

Annika Kangas ja Antti Mäkinen

## Metsävaratiedon elinkaari

### Mitä on tiedon arvo?

Metsäsuunnittelun tehtävänä on helpottaa metsänomistajien päätöksiä metsiensä tulevista käsittelyistä, kuten hakkuista ja metsänhoitotoimenpiteistä. Päätöksiin liittyy kuitenkin aina epävarmuutta siitä, mikä on kunkin metsikön todellinen tila hakkuuhetkellä verrattuna suunnitelman arviointiin. Tämä epävarmuus tulee pääosin kahdesta eri lähteestä: metsien nykytilaa kuvaavan inventoinnin epävarmuudesta sekä metsien tulevaa kehitystä kuvaavien kasvu- ja tuotosmallien epävarmuudesta. Lisäksi tuleviin tuottoihin syntyy epävarmuutta esimerkiksi eri puutavaralajien hintojen epävarmuudesta. Epävarmuuden vallitessa päätöksentekijä voi joko pyrkiä optimaalisiin päätöksiin käytettävissä olevalla informaatiolla, tai vähentää epävarmuutta hankkimalla parempaa informaatiota, eli metsäsuunnittelun näkökulmasta hankkia tuoreempaa ja luotettavampaa metsävaratietoa.

Tiedon arvo päätöksenteossa voidaankin määrittellä tehtävien päätösten tuottaman hyödyn odotusarvon erotuksena tilanteessa, jossa uutta informaatiota ei ole käytössä ja tilanteessa, jossa se on käytössä. Tiedolla on siis arvoa silloin, kun sen avulla voidaan tehdä parempia, eli enemmän hyötyä tuottavia päätöksiä. Yleisesti tätä hyötyä kuvataan metsien tuottamien nettotulojen nykyarvolla, jolloin voidaan laskea suoraan tiedon rahallinen arvo. Metsätaloudessa tiedon rahallista arvoa on arvioitu vain harvoin, mutta joitakin esimerkkejä on olemassa.

Tämä kirjoitus perustuu kolmeen Silva Fennicasa julkaistuun tutkimukseen. Pietilä ym. tutkivat

vuonna 2010 kasvuennusteiden virheiden vaikutusta epäoptimaalisuustappioihin. Kangas ym. tutkivat vuonna 2011 hakkuupäätösten herkkyyttä metsikkötietojen virheellisyyteen ja Mäkinen ym. tutkivat vuonna 2012 kustannus-plus-tappio-menetelmällä metsän inventointivälin ja inventoinnin tarkkuuden optimaalisuutta. Näistä tutkimuksista löytyy myös lisää aihepiiriä käsittelevää kirjallisuutta.

### Kustannus-tappio-menetelmä

Tiedon arvo päätöksenteossa voidaan ottaa huomioon jo tiedonkeruuta suunniteltaessa, huomioimalla epävarman informaation aiheuttamat epäoptimaalisuustappiot. Epäoptimaalisuustappiot syntyvät siitä, että käytössä olevan tiedon perusteella päätetty toimenpide tai sen ajoitus ei ole sama kuin optimaalinen toimenpide tai optimaalinen ajoitus. Tiedon arvo voidaan määrittellä epäoptimaalisuustappioiden vähennyksenä, joka uuden informaation avustuksella saavutetaan.

Mikäli päätetty toimenpide tai sen ajoitus ei muutu, ei myöskään synny tappioita. Jotta epävarmuudella olisi taloudellista merkitystä, sen täytyy siis olla riittävän merkittävää vaikuttaakseen toimenpiteiden valintaan ja ajoitukseen. Päätökset voivat vaihtua kuitenkin jo melko vähäisen epävarmuuden vuoksi: esimerkiksi harvennuksen ajoitus poikkeaa suurella todennäköisyydellä enemmän kuin  $\pm 3$  vuotta Tapion Hyvän metsänhoidon suositusten mukaisesti, jos pohjapinta-alassa on enemmän kuin 10% virhe suuntaan tai toiseen. Toisaalta, jos metsikkö

on harva ja keskilämpimitta on suuri, suurikaan keskilämpimittan arviointivirhe ei vaikuta päätehakkuun ajoitukseen enempää kuin  $\pm 2$  vuotta.

Metsätaloudessa optimaalinen inventointimenetelmä voidaan valita ns. kustannus-plus-tappio-menetelmällä (cost-plus-loss). Tässä menetelmässä inventoinnin suorien kustannusten lisäksi huomioidaan epäoptimaalisista päätöksistä aiheutuvat epäsuorat tappiot. Kustannus-plus-tappio-menetelmällä on tehty useita analyysejä eri pohjoismaissa ja Pohjois-Amerikassa. Niissä epäoptimaalisten toimenpiteiden kustannukset päätöksentekijälle ovat vaihdelleet runsaasti, mutta ne ovat kuitenkin usein moninkertaiset verrattuina inventoinnin suoriin kustannuksiin. Runsa vaihtelu johtuu vaihteluista tehdyissä oletuksissa: mitä ajanjaksoa tarkastellaan, millaista aluetta tarkastellaan ja mitä päätöksiä tarkastellaan. Lisäksi kustannuksiin selkeästi vaikuttaa se, mitä lähtötietoja käytetty kasvumalli käyttää – Norjalaisen Eidin vuonna 2000 tekemästä tutkimuksesta voi päätellä, että millään muulla tiedolla kuin kasvumallin lähtötietona olevalla tiedolla ei ole suunnittelujärjestelmän esittämien päätöksien kannalta arvoa.

## Tiedon elinkaari

Useimmissa tähän asti tehdyissä kustannus-plus-tappio-laskelmissa on oletettu, että tiedon laatu pysyy samana koko tarkastellun suunnitteluperiodin ajan, eli kymmenestä jopa sataan vuoteen. Kaikki metsiä koskevia päätöksiä tehneet kuitenkin tietävät, että tuore metsävaratieto on laadukkaampaa kuin vaikkapa vain 5 vuotta vanha tieto. Käytännössä inventointivälinä on pidetty noin 10–15 vuotta, mutta tutkimusta siitä, mikä olisi optimaalinen inventointiväli, ei ole juurikaan tehty.

Suomessa metsien kehitystä ennustetaan yleensä viiden vuoden jaksoissa, ja uuden jakson ennusteet perustuvat edellisen jakson ennustettuun lopputilanteeseen. Näin ennustamisessa tapahtuvat virheet kertautuvat ajan mittaan, ja ennusteiden laatu heikkenee koko ajan. Myös ennustamisvirheiden aiheuttamat epäoptimaalisuustappiot kasvavat ennustusperiodin piteuden kasvaessa.

Pietilä ym. (2010) vertasivat 60 vuoden ajanjaksolla 5, 10, 15, 20, 30 ja 60 vuoden inventointiväliä. Tutkimusta varten metsiköiden piteuden ja pohja-

**Taulukko 1.** Kasvumallien virheen aiheuttamat keskimääräiset epäoptimaalisuustappiot (€/ha, %) eri pituisilla inventointiväleillä. Pietilä ym. 2010.

Inventointiväli	€/ha	%
5	229,6	3,3
10	341,3	4,5
15	392,8	5,7
20	685,0	9,1
30	768,3	10,4
60	859,6	11,6

pinta-alan kasvuennusteiden virheiden oletettiin olevan samalla tasolla kuin on havaittu Haaran ja Leskisen kasvumallien luotettavuutta koskevissa tutkimuksissa. Tällä virhetasolla simuloitiin 100 skenaariota metsien virheellisesti ennustetusta kehityksestä ja verrattiin niiden perusteella tehtyjä hakkuupäätöksiä mallien ennustaman ”todellisen” kasvun perusteella tehtyihin päätöksiin. Lyhyimmällä inventointivälillä kasvuennusteiden virheiden aiheuttamat epäoptimaalisuustappiot 60 vuoden aikana olivat keskimäärin 229,6 €/ha, ja mikäli 60 vuoden jaksolla tehtiin vain yksi inventointi, tappiot nousivat jopa 859,6 euroon hehtaarilla (taulukko 1).

Mainitussa tutkimuksessa oletettiin, että uusi inventointitieto on paitsi virheetöntä, myös ilmaista. Tällöin olisi kannattavinta tehdä uusi inventointi 5 vuoden välein. Todellisessa tilanteessa myös inventointitiedon virheet ja tiedonkeruun kustannukset pitää ottaa huomioon.

Inventointitiedon keruun pitäisi olla sitä kannattavampaa, mitä enemmän päätöksiä sen avulla voidaan tehdä. Toisin sanoen, mitä kauemmin tietoa voidaan käyttää, sitä arvokkaampaa se on. Toisaalta, koska tiedon laatu heikkenee kasvuennusteiden virheiden vuoksi jatkuvasti, jossakin vaiheessa tulee eteen vaihe, jossa on kannattavampaa mitata uusi metsävaratieto kuin käyttää vanhaa. Tämä on tiedon optimaalinen elinkaari.

Metsävaratiedon optimaalinen elinkaari riippuu sekä inventointitiedon tarkkuudesta, inventoinnin kustannuksista että käytettyjen kasvu- ja tuotosmallien luotettavuudesta. Mäkinen ym. (2012) jatkoivat Pietilän ym. (2010) tutkimusta lisäämällä mukaan sekä inventointitiedon virheet että tiedonkeruun kustannukset. Tutkimuksessa oletettiin aluksi, että

**Taulukko 2.** Keskimääräiset epäoptimaalisuustappiot €/ha eri inventointiväleillä (n) ja inventoinnin tarkkuustasoilla (RMSE) (Mäkinen ym. 2012).

RMSE %	5	10	n 15	20	30
0	-188,06	-250,27	-293,58	-374,22	-419,97
5	-208,68	-271,99	-300,03	-391,76	-466,04
10	-307,00	-339,10	-358,63	-427,79	-482,92
15	-399,74	-442,84	-461,65	-497,41	-559,66
20	-509,14	-531,66	-588,60	-594,21	-625,22
25	-591,25	-638,53	-653,70	-694,32	-695,25

metsikön keskipituus ja pohjapinta-ala voidaan arvioida 0%, 5%, 10%, 15%, 20% tai 25% tarkkuudella (RMSE:n eli keskineliövirheen neliöjuuren oletettiin olevan tällä tasolla).

Kun yhdistettiin inventointiväli ja inventoinnin tarkkuus, saatiin yhteensä 30 arviota keskimääräisistä tappioista 30 vuoden suunnittelujaksolla (taulukko 2)

Tuloksista nähdään, että jos inventointiväli on pitkä (30 vuotta), tiedon tarkkuuden paranemisen 25% RMSE:stä 0% RMSE:hen arvo on päätöksentekijälle 275 €/ha (tappiot pienenevät 695:stä 419:ään). Lyhyellä inventointivälillä vastaava arvo on 403€/ha, eli lyhyellä inventointivälillä tiedon tarkkuuden parantamisesta on enemmän hyötyä. Vastaavasti epätarkalla lähtötiedolla (RMSE 25%) inventointivälin lyhentämisen arvo 30 vuodesta 5 vuoteen on päätöksentekijälle 104 €/ha ja virheettömällä lähtötiedolla vastaava arvo on 232 €/ha. Jotta inventointivälin lyhentäminen olisi kannattavaa, ensin mainitussa tapauksessa yksi lisäinventointi saa maksaa enintään 20 €/ha, ja viimeksi mainitussa tapauksessa 46 €/ha. Inventointivälin lyhentämisestä on siis sitä enemmän hyötyä, mitä tarkempaa lähtötieto on. Jos yksi inventointi maksaa esimerkiksi 16 €/ha, kaikilla muilla virhetasoilla optimaalinen inventointiväli on 5 vuotta, paitsi virhetasolla 20%. Tällä virhetasolla optimaalinen inventointiväli on 10 vuotta. Tämä poikkeama johtunee tarkasteltavan alueen ominaisuuksista.

Inventointikustannukset eivät todellisuudessa ole riippumattomat inventoinnin tarkkuudesta. Jos oletetaan, että epätarkin inventointi maksaa 8€/ha,

**Taulukko 3.** Keskimääräiset inventointikustannukset + epäoptimaalisuustappiot €/ha eri inventointiväleillä (n) ja inventoinnin tarkkuustasoilla (RMSE) (Mäkinen ym. 2012).

RMSE %	5	10	n 15	20	30
0	-1575,7	-995,3	-825,9	-878,0	-744,2
5	-1017,7	-706,3	-610,4	-685,4	-655,1
10	-718,6	-560,1	<b>-516,5</b>	-577,2	-579,1
15	-570,9	-534,7	-527,3	-559,6	-599,7
20	-567,6	-563,0	-611,0	-615,4	-638,9
25	-625,5	-656,9	-666,8	-706,7	-703,3

ja inventoinnin tarkentaminen aiheuttaa lisäkustannuksia siten, että 20% tarkkuus maksaa 14 €/ha, 15% tarkkuus 40 €/ha, 10% tarkkuus 96 €/ha, 5% tarkkuus 189 €/ha ja virheetön inventointi 324 €/ha, voidaan samalla kertaa päättää sekä optimaalinen lähtötiedon tarkkuus että inventointiväli. Esitettyjen kustannusten tapauksessa se on 10% RMSE ja 15 vuoden inventointiväli (taulukko 3).

Optimaalinen inventointiväli sekä inventointitarkkuus riippuvat myös kasvumallin tarkkuudesta. Jos yo. esimerkin kasvumallin luotettavuutta saadaan parannettua kolmanneksella esimerkiksi kalibroimalla malli kuhunkin metsikköön sopivaksi, optimaalinen inventointitarkkuus on 15%. Silti kustannus-plus-tappio on tällöin 85 €/ha pienempi kuin yo. taulukossa. Samalla 10% tarkkuustasollakin kustannus-plus-tappio vähenee 75 €/ha. Tämä on kasvumallin kalibroinnin arvo päätöksentekijälle.

## Päätelmät

Yleensä inventointitietoa tarkastellaan erillisenä suunnittelujärjestelmästä ja pyritään mahdollisimman edulliseen inventointitietoon, joka täyttää asetetut standardit. Kasvu- ja tuotostutkimus ja metsäinventointi nähdään täysin erillisinä metsätieteen alueina. Inventointi, suunnittelu ja kasvu- ja tuotostutkimus linkittyvät kuitenkin hyvin suoraviivaisesti metsiä koskevan päätöksenteon kautta. Kaiken tiedonkeruun, mallinnuksen ja tietojärjestelmien yhteisenä päämääränä voidaan nähdä hyvät metsien käsittelyä koskevat päätökset.

Päätöksentekijän näkökulmasta yhteys kasvuennusteiden, metsävaratiedon ja päätösten välillä näkyy siinä, että päätösten tasoa voidaan parantaa joko kasvuennusteita parantamalla tai inventoinnin lähtötietoja parantamalla. Kumpi lähestymistapa on kannattavampi, riippuu inventoinnin ja kasvumallin kalibroinnin suhteellisista kustannuksista. Yksi tapa vähentää inventoinnin kustannuksia on pidentää inventointiväliä, mutta ilman kasvavia epäoptimaalisuustappioita se onnistuu vain kasvumallien luotettavuutta parantamalla.

Esitetyt tulokset ovat hypoteettisia siinä mielessä, että ei ole olemassa inventointimenetelmää, joka tuottaisi pohjapinta-alalle ja keskipituudelle täsmälleen saman virheen, kuten nyt oletettiin. Myös inventointien kustannukset ovat hypoteettisia. Todellinen optimi-inventointimenetelmä saadaan ratkaistua vasta, kun tarkasteltavana ovat eri menetelmien todelliset virhe- ja kustannusrakenteet. Optimaalinen inventointiväli ja inventointitarkkuus asettui mainituissa tutkimuksissa kuitenkin monenlaisilla kustannusoletuksilla 10–15% RMSE:n ja 10–15 vuoden inventointivälin tasolle.

## Kirjallisuutta

- Eid, T. 2000. Use of uncertain inventory data in forestry scenario models and consequential incorrect harvest decisions. *Silva Fennica* 34(2): 89–100.
- Haara, A. & Leskinen, P. 2009. The assessment of the uncertainty of updated stand-level inventory data. *Silva Fennica* 43(1): 87–112.
- Kangas, A. 2010. Value of forest information. *European Journal of Forest Research* 129: 863–874.
- Kangas, A., Mehtätalo, L., Mäkinen, A. & Vanhatalo, K. 2011. Sensitivity of harvest decisions to errors in stand characteristics. *Silva Fennica* 45: 693–709.
- Mäkinen, A., Kangas, A. & Nurmi, M. 2012. Using cost-plus-loss analysis to define optimal forest inventory interval and forest inventory accuracy. *Silva Fennica* 46(2). (Painossa).
- Pietilä, I., Kangas, A., Mäkinen, A. & Mehtätalo, L. 2010. Influence of growth prediction errors on the expected losses from forest decisions. *Silva Fennica* 44(5): 829–843.

■ Prof. Annika Kangas, Helsingin yliopisto, Metsätieteiden laitos, Helsinki; MMT Antti Mäkinen, Simosol Oy, Riihimäki  
Sähköposti [annika.kangas@helsinki.fi](mailto:annika.kangas@helsinki.fi)