

Juha Lappi

Inventointimenetelmien kustannustehokkuus

Leino ym. (2006) vertailevat lahopuuston arviointimenetelmiä. Keskeisenä vertailukriteerinä on kunkin menetelmän kustannustehokkuus. Mielestäni kustannustehokkuus on kuitenkin määritely ongelmallisella tavalla.

Leino ym. määrittelevät ensin keskiarvon keski-
virheen satunnaisotannan mukaisesti, eli

$$s_{\bar{v}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \tag{1}$$

missä

s = koealojen tilavuuksien keskihajonta

n = koealojen määrä (Leinon ym. tutkimuksessa n=34).

Sitten keskitilavuuksien luotettavuusprosentti määritellään kaavalla

$$R = 100 - s_e\% \tag{2}$$

missä

$s_e\%$ = keskiarvon keskiarvon suhde keskiarvoon kerrottuna sadalla.

Kustannustehokkuus c määritellään luotettavuusprosentin ja koealakohtaisen mittausajan osamääränä, eli

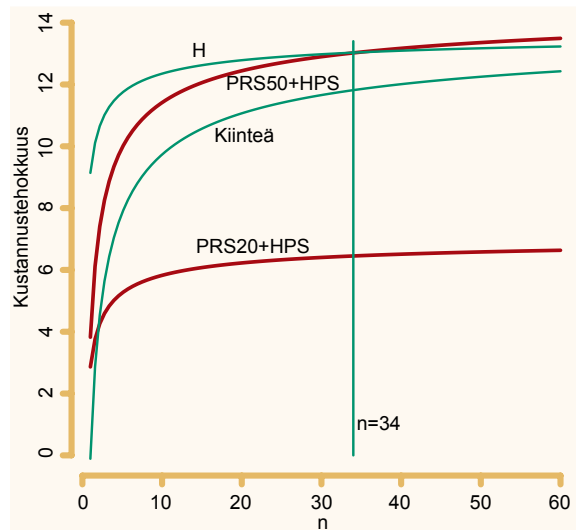
$$c = \frac{100 - 100 \frac{s}{\sqrt{n\bar{V}}}}{T} \tag{3}$$

missä

\bar{V} on keskitilavuus

T on yhden koealan mittaamiseen tarvittava aika.

Leino ym. laskevat kustannustehokkuuksia kaavalla 3 käyttäen tutkimuksen otoskoko (n=34) eikä oletettua inventoinnin otoskoko. Kuvassa 1 on esitetty Leinon ym. vertaamien menetelmien kustannustehokkuus koealojen määrän funktiona. Lisäksi kuvaan on piirretty hypoteettinen menetelmä ("H"), jonka hajonta on puolet Leinon ym. kustannustehokkaimman menetelmän PRS50+HPS hajonnasta ja jonka vaatima koealan mittausaika on 7,2 min (menetelmän PRS50+HPS mittausaika oli 6,7 min). Keski-



Kuva 1. Leinon ym. tutkittujen menetelmien kustannustehokkuus koealojen määrän funktiona. Lisäksi hypoteettinen menetelmä ("H"), jonka hajonta on puolet menetelmän PRS50 + HPS hajonnasta ja jonka vaatima koealan mittausaika on 7,2 min.

tilavuutena on käytetty menetelmän PRS50+HPS keskitilavuutta. Tutkimuksessa käytetyllä koalojen määrällä ($n=34$) hypoteettiselle menetelmälle saadaan sama kustannustehokkuus kuin menetelmälle PRS50+HPS. Mutta ovatko menetelmät todella yhtä kustannustehokkaita, eli kumoaako noin pieni mittausajan kasvu noin suuren eron keskivirheessä? Mielestäni kustannustehokkuutta ei ole ylipäänsä loogista määrittellä siten, että kustannustehokkuus riippuu inventointimenetelmien vertailututkimuksen otoskoosta ja että kustannustehokkuuskäyrät voivat leikata toisensa. Lisäongelmana kustannustehokkuuden määritelmässä (3) on se, että otoskoon kasvaessa kustannustehokkuus lähestyy raja-arvoa, joka riippuu pelkästään mittausajasta.

Mielestäni menetelmä 1 on kustannustehokkaampi kuin menetelmä 2, jos menetelmä 1 tuottaa pienemmän keskiarvon keskivirheen kuin menetelmä 2, kun molempien menetelmien vaatima inventoinnin mittauskustannus (mittausaika) on sama. Tarkastellaan, milloin

$$s_1/\sqrt{n_1} < s_2/\sqrt{n_2} \quad (4)$$

kun

$$n_1T_1 = n_2T_2 \quad (5)$$

Kun ratkaistaan n_1 yhtälöstä 5 ja sijoitetaan epäyhtälöön 4 ja sievennetään, saadaan menetelmän 1 paremmuuden ehdoksi

$$s_1\sqrt{T_1} < s_2\sqrt{T_2} \quad (6)$$

Siten indeksin $s\sqrt{T}$ avulla voidaan arviointimenetelmät asettaa kustannustehokkuusjärjestykseen. Vaikka kustannustehokkuuden määrittely lähtee liikkeelle annetusta mittausajan kokonaismäärästä, tulokseksi saatu indeksi on riippumaton mittausajan kokonaismäärästä ja koalojen määrästä. Koska suurempi indeksin arvo merkitsee huonommuutta, indeksi kuvaa varsinaisesti kalleutta eikä kustannustehokkuutta. Kalleuden mittarina indeksillä $s\sqrt{T}$ on kuitenkin vielä se puute, että jos yhden koalan mittausaika kasvaa a -kertaiseksi, menetelmän kalleus ei kasva a -kertaiseksi, kuten olisi luontevaa odottaa. Jos indeksille $s\sqrt{T}$ tehdään monotonisesti kasvava muunnos, saadaan indeksi, joka laittaa menetelmät

samaan paremmuusjärjestykseen. Neliöön korotamalla saadaan kalleusindeksiksi s^2T , jonka arvo kasvaa a -kertaiseksi, jos yhden koalan mittausaika kasvaa a -kertaiseksi. Samaan indeksiin päädytään suoraan ilman muunnoskiemuroita, jos paremmusehto (4) määritellään keskiarvon varianssin eikä keskivirheen avulla.

Jos nimenomaan halutaan kustannustehokkuusindeksi eikä mitään kalleusindeksiä, niin monotonisesti laskevalla muunnoksella saadaan indeksistä s^2T indeksi, jonka suuremmat arvot merkitsevät suurempaa tehokkuutta. Ottamalla indeksistä s^2T käänteisluku, saadaan kustannustehokkuuden indeksiksi $1/s^2T$, jonka arvo tippuu a :nteen osaan, jos mittausaika kasvaa a -kertaiseksi.

Vaihtoehtoisesti kustannustehokkuus voidaan määrittellä siten, että menetelmä 1 on kustannustehokkaampi kuin menetelmä 2, jos menetelmällä 1 saadaan sama keskivirhe pienemmällä mittauskustannuksella kuin menetelmällä 2. Tarkastellaan siis, milloin

$$n_1T_1 < n_2T_2 \quad (7)$$

kun

$$s_1/\sqrt{n_1} = s_2/\sqrt{n_2} \quad (8)$$

Kun yhtälöstä 8 ratkaistaan n_1 ja sijoitetaan epäyhtälöön 7 ja sievennetään, saadaan menetelmän 1 paremmuuden ehdoksi $s_1^2T_1 < s_2^2T_2$. Siis minimoimalla kustannuksia annetulla keskivirheellä päädytään samaan kalleusindeksiin s^2T kuin minimoimalla keskivirhettä annetulla mittauskustannuksella.

Taulukkoon 1 on kerätty Leinon ym. tarkastelemien menetelmien kustannustehokkuustiedot. Leinon ym. kustannustehokkaimmaksi saama menetelmä PRS50+HPS säilyy myös esittämälläni mittarilla kustannustehokkaimpana. Mutta toiseksi tehokkaammaksi menetelmäksi nousee selvästi menetelmä PRS20+HPS. Hypoteettinen menetelmä, joka Leinon ym. tehokkuusindeksin mukaan on yhtä tehokas kuin menetelmä PRS50+HP on ehdottamani indeksin mukaan yli kolme kertaa tehokkaampi.

Leinon m. kustannustehokkuuden määrittelmä lähtee liikkeelle siitä loogisesti oikeasta ajatuksesta, että sekä keskivirhe että mittausaika pienentävät kustannustehokkuutta. Mutta heidän esittämänsä indeksi

Taulukko 1. Leinon ym tutkimien menetelmien kustannustehokkuustiedot täydennettynä hypoteettisella menetelmällä ”H”. Leinon tutkimuksessa koealojen määrä oli 34.

Menetelmä	Tilavuuden hajonta s (m ³ /ha)	Mittausaika T (min)	Leinon ym. kustannustehokkuus	Kalleus s^2T (m ⁶ min/ha ²)	Kustannustehokkuus $1/s^2T$ (1/m ⁶ min/ha ²)
PRS20+HPS	8,69	13,9	6,45	1050	0,00095
PRS50+HPS	9,80	6,7	13,03	643	0,0016
Kiinteä	15,57	7	11,81	1697	0,00059
”H”	4,9	7,2	13,03	173	0,0058

ei sovellu menetelmien vertailuun, jos tavoitteena on minimoida keskivirhettä käytettävissä olevassa mittausajassa tai jos tavoitteena on minimoida mittausaikaa ja saavuttaa haluttu keskivirhe. Jos kokonaismittausaika ei ole verrannollinen koealojen määrään (esim. jos otetaan huomioon, että koealojen keskimääräiset välimatkat muuttuvan koealojen määrän muuttuessa), tarvitaan tässä kommentissa esitettyä mutkikkaampi analyysi. Tällöinkin inventointimenetelmien kustannustehokkuus voi riippua varsinaisen inventoinnin otoskoosta eikä inventointimenetelmien vertailututkimuksen otoskoosta. En keksi tilannetta, jossa Leinon ym. esittämä indeksi olisi hyödyllinen.

Viite

Leino, O., Holopainen, M., Mäkinen, A., Happonen, H., Kiviaho, T. & Tuominen, R. 2006. Pysty- ja lahopus-ton inventointi relaskooppiotannan avulla. Metsätieteen aikakauskirja 3/2006: 383–390.

■ VTT Juha Lappi, Metlan Suonenjoen toimintayksikkö.