunnusluvut jakautua esimerkiksi seuraavalla jatkuvan viivan osoittamalla tavalla.



Jos näytteiden sijasta olisi poimittu satunnaisotos, voisi harhatonta poimintaproseduuria vastaava tunnuslukujen jakauma olla katkoviivan mukainen. Tässä esimerkissä harkintänäytteen voidaan katsoa epäonnistuneen, vaikka se ilmeisesti on onnistunut tavoitteessaan valita tyypillisiä yksilöitä näytteeseen. Näytteistä lasketut tunnusluvut kuten keskiarvot ja kokonaisu-määrät ovat ehkä suurestikin harhaisia. Esimerkki osoittaa, että harkintänäytteen käyttöön on suhtauduttava varovaisesti. Näytteen käytössä piilevä vaara on sitä suurempi, mitä epä-säännöllisempää vaihtelua on perusjoukossa ja mitä huonommin se tunnetaan.

Vielä vähemmän kuin tyypillisyyteen perustuvasta harkintänäyt-teestä voidaan sanoa näytteestä, jossa valintakriteerinä on yksilöiden helppo tavoitettavuus: Tälllaisten näytteiden tulos-ten yleistettävyydelle saadaan perusteet korkeintaan selvittä-mällä erikseen miten näytteen alkiot suhtautuvat koko perusjouk-koon. Tämä vaatii joka tapauksessa otantaa ja saattaa tulla kalliimmaksi kuin alunperin suoritettu otanta olisi tullut. Tutkimuksen halpuus ei ole puolustus tutkimuksessa esiintyvill-le heikkouksille. Toisaalta otantateoria antaa kyllä ohjeet mahdollisimman luotettavan tuloksen saavuttamiseksi annetun budjetin puitteissa.

### 3. Peräkaneetti

Edellä on pyritty selventämään toisaalta tilastolliseen päätte-lyyn liittyvän teorian ja toisaalta otantateorian perusideoita. Tarkastellaan tältä pohjalta lopuksi erästä näkökohtaa tutkimus-ongelman asettamisessa.

Otantateoriassa oli keskeistä perusjoukon määrittäminen, tutki-muksen kohteen raja-s. Tutkimustyössä keskeistä tulisi olla testattavan teorian pohjalta laadittavan tutkimushypoteesin

määrittely. Käytännössä tämä merkitsee, että tutkimusongelmat tulisi eksplisiittisesti esittää hypoteesin muodossa. Ennen käytännön tutkimustyön aloittamista tulisi tutkittavasta tai vastaavasta ongelmasta olevan aikaisemman tietämyksen pohjalta pyrkiä luomaan teoria ja siitä johtaa testattava hypoteesi.

Tutkimuksen asettelu ei saisi jäädä passiiviseksi todellisuutta kuvailevaksi kuten tilanteessa, jossa kokeillaan enemmän tai vähemmän sattumanvaraisesti valittuja käsittelyjä ja toivotaan, että jokin käsittely osoittautuisi positiiviseksi. Tutkimusotteen tulisi olla aktiivinen aikaisemman tietämyksen pohjalta todellisuuteen kantaaottava. Kaikilla tutkijoilla lieneekin tällainen ajattelutapa implisiittisesti mielessä, vaikka hypoteesia ei aina eksplisiittisesti asetetakaan. Kuitenkin hypoteesin nimenomainen kirjaaminen edesauttaisi tutkimusta eri vaiheissa. Esimerkiksi se toimisi ohjenuorana koejärjestelyissä ja aineistojen keräämisessä sekä auttaisi tutkittavien seikkojen rajaamisessa.

Tutkimus rakentuisi tällöin selvästi aikaisemman tietämyksen varaan ja kumoamaton hypoteesi jäisi automaattisesti osaksi kehitettyä teoriaa. Tutkimustyön tulisikin olla hypoteesi hypoteesilta rakentuvaa palapeliä, jossa kertynyt teoria näyttää suunnan mihin edetään.

Risto Sievänen

#### DYNAAMISISTA MALLEISTA

Dynaamiseksi voidaan sanoa mallia, jonka muuttujat riippuvat ajasta l. aika voidaan ajatella riippumattomaksi muuttujaksi. Dynaamisia malleja on järkevää käyttää silloin, kun tutkimuskohteen ajassa muuttuva luonne on olennainen huomioon otettava asia. Dynaamisten mallien joukko on hyvin laaja ja niiden sovellutuskohteet moninaiset, joten yksinkertainen mallien ja käyttömahdollisuuksien luonnehdinta on mahdoton.

Yleensä dynaamisen mallin käsitteeseen liitetään monimutkaisuus - monia muuttujia ja monimutkaiset riippuvuudet, mutta dynaaminen malli voi olla myös yksinkertainen yllä esitetyn määritelmän hengessä. On kyllä totta, että useimmiten dynaamisia malleja sovelletaan tutkimuskohteisiin, joita luonnehtii se, että niiden toimintamekanismit ja reagointitapa ulkoisiin tekijöihin muuttuvat ajan mukana, mikä saa toiminnan tuntumaan monimutkaiselta. Seuraavassa tarkastellaan muutamia dynaamisten mallien soveltamisen piirteitä ja mahdollisuuksia lähinnä kasvien ja kasvustojen tutkimisessa. Lähtökohtana ovat ns. kasvustojen simulointimallit.

#### Taustaa

Kasvien ja kasvustojen tutkimuksessa dynaamisten mallien käytön eräs vaihe alkoi 60-luvun loppupuolella. Ryhdyttiin laatimaan fysiologisten prosessien tuntemukseen perustuvia kasvien ja kasvustojen simulointimalleja esim. WIT ym. (1970). Siihen lienee vaikuttanut toisaalta se, että

tutkimus oli tuottanut paljon tietoa, jota oli vaikea koota kokonaisuudeksi ja toisaalta se, että digitaalinen simulointitekniikka alkoi olla kaikkien ulottuvilla.

Fysiologiseen tietämykseen perustuvat mallit tulevat auttamattomasti niin monimutkaisiksi, että niiden analyytinen ratkaisu on mahdoton, mutta tietokoneiden avulla voidaan hallita ja käyttää monimutkaisiakin malleja.

Laajojen mallien avulla voidaan tehdä uudentyyppisiä kysymyksenasetteluita (esim. toimintojen välisten kytkentöjen tutkiminen), joihin aikaisemmin oli hankala päästä. Useimmat em:n tyyppiset mallit kuvaavat fotosynteesin ja kasvun välistä riippuvuutta ja monet niistä on laadittu maatalouskasvustoille.

Malli on työväline

Mallia ei voi erottaa käyttötarkoituksestaan. Ei siis ole olemassa mallia sinänsä vaan käyttäjälle malli yhdistyy tarkastelukulmasta, josta ilmiötä katsotaan, ja tähän liittyvästä matemaattisesta kuvailusta. Mitä mallista halutaan ulos määrää pitkälle käytetyt matemaattiset menetelmät.

Kun pidetään mielessä nämä toteutettavan mallin eri puolet, tulee selvästi havaituksi, että mallien soveltaminen on täysin alisteista tarkoitukselle so. erityistieteen kysymyksenasettelulle.

Dynaamisten mallien käytössä voidaan karkeasti erotella kaksi käyttötarkoitusta: ohjauksen toteuttaminen ja tutkimuksen apuvälineenä toimiminen.

Ohjausmallilla pyritään ennakoimaan jonkin kohteen toimintaa, jotta voitaisiin valita sopivia toimenpiteitä. Ohjausmalliksi sopivat tietenkin kaikki hyvät mallit. Yleensä ohjaukseen



sovellettavat mallit pyritään tekemään mahdollisimman yksinkertaisiksi, eikä olla tarkkoja siitä, onko mallin rakenne teoreettisesti perusteltu.

Tutkimuksen apuvälineenä dynaamisia malleja voidaan käyttää kvantitatiiviseen hypoteesien testaukseen. Kun on ensin tehty matemaattisessa muodossa teoreettisesti perusteltuja hypoteesejä tutkimuskohteesta, voidaan simulointikieltä käyttäen ohjelmoida niistä kokonaismalli. Haluttaessa voidaan mallilla laskea kvantitatiivisia vastauksia kokonaisuuden toiminnasta, joista voidaan päätellä tehtyjen hypoteesien oikeellisuudesta. Edelleen dynaamisten mallien käytöstä tutkimuksen apuvälineenä voidaan nähdä olevan mm. seuraavia hyötyjä vrt. THORNLEY (1976), HOLMBERG ym. (1979):

- (i) Malli kokoaa olemassaolevan tiedon järkeväksi kokonaisuudeksi.
- (ii) Mallin laadinta osoittaa puutteita yksityiskohtia koskevilla tiedoilla, ja ohjaa näin tutkimusta ja kokeiden suunnittelua.  
Mallin avulla voidaan mittaukset yleensä hyödyntää tehokkaasti.
- (iii) Mallin muodossa olevaa tietoa voidaan helposti soveltaa ohjauksen toteuttamiseen ja päätöksenteon apuna.

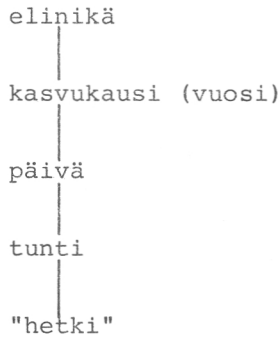
#### Simulointimetodi

Simulointimetodiksi voidaan kutsua dynaamisten mallien laadintaa ja niiden ominaisuuksien tutkimista tietokonetta apuna käyttäen.

Useimmiten ominaisuuksien tutkiminen tarkoittaa numeeristen tulosten laskemista mallilla so. simulointia. Jos malli on

riittävän hyvä, voidaan tulosten tulkita kuvaavan tutkimuskohdetta. On mahdollista tutkia myös mallin ominaisuuksia yleisimminkin, esim. herkkyys joillekin parametreille, ja tehdä niistä taas johtopäätöksiä tutkimuskohteesta.

Eräs mahdollisuus hahmottaa dynaamisten mallien käyttömahdollisuuksia kasvien ja kasvustojen tutkimuksessa vrt. DE WIT (1970) on tarkastella niissä esiintyviä ajallisen vaihtelun tasoja. Esimerkiksi metsää koskevassa tiedossa voidaan eritellä monta ajallisen vaihtelun hierarkiatasoa, jotka voidaan esittää kuvan 1 mukaan, jossa "hetki" voidaan edelleen jakaa pienempiin osiin.



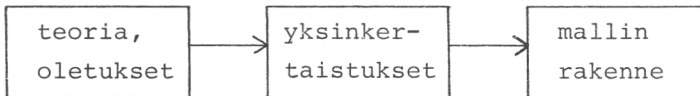
Kuva 1.

Jokaiseen aikatasoon liittyvät erilaiset prosessit ja erityyppinen tieto. Esimerkiksi biokemia tutkii ilmiöitä, joissa muutokset tapahtuvat huomattavasti nopeammin kuin ekologian tutkimuskohteissa. Dynaamisen mallin avulla voidaan yhtä (tai kahta) selittävää hierarkiatasoa koskevat tiedot yhdistää tiedoksi ylemmällä eli selitettävällä hierarkiataasolla tapahtuvasta toiminnasta. Näin voidaan testata selittävää hierarkiatasoa koskevia hypoteeseja ja saadaa tietoa sen prosessien välisistä kytkennöistä sen lisäksi, että malli tuo tietoa selitettävästä tasosta.

Jos esimerkiksi ollaan kiinnostuneita metsän elinikäisestä kehityksestä, riittänee selittäväksi tasoksi kasvukausi, jolloin malli voisi koskea yhden kasvukauden kasvun riippuvuutta eri tekijöistä. Jos eliniän tasolla malli ei anna tyydyttäviä tuloksia, on tutkittava missä kohdassa kasvukauden riippuvuus on epätyytyttävä. Supermalli, joka pitää sisällään kaikki tiedon tasot on käytännössä mahdoton.

#### Dynaamisen mallin laadinnasta

Kaikkien mallien laadinnassa toteutuu joko tietoisesti tai tiedostamattomasti seuraava päättelyketju (kuva 2):



Kuva 2.

Kaikissa malleissa on tehtävä yksinkertaistuksia, koska kaikkea ei voida ottaa malliin mukaan. Juuri yksinkertaistusten tekeminen on tärkeä vaihe mallinrakennuksessa. Siinä päätetään, mitkä tekijät ovat tärkeitä, so. annetaan teoreettisille oletuksille matemaattinen muoto. On selvää, että se on tärkeä vaihe mallin laadinnassa. Se mitä mallissa on mukana määrää tietenkin pitkälle sen ominaisuudet ja käyttömahdollisuudet.

Dynaamisten mallien matemaattiset esitykset voivat olla hyvin erilaisia. Monet ovat seuraavaa muotoa (tai saatettavissa siihen): on valittu tilamuuttujat  $x_1, \dots, x_n$ , jotka kuvaavat tutkimuskohteen tarpeisiimme riittävän hyvin, on määritelty vaikuttavat ulkoiset tekijät (inputit), joita kuvataan muuttujilla  $u_1, \dots, u_m$ , sekä on annettu yhtälöt, jotka ilmaisevat tilamuuttujien arvojen muutosnopeudet:

$$\frac{dx_1}{dt} = f_1 (x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_m)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = f_2 (x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_m) \quad (1)$$

⋮

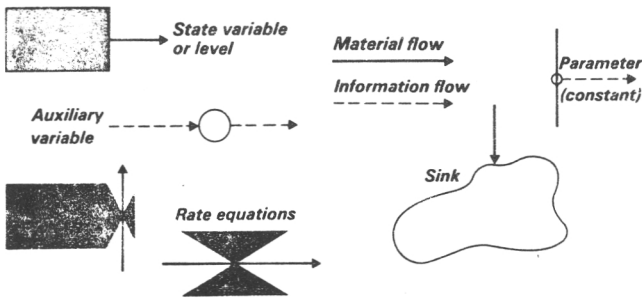
$$\frac{dx_n}{dt} = f_n (x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_m)$$

Yhtälöistä nähdään, että tilamuuttujien muutosnopeudet riippuvat vain systeemin tilasta ja ulkoisista tekijöistä; intuitiivisesti arvioituna hyvä kuvaus monimutkaiselle oliolle, se reagoi ympäristön ärsykkeisiin tilansa mukaan. Yksinkertaisen mallin metsää kuvaavina suureina voisivat esimerkiksi olla lehtien, oksien, rungon ja juurien määrät, sekä ulkoisina tekijöinä lämpötila ja säteilyn intensiteetti.

Dynaamisen mallin rakentamisen voidaan nähdä sisältävän sopivien objektia kuvaavien tilamuuttujien etsimisen, vaikuttavien ulkoisten tekijöiden arvioimisen ja yhtälöiden konstruoinnin tilamuuttujien muutosnopeuksille.

FORRESTER (1961) on esittänyt käyttökelpoisen menetelmän dynaamisen mallin laatimiseksi.

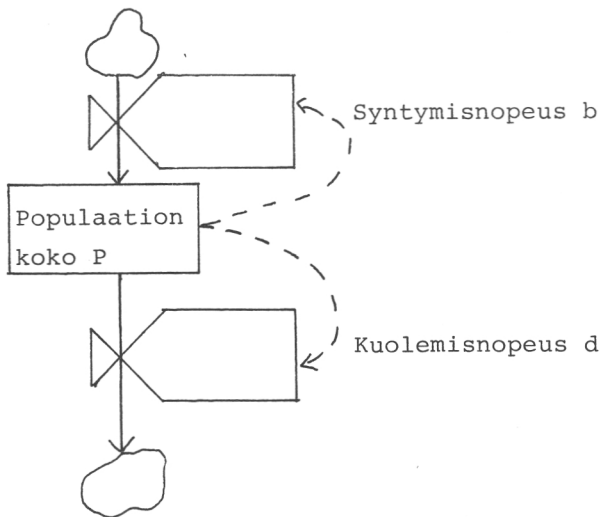
Siinä käytetään kuvan 3 mukaisia kaavioita.



Kuva 3.

Suorakaiteilla kuvataan mallin tilamuuttujia ("ainemääriä"), yhtenäisillä nuolilla "ainevirtoja varastosta toiseen", "venttiilit" säätelevät "ainevirtojen nopeuksia". Epämääräiset pilvet (sink) kuvaavat mallin ulkopuolelle jäänyttä maailmaa. Symboleilla pystytään epäilemättä parhaiten kuvaamaan ilmiöitä, joihin liittyy materiaalivirtoja, mutta tulkitsemalla vapaasti ko. käsitteitä voidaan soveltaa niitä varsin yleisesti.

Esimerkiksi populaation kasvulle voidaan tehdä kuvan 4 mukainen malli.



Kuva 4.

Syntymisen kautta tulee uusia yksilöitä populaatioon (tarkastelun piiriin) ja kuoleamisen kautta niitä poistuu. Kasvu- ja kuolemisnopeudet riippuvat populaation koosta. Kuvassa 4 on vain eräs mahdollinen esitys populaation kasvulle, esim. emigraatio tai immigraatio voitaisiin ottaa helposti huomioon piirtämällä lisää nuolia.

Kuvan 3 symbolien avulla laadituista kaavioista on melko helppo siirtyä yhtälön (1) mukaiseen tilaesitysmuotoon. Yleisesti voidaan kirjoittaa tilamuuttujalle ("ainemäärälle")

$$\text{muutosnopeus} = \text{sisäänvirtausnopeus} - \text{ulosvirtausnopeus}$$

eli summataan tulevat ja lähtevät "ainevirrat". Kuvan 4 populaation kasvumallien tapauksessa saadaan

$$\frac{dP}{dt} = b - c \quad (2)$$

Kun vielä määrätään "virtausnopeuksien"  $b$  ja  $d$  riippuvuudet eri tekijöistä, on malli valmis.

Kuvan 3 mukaisten symbolein avulla voidaan helposti laatia malleja, mutta on pidettävä mielessä, että ainemäärä-analogian avulla toimiva menetelmä saattaa rajoittaa ajattelua.

#### Viitteet

FORRESTER, J.W. 1961. Industrial dynamics.

The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts.

HOLMBERG, A., MÄKELÄ, A. ja SIEVÄNEN, R. 1979. Dynaamiset mallit kasviekologiassa. TKK, Systemiteorian laboratorio; Report C39.

THORNLEY, J.H.M. 1976. Mathematical models in plant physiology, Academic Press, Lontoo.

WIT, C.T. de 1970. Dynamic concepts in biology.

Kirjassa: Prediction and measurement of photosynthetic productivity, Proceedings of the IBP/PP Technical Meeting, Trebon 14-21 September 1969, Pudoc, Wageningen.

-, BROUWER; R. and PENNING de VRIES, F.W.T 1970.

The simulation of photosynthetic systems. Kirjassa: Prediction and measurement of photosynthetic productivity, Proceedings of the IBP/PP Technical Meeting, Trebon 14-21 September 1969, Pudoc, Wageningen.











