

Juha Lappi

Suurin kestävä hakkuutaso

Johdanto

Valtakunnan tai jonkun pienemmän metsäalueen tai metsälön hakkuiden määrää verrataan usein joko kasvuun tai suurimpaan kestäväan hakkuiden tasoon. Jälkimmäisestä käytetään yleensä termiä suurin kestävä hakkuukertymä. Kirjoitelmani kannalta 'suurin kestävä hakkuutaso' on havainnollisempi. Vuonna 1997 analysoin Metsätieteen aikakauskirjan artikkelissani hakkuiden tason sitomista kasvuun (kasvulla tarkoitan tässäkin kirjoituksessani nettokasvua). Johtopäätökseni oli, että hakkuuta ei kannata sitoa lainkaan kasvuun. Metsälön nykykasvu ei anna mitään suoraa viitettä siitä miten metsälöä kannattaa hakata. Erityisesti kasvua pienemmät hakkuut johtavat pitkän ajan kuluessa sekä kasvun että hakkuiden loppumiseen. Tämä johtopäätös seuraa kasvukäyrien sigmoidisesta (S-käyrän) muodosta. Koska metsään mahtuu vain rajallinen määrä puuta, pitkän ajan kasvu on aina hakkuiden kanssa tasapainossa. Kasvua pienemmissä hakkuissa tasapainotila on nollakasvu ja nollahakkuut.

En ole saanut kirjoitukseeni yhtään vasta-argumenttia, mutta eipä viestini ole täysin mennyt perille. Esimerkiksi Helsingin Sanomien vieraskynä-palstan kirjoituksessaan 30.3.2015 Jyrki Kangas olettaa, että kasvu tarkoittaa hakkuumahdollisuuksia. Hän kirjoittaa 'hakkuuvajeen kurominen kokonaisuudessaan on epärealistinen tavoite', missä hakkuuvaje tarkoittaa kasvun ja hakkuiden eroa.

Tämän kirjoitelmani lähtökohtana on se havainto, että suurin kestävä hakkuiden taso tulkitaan lähes aina, esimerkiksi PEFC-sertifioinnissa, hakkuiden maksimitasoksi, eli vaaditaan, että hakkuut ovat kai-

ken aikaa suurinta kestävää hakkuutasoa pienemmät. Tämä ajatus on myös puuntuotannon kannalta vahingollinen, vaikkei yhtä vahingollinen kuin kasvua pienemmät hakkuut.

Havainnollistan hakkuiden ja suurimman kestäväan hakkuutason riippuvuuksia samanlaisten esimerkkilaskelmien avulla kuin vuonna 1997 kasvun ja hakkuiden välisiä riippuvuuksia. Käytännön metsälöissä tulokset olisivat tietenkin suuruudeltaan erilaisia, mutta samat periaatteelliset riippuvuudet vallitsevat myös käytännössä. Suurimman kestäväan hakkuutason laskelmia tehdään käytännössä esimerkiksi MELA-ohjelmistolla. Kommentoin esitykseni lopuksi näitä käytännön laskelmia. Lisäksi kritisoin ajatusta, että ylipäänsä kannattaisi pyrkiä tasaisiin hakkuisiin.

Laskelmien perusteet

Tarkastelen kirjoituksessani pelkästään tuotetun runkopuun määriä, eli oletan kaiken runkopuun samanarvoiseksi ja sivuutan uudistamiskustannukset ja oksista ja juurista tulevan energiapuun. Nämä epärealistiset oletukset eivät vaikuta tarkasteltavien riippuvuuksien laadullisiin ominaisuuksiin.

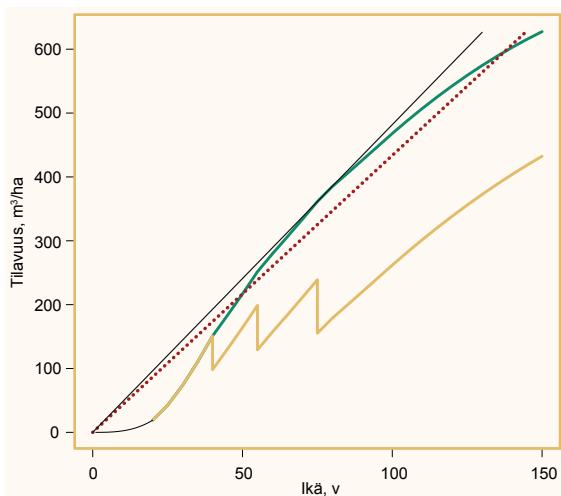
Tarkastelen metsää, jossa puuston tilavuus kehittyy siten kuin Vuokilan ja Väliahon vuonna 1980 julkaisemien laskelmien sivulla 219 kuvattu kylvömännikkö, jonka pituusboniteetti H_{100} on 24 metriä ja jota harvennetaan 35 % kun metsikkö on 40, 55 ja 75 vuotta vanha. Kuvassa 1 on puuston tilavuuden kehitys, kumulatiivisen tilavuuden kehitys ja kumulatiivisen tilavuuden käyrälle asetettu tangentti.

Kumulatiiviselle tilavuuskäyrälle asetettu tangentti sivuaa käyrää, kun metsän ikä on 75 vuotta, eli suurimman metsänkoron eli suurimman keskikasvun kiertoaika on 75 vuotta. Tällä iällä tangentti eli keskikasvu on $4,819 \text{ m}^3/\text{vuosi}$. Merkitään tätä arvoa H_{MAX} . Tämä on siten myös metsälötasolla suurin mahdollinen hakkuiden taso, joka saavutetaan 75-vuotisessa normaalimetsässä eli tasaisella ikäjakaumalla.

Missään muussa tilanteessa kuin 75-vuotisessa normaalimetsässä ei voida saavuttaa tarkalleen hakkuutasoa H_{MAX} , mutta erittäin lähelle voidaan päästä. Kirjoituksessani oletan että $H_{max} = 0,999 \times H_{MAX}$ on riittävän lähellä, jotta voidaan puhua suurimman mahdollisen hakkuutason saavuttamisesta. Pitkän ajan simuloinneissa hakkuutaso H_{max} voidaan saavuttaa, kun metsälö on aluksi riittävän puustoinen olipa metsälön ikäjakauman muoto mikä tahansa.

Puuntuotannon kokonaismäärän kannalta kaikki yli 75 vuoden kiertoajat johtavat pienempään hakkuiden kokonaismäärään kuin mitä voidaan saavuttaa 75 vuoden kiertoajalla. Suurin hakkuiden kokonaismäärä on optimaalinen, kun nolla prosenttia oletetaan käyväksi korkokannaksi. Lyhyempiä kiertoaikoja voidaan perustella koron avulla. Tarkasteltavalla kehityskäyrällä optimikiertoajat ovat 68 v, 54 v, 49 v tai 44 v, kun korko on 1 %, 2 %, 3 % tai 4 %.

Mille tahansa ikäluokkajakaumalle suurin kestävä hakkuiden taso lasketaan simuloimalla. Simuloinneissa oletetaan, että harvennukset tehdään aina ensin ja sitten vanhimma ikäluokasta lähtien hakataan kunnes hakutavoite on saavutettu. Sen jälkeen metsää kasvatetaan oletetun kasvukäyrän mukaisesti. Jos metsä 10000:n vuoden simuloinnissa hakataan tyhjiin niin hakkuutavoite on liian suuri. Tulkitseen hakkuutason kestäväksi, jos metsälön vanhin metsikkö saavuttaa 160 vuoden iän tai simulointia voidaan jatkaa 10000 vuotta. Haarukoi-malla voidaan löytää suurin kestävä hakkuiden taso. Pitkällä aikavälillä mikä tahansa kestävä hakkuiden taso johtaa käytetyn hakkuutason mukaiseen normaalimetsään. Tämän kirjoituksen laskelmat on tehty J-ohjelmistolla. Ohjelmisto on ladattavissa verkkosivulla www.metla.fi/products/J. Voin toimittaa halukkaille laskennan ohjaustiedoston, kuten myös laskennassa käytetyn vielä julkistamattoman ohjelmaversioiden.

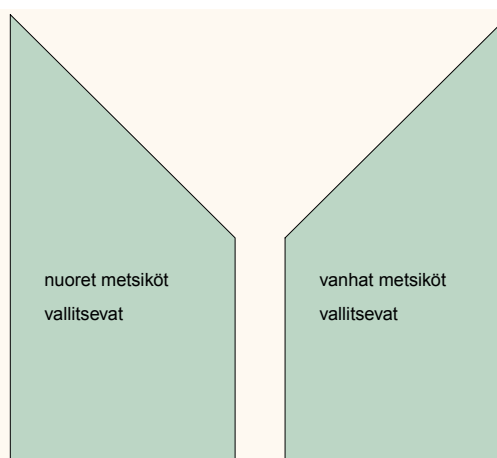


Kuva 1. Kylvömännikön tilavuuden kehitys (alin käyrä) Vuokilan ja Väliahon mukaan, kun pituusboniteetti $H_{100} = 24 \text{ m}$ ja tehdään 35%:n harvennukset, kun ikä on 40, 55 ja 75 vuotta. Kehitys välillä 100–150 on ekstrapoloitu subjektiivisesti. Kahtakymmentä vuotta nuoremman metsikön tilavuuden kehitys oletetaan verrannolliseksi iän kuutioon. Kahtakymmentä vuotta vanhempien metsiköiden tilavuus on interpoloitu lineaarisesti viisivuotiskasvojen sisällä (näkyvät pykälinä kuvan 7 juoksevassa kasvussa). Keskimmäinen yhtenäinen käyrä kuvaa kumulatiivista tilavuutta. Origosta kumulatiiviselle käyrälle piirretty tangentti määrittää suurimman metsänkoron (keskikasvun) kiertoajaksi 75 vuotta. Optimi on laakea: 71 ja 85 vuoden välillä olevilla kiertoajoilla keskikasvu on yli 99% maksimikeskikasvusta (ks. myös kuva 7). Katkoviivalla piirretyn suoran kulmakerroin on 90% suurimman metsänkoron näyttävän suoran kulmakertoimesta.

On huomattava käsitteiden 'suurin kestävä hakkuutaso' ja 'suurin mahdollinen hakkuutaso' ero. Edellinen tarkoittaa jollakin ikäjakaumalla saavutettavissa olevaa suurinta kestäväää hakkuiden tasoa. Jälkimmäinen tarkoittaa 99,9% suurimman metsänkoron kiertoajan normaalimetsän hakkuiden tasosta.

Laskelmat

Teen laskelmia kolmelle alkuikäjakauman tyyppille, eli kun ikäjakauma on aluksi tasainen, tai kun nuoret metsiköt vallitsevat (nuorimpia metsiä on kaksi

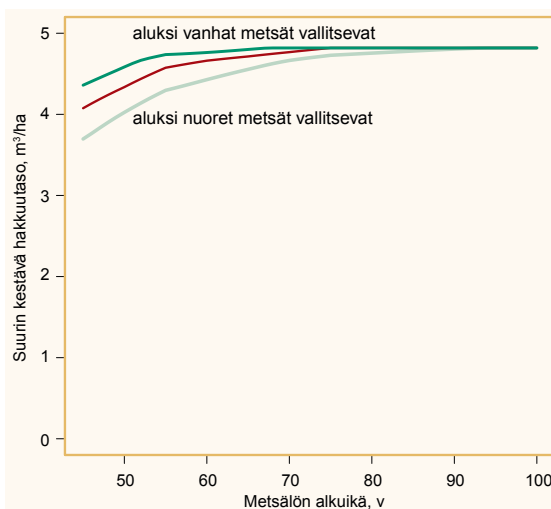


Kuva 2. Alkutilan ikäjakauma, kun nuoret metsiköt vallitsevat tai vanhemmat metsiköt vallitsevat. Lisäksi tarkastellaan tasaista ikäjakaumaa.

kertaa enemmän kuin vanhimpia) tai vanhimmat metsiköt vallitsevat (vanhimpia metsiä on kaksi kertaa enemmän kuin nuorimpia) (kuva 2). Jatkossa metsälön iällä tarkoitan metsälön vanhimman metsikön ikää. Kuvassa 3 on suurimman kestävän hakkuutason riippuvuus metsälön alkuiästä eri ikäjakaumille.

Tarkastellaan sitten, miten sekä suurin kestävä hakkuutaso että toteutuneet hakkuut kehittyvät ajan yli eri ikäjakaumille, kun metsälön alkuiä on 65 vuotta ja hakataan kaiken aikaa 80% suurimmasta kestävästä hakkuutasosta (kuva 4, osakuvat a–c). Osakuvien alimmat käyrät ($0,8 \times h(t)$) kuvaavat toteutuneita hakkuuta. Keskimmäiset käyrät ($h(t)$) näyttävät, miten suurin kestävä hakkuutaso kehittyy ajan yli. Eli siis alimmalta käyrältä voidaan milloin tahansa hypätä keskimmäiselle käyrälle ja tästä pisteestä voidaan jatkaa tasaisilla hakkuilla.

Niin kauan kuin suurimman kestävän hakkuutason käyrä nousee, suurimmasta kestävästä hakkuutasosta pidättäytyminen merkitsee investointia tulevien hakkuumahdollisuuksien kasvattamiseen. Tälle investoinnille voidaan laskea sisäinen korko. Tarkastellaan nyt sitä, millainen sisäinen korko saadaan sille, että ei aleta hakkaamaan suurimmalla kestäväällä hakkuutasolla vielä jonakin vuonna vaan vasta seuraavana vuonna.



Kuva 3. Suurimman kestävän hakkuutason riippuvuus metsälön alkuiästä kuvan 2 mukaisille ikäjakaumille tai kun ikäjakauma on tasainen (keskimmäinen käyrä).

Jos vuonna t aletaan hakata suurimman kestävän hakkuutason mukaisesti, niin tulevien hakkuuiden nykyarvo on

$$NPV_1(t) = h(t) / (1 - 1/r) \quad (1)$$

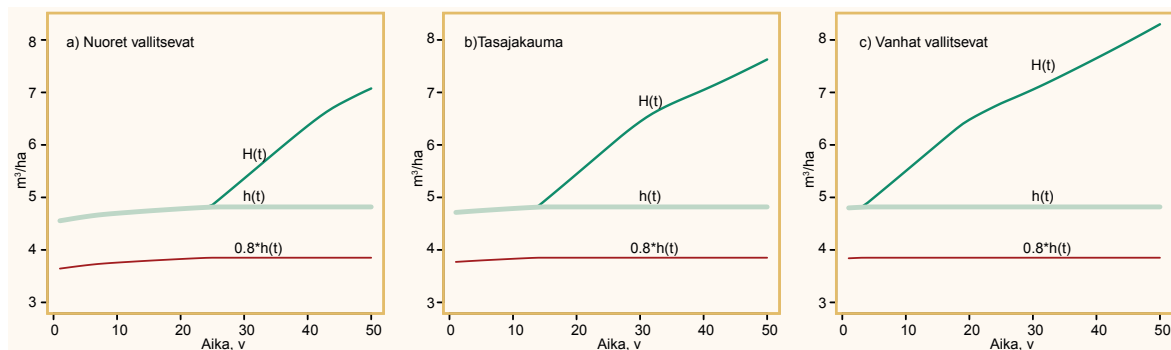
jossa $h(t)$ on suurin kestävä hakkuutaso hetkellä t ja $r = 1 + i$, missä i on korkosadannes.

Jos suurimman kestävän hakkuutason käyrälle hypätään vasta seuraavana vuonna, niin nykyarvo on

$$\begin{aligned} NPV_2(t) &= 0,8 \times h(t) + h(t+1) / (r \times (1 - 1/r)) \\ &= 0,8 \times h(t) + h(t+1) / i \end{aligned} \quad (2)$$

Sisäinen korko on se korko i jolla $NPV_1(t) = NPV_2(t)$. Tätä ei voida ratkaista analyttisesti, mutta se on helppo ratkaista numeerisesti. Sisäinen korko ratkaistiin näin siihen ikään asti, kun suurin kestävä hakkuutaso on pienempi tai yhtä suuri kuin suurin mahdollinen hakkuutaso H_{max} . Kuvassa 5 on esitetty näin ratkaistu sisäinen korko. Poikkiviiva käyrillä ilmaisee kohtaa jossa suurin kestävä hakkuutaso ohittaa pisteen H_{max} .

Sen jälkeen, kun suurin kestävä hakkuutaso $h(t)$ on saavuttanut tason H_{max} , suurimmasta kestävästä hakkuutasosta pidättäytyminen kasvattaa edelleen tulevia hakkuumahdollisuuksia, mutta näitä hak-



Kuva 4. Käyrä $h(t)$ näyttää suurimman kestävä hakuutason kehityksen, kun metsälön alkuiä on 65 vuotta ja hakataan 80 % tasosta $h(t)$ (alin viiva). Käyrä $H(t)$ näyttää, miten paljon voidaan hakata 10 vuoden ajan, jos hakuutason $0,8 \times h(t)$ hypätään suurimpiin mahdollisiin kymmenen vuoden hakkuihin siten, että kymmenen vuoden perästä hakataan tasolla H_{max} . Osakuvat viittaavat eri alkutilanteen ikäjakaumiin.

kuumahdollisuuksia ei voida hyödyntää tasaisilla hakkuilla. Oletan, että nämä suurinta mahdollista hakkuutasoa suuremmat hakkumahdollisuudet hyödynnetään hakkaamalla kymmenen vuoden ajan mahdollisimman suuri vakioinen lisähakkuu siten, että kymmenen vuoden lisähakkuiden jälkeen voidaan edelleen hakata tasolla H_{max} . Kuvassa 4 ylin käyrä ($H(t)$) kuvaa kymmenen vuoden aikana saavutettavissa olevaa hakkuiden tasoa.

Kunakin vuonna jolloin voitaisiin siirtyä lisähakkuihin, näistä lisähakkuista pidättäytyminen kasvattaa tulevaisuudessa saavutettavissa olevien lisähakkuiden määrää. Tälle pidättäytymisinvestoinnille voidaan laskea sisäinen korko seuraavasti. Koska yhdentoista vuoden kuluttua hakataan molemmissa skenaarioissa tasolla H_{max} , riittää että tarkastellaan vain yhdentoista vuoden hakkuiden nykyarvoja. Jos vuonna t aletaan hakata noita kymmenen vuoden lisähakkuita, niin yhdentoista vuoden hakkuiden nykyarvo on

$$NPV_1(t) = H(t) \times (r^{10} - 1) / (r^9 \times i) + H_{max} / r^{10} \quad (3)$$

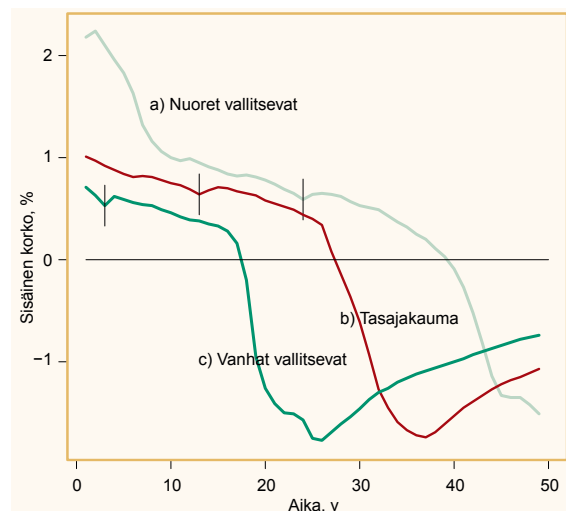
missä $H(t)$ on vuonna t saavutettavissa oleva hakkuiden taso, kun kymmenen vuoden jälkeen hakataan tasolla H_{max} (kuvan 4 ylin käyrä). Finanssilaskennan kirjallisuuden kaavojen mukaan r :n potenssi summan ensimmäisen termin nimittäjässä olisi 10, mutta tässä laskelmassa ensimmäinen maksu tulee heti eikä vasta vuoden päästä kuten vakiokaavoissa oletetaan.

Jos lisähakkuut aloitetaan vuonna $t + 1$, niin tulevien yhdentoista vuoden hakkuutulojen nykyarvo on

$$NPV_2(t) = 0,8 \times h(t) + H(t+1) \times (r^{10} - 1) / (r^{10} \times i) \quad (4)$$

Sisäinen korko on se koron i arvo, jolla $NPV_1(t) = NPV_2(t)$. Kuvassa 5 on näin lasketut sisäiset korot käyrillä olevien poikkiviivojen jälkeen. Kun nuoret metsiköt vallitsevat alkutilanteessa, $h(t)$ saavuttaa tason H_{max} (poikkiviiva), kun aikaa on kulunut 24 v ja metsälön ikä on 68 v. Tasaisella ikärakenteella $h(t)$ saavuttaa tason H_{max} , kun aikaa on kulunut 13 v ja metsälön ikä on 70 v. Vanhojen metsien vallitessa $h(t)$ saavuttaa tason H_{max} , kun aikaa on kulunut 3 v ja metsälön ikä on 67 v. Siinä vaiheessa, kun $h(t)$ saavuttaa tason H_{max} , metsälön puuntuotantokyky on selvästi parempi kuin vastaavan ikäisen normaalimetsän. Vertailun vuoksi voidaan mainita, että 74-vuotisessa normaalimetsässä $h(t)$ on 99,8 % H_{MAX} tasosta, eli vähemmän kuin $H_{max} = 0,999 H_{MAX}$.

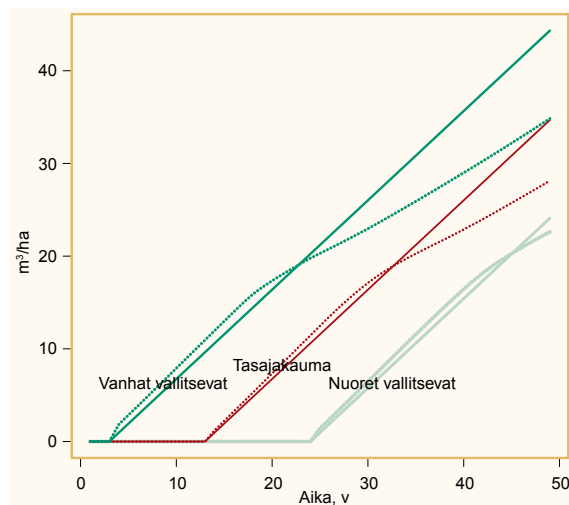
Sisäinen korko menee nolllaksi, kun aikaa on kulunut 39 v (nuoret vallitsevat), 27 v (tasajakauma) tai 17 v (vanhat vallitsevat). Metsälön ikä on tällöin 75 v (nuoret vallitsevat), 77 v (tasainen ikäjakauma) tai 75 v (vanhat vallitsevat). Sisäinen korko menee siis tässä erikoistapauksessa nolllaksi suurin piirtein samassa iässä kuin metsikkökohtaisessa tarkastelussa. Mielestäni aika siitä, kun taso H_{max} saavutetaan, siihen, kun sisäinen korko menee nolllaksi, on yllättävän pitkä. Seikka liittyyneeseen siihen, että esimerkin



Kuva 5. Sisäisen koron kehitys, kun metsälön alkuikä on 65 vuotta ja investoidaan puustoon hakkaamalla 80% suurimmasta kestävästä hakkuutasosta. Poikkiviivaan asti käyrät kuvaavat sisäistä korkoa, kun suurimmalle kestäväälle tasolle siirrytään seuraavana vuonna ja seuraavana vuonna on saavutettavissa korkeampi suurin kestävä hakkuutaso, joka on kuitenkin pienempi kuin taso H_{max} . Poikkiviivan kohdalla suurin kestävä hakkuutaso ylittää arvon H_{max} . Jos edelleen hakataan suurinta kestävää hakkuutasoa vähemmän, metsään kertyy puustoa voidaan hakata kymmenen vuoden lisähakkuilla ja sen jälkeen edelleen tasolla H_{max} . Poikkiviivan jälkeen on se kaavojen 3 ja 4 avulla laskettu sisäinen korko, joka saadaan, kun lisähakkuihin siirrytään vuonna $t+1$ eikä vuonna t .

metsälöt suurimman mahdollisen hakkuutason H_{max} saavuttaessaan ovat vielä suurimman metsänkoron kiertoaikaa nuorempia. Kun sisäinen korko menee negatiiviseksi, aletaan kärsiä pysyviä hakkuutappioita. Jos metsälö on lähtötilanteessa riittävän puustoinen, suurimman kestävä hakkuutason hakkuista pidättäytyminen on alusta lähtien tappiollinen investointi.

Kuvassa 6 esitetään yhtenäisellä viivalla se, miten paljon hakkuista on kaikkiaan menetetty sen jälkeen, kun suurin kestävä hakkuiden taso $h(t)$ saavuttaa suurimman mahdollisen hakkuiden tason H_{max} . Katkoviiva näyttää kullakin hetkellä miten paljon hakkuista voidaan vielä pelastaa, jos kymmenen vuoden ajan hakataan mahdollisimman paljon siten, että kymmenen vuoden perästä voidaan hakata



Kuva 6. Metsälön alkuikä on 65 vuotta, ja hakataan 80% suurimmasta kestävästä hakkuutasosta. Siihen hetkeen asti, kun suurin kestävä hakkuutaso saavuttaa tason H_{max} , suurimmasta hakkuutasosta pidättäytyminen kasvattaa suurinta hakkuutasoa. Jos sen jälkeenkin hakataan tasolla $0,8 \times H_{max}$, metsälöön kertyy puustoa voidaan hyödyntää hakkaamalla aluksi esim. 10 vuotta enemmän ja sen jälkeen silti tasolla H_{max} . Kuvassa yhtenäinen viiva näyttää, kuinka paljon hakkuista on pidättäytytty sen jälkeen kun suurin kestävä hakkuutaso on saavuttanut tason H_{max} . Katkoviiva näyttää, kuinka paljon voidaan yhteensä tehdä lisähakkuista kymmenen vuoden aikana.

tasolla H_{max} . Kuvien 5 ja 6 viesti on sama. Kun taso H_{max} on saavutettu, metsään kertyy puuta, jota voidaan jonkin aikaa (yli kymmenen vuoden ajan) vielä hyödyntää tappiotta (ottamatta siis huomioon korkotappioita). Mutta jos hakkuista vielä pihdataan, kärsitään pysyviä hakkuutappioita (korkotappioiden lisäksi). Kuvassa 6 yhtenäinen viiva ja katkoviiva leikkaavat myöhemmin kuin sisäinen korko menee nolaksi, koska koron mentyä nolaksi voidaan hyödyntää jonkin aikaa H_{max} tason saavuttamisen jälkeen positiivisen koron aikana kertynyttä korkosäästöä.

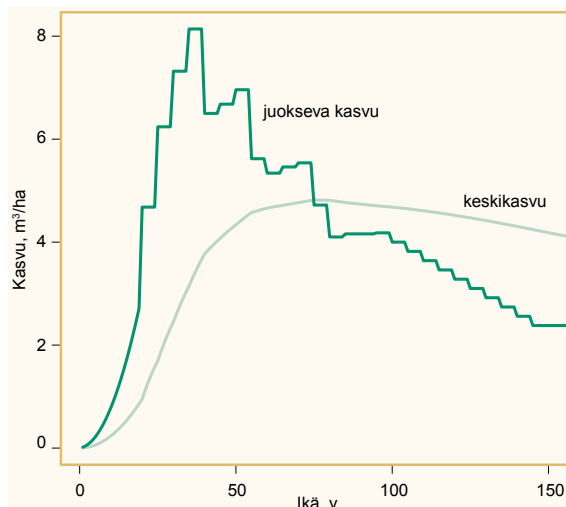
Kasvu

Näissä tarkasteluissa ei kasvu ole ollut mitenkään mukana. Hakkuiden järkevyyttä ei voida mitenkään suoraviivaisesti perustella kasvun avulla, kuten mielestäni osoitin vuonna 1997 kirjoituksessani. Oletetaanpa kasvu nyt tarkasteluun mukaan. Kuvassa 7 on esitetty metsikön juokseva kasvu ja keskimääräinen kasvu metsikön iän funktiona. Tehdään nyt vähän pitemmän ajan, eli 500 vuoden simulointi.

Kuvassa 8 esitetään suurimman kestävän hakkuutason, hakkuiden ja kasvun kehitys, kun metsälön alkuiä on jälleen 65 vuotta ja hakataan vaihteeksi 90 % suurimmasta kestävästä hakkuutasosta.

Koska vanhat metsät kasvavat aina enemmän kuin taimikot (kuva 7), metsälön kasvu on aluksi suuri, kun hakkuista pidättäydytään (kuva 8). Tämä antaa sen harhaanjohtavan kuvan, että nyt on löydetty loistava metsänhoitostrategia. Esimerkkimetsälöiden hoidosta vastaavat metsänhoitajat saavat vuosikymmenien ajan rehvastella erinomaisella metsänhoidolla (tai suuri kasvu voidaan pistää ilmaston lämpenemisen piikkiin) ennen kuin kasvu putoaa suurimman mahdollisen hakkuutason alle. Siitä kasvu sitten vähenee edelleen ja lähestyy tasoa $0,9 \times H_{max}$: pitkällä ajalla kasvu on aina hakkuiden kanssa tasapainossa. Metsälö lähestyy kaikilla alun ikäjakaumilla 137 vuoden ikäistä normaalimetsää. Kuvasta 1 nähdään, että sama hakkuiden ja kasvun taso voidaan saavuttaa 50 vuoden ikäisessä normaalimetsässä. Tässä laskelmassa ei voitu käyttää hakkuun tasona 80 % suurimman kestävän hakkuutason arvosta, koska en ekstrapoloinut kehityskäyrää tarpeeksi pitkälle, jotta metsälö olisi päässyt vanhenemaan tarpeeksi.

Kuvassa 8 on myös kasvun kehitys, jos alusta alkaen aletaan hakata suurimman kestävän hakkuutason mukaisesti (kasvu₂). Verrattuna 90 prosentin hakkuutasoon, kasvu on 133 v (nuoret vallitsevat), 89 v (tasajakauma) tai 59 v (vanhat vallitsevat) pienempi. Kuvassa kasvukäyrät eivät ala tarkalleen samasta pisteestä, koska jo ensimmäinen kasvu lasketaan ensimmäisten hakkuiden jälkeen. Vanhojen metsien vallitessa suurimman kestävän hakkuutason hakkuut johtavat aluksi voimakkaasti alenevaan kasvuun. Sellaisen metsälön hakkuiden järjestäjiltä vaadittaisiin osaramaista kylmäpäisyyttä hakata järkevästi, kun ekokatastrofeja kaikkialla vaaniva media lukuisten tutkijoiden tuella kävisi kimppeen.

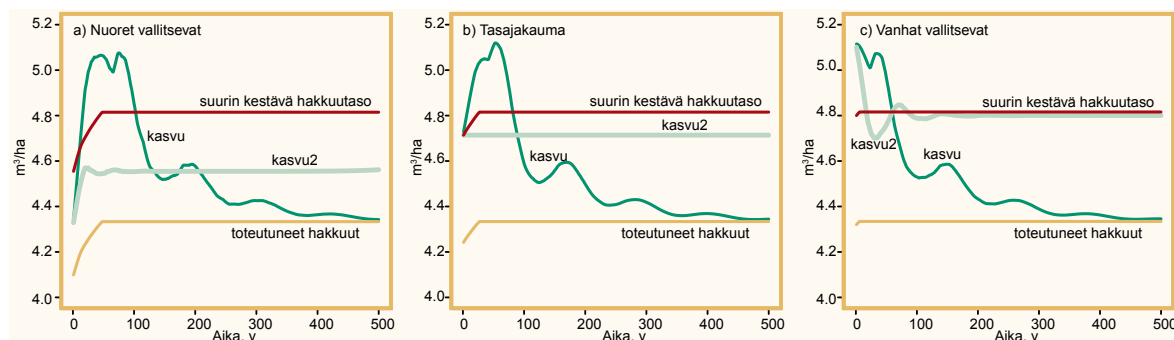


Kuva 7. Juokseva kasvu ja keskikasvu iän funktiona. Juoksevan kasvun ja keskikasvun käyrät leikkaavat suurimman metsänkoron kiertoajalla eli kun keskikasvu on maksimissaan. Juoksevan kasvun pykälisuus johtuu lineaarisesta interpoloinnista viisivuotiskausien sisällä.

Keskustelua

Miten edellä olevat laskelmat liittyvät Suomen metsien todellisiin hakkuuskenaarioihin? Todellisissa metsissä on kasvupaikkojen välistä vaihtelua, ja lisäksi eri metsiköitä hoidetaan eri periaattein. Uudistamiskustannukset, puutavaralajien erilaiset hinnat ja korko mutkistavat aitoja laskelmia. Harvennusten suuruus ja ajoitus ovat kiertoajan lisäksi aitoja päätösmuuttujia. Jatkuva kasvatusta on myös varteenotettava kasvatusvaihtoehto. Mutta laskelmieni laadulliset ominaisuudet perustuvat kasvukäyrien sigmoidiseen luonteeseen, ja kasvukäyrät ovat ymmärtääkseni aina sigmoidisia johonkin ikään asti tasaikäisessä metsässä. Jatkuvassa kasvatuksessa hakkuiden ja suurimman kestävän hakkuutason välinen dynamiikka on monimutkaisempi. Mutta jatkuvassa kasvatuksessa liian pienet hakkuut johtavat automaattisesti koko jatkuvan kasvatuksen idean epäonnistumiseen.

Vanhojen metsien lisääntyneet myrsky- ja tautituhot sotkevat käytännössä tuon kasvukäyrien sigmoidisen luonteen tai ainakin nopeuttavat odotettavissa



Kuva 8. Kasvun kehitys ('kasvu'), kun metsälön alkuiä on 65 vuotta, ja hakataan koko ajan 90% suurimmasta kestävästä hakkuutasosta. Paksulla viivalla on merkitty kasvun kehitys (kasvu2), kun alusta lähtien hakataan suurimmalla kestäväällä hakkuutasolla, jolloin siis hakkuutaso on 'suurin kestävä hakkuutaso' käyrän alkupisteestä alkavat tasaiset hakkuut.

olevan kasvun taantumista. Kun metsiköt tulevat tarpeeksi vanhoiksi niistä saatavat hakkuutulot voivat ruveta myös pienenemään ajan myötä. Tämä seikka tukee laskelmiini opetusta liian pienien hakkuiden vaaroista.

Edellä olevat laskelmat voidaan tiivistää seuraavasti. Jos hakataan jatkuvasti suurinta kestävästä hakkuutasoa vähemmän, lisätään aluksi suurinta kestävästä hakkuutasoa. Näin tehdään investointi tuleviin hakkuumahdollisuuksiin, ja investoinnille saadaan positiivinen korko. Jonkin ajan kuluttua suurin kestävä hakkuutaso saavuttaa korkeimman mahdollisen tason. Jos tämän jälkeenkin hakataan suurinta kestävästä hakkuutasoa vähemmän, saatetaan, tilanteesta riippuen, tehdä edelleen lievästi positiivisen koron tuottava investointi tuleviin hakkuumahdollisuuksiin, mutta lisääntyneitä hakkuumahdollisuuksia ei voida hyödyntää tasaisilla hakkuilla. Jos kuitenkin edelleen hakataan suurinta kestävästä hakkuutasoa vähemmän, lisätään ehkä ('ehkä' johtuu tuhoriskistä) vielä tulevia hakkuumahdollisuuksia, mutta pidättyämisinvestoinnille saadaan negatiivinen korko.

Hakkuiden yleisenä kestävyyskriteerinä vaatimus jatkuvasti suurinta kestävästä hakkuutasoa pienemmistä hakkuista on epärationaalinen. Jos suurin kestävä hakkuutaso ylipäänsä on mielekäs kriteeri kestäväälle metsätaloudelle, se tulisi tulkita hakkuiden keskimääräiseksi tasoksi. Kun vienti vetää hyvin, voidaan turvallisella mielellä hakata suurinta kestävästä hakkuutasoa enemmän. Suhdanteet kuitenkin ajastaan huononevat, jolloin hakkuut kuitenkin vähenevät.

Miksi hakkuiden ylipäänsä pitäisi olla tasaisia? On

epätodennäköistä, että metsien nykyistä tilaa vastaava suurin kestävä hakkuiden taso olisi yhteiskunnan kannalta optimaalinen. Tällainen ajatus perustuu Leibnizin käsitykseen, että elämme parhaassa mahdollisessa maailmassa. Suurinta kestävästä hakkuutasoa väliaikaisesti pienemmät hakkuut ovat (edellä käsiteltyyn nollakorkorajaan asti) korkoa tuottava investointi tuleviin hakkuumahdollisuuksiin. Tai jos yhteiskunta on pahassa väliaikaisessa hädässä tai on juuri tehty kannattavia investointeja puujalostukseen, tai voidaan tehdä muita korkoa tuottavia investointeja, kenties on viisasta hakata nyt enemmän ja myöhemmin sitten vähemmän. Suurin kestävä hakkuukertymä on saatu kuulostamaan jotenkin ekologiselta hakkuiden kestävyyskriteeriltä, vaikka siinä ei ole kyse ekologiasta ja taloudellisestikin se on varsin mielivaltainen.

Puunjalostuksen ja metsän yhteensovittamisessa metsä puskurointikykyineen on joustavampi komponentti. Tasaisuusvaatimukset tulisi johtaa pitkäikäisistä ja kalliista tehtaista, ei metsästä. Puskurointikyvyn turvaamiseksi saattaa olla kannattavaa kerryttää metsään puuta hieman enemmän kuin deterministinen optimointi edellyttäisi. On syytä pitää myös mielessä, että suurin uhka metsätalouden kestävyydelle on kelvoton metsänuudistaminen ja taimikoiden ja nuorten metsien hoito. Muita näkökohtia metsätalouden kestävydestä olen esittänyt vuonna 1998 Metsätieteen aikakauskirjassa.

Suurta nykykasvua ei voida pitää merkinä onnistuneesta hakkuutasosta. Taimikot aina kasvavat vähemmän kuin vanhat metsät (kuva 7). Siten suu-

ri nykykasvu voi olla nimenomaan merkki pitkän ajan kasvun ja hakkuumahdollisuuksien kannalta liian pienistä hakkuista (kuva 8) eikä onnistuneesta metsänhoidosta tai ilmastonmuutoksesta. En tunne Suomen metsien rakennetta ja käytännössä noudatettuja kiertoaikoja niin hyvin, että osaisin sanoa millä esimerkkilaskelmieni laadullisella tasolla ollaan nyt keskimäärin Suomen metsätaloudessa. Toivoisin, että VMI:n tuloksia tuntevat yrittäisivät tulkita esimerkkilaskelmiani VMI:n tulosten ja Mela-laskelmien valossa.

Laskelmissani kasvun taso riippuu kunkin hetken ikäluokkajakaumasta. Olisi hauskaa, jos metsälön kasvun tasoa voisi selittää, jollakin metsälön keskitunnuksella. Kokeilin, voidaanko simuloinneissa laskettua kasvua selittää metsälön kokonaistilavuudella. Selkeä riippuvuus ilmeni vain vanhoissa metsäoloissa, joissa kasvu pienenee säännömukaisesti kokonaistilavuuden funktiona. Luulen, että Suomen metsien lisääntynyt kasvu johtuu pääasiassa metsien rakenteesta ja pienistä hakkuista. Mielestäni tarvitaan tutkimusta, joka selittäisi kvantitatiivisesti kokonaiskasvun lisääntymistä sellaisilla rakenteellisilla seikoilla kuin ikäjakauman muutos, maanmuokkauksen aiheuttama uudistumisen nopeutuminen ja turvemaiden ojitus. Ilmastonmuutoksen mahdolliset vaikutukset puiden kasvuun tulee tietenkin selvittää puukohtaisilla kasvumalleilla. Jos puukohtaisessa kasvussa näkyy trendejä, nämä on otettava mukaan kokonaiskasvun analyysiin.

Suomessa tehdään suurimman kestävän hakkuukertymän laskelmat Mela-ohjelmistolla VMI-aineistosta. Laskelmat tehdään viidelle kymmenvuotiskaudelle. Laskelmissa maksimoidaan lineaarisella ohjelmoinnilla nettotulojen 4 %:n nykyarvoa. Rajoitteena on, että viidellä suunnittelujaksolla sekä kokonaishakkuukertymä että tukkipuukertymä eivät alene suunnittelukauden aikana. Lisäksi vaaditaan, että tuottoarvo (nettotulojen 4 %:n nykyarvo) on suunnittelukauden lopussa vähintään yhtä suuri kuin suunnittelukauden alussa. Lopputilarajoitteen avulla yritetään taata, että hakkuutaso voidaan säilyttää myös suunnittelukauden jälkeen.

Mielestäni vaatimus sekä tukkipuukertymän että kokonaiskertymän tasaisuudesta on ongelmallinen. Sahateollisuudessa voidaan sahauskapasiteettia kasvattaa suhteellisen pienin investoinnin. Jos metsien rakenteen kehitys edellyttää vaihtelua tuk-

kien hakkuisiin, en näe mitään kansantaloudellista syytä miksei metsistä kannattaisi ottaa saatavilla olevat tukit käyttöön, vaikka se sitten edellyttäisi-kin vaihtelua sahausmääriin. Jotkut ovat esittäneet tasaisuusvaatimuksia myös eri puulajien hakkuille. Minusta tämä on täysin perusteetonta.

Vaikka suurimman kestävän hakkuukertymän optimointitehtävässä nimellisesti käytetään varsin korkeaa korkoa, rajoitteiden takia kausittain vaihtuva tosiasiallinen korko on paljon matalampi. Optimointitehtävän varjohinnat voidaan tulkita koroiksi kuten teimme Markku Siitosen kanssa kahden koron hyötymallissamme vuonna 1985. Mielestäni laskelmissa tulisi aina esittää varjohinnoista johdetut korot. Tavoitefunktion korkeahko korkokanta antaa harhaanjohtavan kuvan siitä, että laskelmissa jotenkin optimoitaisiin taloudellista tehokkuutta.

Tulkittaessa pitkän ajan kehitysnäkymiä Mela-laskelmien puutteena on myös käytetyn suunnittelukauden lyhyys. Kuvasta 8 nähdään, että 50 vuotta on aivan liian lyhyt aika tarkasteltaessa metsälön rakenteen kehitystä, varsinkin kun emme ymmärrä Mela-laskelmissa käytetyn lopputilarajoitteen toimivuutta. Metsätalouteen soveltumattoman lyhyt tarkasteluhorisontti lienee syynä siihen, että niin monet pitävät kasvua tai suurinta kestävää hakkuukertymää pienempiä hakkuita puuntuotannon kannalta kestävinä. Aidosti pitkän ajan laskelmat eivät tietenkään voi olla realistisia skenaarioita tulevaisuudelle, mutta ne auttavat tulkitsemaan lähitulevaisuuden kehitystä esimerkiksi kasvun osalta.

Kirjoitelmassani käytettyjä pitkän ajan laskelmia en osaa tehdä aidoissa metsäoloissa, koska en tiedä, missä järjestyksessä erilaisilla kasvupaikoilla olevia metsiköitä pitäisi hakata, kun testataan jonkun hakkuutason kestävyyttä. Mielestäni tämäkin on mielenkiintoinen ja haastava tutkimusongelma.

Yhtenä perusteena suurinta kestävää hakkuukertymää pienemmille hakkuille on oletus, että osa yksityismetsistäkin on hakkuiden ulkopuolella (suojelualueet pitää toki suoraan jättää hakkuulaskelmien ulkopuolelle). Tämä on vakavasti otettava haaste edellä esittämälleni analyysille. Jos osa metsistä on pysyvästi hakkuiden ulkopuolella, niin hakkuiden piirissä olevien metsien suurin kestävä hakkuukertymä on toki pienempi kuin kaikkien metsien teoreettisesti laskettu suurin kestävä hakkuukertymä. Tästä ongelmasta esitän seuraavat näkökohdat.

- i) Onko näyttöä siitä, että tällä hetkellä passiivisesti hakatut metsät ovat pysyvästi (seuraavienkin sukupolvenvaihdosten yli) hakkuiden ulkopuolella?
- ii) Jos jollakin alueella hakkuut rupeavat lähestymään suurinta kestävästä hakkuukertymästä, eikö tämä ole vain merkki siitä, että hakkuiden ulkopuolella olevien metsien osuus on vähäinen? Eikö tilanteesta vain pitäisi olla tyytyväinen eikä huolestunut?
- iii) Kenties olisi syytä arvioida, miten suuren vähennyksen suurimpaan kestävästä hakkuukertymään nuo hakkuiden ulkopuolella olevat metsät oikeasti aiheuttavat. Ehkä hakkuiden vähäisyys on vain merkki kysynnän vähäisyydestä. Jos metsäteollisuus uskoo puumarkkinat tuntien saavansa puuta uusiin tehtaisiinsa, tutkijoiden ei tulisi hillitä investointeja laskelmilla, jotka perustuvat todellisten puuvaratietojen lisäksi virheelliseen käsitykseen hakkuiden ja suurimman kestävästä hakkuukertymän suhteesta ja pessimistiseen kuvaan metsänomistajien puunmyyntihalukkuudesta.

Kasvua pienempiä hakkuita perustellaan myös hakkuiden ulkopuolella olevilla metsillä. Tämä perustelu on täysin kestävä. Hakkuiden ulkopuolella olevien metsien kasvu hiipuu. Hakkuut voivat olla jatkuvasti kasvua pienemmät vain siten, että yhä suurempi osa metsistä siirtyy hakkuiden ulkopuolelle, kunnes kaikki metsät ovat hakkuiden ulkopuolella.

Metsähallitus päättää hakkuistaan samaan tapaan kuin VMI:ssä lasketaan suurin kestävä hakkuukertymä. Mielestäni tämä voi johtaa valtion metsien tehottomaan käyttöön. Kenties valtion kannattaisi investoida tulevien hakkuumahdollisuuksien kasvattamiseen pienentämällä tämän hetkisiä hakkuita, etenkin kun valtio saa vielä edullista velkaa. Tai ehkä hakkuiden väliaikainen lisääminen auttaisi toipumaan nykyisestä lamasta. Vai onko peräti mahdollista, että metsähallituksen metsiin on kertynyt niin paljon puuta, että voidaan väliaikaisesti hakata suurinta kestävästä hakkuutasoa enemmän ja sen jälkeen edelleen suurimmalla kestäväällä hakkuutasolla, kuten edellä esimerkkilaskelmissani tapahtui?

Jos metsähallitus luopuisi tasaisista hakkuista keskittämällä hakkuita korkeiden kantohintojen aikaan, valtio saisi lisää tuloja. Metsähallituksen tasaisten hakkuiden on väitetty olevan teollisuuden etu, kun ne tuovat vakautta puumarkkinoille. Mutta eikö va-

kautta nimenomaan toisi se, että yksi iso puumyyjä aidosti reagoisi hintoihin? Tällöin teollisuus saisi tarvitsemansa puun myös korkeasuhdanteen aikana pienemmällä hintapiikillä, ja hintavaihtelu täten pienenis. Tämä vähentäisi korkeiden hintojen käyttämisen edullisuutta yksityismetsissäkin ja tekisi yksityisten metsänomistajien metsäsuunnittelun helpommaksi ja heidän käyttäytymisensä ennustettavammaksi. Metsähallituksen myyntipolitiikan tulisi tietenkin olla kirkossa kuulutettu, joten se olisi teollisuuden kannalta täysin ennakoitavissa. Olisiko Kemijärven sellutehdas muuten pelastunut, jos metsähallitus ei olisi suhtautunut niin tosikkomaisesti suurimpaan kestävästä hakkuukertymään?

Pieniä hakkuita perustellaan nykyään usein ilmastomuutoksen torjumisella. Vaikka minun tekisikin mieli laajentaa laskelmani hiileen, jätän aiheen tulevaisuuteen. Jos otetaan huomioon se, että osa hakatusta puusta suoraan korvaa fossiilisia polttoaineita ja osa varastoituu kestäviin puutuotteisiin, en usko, että suurimman metsänkoron kiertoaikaa pidempiä kiertoaikoja voidaan perustella hiilen avulla, ainakaan jos tehdään vähänkin pidemmän ajan tarkasteluja. Valitettavasti kestävä kehityksen edistäjillä tuppaa tähtäys olemaan yhtä lähelle kuin kestävä metsätalouden edistäjilläkin.

Kirjallisuus

- Lappi, J. 1997. Metsien kasvu ja kestävät hakkuut. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1997: 138–145.
- Lappi, J. 1998. Kestävä metsätalous: metsälödynamiikan hallintaa. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1998: 113–116. <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff98/ff981113.pdf>
- Lappi, J. & Siitonen, M. 1985. A utility model for timber production based on different interest rates for loans and savings. *Silva Fennica* 19(3): 271–280. <http://doi.org/10.14214/sf.a15423>
- Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 99(2). 271 s.

■ Juha Lappi, Luonnonvarakeskus, Suomenjoki
Sähköposti juha.lappi@luke.fi

