

Perinteisten korjuujäljen tarkastusten puustotunnusten luotettavuus koealaotannan näkökulmasta

Eetu Kotivuori, Harri Hytönen, Lauri Haataja

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	3
2 Aineisto ja menetelmät	6
2.1 Maastotarkastusaineisto	6
2.2 Tilastollisten tunnusten laskenta	6
2.3 Luottamusvälien sijoittuminen harvennusmalleihin nähden	7
2.4 Teoreettinen tarkastelu optimaalisista koealamääristä	9
3 Tulokset.....	11
3.1 Otoskeskiarvon etäisyys luottamusrajasta	11
3.2 Luottamusvälien sijoittuminen harvennusmallialueille	11
3.3 Kuinka paljon koealoja pitäisi mitata?	12
4.1 Johtopäätökset.....	17
4.2 Korjuujäljen tarkastukset vuonna 2026	19
Lähteet	22
Liite 1. Korjuujäljen tarkastusmenetelmän taustasta.....	24

1 Johdanto

Suomen metsäkeskus tarkastaa korjuujäljen laatua vuosittain ensiharvennuskohteilta hakkuiden jälkeen. Tarkastuksilla valvotaan metsälain (1093/1996) 5 ja 6 §:ää. Tarkastettavat kohteet valitaan Maa- ja metsätalousministeriön asettaman tarkastusmääräyksen ja tarkastusmääräyksen perusteella Metsäkeskuksessa laaditun tarkastussuunnitelman mukaisesti (esim. 150 tai 300 kohdetta vuosittain). Kohteet valitaan edeltävän vuoden aikana saapuneilta metsänkäyttöilmoituksilta. Yksi metsänkäyttöilmoitus voi sisältää useampia hakkuuajomuskohteita, mutta lähtökohtaisesti yhdeltä ilmoitukselta tarkastukseen valitaan vain yksi kohde, jossa hakkuu on toteutunut. Suurin osa tarkastettavista kohteista on puustoltaan melko heterogeenisiä alueita, sillä yksi metsänkäyttöilmoituskohde voi sijaita useamman metsikkökuvion alueella. Esimerkiksi tarkastettavalla kohteella voi olla puustoa useasta eri kehitysluokasta.

Korjuujäljen tarkastuksissa pyritään saamaan mahdollisimman luotettava kuva harvennetun kohteen kasvatuskelpoisen puuston määrästä (runkoluku tai pohjapinta-ala), poistumasta, korjuun yhteydessä aiheutuneista puusto- ja maastovaurioista ja ajourista (leveys, väli ja painauma). Maastosta kerättyjä tunnuksia hyödynnetään kohteen arvostelussa, joka tehdään kolmiportaisesti. Mikäli kaikki tunnuksat ovat metsänhoitosuosituksen mukaisia, on arvostelu ”Suositusten mukainen”. Jos jokin tunnus poikkeaa suosituksista, mutta pysyy lain asettamissa rajoissa, on arvostelu ”Lainmukainen”. Mikäli jokin tunnus ei sovi lain asettamiin rajoihin, arvostellaan kohde luokkaan ”Virheellinen”. Yksittäisen tunnusten arvot esitetään asianosaisille toimitettavilla tarkastusraporteilla, mutta yksittäisistä tunnuksista ei anneta vastaavaa luokiteltua arvostelua. (Suomen metsäkeskus 2022)

Metsänarvioinnissa otoksen avulla pyritään laskemaan koko perusjoukkoa kuvaavia tunnuksia mahdollisimman luotettavasti. Tämä tarkoittaa useimmiten käytännössä ennakkoon rajatulle alueelle satunnaisesti tai systemaattisesti asetettujen koealojen maastomittauksia. Otos kuvaa

harvoin perusjoukkoa täydellisesti. Otoksesta riippuen otos voi joko ylitä aliarvioida perusjoukon tunnuksia. Suuri vaikutus otantaan on myös kuvattavan perusjoukon sisäisellä vaihtelulla. (Kangas ym. 2011b)

Jäävän puuston määrää on arvioitu korjuujäljen tarkastuksissa perinteisesti maastossa sijoittamalla linjoittain metsänkäyttöilmoituskuvion alueelle systemaattisesti vähintään 10 kiinteäsäteistä koealaa. Koealan säteenä on käytetty 5,64 metriä. Koealoilta mitataan kaikkien 7 cm rinnankorkeusläpimittarajan ylittävien puiden läpimitat ja pituudet, jotka ovat vähintään puolet kasvatettavan puuston valtapituudesta. Lopuksi puutason mittaukset yleistetään koealoilta koko kohteelle ja jäävän puuston määrää verrataan valtapituuden, pohjapinta-alan ja runkoluvun avulla hyvän metsänhoidon suositusten mukaisiin harvennusmalleihin (Äijälä ym. 2019). Liitteessä 1 on kuvattu tarkemmin nykyisin käytössä olevan menetelmän taustaa. Perinteisen koealaotantamenetelmän rinnalla on viime vuosina (2021 ja 2022) käytetty lennokka-ilmakuvia ja yksinpuintulkintaa hyödyntävää menetelmää puustotunnusten arviointiin. Tarkastusmääräyksen mukaisia korjuujäljen tarkastuksia toteutettiin esimerkiksi vuonna 2022 yhteensä noin 610 ha, joista perinteisinä tarkastuksina toteutettiin noin 490 ha ja lennokkipohjaisina noin 120 ha.

Metsäkeskuksen perinteiset korjuujäljen tarkastukset ovat saaneet viime aikoina paljon kritiikkiä. Metsäteollisuus (2023) on todennut esimerkiksi 30.3.2023 julkaistussa uutisessaan seuraavaa: ”Metsäteollisuusyritysten omissa ja kolmannen osapuolen maastossa tekemissä tarkistusmittauksissa hakkuukohteelle jäävän puuston määrä hehtaarille oli keskimäärin 10 prosenttia korkeampi kuin Metsäkeskuksen mittauksissa.” Lisäksi uutisessa painotetaan, että Metsäkeskuksen korjuujäljen tarkastusmenetelmä on puutteellinen ja menetelmä tulee saattaa arviotavaksi.

Edellä mainitusta kritiikistä johtuen, tässä selosteessa kuvatus selvityksen tavoitteena oli arvioida perinteisissä korjuujäljen tarkastuksissa mitattujen puustotunnusten tilastollista luotettavuutta koealaotannan nä-

kökulmasta. Tarkasteltaviksi tunnuksiksi valittiin jäävän puuston määrän arvioinnissa käytetyt tunnuukset, pohjapinta-ala ja runkoluku. Tarkastelua tehtiin otanta-aineistosta laskettujen tilastollisten tunnusten, kuten esimerkiksi otoskeskiarvon luottamusvälin avulla. Tässä selvityksessä laskelmat tehtiin sillä oletuksella, että tarkastettavan kohteen valtapituus ja kasvupaikka on arvioitu luotettavasti. Hakkuukohteilta ei ollut saatavissa tässä vaiheessa erillistä validointiaineistoa koko perusjoukosta, jota olisi voitu hyödyntää tarkemmin virhettä kuvaavien tunnusten laskennassa. Selvityksessä ei tutkittu myöskään uuden lennokkimenetelmän luotettavuutta.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Maastotarkastusaineisto

Tässä selvityksessä käytettiin koko Suomen kattavaa aineistoa Metsäkeskuksen toteuttamista korjuujäljen maastotarkastuksista vuosilta 2020–2022. Aineistoista jätettiin pois tarkastukset, joissa oli käytetty lennokka-ilmakuvia puustotunnusten arviointiin. Toisin sanoen selvityksessä tarkasteltiin vain perinteiseen koealaotantaan perustuvia maastotarkastuksia. Aineistosta suodatettiin myös pieni määrä maastossa varmennettuja tarkastuskohteita, jotka eivät olleet ensiharvennuksia. Rajausten jälkeen aineisto käsitti yhteensä 391 tarkastusta.

Suurimmasta osasta tarkastuksia (329 tarkastusta) tarkastuskohteelta oli mitattu säännönmukaisesti 10 koealaa. Poikkeuksiakin kuitenkin löytyi: 53 tarkastukselta oli mitattu 11–13 koealaa ja yhdeksältä tarkastukselta 14–21 koealaa. Tarkastettavien kohteiden metsänkäyttöilmoituskuviolle ilmoitetut pinta-alat vaihtelivat 0,8–20,1 ha välillä (mediaani 2,1 ha). Tarkastukset, joissa oli käytetty enemmän koealoja (14–21 kpl) painottuivat pinta-alaltaan hieman suurempiin kohteisiin.

Tarkastettavien kohteiden koealamittauksista yleistetyt puustotunnukset vaihtelivat aineistossa paljon. Pohjapinta-alat vaihtelivat 6,6–28,4 m²/ha välillä, runkoluku vaihteli 310–1680 kpl/ha ja valtapituus 12–22,8 m välillä.

2.2 Tilastollisten tunnusten laskenta

Selvityksessä laskettiin jokaiselle tarkastuskohteelle pohjapinta-alan ja runkoluvun tilastollisia tunnuksia koealaotannasta. Molemmille tunnuksille laskettiin otoksen keskiarvot, varianssit ja keskihajonnat. Lisäksi tunnuksille laskettiin 95 %:n luottamusvälit seuraavalla kaavalla:

$$y \pm 1,96 \times s_e \tag{1}$$

jossa s_e = keskiarvon keskivirhe, joka saadaan ratkaisua otoksen keskihajonnan (s_y) ja otoskoon (n) avulla (Kangas ym. 2011b):

$$s_e = s_y / \sqrt{n} \quad (2)$$

Pohjapinta-alan ja runkoluvun otoskeskiarvon absoluuttista eroa luottamusrajaan tarkasteltiin prosenttiluokkien avulla. Toisin sanoen tässä tarkastelussa tutkittiin, sijaitseeko otoskeskiarvo 1) 0,0–9,9 %, 2) 10,0–19,9 %, 3) 20,0–29,9 %, 4) 30,0–39,9 % vai 5) $\geq 40,0$ % etäisyydellä luottamusvälin ylä- ja alarajasta.

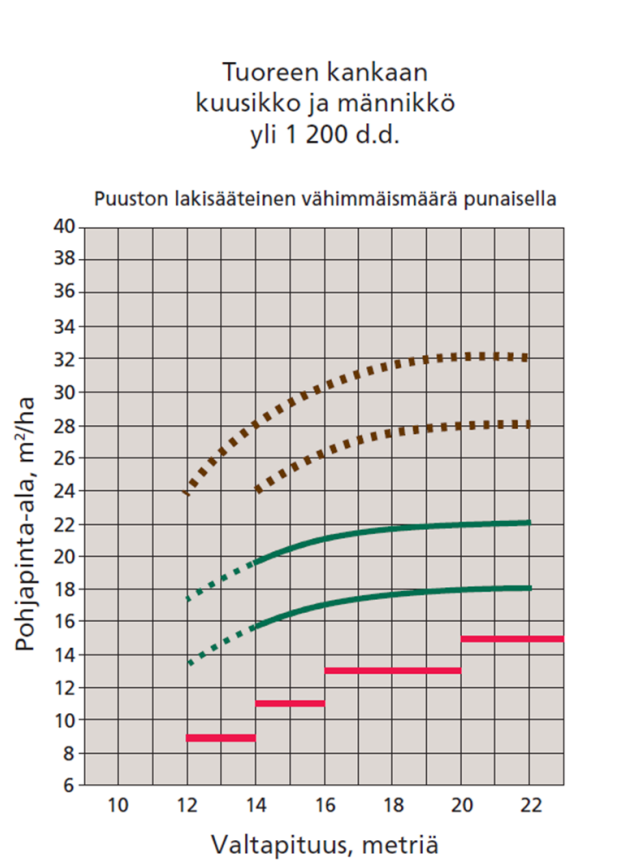
2.3 Luottamusvälien sijoittuminen harvennusmalleihin nähden

Tämän jälkeen tarkastusten pohjapinta-alojen luottamusvälin sijoittumista tarkasteltiin harvennusmallien jäävän puuston suositusrajojen ja lakirajojen suhteen (Kuva 1). Jokaiselle tarkastuskohteelle valittiin kasvupaikan, pääpuulajin ja maantieteellisen sijainnin mukaan oikea harvennusmalli ja tarkasteltiin mihin seuraavista luokista pohjapinta-alan luottamusväli kuuluu:

- 1) luottamusväli suositusten ylärajan yläpuolella:
"Luottamusvälin alaraja" > "Suositusten yläraja"
- 2) luottamusväli suositusrajojen välissä:
"Luottamusvälin yläraja" < "Suositusten yläraja" JA
"Luottamusvälin alaraja" > "Suositusten alaraja"
- 3) luottamusväli suositusten alarajan ja lakirajan välissä:
"Luottamusvälin yläraja" < "Suositusten alaraja" JA
"Luottamusvälin alaraja" > "Lakiraja"
- 4) luottamusväli lakirajan alapuolella
"Luottamusvälin yläraja" < "Lakiraja"

- 5) luottamusvälin yläraja suositusten ylärajan yläpuolella, luottamusvälin alaraja suositusrajojen välissä
"Luottamusvälin yläraja" > "Suositusten yläraja" JA
"Luottamusvälin alaraja" < "Suositusten yläraja" JA
"Luottamusvälin alaraja" < "Suositusten alaraja"
- 6) luottamusvälin yläraja suositusrajojen välissä, luottamusvälin alaraja suositusten alarajan ja lakirajan välissä
"Luottamusvälin yläraja" < "Suositusten yläraja" JA
"Luottamusvälin yläraja" > *"Suositusten alaraja" JA*
"Luottamusvälin alaraja" < "Suositusten alaraja" JA
"Luottamusvälin alaraja" > "Lakiraja"
- 7) luottamusvälin yläraja suositusten alarajan ja lakirajan välissä, luottamusvälin alaraja lakirajan alapuolella
"Luottamusvälin yläraja" < *"Suositusten alaraja" JA*
"Luottamusvälin yläraja" > *"Lakiraja" JA*
"Luottamusvälin alaraja" < "Lakiraja"
- 8) luottamusvälin yläraja suositusten ylärajan yläpuolella, luottamusvälin alaraja suositusten alarajan ja lakirajan välissä
"Luottamusvälin yläraja" > "Suositusten yläraja" JA
"Luottamusvälin alaraja" < "Suositusten alaraja" JA
"Luottamusvälin alaraja" > "Lakiraja"
- 9) luottamusvälin yläraja suositusrajojen välissä, luottamusvälin alaraja lakirajan alapuolella
"Luottamusvälin yläraja" < "Suositusten yläraja" JA
"Luottamusvälin yläraja" > "Suositusten alaraja" JA
"Luottamusvälin alaraja" < "Lakiraja"
- 10) luottamusvälin yläraja suositusten ylärajan yläpuolella, luottamusvälin alaraja lakirajan alapuolella
"Luottamusvälin yläraja" > "Suositusten yläraja" JA
"Luottamusvälin alaraja" < "Lakiraja"

Tällä luokituksella voitiin arvioida, kuinka monessa tapauksessa pystytään 95 % todennäköisyydellä sanomaan, että luottamusväli sijaitsee tietyllä harvennusmallialueella. Ongelmallisiksi tulevat ne tapaukset, joissa luottamusväli on kahdella tai useammalla eri alueella. Näissä tilanteissa ei voida tilastollisessa mielessä luotettavasti sanoa, onko kohde esimerkiksi hakattu liian harvaksi vai onko tilanne edelleen lainmukainen (esim. edeltävän listauksen luokka 7).



Kuva 1. Etelä-Suomessa sijaitsevien tuoreen kankaan kuusikoiden harvennusmalli, jossa vihreät viivat kuvaavat jäävän puuston pohjapinta-alan suositusväliä (suositusrajat) ja punainen viiva pohjapinta-alan lakirajaa tietyllä valtapituudella.

2.4 Teoreettinen tarkastelu optimaalisista koealamääristä

Lopuksi tehtiin tarkastelu, jossa laskettiin optimaaliset koealamäärät teoreettisesti jokaiselle tarkastukselle. Pienimmäksi sallituksi pohjapinta-alan otoskeskiarvon poikkeamaksi jokaiselle tarkastukselle määritettiin pienin seuraavien lukujen itseisarvoista:

1) pohjapinta-alan otoskeskiarvon ja harvennusmallin jäävän puuston suositusten ylärajan erotus, 2) pohjapinta-alan otoskeskiarvon ja harvennusmallin suositusten alarajan erotus tai 3) pohjapinta-alan otoskeskiarvon ja harvennusmallin lakirajan erotus.

Teoreettinen koealamäärä laskettiin seuraavan kaavan avulla (Kangas ym. 2011b):

$$n = (1.96 / d) \times s_y^2 \quad (3)$$

jossa n = koealamäärä, d = suurin sallittu poikkeama otoskeskiarvosta ja s_y^2 otoksen varianssi. Todellisen koealamäärän laskentaan pitäisi tuntea koko perusjoukon varianssi, mutta koska sitä ei ole tiedossa, paras arvio pohjapinta-alan varianssista on laskettavissa tarkastuskohteilta tehdyn otoksen perusteella.

Tarkasteluja 2.3. ja 2.4 ei tehty runkoluvulle, sillä suurin osa tämän aiheiston tarkastusten arvosteluista tehtiin pohjapinta-alan mukaan.

3 Tulokset

3.1 Otoskeskiarvon etäisyys luottamusrajasta

Tarkastuskohteiden pohjapinta-alan keskihajonta vaihteli aineistossa 1,3–10,9 m²/ha (mediaani 3,7 m²/ha) välillä. Runkoluvun keskihajonta vaihteli puolestaan 42–882 kpl/ha (mediaani 203 kpl/ha) välillä. Yleisesti ottaen, mitä suurempi otoksen keskihajonta on, sitä suurempi on myös luottamusväli.

Kuvissa 2 ja 3 on esitetty otoskeskiarvon etäisyydet luottamusvälin ylä- ja alarajoihin prosenttiluokittain. Pohjapinta-alan otoskeskiarvo sijaitsi suurimmassa osassa tarkastuksista (61,64 %) 10,0–19,9 % etäisyydellä luottamusrajasta. Toiseksi eniten tarkastuksia (30,18 %) sijoittui luokkaan 20,0–29,9 %. Tulokset runkoluvulle olivat samansuuntaisia kuin pohjapinta-alalle. Yleisenä trendinä voidaan todeta, että runkoluvun luottamusvälit olivat hieman kapeampia kuin pohjapinta-alan luottamusvälit.

3.2 Luottamusvälien sijoittuminen harvennusmallialueille

Kuvassa 4 on esitetty otoksesta laskettujen puuston pohjapinta-alan luottamusvälien sijoittuminen suhteessa harvennusmallien suositusrajoihin ja lakirajoihin. Korjuujäljen tarkastuskohteiden arvostelu jäävän puuston pohjapinta-alan suhteen voidaan suorittaa luotettavasti luokkien 1–4 tapauksissa. Luottamusväli sijaitsi 95 % todennäköisyydellä 1) suositusten ylärajan yläpuolella 1,02 %:ssa, 2) suositusrajojen välissä 0,26 %:ssa, 3) suositusten alarajan ja lakirajan välissä 5,63 %:ssa ja 4) lakirajan alapuolella 2,05 %:ssa tarkastuksista. Arvostelu pohjapinta-alan suhteen voidaan suorittaa luotettavasti yhteensä 8,96 %:ssa tarkastuksista.

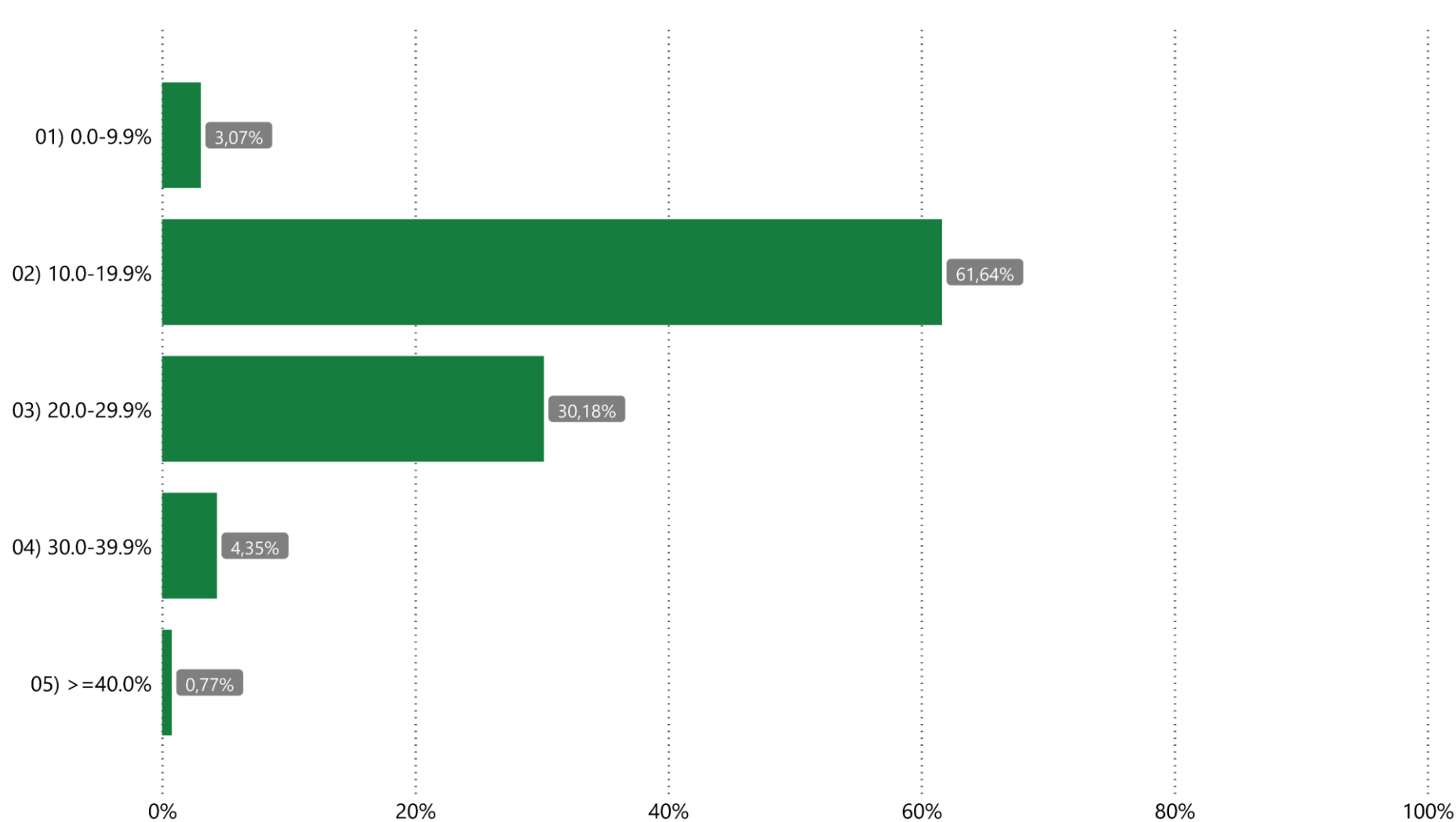
Kohteen arvostelu jäävän puuston pohjapinta-alan suhteen muuttuu hankalaksi tarkastuksissa, joissa luottamusvälit sijaitsevat kahdella tai useammalla harvennusmallialueella. Suurimmalla osalla tarkastuksista (33,25 %) luottamusvälin yläraja sijaitsi suositusten välissä ja alaraja

suositusten alarajan ja lakirajan välissä (luokka 6). Näissä tapauksissa ei pystytty varmasti sanomaan onko kohteen arvostelu ”Suositusten mukainen” vai ”Lainmukainen”. Sama ongelma arvostelun kannalta toistuu myös luokissa 5 ja 8; luottamusvälin yläraja sijaitsi suositusten ylärajan yläpuolella ja luottamusvälin alaraja suositusrajojen välissä (luokka 5) 6,14 %:ssa tarkastuksista, ja luottamusvälin yläraja sijaitsi suositusten ylärajan yläpuolella ja luottamusvälin alaraja suositusten alarajan ja lakirajan välissä (luokka 8) 14,32 %:ssa tarkastuksista. Tarkastusten arvostelu ”Suositusten mukainen” ja ”Lainmukainen” -luokkien välillä on haastavaa yhteensä 53,71 %:ssa tarkastuksista.

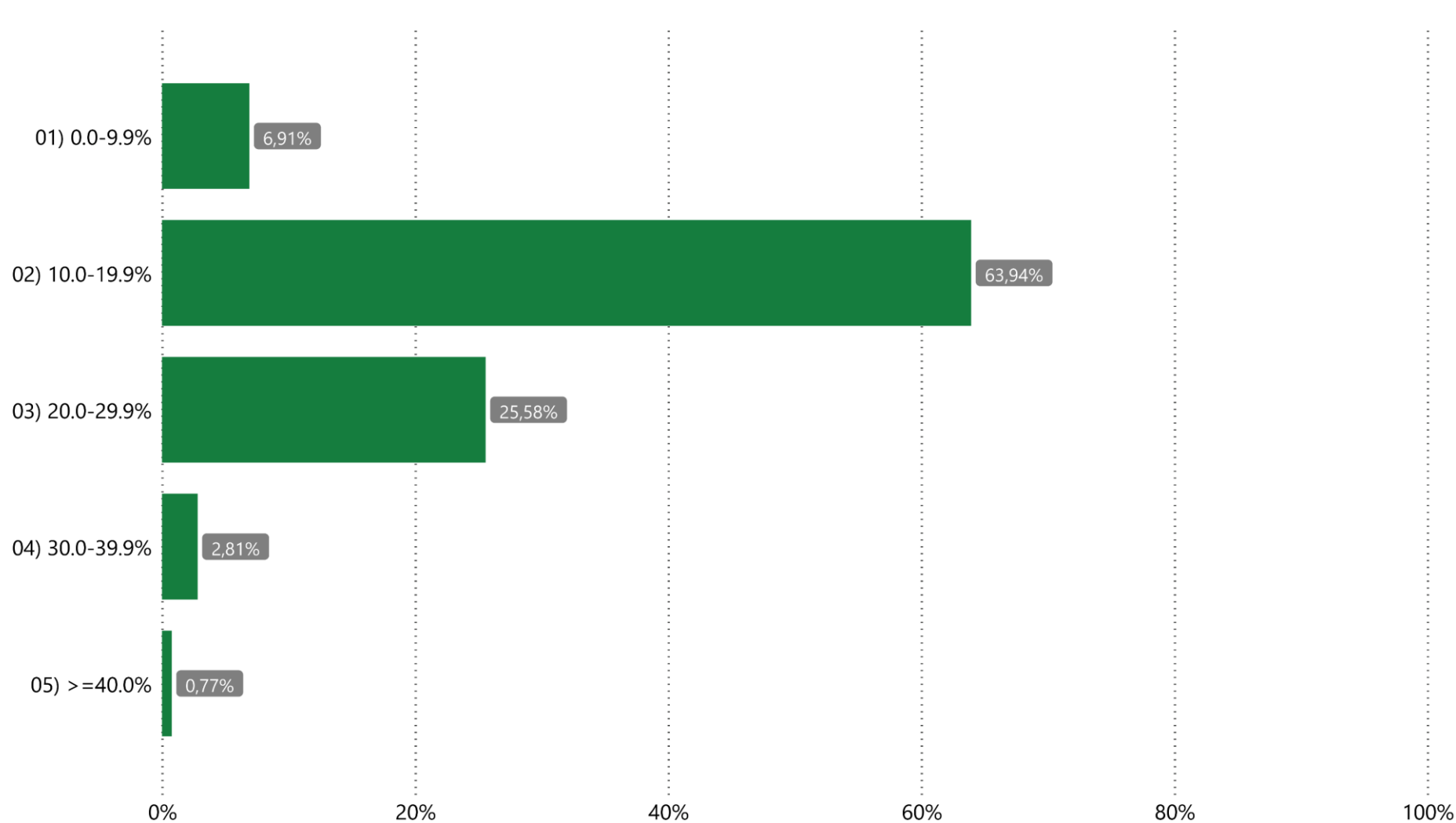
Merkittävimmän ongelman tarkastusten arvostelun osalta muodostavat luokat 7, 9 ja 10. Luokan 7 tapauksessa ei voida luotettavasti sanoa onko arvostelu jäävän puuston osalta ”Lainmukainen” vai onko se ”Virheellinen”. Luokkien 9 ja 10 tapauksissa ei puolestaan voida luotettavasti tietää, onko arvostelu ”Suositusten mukainen”, ”Lainmukainen” vai ”Virheellinen”. Luottamusvälin yläraja sijaitsi suositusten alarajan ja lakirajan välissä ja luottamusvälin alaraja lakirajan alapuolella (luokka 7) 24,81 %:ssa tarkastuksista. Luottamusvälin yläraja sijaitsi suositusrajojen välissä ja luottamusvälin alaraja lakirajan alapuolella (luokka 9) puolestaan 11,76 %:ssa tarkastuksista. Kaikille harvennusmallialueille luottamusväli osui (luokka 10) 0,77 %:ssa tarkastuksista. Yhteensä lainmukaisuuden arviointi on haastavaa 37,34 %:ssa tarkastuksista.

3.3 Kuinka paljon koealoja pitäisi mitata?

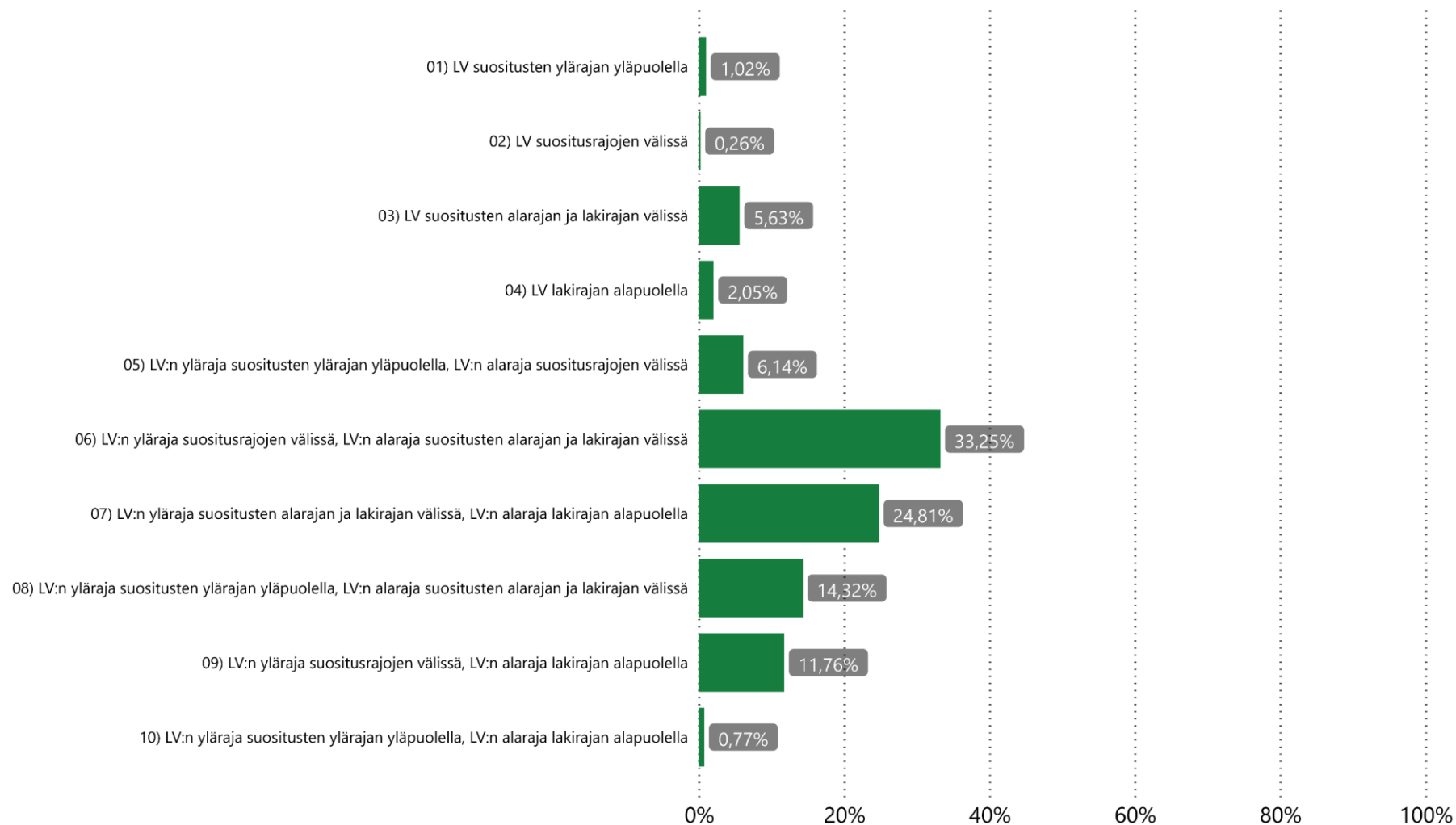
Kuvassa 5 on esitetty tarkastelun tulokset, jossa laskettiin kuinka paljon koealoja pitäisi mitata, jos suurin sallittu otoksen pohjapinta-alapoikkeama ei saisi ylittää harvennusmallien mukaisia suositusrajoja eikä lakirajaa. Tämän selvityksen perusteella 10 koealaa riittää 9,46 %:lle tarkastuksista. Tarkastuksista 8,18 % pitäisi puolestaan mitata 11–15 koealalla ja 6,65 % 16–20 koealalla. Tulosten mukaan kuitenkin 75,70 %:lla tarkastuksista pitäisi mitata arvostelun onnistumiseksi yli 20 koealaa.



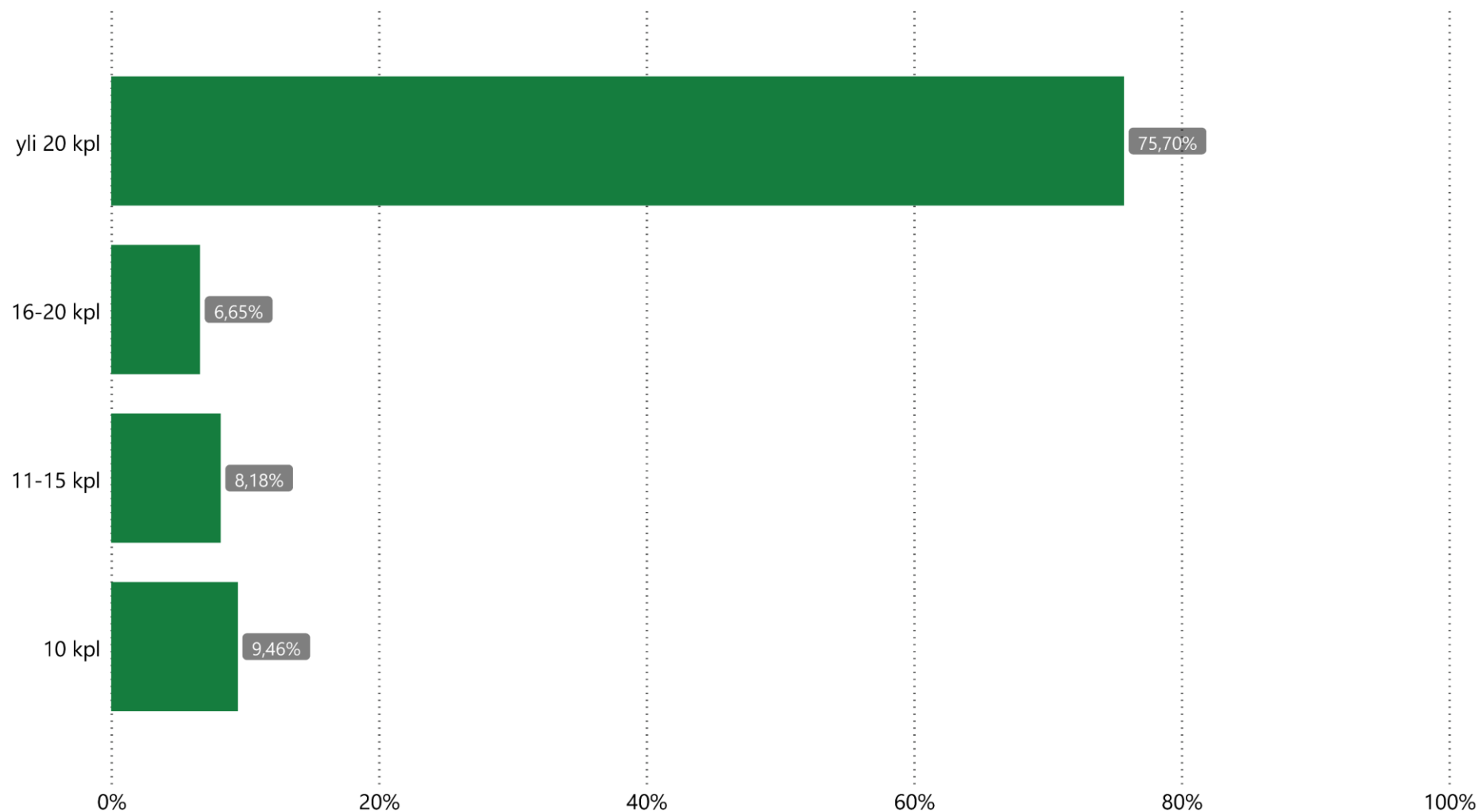
Kuva 2. Korjuujäljen tarkastusten pohjapinta-alamittausten otoskeskiarvojen etäisyys luottamusrajaan prosenttiluokittain (n = 391).



Kuva 3. Korjuujäljen tarkastusten runkolukumittausten otoskeskiarvojen etäisyys luottamusrajaan prosenttiluokittain (n = 391).



Kuva 4. Korjuujäljen tarkastusten pohjapinta-alamittausten luottamusvälien sijoittuminen harvennussmallien eri alueille.



Kuva 5. Teoreettinen laskenta siitä, kuinka paljon koealoja pitäisi mitata, jotta suurin sallittu pohja-pinta-alapoikkeama ei saa ylittää harvennusmallien mukaisia suositusrajoja eikä lakirajaa.

4 Johtopäätökset ja kehittämisehdotukset

4.1 Johtopäätökset

Tämän selvityksen tulosten perusteella voidaan todeta, että Suomen metsäkeskuksen toteuttama ensiharvennuskohteiden korjuujäljen arvostelu puustotunnusten suhteen on haastavaa nykyisen koealaotantaan perustuvan mittausmenetelmän avulla. Nykyistä menetelmää käyttäen suurimmassa osassa tapauksista ensiharvennetun kohteen arvostelua ei voida kohdistaa luotettavasti tiettyyn arvosteluluokkaan jäävän puuston osalta ("Suositusten mukainen", "Lainmukainen", "Virheellinen").

Ongelmallisimpia ovat tilanteet, joissa otoskeskiarvo on hyvin lähellä harvennusmallien mukaisia suositusrajoja tai lakirajaa. Näissä tapauksissa olisi mitattava huomattava määrä lisäkoealoja, jotta jäävän puuston tunnuksat saadaan laskettua riittävällä tarkkuudella arvostelua varten (Kuva 5). Luottamusvälin kaventaminen tietyille harvennusmallialueelle (Kuvat 1 ja 4) voi ääritapauksissa vaatia, että tarkastettavan kohteen rungoista mitataan suurin osa (jopa 90 %).

Tulevina vuosina (2023–2025) tullaan kuitenkin jatkamaan korjuujäljen tarkastuksia perinteisillä menetelmillä. Tämän selvityksen perusteella tuleviin mittauksiin voidaan suositella koealamäärän reilua kasvattamista, mikäli maastossa huomataan pohjapinta-alan otoskeskiarvon olevan lähellä suositusrajoja tai lakirajaa. Tämän lisäksi, jos kohteella on hyvin heterogeenistä puustoa, koealamäärän lisääminen on suositeltavaa. Hyvin heterogeenisillä kohteilla on myös syytä kiinnittää huomiota koealojen huolelliseen sijoitteluun. Jos otoskeskiarvo asettuu puolestaan selvästi tietyille harvennusmallialueelle ja kohde on puustoltaan homogeeninen, nykyisestä tarkastusohjeesta poikkeavat lisämitaukset eivät ole todennäköisesti tarpeen.

Koealamäärän kasvattamisen lisäksi myös koealakoon kasvattaminen voisi kaventaa luottamusvälejä ja parantaa arvostelun luotettavuutta.

Tämän selvityksen yhteydessä testattiin yhdellä lennokka-inventoidulla kohteella erikokoisten koealojen (100 m² ja 200 m²) simulointia yksinpuintulkinta-aineistoon. Testissä tehtiin oletus, että yksinpuintulkinta-aineisto antaa luotettavan kuvan kohteen populaatiosta. Koealakoon kasvattaminen kavensi kyseisen tarkastuskohteen pohjapinta-alan luotamusväliä. Koealakoon kasvattaminen voi siis joissain tapauksissa olla suositeltavaa, mutta on kuitenkin huomioitava, että joissain tapauksissa se voi myös johtaa ylimääräiseen ajanmenekkiin ilman varsinaista hyötyä. Aihepiiri vaatii siis vielä tarkempaa tutkimusta.

Henkilötyönä tehtyihin maastomittauksiin liittyy aina mittaajakohtainen vaikutus (Kangas ym. 2011a). Henkilöstä riippuen mittauksissa voi olla selkeitäkin eroja. Lisäksi ongelmat mittalaitteissa voivat aiheuttaa mitausvirheitä. Näiden edellä mainituiden syiden vuoksi voidaan suositella tarkastuskohteiden ristiinmittauksia mittausten laadun varmistamiseksi. Ristiinmittausten onnistumiseksi koealojen keskipisteiden sijainnit on merkittävä maastossa huolellisesti. Pohjapinta-ala- ja runkolukumittausten lisäksi tulevaisuudessa olisi tärkeää tutkia puuston pituusmittausten mahdollisten virheiden vaikutusta arvosteluun, sillä pituusmittauksista laskettu kohteen valtapituus vaikuttaa suoraan siihen, millä raja-arvoilla kohdetta arvostellaan.

Lopuksi on syytä huomioida, että tämän selvityksen tulokset perustuivat ainoastaan suoraan otoksesta johdettujen tilastollisten tunnusten tarkasteluun. Lisäksi tarkastelun tuloksia hyödynnettäessä on huomioitava, että laskennassa käytettiin keskiarvon keskivirheelle satunnaisotannan estimaattoria systemaattisen otannan estimaattorin puuttuessa, mikä voi aiheuttaa joissain tapauksissa esimerkiksi yliarviota luotamusvälien leveyteen (Kangas ym. 2011b). Tarkastustulosten validointi voitaisiin suorittaa luotettavimmin, jos joukolta erilaisia tarkastuskohteita mitattaisiin alueen kaikki puut. Tällaisella aineistolla voisi myös simuloida koealaotantaskenaarioita, jos kohteiden kaikki puut myös paikannettaisiin mittausten yhteydessä. Tämän kokoluokan validointimitaukset ovat kuitenkin hyvin kalliita ja vaatisivat suuren resurssivarauksen maastotyöhön.

4.2 Korjuujäljen tarkastukset vuonna 2026

Korjuujäljen tarkastusten menetelmää on kehitettävä tulevina vuosina. Realistisena aikatauluna voitaisiin pitää, että uusi menetelmä tarkastuksiin olisi käytössä kesällä 2026.

Kuten edellä jo todettiin, nykyistä koealaotantaan perustuvaa menetelmää voitaisiin kehittää kahdella vaihtoehtoisella tavalla: 1) kehitetään koealaotantaa keräämällä tarkastuskohteilta puutason tarkkuudella paikannettu tutkimusaineisto, tai 2) hyödynnetään lennokka-inventointien yksinpuintulkinta-aineistoja kehitystyössä. Molemmissa skenaarioissa tutkittaisiin millaiset otokset (määrä, koko ja sijoittelu) tuottaisivat luotettavia tuloksia kohteen arvosteluun puustotunnusten osalta. Tutkimusaineistoa pitäisi kerätä erilaisista puustoista, erilaisilta kasvupaikoilta ja useilta maantieteellisiltä alueilta. Vaihtoehtoa 2 puoltavat pienemmät aineistonhankintakustannukset, mutta toisaalta vaihtoehdon 2 käytettävyyteen vaikuttavat myös yksinpuintulkinnan virheet (havaitsematta jääneet puut / ylimääräiset puut). Tämän vuoksi vaihtoehtoa 2 varten olisi hankittava erillinen validointiaineisto, jolla voitaisiin testata lennokka-inventointien yksinpuintulkinnan onnistumista. Yksinpuintulkinnan validointiaineistona voitaisiin käyttää metsävarojen inventoinnissa kerättäviä puukarttakoealoja, jos korjuujäljen tarkastusten tutkimusaineisto hankittaisiin samoilta alueilta kuin metsävarojen inventointi kyseisenä vuonna ollaan toteuttamassa. Jos puukarttakoealat olisivat tarpeeksi suuria, niitä voitaisiin käyttää suoraan myös vaihtoehdon 1 toteuttamiseen. Maastoaineiston keruusovellusta voitaisiin lisäksi kehittää tukemaan maastomittauksia paremmin. Mittaajille voitaisiin tarjota erilaisia tilastollisia tunnuksia, joihin asetettujen raja-arvojen perusteella he voisivat arvioida maastossa, onko koealamäärää kasvatettava vai ei.

Suosittelavampaa kuitenkin on, että korjuujäljen tarkastusten menetelmää kehitetään kaukokartoitusperusteiseksi. Tarkastusten lähtöaineistona voisi hyödyntää ilmakehän ja pistepilviaineistoja. Inventointimenetelmänä voisi hyödyntää niin kutsuttua aluepohjaista inventointia tai

yksinpuintulkintaa (Vauhkonen ym. 2014). Yleisesti ottaen kaukokartoituksella on mahdollista saavuttaa puolet pienempiä puustoennusteiden keskivirheitä perinteisiin maastokäynteihin verrattuna (Haara & Korhonen 2004; Packalén & Maltamo 2007). Kuten edellä on todettu, lennokka-ilmakuvapistepilviin perustuvaa yksinpuintulkintaa on jo hyödynnetty vuosina 2021 ja 2022 osassa tarkastuksista. Näissä tarkastuksissa käytettyjä yksinpuintulkinta-aineistoja on validoitu lähinnä visuaalisesti. Visuaalisen tarkastelun perusteella Metsäkeskuksen asiantuntijat ovat olleet tyytyväisiä yksinpuintulkinnan laatuun. Yksinpuintulkinta-aineistoja on kuitenkin validoitava vielä tarkemmin esimerkiksi edellä mainittujen puukarttakoealojen avulla. Yksinpuintulkinta-aineistojen toimitaja ennustaa tulkituille puille läpimitat, mutta Metsäkeskuksella ei ole tarkkaa tietoa siitä, millaisia malleja toimittaja käyttää ennustamiseen. Jatkossa olisikin syytä harkita omien läpimittamallien kehittämistä korjuujälkitarkastuksiin laskennan läpinäkyvyyden turvaamiseksi. Yksinpuintulkinnan algoritmeja voisi myös kehittää Metsäkeskuksen omaan käyttöön, jolloin toimijoilta tarvittaisiin vain kaukokartoitusaineistot.

Ilmakuva-aineistojen ohella lennokeilla voi kerätä myös laserkeilauspistepilviä. Laserpistepilvien avulla esimerkiksi kohteen rungoista voi saada havaintoja, jolloin puun runkomuotoa voisi mahdollisesti hyödyntää pohjapinta-alaennusteen tarkentamiseen (Kukkonen ym. 2021). Lisäksi valtakunnallisesti kerättävää tiheää lentolaserkeilausaineistoa voisi mahdollisesti hyödyntää korjuujäljen tarkastuksissa, jos metsävarojen inventointi osuu tarkastuskohteiden kanssa samalle alueelle (Maltamo & Packalen 2014). Alueellisissa metsävarainventoinneissa inventoitavilta alueilta kerätään mallinnuksen referenssiaineistoksi koealapankki, jota voisi todennäköisesti soveltaa myös korjuujälkitarkastusten puustotunnusten ennustamiseen yhdessä kaukokartoitusaineistojen kanssa aluepohjaista menetelmää hyödyntäen.

Tässä selvityksessä ei otettu puustotunnusten lisäksi kantaa muihin korjuujäljen tarkastuksissa arvosteltaviin tunnuksiin. Korjuujäljen tarkastusten arvosteluissa otetaan huomioon myös poistuma, korjuun yhteydessä aiheutuneet puusto- ja maastovauriot, sekä ajourat (leveys,

väli ja painauma). Pistepilviaineistojen käyttö korjuujälkitarkastuksissa voisi mahdollistaa puustotunnusten lisäksi myös urien havaitsemisen ja osittain myös uratunnusten laskennan. Urapinta-aloja voisi hyödyntää lisäksi apuna, kun kaukokartoitusperusteisesti ennustettuja puustotietoja yleistetään koko tarkastuskohteelle. Puusto- ja maastovaurioiden todentaminen vaatii kuitenkin aina maastokäyntejä. Yhtenä vaihtoehtona voisi olla korjuujälkitarkastusten eriyttäminen kahteen tarkastuslajiin, jossa toisen tulokset tuotettaisiin kaukokartoituksella ja toisen tarkasti kohdennetuilla maastokäynneillä. Poistuman arviointi kaukokartoitusperusteisesti vaatisi puolestaan mittauksia ennen ja jälkeen hakkuun. Poistuman arviointi olisi myös suoritettava näiden edellä mainittujen kohdennettujen maastokäyntien avulla, jos kahtena eri ajankohdana toteutettavat kaukokartoitusperusteiset mittaukset eivät ole mahdollisia.

Yksittäisten korjuujäljen tarkastusten luotettavuuden arvioinnin lisäksi on myös pohdittava, kuinka suuri määrä metsänkäyttöilmoitusten mukaisia hakkuuaikomuskohteita Metsäkeskuksen olisi tarkastettava vuosittain, jotta valtakunnan hakkuiden laadusta saataisiin riittävä kuva. Esimerkiksi vuonna 2022 ensiharvennusten hakkuuaikomuspinta-ala oli noin 146 000 ha. Jos oletetaan karkeasti, että tästä hakkuu-aikomuspinta-alasta käsitellään todellisuudessa hieman yli 80 %, (eli arviolta noin 120 000 ha) 10 %:n tarkastuspeittoon täytyisi arvostella noin 12 000 ha, 5 %:n tarkastuspeittoon 6 000 ha ja 1 %:n tarkastuspeittoon hieman yli 1 000 ha kohteita. Nämä ovat moninkertaisia määriä nykyisiin tarkastusmääriin verrattuna ja ovat mahdollisia toteuttaa vain kaukokartoitusperusteisesti.

Lähteet

Haara A., Korhonen K.T. (2004). Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuus. Metsätieteen aikakauskirja 4: 489–508.

<https://doi.org/10.14214/ma.5667>

Kangas A., Heikkinen E., Maltamo M. (2011a). Accuracy of partially visually assessed stand characteristics: a case study of Finnish forest inventory by compartments. Canadian Journal of Forest Research 34(4): 916–930. <https://doi.org/10.1139/x03-266>

Kangas A., Päivinen R., Holopainen M., Maltamo M. (2011b). Silva Carelica 40. Metsänmittaus ja kartoitus. University of Eastern Finland, School of Forest Sciences. 210 s.

Kukkonen M., Maltamo M., Korhonen L., Packalen P. (2021). Fusion of crown and trunk detections from airborne UAS based laser scanning for small area forest inventories. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 100, 102327. 8 p.

<https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102327>

Maltamo M., Packalen P. (2014). Species-specific management inventory in Finland. In: Maltamo M., Næsset E., Vauhkonen J. (eds). Forestry applications of airborne laser scanning: concepts and case studies. Managing Forest Ecosystems 27. Springer, Dordrecht, ss. 241–252.

<https://doi.org/10.1007/978-94-017-8663-8>

Metsäteollisuus (2023). Suomen metsäkeskuksen mittaukset antavat epätarkan kuvan ensiharvennusten laadusta Keski-Suomessa.

<https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/suomen-metsakeskuksen-mittaukset-antavat-epatarkan-kuvan-ensiharvennusten-laadusta-keski-suomessa>

Packalén P., Maltamo M. (2007). The k-MSN method for the prediction of species-specific stand attributes using airborne laser scanning and aerial photographs. *Remote Sensing of Environment* 109(3): 328–341.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.01.005>

Suomen metsäkeskus (2022). Tarkastusohje. <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/tarkastusohje.pdf>

Vauhkonen J., Maltamo M., McRoberts R.E., Næsset E. (2014). Introduction to forestry applications of airborne laser scanning. In: Maltamo M., Næsset E., Vauhkonen J. (eds). *Forestry applications of airborne laser scanning: concepts and case studies*. Managing Forest Ecosystems 27. Springer, Dordrecht, ss. 1–16.
<https://doi.org/10.1007/978-94-017-8663-8>

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) (2019). *Metsänhoidon suositukset*. Tapion julkaisuja.
https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon_suosituksset_Tapio_2019.pdf

Liite 1. Korjuujäljen tarkastusmenetelmän taustasta

Metsäkeskuksen käyttämä korjuujäljen tarkastusmenetelmä on ollut käytössä noin 20 vuotta. Vuonna 2000 kokoontunut kesähakkuutyöryhmä totesi, että korjuujäljen seurantamenetelmien yhtenäistäminen on välttämätöntä, jotta seurantatulokset ovat vertailukelpoisia. Korjuujäljen seurantamenetelmän yhtenäistämiseksi käynnistettiin Maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannosta hanke, jonka toteutti metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Pääosan työstä teki Tapio Oy:n nykyinen liiketoimintajohtaja Olli Äijälä pro gradu -työnään.

Hankkeen tavoitteena oli vertailla käytössä olevia erilaisia seurantamenetelmiä, yhtenäistää määritelmät korjuujäljestä ja mitattavista tunnuksista ja tehdä esitys tarkastusmenetelmästä, joka on riittävän luotettava, kustannustehokas ja antaa vertailukelpoista tietoa. Työtä ohjasi laaja johtoryhmä, jossa olivat edustettuina suurimmat puunostajat, Metsäntutkimuslaitos, Maa- ja metsätalousministeriö, Metsähallitus, Koneyrittäjien liitto ja MTK ry. Asiantuntijoina työssä toimivat Asko Poikela Metsätehosta ja Risto Santapukki Häme-Uusimaan metsäkeskuksesta. Projektissa testattiin erilaisia käytössä olevia tarkastusmenetelmiä kahdella koeleimikoilla. Samalla tehtiin aikatutkimusta, joka sisälsi varsinaisen mittaustyön ja siihen valmistautumiseen vaaditun työn. Koeleimikoilla testattiin myös erilaisia ja kokoisia koealatyypppejä. Tarkoituksena oli löytää tuloksiltaan luotettavin, ajanmenekiltään vähäisin ja mittaustekniikaltaan tarkoituksenmukaisin koealatyyppejä.

Projektissa selvitettiin simuloinnilla koealamäärää, jolla saavutettaisiin tarkastuksiin riittävän luotettava tulos, mahdollisimman kustannustehokkaasti. Simulointi tehtiin koeleimikolla, jonka puusto oli mitattu ja paikannettu yksinpuin (leimikon tilajärjestys oli tiedossa). Simuloinnin perusteella todettiin, että koealamäärän noustessa kymmeneen, ei lisäkoealoilla enää juurikaan kyseisessä koeleimikossa parannettu tulosten luotettavuutta ja keskihajonta vakiintui. Simuloinnissa käytetyn metsikön runkoluku oli harvennuksen jälkeen noin 500 kpl/ha, mikä on huomattavasti vähemmän, kuin normaalin ensiharvennuksen jälkeinen run-

koluku. Koeleimikossa runkoluvun ja pohjapinta-alan mittauksissa luotettavaan tulokseen päästiin noin 7–10 koealalla. Pro gradu -työn päätelmissä on todettu, että tiheissä metsiköissä päästään pienemmällä koealamäärällä tarkempaan runkolukuun ja pohjapinta-alaan kuin harvemmissa metsiköissä.

Hankkeen tuloksena uudeksi korjuujäljen tarkastusmenetelmäksi esitettiin menetelmää, joka on tälläkin hetkellä käytössä Metsäkeskuksessa. Menetelmä on linjoittainen koealamittaus, jossa koealat ovat kiinteäsäteisiä 100 m² koealoja (säde 5,64 m). Koealoilta mitataan kaikkien puiden läpimitta ja muut tarvittavat tunnuksot. Pohja-pinta-ala koealalle lasketaan puiden läpimitoista ja edelleen hehtaarikohteiseksi koealojen keskiarvona. Uraleveys, urapainumat ja puustovauriot luetaan linjaverkon ja ajouron leikkauskohdista. Uraväli mitataan uran keskipisteestä seuraavan uran keskipisteeseen.

Metsäkeskuksen maastotarkastusohjeessa minimikoealamääräksi on määritetty 10 kpl. Ohjeessa todetaan, että tuloksen varmistamiseksi koealoja tulee mitata lisää, kun tulos on lähellä harvennusmallien raja-arvoja. Koealat paikannetaan GPS:n avulla eikä koealaa saa siirtää kuin vain siinä tapauksessa, jos se osuu hyvin epätyypilliseen kohtaan, kuten esimerkiksi keskelle pientä kalliokumpareta.

Tarkastettavan kohteen minimikoko on yksi hehtaari ja sen tulee olla muodoltaan sellainen, että ajouraverkosto on normaali. Tarkastettavat kohteet valitaan valtakunnallisesti satunnaisotannalla ja ne pyritään kohdistamaan ensiharvennuksiin. Leimikot ovat pääasiassa olleet 1–4 ha ja koealoja on mitattu 10–12 kpl. Käytännön tarkastustyötä tekevät metsäneuvojatiimien metsäneuvojat pääsääntöisesti niin, että tiimistä yksi tai kaksi henkilöä on erikoistunut kyseessä olevaan tarkastuslajiin ja kyseiset henkilöt tekevät kaikki tiimien alueille osuvat korjuujäljen tarkastukset.

Vuodesta 2020 korjuujäljen tarkastukseen on otettu mukaan lennokki-kuvaus ja osa kohteista on tarkastettu ns. hybridimallilla. Siinä puusto-

tunnukset, ajouraverkoston leveys ja uravälit saadaan lennokka-ilmaku-
vien avulla, ja maastossa tarkastetaan urapainumat ja puustovauriot.
Hybridimallilla ei ole kuitenkaan saavutettu haluttua kustannussäästöä,
koska korjuuvaurioiden tarkastus vaatii aina maastotarkastuksen. Li-
säksi tietojen yhteensovittaminen vaatii maastossa tarkkaa paikan-
nusta, mikä tuottaa ajoittain vaikeuksia ja viivettä työskentelyyn.

Korjuujäljen arvioinnissa käytetään kolmiportaista luokittelua. Arvosana
"Suositusten mukainen" tarkoittaa, että korjuujälki on kaikkien tunnus-
ten osalta metsänhoitosuositusten mukainen. "Virheellinen" tarkoittaa,
että puuston määrä alittaa valtioneuvoston asetuksen minimimäärän tai
urapainumia tai puustovaurioita on yli sallitun määrän. Kun metsänhoi-
tosuosituksen kriteerit eivät kaikin osin täyty, mutta lain kriteerit täyt-
tyvät, on arvosana "Lainmukainen" (=huomautettavaa). Linjoittainen
koealamittaus on otantaa kohdepopulaatiosta, johon sisältyy aina tietty
otantavirhe. Yksittäisen kohteen saama arvosana voi siis olla liian hyvä
tai liian huono verrattuna siihen, että kaikki puut olisi mitattu.

Viimeisen kolmen vuoden tarkastuksissa metsänhoitosuositusten mu-
kaiset kriteerit ovat täyttyneet noin viidesosalla kohteista, liian harvaksi
tai muutoin lain vastaisesti on hakattu puolestaan vajaa viidesosa, ja
lopuissa kohteissa on ollut joitain huomautettavaa. Yleisin huomautuk-
sen syy on ollut liian harva puusto. Virheellisissä kohteissa on jonkin
verran hakkuita, joissa hakkuu on ollut ylispuiden poistoa tai poiminta-
luonteista hakkuuta, mutta hakkuutavaksi on ilmoitettu virheellisesti
ensiharvennus.

Ari Nikkola
Suomen metsäkeskus