

Timo Pukkala

## Riski ja epävarmuus metsäsuunnittelussa

Mistä on kysymys?

Metsäsuunnittelun tehtävä on selvittää vaihtoehtoisten metsänkäsittelypäästösten seuraukset. Pyrkimyksenä on löytää se päätös, jonka seuraukset ovat suotuisimmat. Metsäsuunnittelussa vertaillaan tulevaisuuden päätösvaihtoehtoja. Sitä varten tarvitaan ennustusta.

Ikävä kyllä päätösvaihtoehtojen seurauksia ei tiedetä tarkasti, minkä vuoksi niiden keskinäisestä paremmuusjärjestyksestäkään ei saada varmaa tietoa. Tämä johtuu siitä, että seurauksiin vaikuttavat monet kontrolloimattomat ympäristötekijät, jotka määräävät asiointilojen kehityksen. Esimerkkejä kontrolloimattomista tekijöistä ovat tuleva sää sekä puun hinta ja menekki.

Niitä suunnitelman hyvytteen vaikuttavia tekijöitä, jotka ovat päätöksentekijän kontrollissa, kutsutaan päätösmuuttujiksi. Päätösmuuttujia ovat esim. käsittelypinta-alat. Seurauksiltaan parhaassa vaihtoehdossa päätösmuuttujat ovat optimissa. Metsäsuunnittelussa on aina kyse optimoinnista, käytettiinpä siinä numeerisia optimointitekniikoita tai ei.

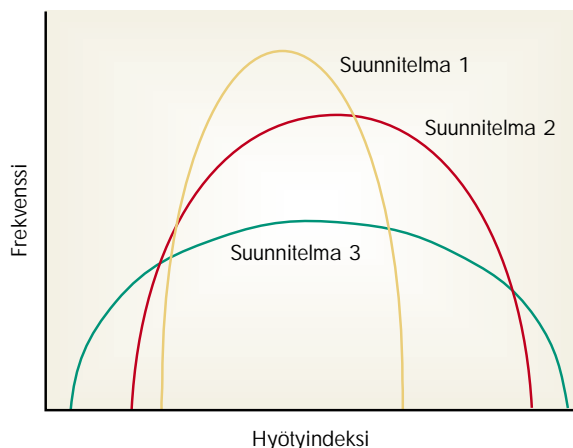
Ympäristötekijöiden kontrolloimattomuuden takia metsäsuunnitelmat tehdään riskin ja epävarmuuden vallitessa. Yleensä puhutaan riskistä silloin, kun eri asiointilojen todennäköisyys on tiedossa, ja epävarmuudesta, kun todennäköisyyttä ei tiedetä. Todennäköisyyksiä ei tiedetä käytännössä milloinkaan varmasti, mutta ne saatetaan kuitenkin arvioida, jolloin suunnitelmien vertaamisessa voidaan käyttää esim. tavoitemuuttujien odotusarvoja ja jakaumia. Koska

riskin ja epävarmuuden raja on liukuva ja tekninen, näitä käsitteitä käytetään tuonnempana lähes synonyymeinä.

Pitkän suunnitteluhorisontin takia epävarmuus on metsäsuunnittelussa erityisen suurta. Siitä huolimatta suunnittelulaskelmat on näihin saakka tehty ikään kuin tulevaisuus tunnettaisiin tarkasti. Tämä yksinkertaistaa laskelmia, mutta saattaa johtaa virhepäätelmiin ja vääriin päätösuositukseen: riskin ottaminen mukaan laskelmiin voi muuttaa käsitystä päätösvaihtoehtojen paremmuusjärjestystä (Pukkala ja Kangas 1996). Lisäksi se mahdollistaa päätöksentekijän riskiin suhtautumisen huomioon ottamisen; paras metsänkäsittely on erilainen riskejä karttavalle kuin niitä sietävälle metsänomistajalle (kuva 1). Riskien sisällyttämisellä laskelmiin voidaan myös pienentää systemaattisen ennustevirheen vaaraa. Lisäksi saadaan tietoa vaihtoehtojen välisten erojen merkitsevyydestä ja selvytydestä (kuva 2).

Metsäsuunnittelun virhelähteet ovat moninaiset; riskiä ja epävarmuutta aiheuttavat mm. inventointitiedot, tulevaisuuden asiointilat, päätöksentekijän preferenssit (mieltymykset) ja ennustuksessa käytettävät mallit. Inventointitiedot voivat sisältää otantavirhettä ja arvioijakohtaista systemaattista virhettä. Lähtötiedon virheet johtavat virheellisiin ennusteisiin ja sitä kautta vääriin päätelmiin. Ne metsiköt, joiden tilavuus on eniten yliarvioitu, suositellaan useimmin hakattaviksi liian aikaisin, ts. ennen optimaalista käsittelyajankohtaa.

Tulevaisuuden asiointilat määräytyvät mm. puun hinnan, kustannustason ja sään mukaan. Sää vaikuttaa puiden kasvuun ja kuolemiseen sekä metsän

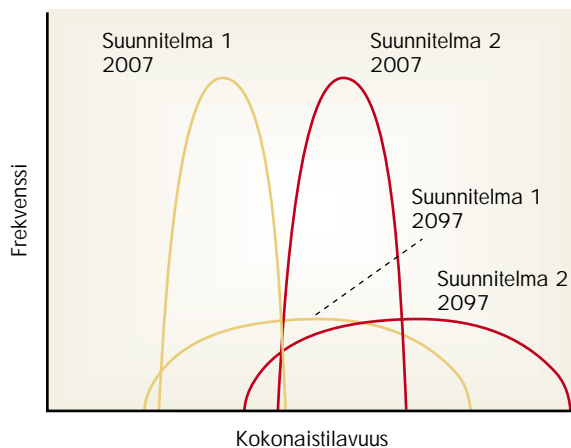


**Kuva 1.** Kolmen metsäsuunnitelman tuottama hyötöjakauma. Päätöksentekijän suhtautuminen riskiin vaikuttaa suunnitelman valintaan: riskin karttaja valitsee suunnitelman 1, riskineutraali suunnitelman 2 ja riskin suosija suunnitelman 3.

uudistumiseen. Puun hinta puolestaan vaikuttaa metsästä saataviin tuloihin, jotka yleensä ovat keskeinen kriteeri suunnitelmavaihtoehtoja verrattaessa.

Päätöksentekijän preferenssit ilmaisevat, kuinka päätöksentekijä, esim. metsänomistaja, arvostaa eri asioita nyt ja tulevaisuudessa, ja kuinka hän suhtautuu riskiin ja epävarmuuteen. Kysyttäessä päätöksentekijältä hänen mieltymyksiään hän on luultavasti ymmällä eikä osaa vastata kysymyksen täsmällisesti. Tietyillä tekniikoilla preferenssit voidaan kyllä estimoida, mutta tuloksiin sisältyy melkoisesti epävarmuutta. Huolellistenkaan analyysien jälkeen päätöksentekijän preferenssejä ei tunneta tarkasti. Tämä johtaa tilanteeseen, että suunnittelussa tähdätään lopputulokseen (suunnitelmaan), joka ei välttämättä vastaa sitä, mitä omistaja haluaa.

Tulevaisuuden ennustamisessa käytetään malleja, jotka sisältävät jäännösvirhettä ja harhaa. Harha saattaa muuttua esim. kasvuolojen tai metsikön ominaisuuksien mukaan. Mallien virheet kumuloituvat niitä toistuvasti käytettäessä. Mallit ovatkin mitä tärkein riskin lähde metsäsuunnittelussa niiden runsaan käytön ja pitkien ennustejaksojen vuoksi.



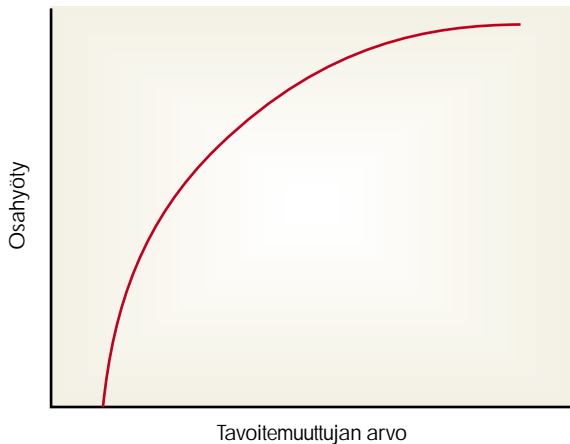
**Kuva 2.** Periaatekuva puuston tilavuusennusteesta kahdessa suunnitelmavaihtoehdossa 10 ja 100 vuoden kulluttua. Sadan vuoden päähän ulottuvaan ennusteeseen liittyy niin paljon epävarmuutta, että suunnitelmien ero ei ole merkitsevä (varma).

Miten pitäisi suunnitella?

Nykyisen ns. deterministisen metsäsuunnittelun vaihtoehdoksi on hahmoteltavissa laskenta- ja optimointimenetelmä, joka ottaa riskit mukaan analyysiin. Kysymyksessä on stokastinen optimointi skenaariotekniikalla. Optimoinnissa voidaan käyttää matemaattista ohjelmointia (esim. lineaarinen ohjelmointi) tai iteratiivisia menetelmiä. Hyötyteoreettisessa lähestymistavassa estimoidaan päätöksentekijän preferenssit, jotka puetaan eksplisiittisen hyötyfunktion muotoon. Optimointivaiheessa metsälle haetaan sellainen käsittelyohjelma, joka maksimoi hyötyfunktion, ts. tuottaa päätöksentekijälle suurimman hyödyn. Yleensä käytetään additiivista hyötyfunktiota, jonka estimoimiseksi on valmiita tekniikoita:

$$U = a_1u_1(q_1) + a_2u_2(q_2) \dots + a_nu_n(q_n)$$

missä  $U$  on suunnitelmavaihtoehdon toteuttamisesta saatava hyöty,  $a_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) on tavoitteen  $i$  tärkeys,  $q_i$  on tavoitemuuttujan  $i$  määrä kyseisessä suunnitelmavaihtoehdossa ja  $u_i$  on osahyötyfunktio, joka ilmoittaa, kuinka toivottavia (hyviä) eri määrät tavoitemuuttujaa ovat (kuva 3). Tavoite-



**Kuva 3.** Esimerkki osahyötyfunktioista, jotka kertoo, kuinka toivottavia eri määrät tavoitemuuttujaa ovat.

muuttujia voivat olla hakkuutulot, nettotulojen nykyarvo, metsälle lasketut maisema- ja monimuotoisuusindeksit eri ajankohtina jne.

Skenaariotekniikka tarkoittaa sitä, että riskiä ja epävarmuutta aiheuttaville tekijöille tuotetaan useita kehitysvaihtoehtoja. Tietyn suunnitelmaehdokkaan hyvyys lasketaan yhden sijasta monen eri skenaarion vallitessa. Hyötyteoreettisessa lähestymistavassa jokaiselle vertailtavalle suunnitelmalle saadaan monta hyötyindeksiä, jotka yhdessä muodostavat indeksin jakauman (kuva 1). Vaihtoehtoja vertailtaessa otetaan huomioon koko jakauma; se mahdollistaa mm. hyödyn odotusarvon laskemisen ja eri vaihtoehtoihin sisältyvän riskin arvioinnin (jakauman leveys ja muoto).

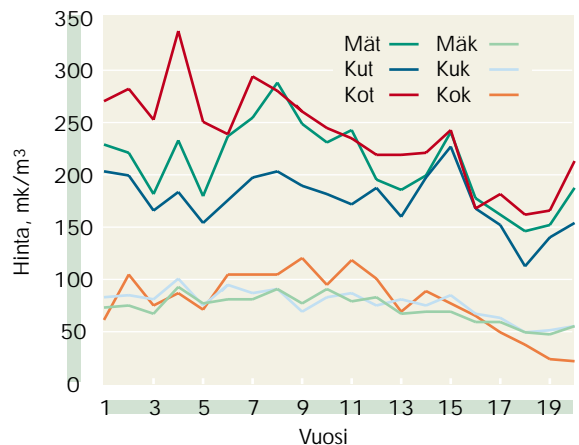
Skenaarioita voidaan tuottaa mm. puun hinnalle (kuva 4), kasvun tasolle, viljelyn ja luontaisen uudistumisen onnistumiselle ja puiden kuolemisenopeudelle, mutta myös preferensseille ja lähtötiedoille. Preferenssien skenaariot tarkoittavat sitä, että hyötyfunktion kertoimia varioidaan. Lähtötiedon skenaariot tuotetaan siten, että inventointitietoihin lisätään satunnaista ja systemaattista virhettä siten kuin niitä on havaittu esiintyvän eri arvioijien tuloksissa. Skenaarioita voidaan tuottaa stokastisten (satunnaisten) mallien realisaatioina (kuva 4) tai esim. poimimilla satunnaislukuja elossaolosadankesken jakaumasta metsän istutuksessa. Malleihin

liittyviä virheitä voidaan jäljitellä Monte Carlo-simuloinnilla.

Miten riski vaikuttaa?

Stokastinen optimointi skenaariotekniikalla saattaa kuulostaa monimutkaiselta, mutta se on kuitenkin teknisesti toteutettavissa milloin vain ja toteutettukin jo pari kertaa koemielessä (Pukkala ja Kangas 1996, Pukkala 1997). Käytön suurimpana esteenä on se, ettei kaikkien riskin lähteiden kuvaamiseksi ole empiiristä ja systemaattisesti analysoitua tietoa. Kunhan välineet skenaarioiden tuottamiseksi ovat kunnossa, menetelmä voidaan automatisoida, mikä vuoksi suunnittelu ei välttämättä ole nykyisten determinististen menetelmien käyttöä mutkallisempaa.

Stokastista optimointia on kokeiltu käyttämällä osin empiiristä ja osin oletettua tietoa riskin lähteistä. Kokeilujen perusteella näyttää siltä, että tyypillisessä yksityismetsien suunnittelutilanteessa tietyn suunnitelmavaihtoehdon tuottama hyötyindeksin jakauma on varsin leveä; päätösvaihtoehdon hyvyttä ei siis pystytä ennustamaan luotettavasti, ja vaihtoehtojen asettaminen paremmuusjärjestykseen on epävarmaa.



**Kuva 4.** Satunnaismallilla tuotettu 20-vuotisskenaario puutavaralajien hintakehityksestä. Mallin eri käyttökerrat tuottavat erilaisia skenaarioita.

Metsänomistajan suhtautuminen riskiin vaikuttaa suunnitelman valintaan: riskin karttaja valitsee suunnitelman, joka tuottaa kapean hyötyindeksin jakauman, kun taas riskin sietäjä suosii leveää jakaumaa. Stokastinen optimi on erilainen kuin deterministinen, ts. riskin sisällyttäminen laskelmiin johtaa toisenlaisen suunnitelman valintaan kuin deterministinen laskelma vaikka metsänomistajan tavoitteet eivät muuttuisi miksikään. Kärjistetysti asia voidaan ilmaista niin, että ellei riskiä oteta huomioon laskelmia tehtäessä, suunnittelu johtaa usein virheelliseen päätösuositukseen ja väärään metsän käsittelyyn.

Kuvioden käsittelyehdotukset muuttuvat herkästi riskin ja riskiin suhtautumisen muuttuessa, mutta useimmat muutokset ovat ”vastavuoroisia” (esim. hakataankin kuvio 2 ja jätetään kuvio 1 lepoon eikä päinvastoin). Myös tavoitteiden optimiarvot ja käsittelypinta-alat muuttuvat.

Moni varsin erilainenkin tavoitemuuttujayhdistelmä ja käsittelyohjelma saattaa olla päätöksen tekijän kannalta jotakuinkin yhtä hyvä. Tämän vuoksi riskin merkityksellisyyttä metsäsuunnittelussa on paras tutkia laskemalla, millaisia hyöt tappiota deterministisen suunnitelman toteutus tai riskiin suhtautumisen huomiotta jättäminen aiheuttavat. Näyttää siltä, että hyöt tappiot ovat useimmiten varsin pienet, yleensä korkeintaan muutamman prosentin luokkaa. Pieni prosentuaalinen tappio lienee kuitenkin merkittävästi suurempi kuin se kustannus, jonka riskianalyysin sisällyttäminen suunnittelulaskelmiin aiheuttaa.

### Johtopäätöksiä

Maallikolle ja ensimmäisen vuosikurssin metsäopiskelijalle tavallinen ja luontainen kysymys kuuluu, kuinka paljon suunnittelulaskelmiin voi luottaa. Opintojen edetessä ja ammattitaidon karttuessa ennustelaskelmia epäillään yhä harvemmin. Tämä voi johtua siitä, että opiskelija opetetaan luottamaan sokeasti laskelmiin ja tutkimuksen tuottamiin malleihin, tai siitä että opiskelu muuten vähentää maalaisjärjen ja luontaisen harkintakyvyn käyttöä. Muutama viimeaikainen tutkimus kuitenkin viittaa siihen, että liialliseen luottavaisuuteen ei ole aihetta.

Metsäsuunnitteluun ja siinä tehtäviin tulevaisuuden ennusteisiin liittyvät riski ja epävarmuus ovat niin olennainen osa metsällistä päätöksentekoa, että on jopa kummastuttavaa, että asiaan ei ole Suomen metsäntutkimuksessa juurikaan paneuduttu. Metsän inventoinnissa on jo kauan sitten muodostunut standardiksi, että piste-estimaattien lisäksi on ilmoitettava niiden luottamusvälit. Inventointiraporttia ei perinteisessä suuralueiden inventoinnissa pidetä kelvollisena missään päin maailmaa, jos siitä puuttuvat luotettavuusarviot.

Ehdotan, että sama vaatimus – joka on aluksi tavoite – asetettaisiin myös suunnittelulaskelmille ja muille tulevaisuuden ennusteille: aina kun esitetään vaihtoehtolaskelmia tai metsän kehitysennusteita, niihin sisällytetään luottamusväli tai muu luotettavuusarvio.

Riskin ja epävarmuuden sisällyttäminen metsäsuunnitteluun edellyttää ennen muuta empiiristä tietoa ja analyttisiä laskelmia siitä, kuinka eri riskitekijät käyttäytyvät. Monista tekijöistä – esim. puun hinnasta, kasvun vaihtelusta, kuvioittaisen arvioinnin virheistä ja mallivirheistä – onkin jo tehty tai ollaan tekemässä näitä analyysejä. Analyysien jälkeen riskin ja epävarmuuden sisällyttäminen suunnittelulaskelmiin on melko suoraviivaista. Silloinkaan laskelmia ei kuitenkaan voi vielä tehdä täysin luottavaisin mielin, sillä menneisyyden havaintoihin perustuvat analyysit eivät ehkä päde tulevaisuudessa.

Metsäsuunnittelu on joko ennakoivaa (anticipatory planning) tai havainnoivaa (adaptive planning). Nykyinen suomalainen metsäsuunnittelu sekä edellä esitetty ehdotelma skenaariotekniikan soveltamisesta ovat esimerkkejä ennakoivasta suunnittelusta: se vaihtoehto valitaan, joka suunnitteluhetkellä näyttää parhaalta, kun kaikki mahdolliset asiointilat otetaan huomioon. Jos laskelmat osoittavat ennusteisiin liittyvän epävarmuuden kyllin suureksi, tämän lähestymistavan käyttö on kyseenalaistettava. Saattaahan olla, että se metsän käsittely, joka suunnitteluhetkellä näyttää parhaalta, osoittautuu-kin asiointilojen muuttuessa täysin vääräksi. Jos epävarmuutta on hyvin paljon, ennakoivasti laaditut suunnitelmat eivät ehkä ole keskimäärin juurikaan parempia kuin satunnaisesti valitut; joka tapauksessa ne ovat yleensä kaukana siitä, mikä jälkikäteen tarkasteltuna olisi ollut viisainta.

Hyvin epävarmassa tilanteessa on paikallaan vaihtaa ennakoiva suunnittelu adaptiiviseen lähestymistapaan. Silloin suunnittelussa etsitään yhden käsitelyehdotuksen sijasta sääntöjä ja ohjeita sille, kuinka metsänomistajan kannattaa reagoida esim. puun hinnan muutoksiin. Metsäsuunnitteluun liittyvän riskin ja epävarmuuden lisätutkinta toivottavasti kertoo lähivuosina, kuinka tarpeellinen suunniteluotteen perinpohjainen muutos on.

#### Lähteet

- Pukkala, T. 1997. Risk in tactical forest planning: integration and importance. Käsikirjoitus.
- & Kangas, J. 1996. A method to integrate risk and attitude toward risk into forest planning. *Forest Science* 42(2): 198–205.

■ Kirjoittaja toimii Joensuun yliopiston metsätieteellisessä tiedekunnassa.