



Paikkatietoon yhdistetyn koneistutuksen kehittäminen Pohjois-Pohjanmaalla

*Katja Kangas, Eero Kubin, Miia Parviainen,
Reijo Seppänen, Jouni Karhu,
Jouni Kortetjärvi ja Pertti Nissi*

Metsäntutkimuslaitos
Oulun toimintayksikkö
Hanke 7497
Loppuraportti



Paikkatietoon
yhdistetyn
koneistutuksen
kehittäminen
Pohjois-Pohjanmaalla

*Katja Kangas, Eero Kubin, Miia Parviainen,
Reijo Seppänen, Jouni Karhu,
Jouni Kortetjärvi ja Pertti Nissi*

Metsäntutkimuslaitos
Oulun toimintayksikkö
Hanke 7497
Loppuraportti

Kangas, K., Kubin, E., Parviainen, M., Seppänen, R., Karhu, J., Kortetjärvi, J. ja Nissi, P.
Paikkatietoon yhdistetyn koneistutuksen kehittäminen Pohjois-Pohjanmaalla. 36 s.

Julkaisija: Luonnonvarakeskus (Luke)

Yhteystiedot:

Katja Kangas, Luonnonvarakeskus, Oulu, PL 413, 90014 Oulun yliopisto. katja.kangas@luke.fi

Eero Kubin, Luonnonvarakeskus, Oulu, PL 413, 90014 Oulun yliopisto. eero.kubin@luke.fi

Organisaatio: Katja Kangas¹, Eero Kubin¹, Miia Parviainen¹, Reijo Seppänen², Jouni Karhu¹, Jouni Kortetjärvi³
ja Pertti Nissi⁴

¹ Luonnonvarakeskus, Oulu, Paavo Havaksen tie 3, 90014 Oulun yliopisto

² Luonnonvarakeskus, Luonnonvarakeskus, Paljakan ympäristönäytepankki, Latvantie 55, 89140 Kotila

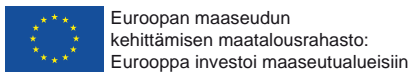
³ Oulun seudun ammattiopisto, Taivalkosken yksikkö, Jokijärventie 2, 93400 Taivalkoski

⁴ Oulun seudun ammattiopisto, Muhoksen yksikkö, Kirkkotie1, 91500 Muhos

Copyright©Luke

Kansi ja taitto: Irene Murtovaara

Kannen kuvat: Miia Parviainen



METLA



Sisällys

| | |
|---|-----------|
| I Johdanto | 5 |
| 1.1 Koneistus ja metsänhoito | 5 |
| 1.2 Paikkatietojärjestelmien tarjoamat mahdollisuudet | 5 |
| 1.3 Hankkeen tavoitteet | 6 |
| 1.4 Hankeorganisaatio | 6 |
| 2 Menetelmät | 7 |
| 2.1 Koejärjestelyt..... | 7 |
| 2.1.1 Vuoden 2014 jatkotutkimukset..... | 7 |
| 2.2 Koealueiden kuvaukset..... | 7 |
| 2.2.1 Olhava, li..... | 7 |
| 2.2.2 Sulakoski, Pudasjärvi | 9 |
| 2.2.3 Merenvaara, Kuusamo | 9 |
| 2.2.4 Vuoden 2014 jatkotutkimuksen tutkimusalue Taivalkoski | 11 |
| 2.3 Koneistus ja paikkatiedon kerääminen | 12 |
| 2.3.1 Koneistuksessa ja paikkatiedon keräämisessä käytettävä laitteisto..... | 12 |
| 2.3.2 Istutustyön toteutus | 14 |
| 2.3.3 Tarkkuus-GPS..... | 14 |
| 2.4 Aineisto ja menetelmät..... | 14 |
| 2.4.1 Taimimateriaali | 14 |
| 2.4.2 Taimien inventointi..... | 14 |
| 2.4.3 Lämpötilamittaukset | 15 |
| 2.4.5 Mättäiden inventointi..... | 16 |
| 2.4.6 Tilastolliset menetelmät..... | 16 |
| 3 Tulokset | 17 |
| 3.1 Koealueiden kasvupaikkatekijät | 17 |
| 3.1.1 Lämpötila..... | 17 |
| 3.1.2 Kivisyys ja maalaji | 18 |
| 3.2 Istutuksen laatu..... | 19 |
| 3.2.1 Istutussyvyys, mättäiden ominaisuudet | 20 |
| 3.2.2 Mättään laatu ja heinittyminen | 21 |
| 3.2.3 Istutustiheys..... | 22 |
| 3.3 Taimien kunto, vuosikasvu ja taimituhot | 22 |
| 3.3.1 Taimien kunto | 22 |
| 3.3.3 Taimien vuosikasvu..... | 24 |
| 3.3.4 Taimituhot..... | 25 |
| 3.3.5 Kuntan ohentamisen vaikutus taimien kuntoon ja mättäiden laatuun 2014 | 26 |
| 3.4 Taimikohtaisen paikkatiedon tarkkuuden tarkastaminen | 26 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4 | Pohdinta ja johtopäätökset..... | 29 |
| 4.1 | Koneistutuksen soveltuvuus paksukunttaisille kohteille ja istutuskauden pidentäminen..... | 29 |
| 4.2 | Koneistutukseen yhdistetyn paikkatiedon hyödyntämismahdollisuudet, haasteet ja kehittämistarpeet..... | 31 |
| 5 | Yhteenveto..... | 33 |
| | Kiitokset..... | 35 |
| | Kirjallisuus..... | 36 |



Metsänhoito on ajan mittaan koneellistunut ja tulevaisuudessa koneellisten menetelmien käyttö lisääntyy entisestään. Tällä hetkellä maanmuokkaus on kokonaan koneellistettu ja kylvöstäkin noin 75 % tehdään koneellisesti (Hallongren ym 2012). Erityisesti koneistutuksen määrän arvioidaan lisääntyvän lähivuosina, koska ammattitaitoisen metsätyövoiman määrä vähenee metsureiden ikääntyessä. Myös metsänomistajien omatoimisen työn määrä vähenee ikääntymisen ja kaupunkilaistumisen myötä. Vuonna 2009 laaditun metsänhoidon koneellistamisen tavoitetilan mukaan visio vuoteen 2015 on koneellistamista hyödyntävä kustannustehokas puuntuotantoketju, jonka tavoitteena on koneellistaa metsänhoitotöitä merkittävästi osana kannattavaa puuntuottamista ja koneyrityksistä (Strandström ym. 2009).

Metsälain mukaan metsänomistajalla on uudistamisvelvoite eli velvollisuus huolehtia siitä, että alueella kasvaa taloudellisesti kasvatuskelpoinen taimikko uudistus- eli päätehakkuun jälkeen. Koneellisen metsänistutuksen tavoitteena on lisätä tuottavuutta, sillä siihen tarvitaan vähemmän työvoimaa kuin käsin istutukseen. Puuntaimien koneelliseen istutukseen onkin olemassa useita erilaisia laiteratkaisuja, joilla päästään sopivissa työolosuhteissa hyvään istutustulokseen. Vaikka koneelliseen metsänistutukseen kehitetyt laitteet ovat olleet markkinoilla jo useita vuosia, istutetaan koneellisesti tällä hetkellä kuitenkin vain muutamia prosentteja istutusalaista (Hallongren ym 2012). Koneistutuksen käyttöönotto ja sen menetelmien kehittäminen ovat tärkeitä sekä hyvän metsänhoidon että metsätalouden kestävyyden ja kannattavuuden ylläpitämiseksi. Myös kansalliseen metsäohjelmaan (KMO 2015) sisältyy esitys edistää koneellisten metsänkäsittelymenetelmien kehittämistä ja käyttöönottoa (Anon. 2011).

1.1 Koneistutus ja metsänhoito

Koneistutus ei vaadi etukäteen tehtyä maanmuokkausta, vaan muokkaus tapahtuu taimien istutuksen yhteydessä. Koneistuksessa maanmuokkausmuotona käytetään yleisesti laikkumätästystä (Laine ja Syri 2012). Näin ollen taimi istutetaan tuoreeseen koneen tekemään mätääseen, jolloin taimi saa parhaan mahdollisen alun kasvulle. Mätästyksestä rikutun maanpinnan pinta-ala jää alhaiseksi, mikä vähentää eroosiota ja ravinteiden huuhtoutumisesta aiheutuvia haitallisia ympäristövaikutuksia (Luoranen ym. 2007).

Koneistutuksessa on mahdollista käyttää taimien syväistutusta, jolla saadaan kaksinkertaisen humuskerroksen sisältämät ravinteet tehokkaasti taimien käyttöön. Etelä- ja Keski-Suomessa on tutkittu Bracke-istutuskoneen ja Ecoplanterin istutustulosta ja taimien menestymistä (Luoranen ym. 2011). Tutkimuksen mukaan Bracke-istutuskoneen keskimääräinen istutussyvyys oli 6 cm ja istutuskoneella päästiin erinomaiseen istutustulokseen sopivilla kasvupaikoilla ja taimimateriaalilla (Luoranen ym. 2011). Maanmuokkauksen laadun todettiin olevan tärkein taimien menestykseen vaikuttava tekijä, ja taimihuojen riskin vähentämiseksi laikkumätätiden päälle on tärkeä saada yhtenäinen kivennäismaakerros (Luoranen ym 2011). Koneistutus soveltuu parhaiten vähäkivisille kivennäismaille, sillä runsas kiviisyys voi heikentää istutuksen onnistumista ja aiheuttaa taimien kuivumista (Luoranen ja Heikkilä 2006, Luoranen ym. 2011).

Etelä- ja Keski-Suomessa tehtyjen tutkimusten perusteella kuusen taimia voidaan koneellisesti istuttaa sopivalla taimimateriaalilla toukokuusta syyskuun loppuun (Luoranen ym. 2006, Laine ja Syri 2012). Pohjoiseen ja erityisesti korkeille alueille siirryttäessä olosuhteet kuitenkin muuttuvat. On mahdollista, että myöhäinen istutus onnistuu myös Pohjois-Suomessa, sillä taimi käynnistää kasvunsa vasta seuraavana keväänä. Loppusyksyyn ulottuvaan istutuskautteen on käytännön toimijoilla huomattava mielenkiinto, mutta pohjoisen kylmistä oloista tutkimustieto keskikesän ja loppusyksyn istutusten onnistumisesta on vielä puutteellista. Tarvitaankin tietoa siitä, voidaanko myöhäiseen syksyyn jatkuvalla koneistutuksella saada aikaan riittävän hyvä taimettumistulos myös Pohjois-Suomessa, jolloin istutustyöt jakaantuisivat tasaisemmin kesäkaudelle. Nykyisen, pääsääntöisesti kevääseen ja alkukesään ajoittuvan istutuskautteen pidentyminen lisäisi laitteiston käyttöastetta, tasoittaisi konekalustoon kohdistuvia ruuhkajaksoja ja samalla parantaisi koneyrityksen kannattavuutta.

1.2 Paikkatietojärjestelmien tarjoamat mahdollisuudet

Paikkatietojärjestelmillä (Geographic Information Systems, GIS) tarkoitetaan niitä laitteistoja ja tietokoneohjelmistoja, joiden avulla voidaan tallentaa, muokata, analysoida ja tulostaa alueellista tietoa (Star ja Estes 1990). Paikkatiedon käyttö on yleistynyt viime vuosina voimakkaasti mm. luonnonvaroihin liittyvässä tutkimuksessa. Paikka-

tiedon hyödyntäminen on yleistynyt myös metsänhoidon suunnittelussa, sillä esimerkiksi metsävaratietoa, kuten puustoa ja kasvupaikkaa, koskevat metsäkuviokohtaiset tiedot kerätään ja ylläpidetään nykyään yleisesti paikkatietomuodossa (Maa- ja metsätalousministeriön metsävaratiedon ja metsäsuunnittelun strategia 2008–2015). Metsän hakkuu- ja puutavaran korjuukoneissa on vuosia ollut käytössä kartta- ja paikannusjärjestelmiä, joiden myötä koneen kuljettajalla on ollut käytössä leimikkokohtainen paikkatieto korjattavan puuston määrästä, puutavaralajeista, pinta-alasta, leimikon rajoista, suojelukohteista ym. tietokoneen näytöllä (Väättäinen ym. 2013).

Metsän uudistamiseen liittyvää puuvaratietoa on mahdollista kerätä ja kytkeä paikkaan myös koneistutuksen yhteydessä. Istutuskone voidaan varustaa satelliittipaikannuslaitteilla, joiden tarkkuus riittää keräämään tietoa kuviotason metsäsuunnitteluun. Mikäli kuitenkin halutaan yksityiskohtaisempaa, puu- tai koelatasen sijaintitietoa voidaan istutuskoneet varustaa maanrakennuspuolella yleistyneillä 3D-mittalaitteilla, jotka pystyvät ottamaan vastaan RTK-korjausta tai muita tarkentavia signaaleja (Novatron 2014). Tällöin istutettujen puuntaimien sijaintitiedot tallentuvat koneistutuksen yhteydessä tarkkan satelliittipaikannuksen avulla. Tuloksena syntyy puukartta, jossa jokaisella istutetulla taimella on sijainti- ja ominaisuustieto. Lisäksi kuljettaja pystyisi näkemään tietokoneen näytöllä istutettujen taimien paikat ja istuttamatta jätetyt kohdat sekä seuraamaan taimien menekkiä. Istutuksen yhteydessä kerättyä paikkatietoa voidaan hyödyntää metsävaratietojen päivityksessä ja metsien uudistumisen seurannassa, sekä myöhemmin koneellisessa taimikonhoidossa ja puunkorjuussa. Paikkatieto parantaisi siten metsänuudistamisen laadunhallintaa ja kontrolloisi istutustyötä.

1.3 Hankkeen tavoitteet

Koneelliseen metsänistutukseen liittyvä tutkimus on tähän mennessä painottunut Etelä- ja Keski-Suomeen. Ammatitaitoisen metsätyövoiman väheneminen ja metsänhoitotöiden koneellistaminen ovat johtaneet tarpeeseen selvittää koneistutuksen käyttömahdollisuutta metsänuudistamisessa myös Pohjois-Suomessa. Paikkatietoon yhdistetyn koneistutuksen kehittäminen Pohjois-Pohjanmaalla – hankkeen (1.1.2012–31.12.2014) tarkoituksena on ollut edistää metsänhoitotöiden toteutusta, tuottaa uutta tietoa metsänhoitosuosittelun tarkentamiseen Pohjois-Suomessa sekä edistää istutuskoneen ja paikkatiedon käyttöönottoa metsänuudistamisessa.

Hankkeen päätavoitteet olivat:

1. Tutkia koneistutuksen soveltuvuutta Pohjois-Pohjanmaan vaihteleviin kasvupaikkaolosuhteisiin, etenkin paksukuntaisille, soistuville kangasmaille.

2. Tutkia mahdollisuutta istutuskauden pidentämiseen Pohjois-Pohjanmaalla.
3. Kerätä koneistutuksen yhteydessä taimikohtaista paikkatietoa, jota voidaan hyödyntää myöhemmissä metsänhoitotoimenpiteissä ja istutuskoneen kuljettajan omavalvonnassa, sekä kehittää olemassa olevaa paikkatieto-ohjelmistoa koneistutukseen soveltuvaksi.

Koneistutuksen kehittäminen ja sen soveltuvuus erilaisille kasvupaikoille on tärkeää ja ajankohtaista. Samalla siinä kehitettävä paikkatieto luo pohjaa myöhemmille metsänhoitotoimenpiteille. Suurimpana hyödynsaajana ovat metsänomistajat ja koneyritykset. Koneistutuksen yleistyminen lisää koneistutuksen työllisyyttä, konekaluston käyttöastetta ja parantaa investointien kannattavuutta. Hanke tuo merkittävän lisän muualla Suomessa tehtävään koneistutustutkimukseen erityisesti paikkatiedon osalta, sillä paikkatietoa ei ole aikaisemmin kerätty koneistutuksessa. Tulokset, etenkin paikkatiedon osalta, ovat sovellettavissa myös muualla Suomessa.

1.4 Hankeorganisaatio

Hankkeen päätoteuttajana toimi Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) Oulun toimipaikka yhteistyössä Oulun seudun ammattiopiston (OSAO) Taivalkosken yksikön kanssa. Yhteistyötä tehtiin Metlan Suonenjoen toimipaikan, Oulun yliopiston, Metsähallituksen, Pohjois-Pohjanmaan Metsäkeskuksen, Kuusamon ja Sallan yhteismetsien ja alueen metsätalouden toimijoiden kanssa. Hanke rahoitetaan pääosin (90 %) EU:n Maaseuturahastosta Pohjois-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen myöntämällä rahoituksella. Muita rahoittajatahoja olivat Kuusamon yhteismetsä, Sallan yhteismetsä, Kalajokilaakson metsänhoitoyhdistys, Pudasjärven metsänhoitoyhdistys, Metsänomistajien liitto, Koneistutuksen liitto, Taivalkosken metsänhoitoyhdistys, Pölkky Oy ja Pohjois-Pohjanmaan liitto.

Hanke toteutettiin aikavälillä 1.1.2012–31.12.2014. Hanke oli osa Metlan Tulevaisuuden metsät ja metsänhoito (MHO) 2012–2016” -tutkimusohjelmaa. Hankkeen työtä ohjasi ohjausryhmä, jonka jäseninä olivat: Jarmo Korhonen (puheenjohtaja), Kuusamon yhteismetsä, Seppo Pohjola, Metla (Oulu), Jouko Karjalainen, OSAO Taivalkoski, Eljas Heikkinen, Metsäkeskus, Heikki Rahko, Metsänomistajien liitto, Markku Törmänen Koneistutuksen liitto ry, Teuvo Puolakanaho, Taivalkosken metsänhoitoyhdistys, Tarmo Myllymäki, Metsähallitus, Kalevi Hirvonen, OSAO Taivalkoski, Teija Tolonen, OSAO Taivalkoski, Timo Saksa, Metla (Suonenjoki) ja Tuomas Pihlaja, Pudasjärven metsänhoitoyhdistys. Maaseuturahaston yhteyshenkilönä toimi Pirjo Onkalo Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksesta.

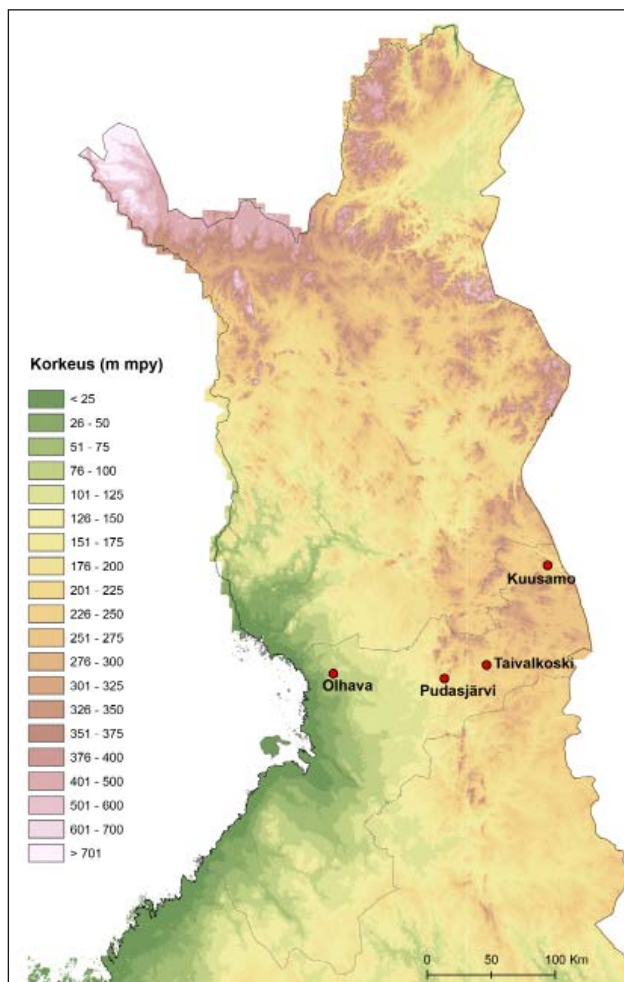
2 Menetelmät



2.1 Koejärjestelyt

Tutkimusta varten perustettiin kolme tutkimusaluetta eri korkeusvyöhykkeille: < 100m mpy, 100–200m mpy ja > 200m mpy (kuva 1). Tutkimusalueet sijaitsevat Iissä, Pudasjärvellä ja Kuusamossa. Kullekin tutkimusalueelle perustettiin koealoja, joiden koko 30m*30m. Tutkitut tekijät olivat kuntan paksuus (ohutkuntainen ja paksukuntainen kuvio) sekä istutusajankohta (kesäkuu, heinäkuu, elokuu ja lokakuu). Istutukset kyseisillä tutkimusalueilla tehtiin vuonna 2013.

Kaikki koealasuunnitelmat tehtiin paikkatieto-ohjelmistolla, ja koealojen merkitsemisessä maastoon noudatettiin suunnitelmia vähintään 10 cm:n tarkkuudella. Koealo-



Kuva 1. Koealojen sijainti Pohjois-Pohjanmaan eri korkeusvyöhykkeillä.

jen sijoittelu tehtiin ensin digitaalisen karttapohjan päälle ja koealojen keski- ja nurkkapisteen sijaintikoordinaatit laskettiin ArcMap-ohjelmalla. Keskipisteiden merkkipaalu vietiin maastoon täsmälleen oikeille paikoilleen Leica Viva -tarkkuus-GPS:n avulla. Joissakin tapauksissa digitaalisissa peruskarttapohjissa oli virheitä esim. ojen sijainneissa, ja niissä tapauksissa maastomerkin paikkaa siirrettiin, ja uusi, korjattu tieto tallennettiin koealatietoihin. Tarkkuus-GPS myös osoitti, että leimikkojen rajauksissa oli usein epätarkkuutta.

2.1.1 Vuoden 2014 jatkotutkimukset

Tutkimusta jatkettiin kesällä 2014. Jatkotutkimuksen pää tavoitteena oli jatkaa tarkan paikkatiedon keräämisen kehittämistä koneistutuksen yhteydessä. Samalla tutkittiin tarkemmin koneistutuksen soveltuvuutta paksukunttaisille kohteille. Tutkimuksessa selvitettiin, parantaako kuntakerroksen ohentaminen koneistuksen yhteydessä istutustulosta. Lisätutkimusta varten perustettiin kaksi uutta tutkimusaluetta paksukunttaisille kohteille Kuusamoon ja Taivalkoskelle (kuva 1). Kumpikin tutkimusalue jaettiin kahdeksaan koealaan, joista puolella kuntakerrosta ohennettiin istutuksen yhteydessä ja puolella kuntakerrosta ei ohennettu. Toistojen lukumäärä oli siten 4. Istutukset tehtiin vuoden 2014 kesäkuussa.

2.2 Koealueiden kuvaukset

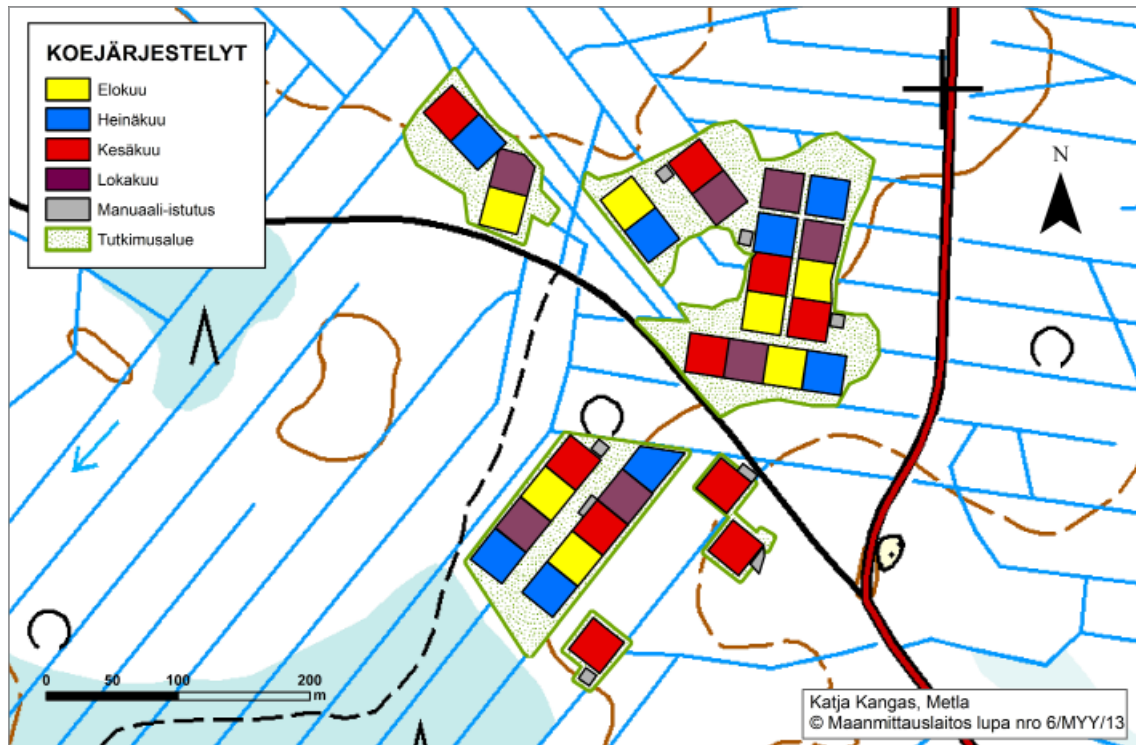
2.2.1 Olhava, li

Olhavan tutkimusalue sijaitsee Iin kunnan alueella. Tutkimusalueen maantieteelliset koordinaatit ovat 65°32'P ja 25°45'I (ETRS89) ja korkeus merenpinnasta on 87–91 metriä (kuvat 1 ja 2). Tutkimusalue sijaitsee Metsähallituksen maalla ja se on kasvupaikkatyyppiltään lehtomaisen, soistuva kangas. Metsähallitus toteutti kohteen hakkuut huhtikuussa 2013. Kohteesta ei korjattu hakkuutähteitä. Olhavan kohteen ohutkuntaisen istutusalueen koealat osoittautuivat kesäkuun istutusten yhteydessä erittäin kiviksi, joten ne päätettiin jättää kokonaan koejärjestelyiden ulkopuolelle.

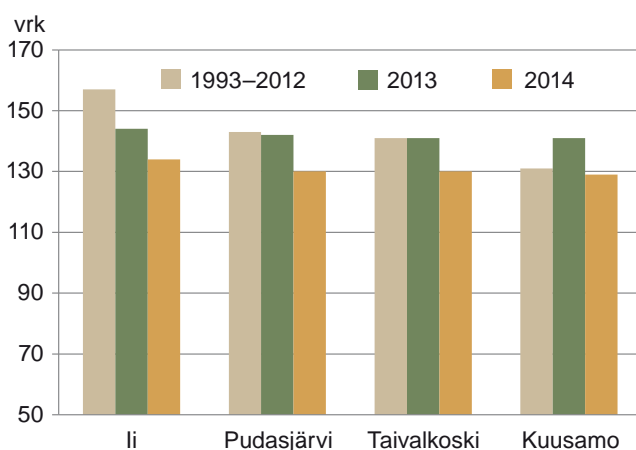
Ilmatieteen laitoksen aineistojen perusteella (Venäläinen ym. 2005) alueen keskimääräinen termisen kasvukauden (vuorokauden keskilämpötila ≥ 5 °C) pituus on 157 vrk

(6.5.–9.10.) ajanjaksolla 1993–2012 (kuva 3, keskiarvot on laskettu tutkimusalueen neljän lähimmän ilmatieteenlaitoksen aineiston hilapisteen arvoista). Termisen kasvukauden tehoisan lämpötilan summa vastaavalla ajanjaksolla on keskimäärin 1 036 °C (kuva 4). Tutkimusvuosina kasvukauden pituus oli keskimääräistä lyhyempi sekä 2013 (13 vrk), että 2014 (23 vrk) (kuva 3), kun taas tehoisan lämpö-

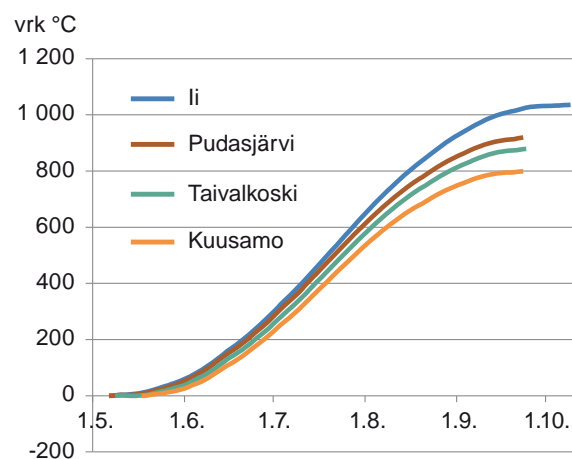
tilan summa keskimääräistä korkeampi (kuva 5). Ilmatieteen laitoksen aineistojen perustella kesä-syyskuun aikana mitattu sademäärä oli vuonna 2013 hieman keskimääräistä alhaisempi ja 2014 vastaavasti suurempi (kuva 6). Istutusvuonna (2013) sademäärä oli korkein kesä- ja heinäkuussa (kuva 7a) ja vuonna 2014 heinä- ja elokuussa (kuva 7b).



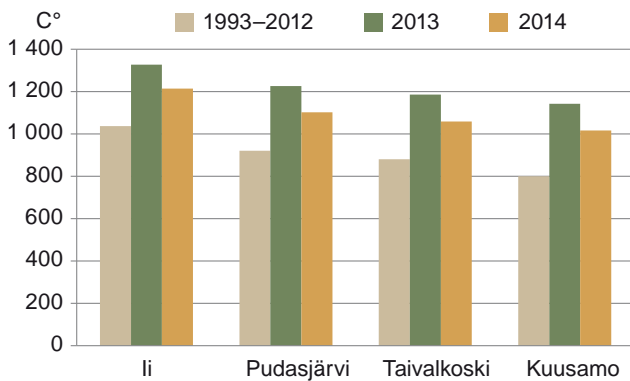
Kuva 2. lin Olhavan tutkimusalueen koejärjestelyt.



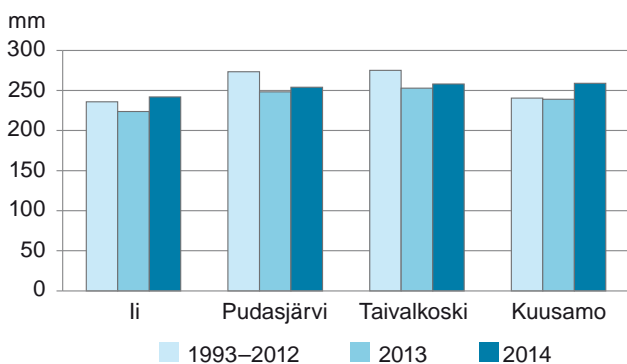
Kuva 3. Tutkimusalueiden keskimääräinen termisen kasvukauden pituus (vuorokauden keskilämpötila ≥ 5 °C) vuosina 1993–2012 sekä tutkimusvuosina 2013 ja 2014.



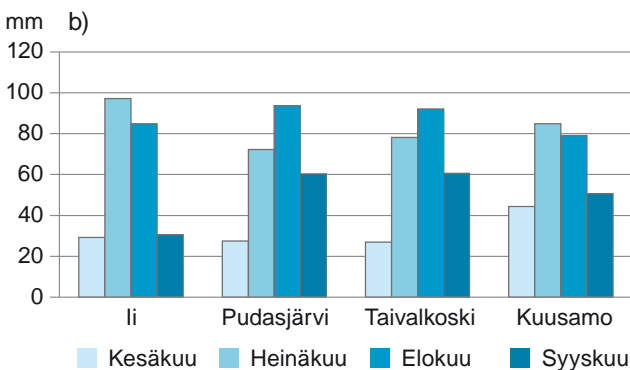
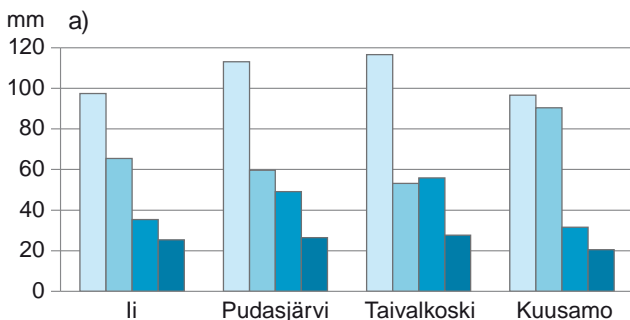
Kuva 4. Tutkimusalueiden keskimääräinen termisen kasvukauden tehoisien lämpötilojen (kum.) summa ajanjaksolla 1993–2012.



Kuva 5. Tutkimusalueiden keskimääräinen termisen kasvukauden tehoisien lämpötilojen (kum.) summa ajanjaksolla 1993–2012 sekä tutkimusvuosina 2013 ja 2014.



Kuva 6. Tutkimusalueiden keskimääräinen sademäärä kestä-syyskuussa ajanjaksolla 1993–2012 sekä tutkimusvuosina 2013 ja 2014.



Kuva 7. Tutkimusalueiden keskimääräinen sademäärä kestä-syyskuussa a) vuonna 2013 ja b) 2014.

2.2.2 Sulakoski, Pudasjärvi

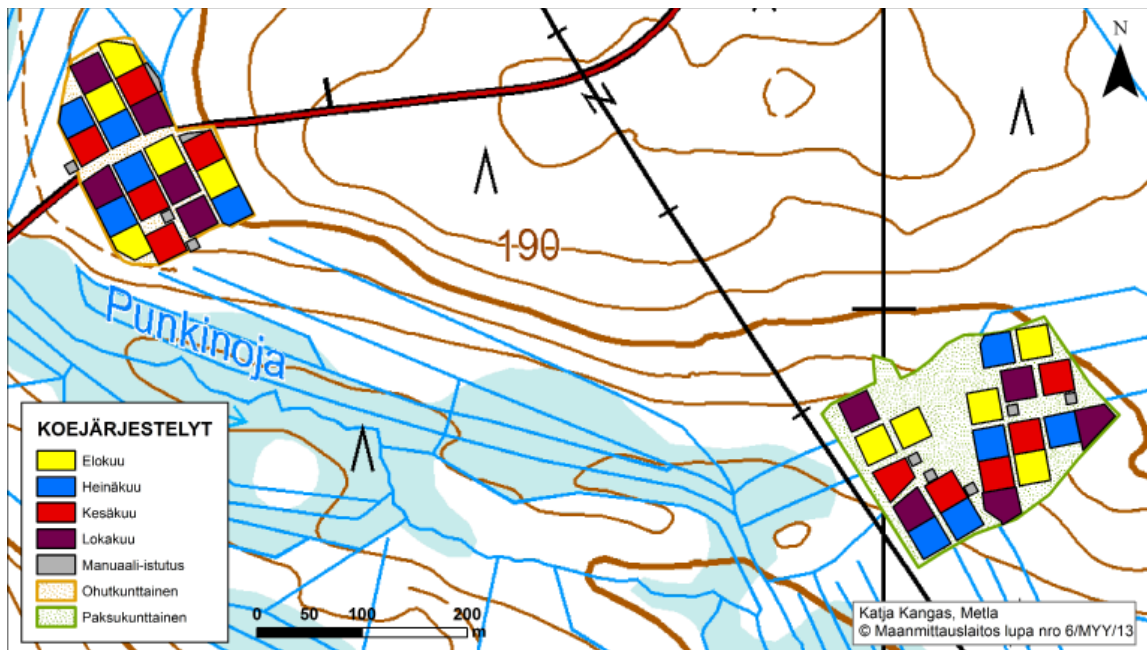
Sulakosken tutkimusalue sijaitsee Pudasjärven kunnan alueella. Tutkimusalueen maantieteelliset koordinaatit ovat 65° 30'P, 27° 37'I (ETRS89) ja korkeus merenpinnasta on noin 164–182 metriä (kuvat 1 ja 8). Tutkimusalue sijaitsee Metsähallituksen maalla ja se on kasvupaikkatyypiltään tuore kangas. Metsähallitus toteutti kohteen hakkuut huhtikuussa 2013. Kohteesta ei korjattu hakkuutähteitä. Tutkimusalueella oli sekä ohutkuntainen että paksukuntainen kuvio, joissa kummassakin kukin istutusajankohta toistettiin viidellä koealalla

Alueen keskimääräinen termisen kasvukauden pituus on 143 vrk (6.5.–25.9.) ajanjaksolla 1993–2012 (kuva 3) ja termisen kasvukauden tehoisan lämpötilan summa 920 °C (kuva 4). Termisen kasvukauden pituus vuonna 2013 ei poikennut pitkän ajan keskiarvosta, mutta vuoden 2014 kasvukausi oli 13 vrk keskimääräistä lyhyempi (kuva 3). Termisen kasvukauden tehoisan lämpötilan summa oli keskimääräistä suurempi molempina tutkimusvuosina (kuva 5). Sademäärä oli kesäkaudella molempina vuosina hieman keskimääräistä alhaisempi (kuva 6). Istutusvuonna sademäärä oli selvästi korkein kesäkuussa (kuva 7 a). Vuonna 2014 sateisimmat kuukaudet olivat heinä- ja elokuu (kuva 7 b).

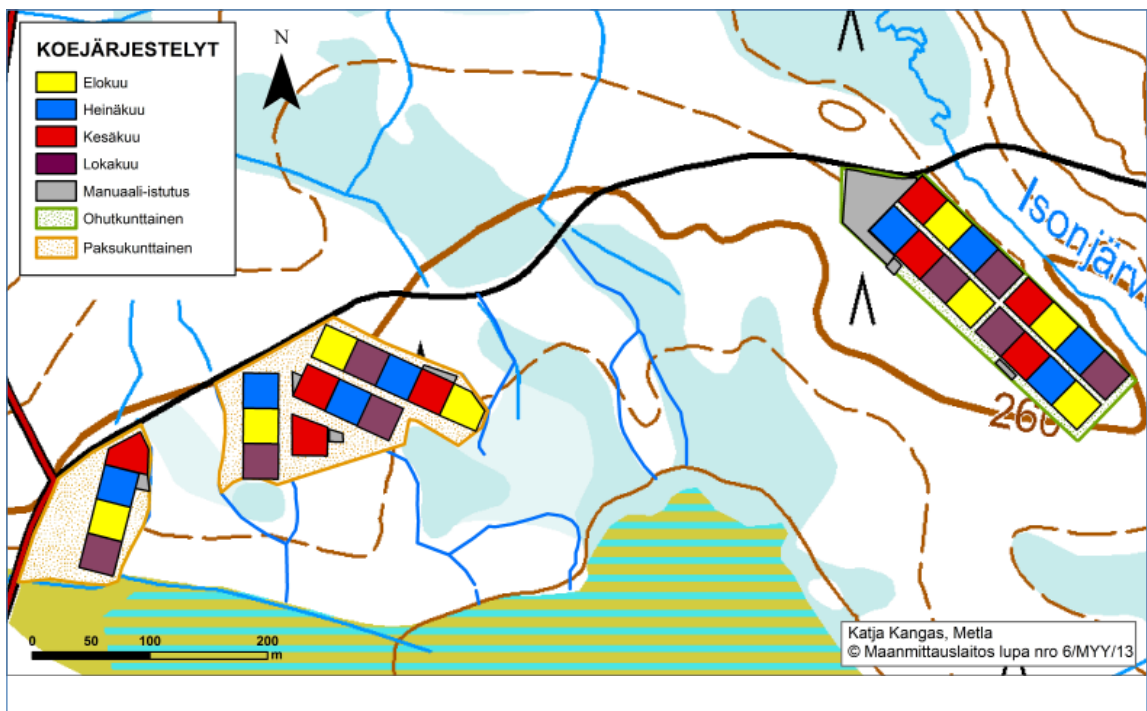
2.2.3 Merenvaara, Kuusamo

Merenvaaran tutkimusalue sijaitsee Kuusamon yhteismetseen Oulangan palstalla Kuusamon kunnan alueella. Tutkimusalueen maantieteelliset koordinaatit ovat 66° 17'P, 29° 24' I (ETRS89) ja korkeus merenpinnasta on 256–265 metriä (kuvat 1 ja 9). Tutkimusalue on kasvupaikkatyypiltään tuore kangas. Kohteen puusto oli hakattu talvella 2011 ja sieltä ei ollut kerätty hakkuutähteitä. Tutkimusalueella oli sekä ohutkuntainen että paksukuntainen kuvio, joissa kummassakin kukin istutusajankohta toistettiin neljällä koealalla. Merenvaaran paksukuntaiselle alueelle tehtiin pienialainen ojitus syksyllä 2012 maaperän kosteusolosuhteiden parantamiseksi.

Alueen keskimääräinen termisen kasvukauden pituus on 131 vrk (12.5.–25.9.) ajanjaksolla 1993–2012 (kuva 3) ja tehoisan lämpötilan summa keskimäärin 800 °C (kuva 4). Terminen kasvukausi oli vuonna 2013 10 vrk keskimääräistä pidempi, mutta vuosi 2014 ei poikennut pitkän ajan keskiarvosta (kuva 3). Tehoisan lämpötilan summa oli keskimääräistä suurempi molempina tutkimusvuosina (kuva 5). Sademäärä ei istutusvuonna juurikaan poikennut keskimääräisestä, mutta vuonna 2014 se oli hieman keskimääräistä suurempi (kuva 6). Sateisimmat kuukaudet vuonna 2013 olivat kesä ja heinäkuu, jolloin sademäärä oli selvästi elojä syyskuun sademäärää suurempi (kuva 7a). Vuonna 2014 sateisimmat kuukaudet olivat heinä- ja elokuu (kuva 7b).



Kuva 8. Sulakosken tutkimusalueen koejärjestelyt.

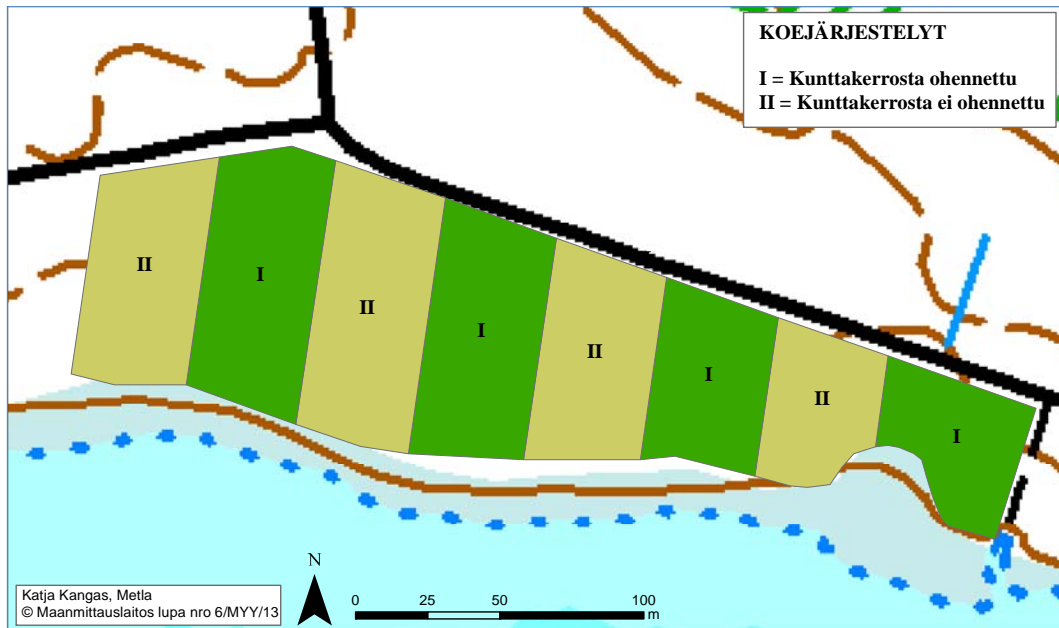


Kuva 9. Kuusamon tutkimusalueen koejärjestelyt.

2.2.3.1 Vuoden 2014 jatkotutkimuksen tutkimusalue, Kuusamo

Vuonna 2014 perustettiin toinen tutkimusalue Kuusamon Merenvaaraan (kuvat 1 ja 10), jossa tutkittiin tarkemmin paikkatiedon keräämistä sekä kuntakerroksen ohentamisen vaikutuksia taimettumiseen. Tutkimusalue sijaitsee

noin 3,5 km kesän 2013 tutkimusalueesta itään. Korkeus merenpinnasta on 245,1–248,5 metriä. Tutkimusalue sijaitsee Kuusamon yhteismetsän Oulangan palstalla ja on kasvupaikkatyypiltään tuore kangas. Kohteen hakkuut toteutettiin talvella 2014 ja kohteesta ei korjattu hakkuutähteitä. Toistojen määrä oli neljä.

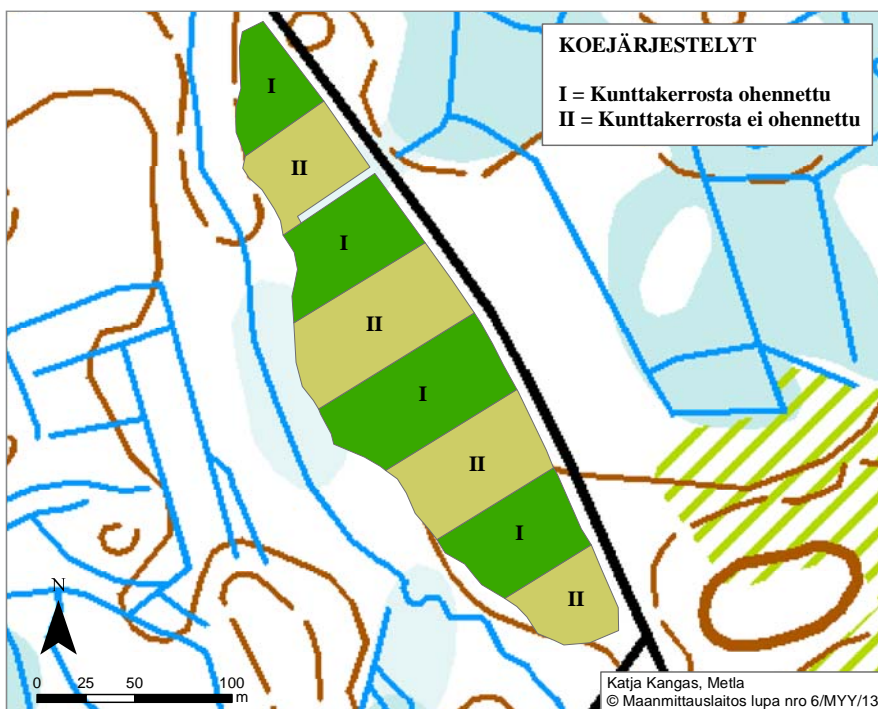


Kuva 10. Kuusamon jatkotutkimuksen tutkimusalueen koejärjestelyt paksukunttaisten kohteiden lisätutkimuksessa.

2.2.4 Vuoden 2014 jatkotutkimuksen tutkimusalue, Taivalkoski

Tutkimusalue sijaitsee Oulun seudun ammattiopiston Taivalkosken yksikön maalla. Tutkimusalueen maantieteelliset koordinaatit ovat 65° 35'P, 28° 21'I, (ETRS89) ja korkeus merenpinnasta 213,5–217,2 metriä (kuvat 1 ja 11). Kohde on kasvupaikkatyypiltään tuore kangas. Kohteen puusto hakattiin ja hakkuutähteet kerättiin keväällä 2014.

Alueen keskimääräinen termisen kasvukauden pituus on 141 vrk (9.5.–26.9.) ajanjaksolla 1993–2012 (kuva 3). Termisen kasvukauden tehoisan lämpötilan summa vastaavalla ajanjaksolla on keskimäärin 880 °C (kuva 4). Vuonna 2014 terminen kasvukausi oli 11 vrk keskimääräistä lyhyempi (kuva 3), mutta kasvukauden tehoisan lämpötilan summa oli keskimääräistä suurempi (kuva 5). Sademäärä oli kesäkaudella molempina vuosina hieman keskimääräistä alhaisempi (kuva 6). Istutusvuonna 2014 sademäärä oli selvästi korkein heinä- ja elokuussa (kuva 7 b).



Kuva 11. Taivalkosken tutkimusalueen koejärjestelyt paksukunttaisten kohteiden lisätutkimuksessa.

2.3 Koneistus ja paikkatiedon kerääminen

2.3.1 Koneistuksessa ja paikkatiedon keräämisessä käytettävä laitteisto

Koneistukset tehtiin metsäalustaisella Volvo 140 kaivinkoneella, johon asennettiin Bracke P11.a istutuskone. Istutuskoneen taimikasettiin mahtuu kerralla 72 tainta (kuvat 12 a ja b). Kaivinkone vuokrattiin hankkeen käyttöön Pohjois-Karjalan koulutus kuntayhtymän (PKKY) Valtimon yksiköstä.

Hankkeessa haluttiin kerätä mahdollisimman tarkkaa taimikohtaista sijaintitietoa ja hankkeen alkuvaiheessa selvitetiin eri paikannusvaihtoehtojen käyttökelpoisuutta. Paikannuslaitteiston tärkeimmäksi kriteeriksi asetettiin se, että paikannus pitää pystyä tekemään nopeasti taimen istutuskohdasta, koska istutuskone pysyy paikallaan vain muutamien sekuntien ajan tainta istuttaessaan. Perinteisten tarkkuus-GPS -paikantimien käyttämisen esteeksi osoitautui se, että niiden turvallinen asentaminen istutuspaikahan oli käytännössä mahdotonta rikkoutumisvaaran takia. Eräs ratkaisu on käyttää paikantimessa ulkoista GPS-antennia, joka voidaan kiinnittää istutuspaikahan kaapelin avulla. Puomiin asennettu kaapeli on kuitenkin alttiina vaurioille ja saattaa irrota tai rikkoutua puomia liikuteltaessa.

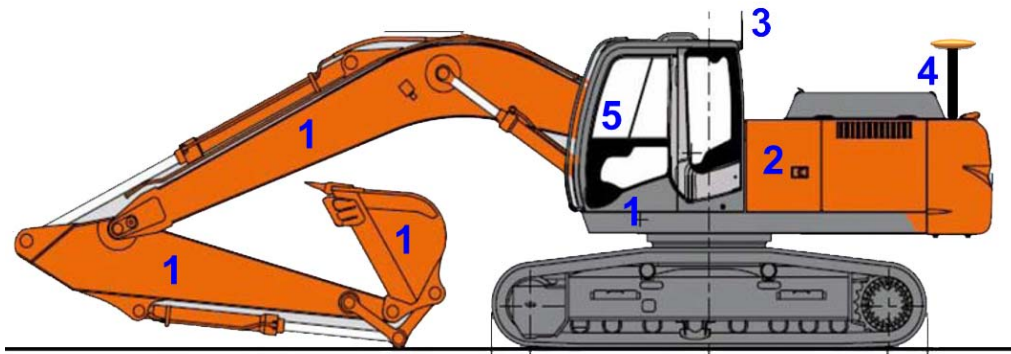
Parhaiten taimikohtaisen paikkatiedon keräämiseen soveltuvaksi järjestelmäksi osoitautui maanrakennuspuolella yleisesti käytössä oleva 3D-mittausjärjestelmä, josta

käytetään myös nimitystä 3D-koneohjaus. 3D-mittalaitteita on markkinoilla runsaasti, mm. Trimble, Scanlaser, Novatron ja Topgeo, ja järjestelmien toimintaperiaatteissa ei ole merkkin välillä juurikaan eroja, koska niiden käyttämä paikkatietotekniikka on samankaltaista. 3D-mittausjärjestelmä koostuu kauhan, puomiston ja rungon anturoinnista, näyttö- ja tietokonelaitteista sekä satelliittipaikantimista (esim. Novatron 2014, kuva 13). Järjestelmä yhdistää alustakoneen paikantimien sekä antureiden tuottaman tiedon puomin asennosta, jolloin puomin päässä olevan istutuspaikan tarkka sijainti määrittyy. Kahden GNSS-antennin ansiosta koneen paikka ja suunta ovat koko ajan tiedossa, ja tukiaseman tai verkkokorjauspalvelun tuottamaa korjaussignaalia käyttämällä järjestelmällä saavutetaan jopa senttimetriluokan tarkkuus.

Alustakaivinkone ja siihen asennettu istutuskone varustettiin paikkatiedon keräämistä varten Scanlaserin Oy:n Icon icp41 3D-mittalaitteistolla (Leica iCON grade iCP41 for wheel loader User Manual, kuvat 14 a–d). Mahdollisimman hyvän tarkkuuden saavuttamiseksi hankkeessa käytettiin lisäksi reaaliaikaista Leican SmartNet RTK verkkokorjauspalvelua (kuva 15). RTK tukiasemaverkon muodostaa pysyvästi paikoilleen asennettujen, mitattujen ja laskettujen GNSS vastaanottimien muodostama verkko. Liikkuvalle vastaanottimelle lähetettävä korjausdata tuotetaan verkon tukiasemien yhdessä tuottamasta datasta (http://fi.smartnet-eu.com/johdanto_155.htm). RTK tukiasemaverkon käytön etuja on, että liikkuvan vastaanottimen saama korjausdata on tasalaatuista verkon alueella ja mittaustarkkuus säilyy myös kauempana tukiasemasta. Ilmakehästä johtu-



Kuvat 12 a ja b. Taimet istutettiin Bracke P11.a istutuskoneella, jonka taimikasettiin mahtuu 72 tainta.



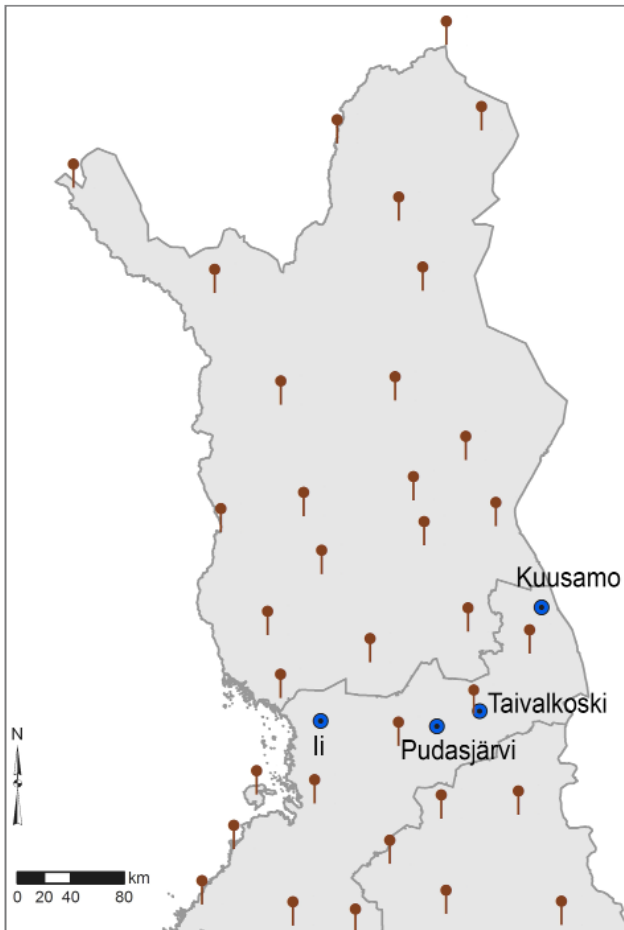
Kuva 13. 3D-koneohjausjärjestelmän paikannusjärjestelmä kaivinkoneessa: 1 = Kallistusanturit, 2 = Keskusyksikkö, 3 = Radioantenni, 4 = Paikannusantennit, 5 = Näyttö. (Piiros: Meriläinen 2010, s. 17, tekijöiden muokkaamana).

vat virheet voivat kuitenkin heikentää mittaustarkkuutta etäisyyden kasvaessa tukiasemaan (http://fi.smartnet-eu.com/verkko-rtk_221.htm). Jotta taimikohtaisen paikkatiedon kerääminen onnistuisi mahdollisimman helposti ja

ilman, että kuljettajan täytyy tehdä erillisiä tallennustoimenpiteitä, asennettiin tallennuskäsky istutuskäskynapille, mikä mahdollisti paikkatiedon tallentamisen istutuskäskynapin painamisen yhteydessä.



Kuvat 14 a–d. 3D-mittalaitteisto asennettiin ja kalibroitiin PKKY:n Valtimon yksikössä toukokuussa 2013 (kuvat Miia Parviainen/Metla).



Kuva 15. Leican SmartNet RTK –verkon tukiasemien sijainti suhteessa tutkimusalueisiin. Tukiasemien sijainnin lähde: http://fi.smartnet-eu.com/peittoalue-kartta_19.htm (16.12.2014).

2.3.2 Istutustyön toteutus

Vuonna 2013 koneistutukset tehtiin ajalla 3.6. – 11.10.2013. Paksukunttaisimmilla kohteilla kunnakerrosta ohennettiin istutuksen yhteydessä, siten että mättään teon yhteydessä kuljettaja työnsi istutuspaikalle ylimääräisen kunnakerroksen (noin 10–15 cm) syrjään ennen mättään tekoa (kuva 16). Tällä menettelyllä oli tavoitteena saada paksukunttaisimmilla kohteilla nostettua kivennäismaata laikkumättään päälle. Samalla saadaan työnnettyä syrjään mahdolliset hakkuutähteet. Tavoiteltu istutus tiheys kesän 2013 istutuksissa oli Iissä ja Pudasjärvellä 1 600 tainta/ha ja Kuusamosa 2 000 tainta/ha. Koneistutustyöt tehtiin kahden Valtimon PKKY:n opettajan ja yhden aikuisopiskelijan toimesta.

Kesäkuun istutusten yhteydessä istutuskoneella tehtiin kaikissa istutuskohdeissa (Olhava, Sulakoski ja Merenvaara) jokaisen lohkon yhteyteen noin 20 kpl rykelmä pelkkiä mättäitä, jotka istutettiin perinteiseen tapaan manuaalisesti pottiputkella. Tällä koejärjestelyllä halutaan verra-

ta sitä, onko koneellisesti ja manuaalisesti istutetun taimen kasvuun lähdössä ja kasvussa eroja. Taimia ei ole vielä inventoitu, joten tuloksia ei ole tällä hetkellä käytettävissä.

Vuoden 2014 jatkotutkimuksessa koneistutukset tehtiin 3.6.–13.6.2014. Kesän 2014 istutuksissa tavoiteltu istutus tiheys oli sekä Taivalkoskella, että Kuusamossa 2 000 tainta/ha. Koneistutustyön tekivät hankkeessa työskennelleet OSAO:n Taivalkosken yksikön opettajat.

2.3.3 Tarkkuus-GPS

3D-koneohjausjärjestelmän paikannustarkkuuden tarkastamiseksi hankkeen käyttöön vuokrattiin Leica Viva tarkkuus-GPS -laite Leica Geosystems Oy:ltä. Laitteessa on GS12 GNSS -sensori, jossa on SmartCheck+ -asettarkistava kaksinkertainen alkutuntomattomien laskenta ja jatkuva tarkistus. Luvattu alkutuntomattomien ratkaisun luotettavuus on parempi kuin 99,99 %. Laitteen luvattu mittaus tarkkuus on: RTK 10–20 mm + 1 ppm, staattinen 5 mm + 0,5 ppm. Tarkkuus-GPS-laitteessa käytettiin reaaliaikaista SmartNet Verkko RTK-korjauspalvelua.

2.4 Aineisto ja menetelmät

2.4.1 Taimimateriaali

Koneistutuksissa käytetyt taimet olivat kullekin paikalle sopivaa siemenalkuperää Metsäkuusamo Oy:n taimitarhalla Kuusamosta. Kuusamon tutkimusalueella käytettiin taimia, jotka olivat kuusamolaista siemenalkuperää (kesä-, heinä- ja elokuun istutukset) ja posiolaista alkuperää (lokakuun istutus). Iin ja Pudasjärven tutkimusalueilla käytettiin Pudasjärven siemenalkuperää. Kesä-, heinä- ja elokuussa istutetut taimet olivat kasvatettu edellisenä vuonna kasvihuoneessa ja säilytetty ulkona talven yli. Lokakuussa istutetut taimet oli kasvatettu istutusvuonna. Kaikki kesällä 2013 istutetut taimet olivat Plantek 121-paakussa (kuvat 17 a ja b), sillä tarjolla ei ollut koneistutukseen hyvin soveltuvassa Plantek 81 paakussa olevaa taimiainesta. Kesän 2014 jatkotutkimuksen taimet tilattiin myös Metsäkuusamo Oy:ltä. Taivalkoskelle istutettavat taimet olivat alueelle sopivaa siemenviljelysiementä kookkaassa Plantek 81-paakussa ja Kuusamoon yleiskeräyssiemettä Plantek 121-paakussa.

2.4.2 Taimien inventointi

Istutettujen taimien menestymistä seurattiin inventoimalla. Iin, Pudasjärven ja Kuusamon tutkimusalueille vuonna 2013 istutetut taimet inventoitiin syksyllä 2014 (elo- ja syyskuu). Istutetut taimet inventoitiin kunkin koealan keskialueen ympärille tehdyltä koeympyrältä, jonka säde oli 11,97 m. Taimista mitattiin pituuskasvu ja arvioitiin taimen



Kuvat 16. Osalla koealoista kunnakerrosta ei ohennettu (a) ja osalla ohennettiin (b). Kunnakerrosta ohentamalla saadaan paksukunttasimmilla kohteilla nostettua kivennäismaata laikkumättään päälle. Samalla saadaan työnnettyä syrjään mahdolliset hakkuutähteet.

Kuvat 17 a ja b. Istutuksissa käytetyt taimet olivat kasvatettu kohteille sopivasta siemenalkuperästä Plantek 121-paakussa.



kunto asteikolla: terve, heikentynyt, kituva, kuollut ja hävinnyt. Lisäksi arvioitiin mahdollinen tuho, tuhon syy ja tuhon ilmiasu sekä mättään heinittyminen ja mättään laatu kasvupaikkana, jossa huomioitiin mättään kivisyys, tiiviys ja kivennäismaan osuus. Mättään laatua laskivat mättään kivisyys ja/tai kivennäismaan puuttuminen ja/tai jos mättästä ei ollut saatu tiivistä esimerkiksi hakkuutähteiden vuoksi. Koeympyröiltä laskettiin myös koealojen istutusitiheys.

Vuonna 2014 tehdyssä jatkotutkimuksessa Taivalkoskelle ja Kuusamoon istutetut taimet inventoitiin syyskuussa 2014. Taimista mitattiin samat muuttujat kuin vuonna 2013 istutetusta taimista. Tässä lisätutkimuksessa kultakin koealalta valittiin etukäteen 70 inventoitavaa tainta 3D-koneohjauksjärjestelmän istutuksen yhteydessä tallentamien koordinaattien perusteella. Inventoitavat taimet valittiin siten, että kunkin koealan taimien koordinaatit järjestettiin niiden sijainnin mukaan ja niistä sen jälkeen valittiin taimi systemaattisesti tietyin välein kunnes taimia oli kultakin lohkolta 70 kpl yhteensä. Taimet valittiin tällä menettelyllä, jotta inventoitavaan otokseen tulisi taimia tasaisesti koko koealan alueelta, jolloin mahdolliset erot koealan eri osissa voidaan huomioida.

2.4.3 Lämpötilamittaukset

Kaikille vuonna 2013 perustetuille tutkimusalueille asennettiin ibutton- ja hobo-lämpötilamittareita mittaamaan mättäiden lämpötilaa juuripaakun kohdalta (-10 cm), koskemattomasta maasta (-10 cm), sekä mättään pinnan yläpuolelta (+10 cm, kuva 18). Mättäiden (juuripaakku) läm-

pötilaa mittaavia mittareita sijoitettiin sekä ohut- että paksukunttaisille eri istutuskuukausia edustaville koealoille. Iissä mättäiden (juuripaakku) lämpötilaa mittaavia mittareita oli yhteensä 36, Pudasjärvellä 41 ja Kuusamossa 42. Koskemattoman maan lämpötilaa mittaavia mittareita sijoitettiin sekä ohut- että paksukunttaisille kuvioille, siten että kaikilla tutkimusalueilla oli 4 mittaria/kuvio. 10 cm mättään yläpuolelta mittaavia lämpötilamittareita sijoitettiin kaikilla tutkimusalueilla satunnaisesti eri istutuskuukausia edustavien koealojen mättäille sekä paksu- että ohutkunttaisilla kohteilla. Kyseisiä lämpömittareita oli Iissä 6, Pudasjärvellä 6 ja Kuusamossa 9. Lämpötilamittaukset aloitettiin alkukesästä 2013 ja niitä jatkettiin vuoden 2014 syksyyn.

Kesällä 2014 perustetuilla uusilla koealoilla aloitettiin lämpötilamittaukset heti koneistutuksen jälkeen kesäkuussa. Taivalkoskella laitettiin mättäiden lämpötilaa (-10 cm, juuripaakku) mittaamaan lämpötilamittareita kolmelle koealalle, jossa kunnakerrosta ei ohennettu sekä kolmelle koe-



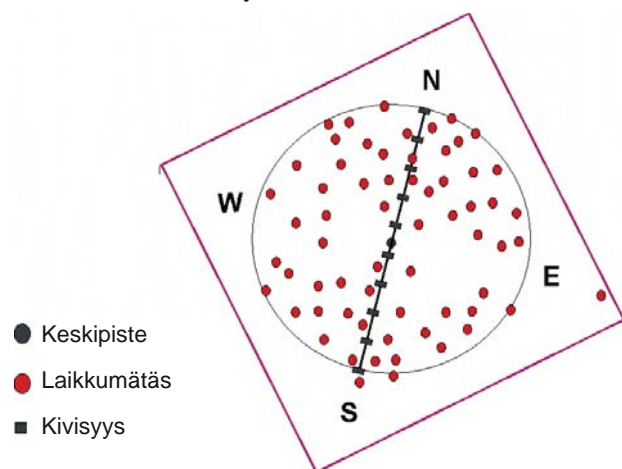
Kuva 18. Säteilysuojan alla olevan lämpötilamittarin avulla seurattiin koealan lämpötilaa 10 cm mättään pinnan yläpuolelta.

lalle, jossa kunnakerrosta oli ohennettu, kullekin kolme mittaria/koeala. Lisäksi yhdelle koealalle, jossa kunnakerrosta ei ollut ohennettu ja yhdelle koealalle, jossa kunnakerrosta oli ohennettu, laitettiin 1 mittari/koeala mittaamaan lämpötilaa 10 cm mättään yläpuolelta sekä neljä mittaria/koeala mittaamaan koskemattoman maan lämpötilaa. Kuusamoon laitettiin mättään lämpötilaa (-10 cm, juuripaakku) mittaamaan lämpötilamittareita kolmelle koealalle, jossa kunnakerrosta ei ohennettu sekä kolmelle koealalle, jossa kunnakerrosta ohennettiin kaksi mittaria/koeala.

Lämpötilamittausten avulla selvitettiin mahdollisia eroja eri tutkimusalueiden sekä ohut- ja paksukunntaisten kohteiden välillä. 10 cm mättään pinnan yläpuolelta mitattujen aineistojen perusteella tutkittiin hallaöiden (lämpötila maanpinnan lähellä alle 0 °C) ja ankaran hallan (lämpötila alle -4 °C) esiintymistä tutkimusalueilla. Mättäistä (juuripaakun kohdalta) mitattujen aineistojen avulla tutkittiin mättäiden lämpötilaa talvella (mättään ensijäätymisen ja sulamisen välinen ajan eli talviajan pakkasumma) sekä mättäiden ja koskemattoman maan välisiä eroja. Mättäistä (juuripaakku) mitattujen lämpötila-aineistojen perusteella selvitettiin myös juurten kasvun kannalta olennaisen lämpötilojen esiintymistä. Aikaisempien tutkimusten mukaan juurten kasvu keväällä alkaa maan lämpötilan noustua noin 3–5 °C:een (Helmisaari ym. 2003).

2.4.4 Kivisyyden mittaus ja maanäytteet

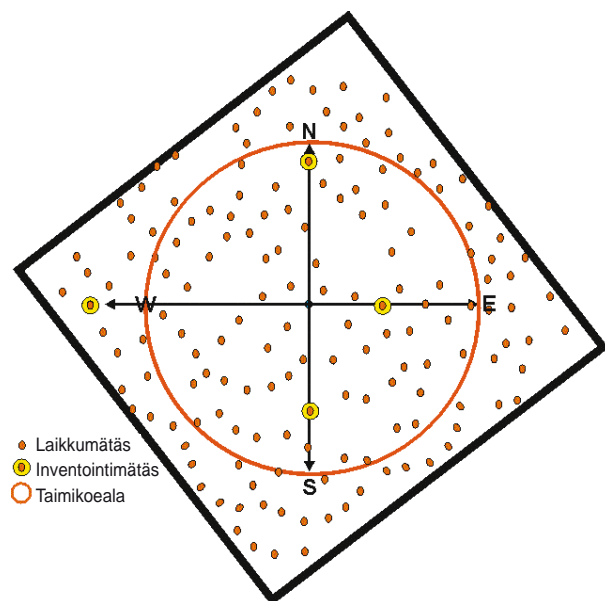
Koealan kivisyys mitattiin kaikilta koealoilta ympyräkoeealan pohjois-etelä suuntaiselta halkaisijalta 10 pisteestä 2,5 m:n välein (kuva 19). Kivisyyden mittaus tehtiin rassilla 0–30 cm:n syvyydeltä. Mitatulla halkaisijalta merkittiin kuinka monessa pisteessä rassi osui kiveen. Jokainen osuma lisää kivisyyttä 10 %. Lisäksi kaikilta koealoilta kerättiin maanäytteet raekokoanalyysiä varten. Kukin maanäyte koostui viidestä osanäytteestä.



Kuva 19. Kivisyyden mittaaminen ympyräkoeealalta.

2.4.5 Mättäiden inventointi

Jokaisen koealan keskipisteen ympäriltä valittiin inventointiin neljä mättästä seuraavan periaatteen mukaan: keskipäälua lähin etelän, lännen, pohjoisen ja idän suuntainen mättäs kunkin ilmasuunnan linjalla (kuva 20). Inventoitavista mättäistä ja niihin istutetuista taimista mitattiin seuraavat tekijät: taimen pituus (maanpäällinen osa istutusohjelmalla), istutusrypyys ja etäisyys laikun reunasta; humuskerroksen paksuus; kivennäismaan paksuus; mättään pituus, leveys ja korkeus; laikun pituus, leveys ja syvyys; maalaji, kivisyys, hakkuutähteiden peittävyys metrin säteellä istutuspaikasta sekä mättään laatu. Inventointimättäiden tarkat sijainnit määritettiin tarkkuus-GPS:llä ja inventoitavat mättäät merkittiin maastoon mittatikun tai nauhan avulla. Tarkoituksena on, että inventoitavat mättäät voidaan tarkan paikkatiedon ansiosta jatkossa löytää maastosta tarkkuus-GPS:n avulla.



Kuva 20. Inventoitaviksi mättäiksi valittiin koealan keskipistettä lähin mättäs neljässä pääilmasuunnassa.

2.4.6 Tilastolliset menetelmät

Tutkimusalueen, istutuskuukauden ja kunnakerroksen paksuuden vaikutusta taimien kuntoon analysoitiin käyttäen yleistettyä lineaarista mallia (logit-malli, multinomijakauma). Tutkimusalueen, istutuskuukauden ja kunnakerroksen paksuuden vaikutusta taimien vuosikasvuun arviointiin lineaarisen mallin avulla (anova, normaalijakauma). Kesällä 2014 tehdyssä lisätutkimuksessa kunnakerroksen ohentamisen vaikutusta taimien kuntoon ja mättäiden laatuun tutkittiin käyttäen yleistettyä lineaarista mallia (logit-malli, multinomijakauma). Kaikissa tilastollisissa analyyseissä käytettiin SAS 9.3-ohjelmistoa. Niiden tutkittujen muuttujien kohdalla, joissa on käytetty tilastollisia menetelmiä, on tuloksissa ilmoitettu tilastolliset merkitsevyydet.

3 Tulokset



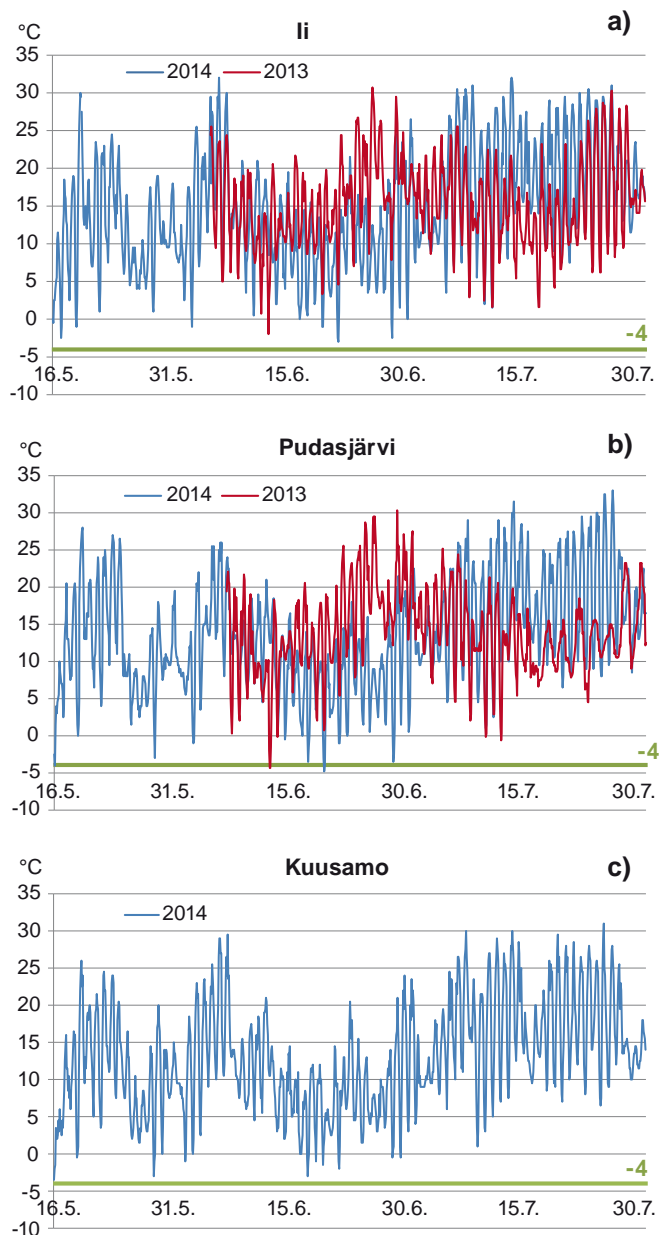
3.1 Koealueiden kasvupaikkatekijät

3.1.1 Lämpötila

10 cm mättään pinnan yläpuolelta mitattuna tutkimusalueista vähiten hallaöitä esiintyi Iissä, jossa lämpötila oli istutusvuonna (2013) alimmillaan -2°C ja vuonna 2014 -3°C (kuva 21 a). Pudasjärvellä hallaöiden määrä oli suurempi ja alueella esiintyi ankaraa hallaa (lämpötila maanpinnan lähellä alle -4°C) sekä vuonna 2013 (alin lämpötila $-4,3^{\circ}\text{C}$) että 2014 ($-4,8^{\circ}\text{C}$) (kuva 22b). Kuusamossa lämpötilamittarit eivät toimineet kesäkuussa 2013, joten kohteen mahdollista hallaöistä ei ollut saatavissa tietoa kyseiseltä vuodelta. Kesäkuussa 2014 alin mitattu lämpötila oli -3°C (kuva 22c).

Mättäiden (-10 cm, juuripaakku) keskilämpötila oli kasvukauden aikana vuonna 2013 korkeampi kuin koskemattoman maan (kuvat 22 a-c). Keskilämpötila kuitenkin laski kasvukauden lopulla aikaisemmin mättäissä kuin koskemattomassa maassa sekä ohut- että paksukunttaisilla koealoilla (kuvat 22 b ja c). Keskilämpötila oli Pudasjärvellä ja Kuusamossa hieman korkeampi ohutkunttaisilla koealoilla, sekä mättäissä että koskemattomassa maassa, kuin paksukunttaisilla koealoilla (kuvat 22 b ja c).

Kasvukauden lopulla juuripaakun kohdalta mitatut mättäiden lämpötilat laskivat ensimmäisen kerran alle $+5^{\circ}\text{C}$:een kaikilla tutkimusalueilla samoihin aikoihin syyskuun loppupuolella ja pysyvästi lokakuun puoliväliin mennessä (kuvat 22 a-c). Mätäs jäätyn ensimmäisen kerran (lämpötila $\leq 0^{\circ}\text{C}$) syksyllä 2013 Iissä ja Kuusamon sekä paksu- että ohutkunttaisilla koealoilla samaan aikaan, lokakuun puolivälin jälkeen, mutta mättäät sulivat (lämpötila pysyvästi $> 0^{\circ}\text{C}$) Iissä lähes kuukautta aikaisemmin kuin Kuusamossa (taulukko 1). Pudasjärven sekä paksu- että ohutkunttaisilla koealoilla mättäät jäättyivät ensimmäisen kerran vasta kuukautta myöhemmin kuin muilla tutkimusalueilla, ja niillä mättään ensijäätymisen ja sulamisen välinen aika oli lyhyin. Pudasjärvellä mättäiden lämpötila nousi talviaikana (mättään ensijäätymisen ja sulamisen välinen aika) yli 0°C :n vain yhden vuorokauden aikana, kun taas Kuusamossa lämpötila nousi yli 0°C :n 42 vrk:na ohutkunttaisilla ja 56 vrk:na paksukunttaisilla koealoilla. Talviajan pakkasummat olivat huomattavasti suuremmat ja minimilämpötila alhaisin Iissä ja Pudasjärven paksukunttaisilla koealoilla kuin Pudasjärven ohutkunttaisilla koealoilla ja Kuusamossa (taulukko 1). Sekä Pudasjärvellä että Kuusamossa pakkasumma oli yli kaksinkertainen ja minimi-

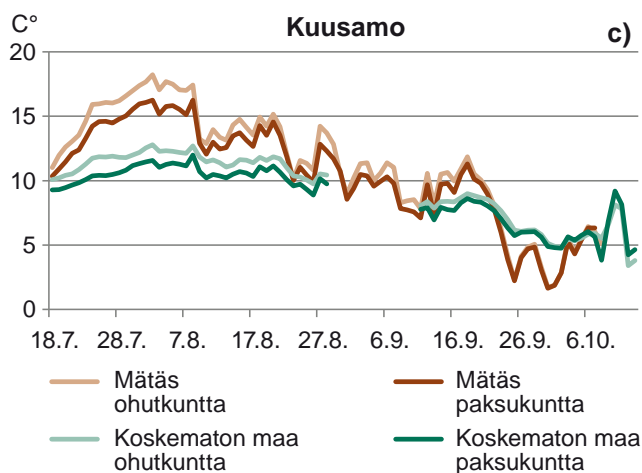
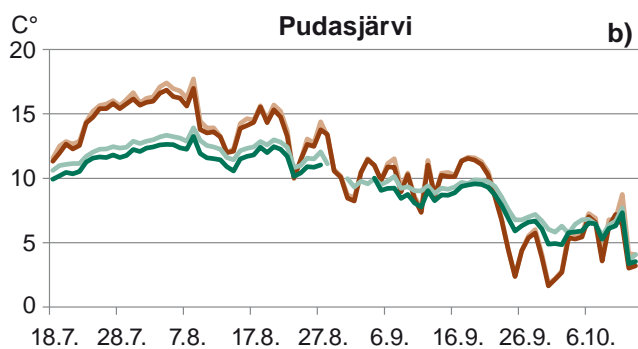
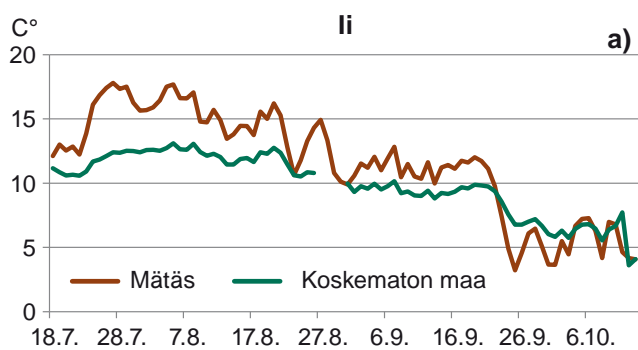


Kuva 21. Vuorokauden lämpötilavaihtelu (vuorokauden ylin ja alin lämpötila) a) Iin, b) Pudasjärven ja c) Kuusamon tutkimusalueilla vuosina 2013 ja 2014 (mitattu 10 cm mättään yläpuolelta).

lämpötila alhaisempi paksukunttaisilla koealoilla verrattuna ohutkunttaisiin. Keväällä 2014 juurten kasvun kannalta oleelliseen $+5^{\circ}\text{C}$:een lämpötilaan päästiin ensimmäisenä Olhavassa (5.5.2014), mutta lämpötilat vakiintuivat yli $+5^{\circ}\text{C}$:een kaikilla tutkimusalueilla sekä ohut- että paksukunttaisilla koealoilla samoihin aikoihin (17.5.2014).

Taulukko 1. Mättäiden jäätymis- (ensimmäisen kerran (lämpötila ≤ 0 °C) ja sulamisajankohdat (lämpötila pysyvästi >0 °C), talviaika (mättään ensijäätyminen ja sulamisen välinen aika vuorokausina), talviajan pakkassumma, vuorokausien määrä, jolloin lämpötila >0 °C ja talviajan minimilämpötila eri tutkimusalueilla paksu- ja ohutkunttaisilla kohteilla. Lämpötilat on mitattu juuripaakun kohdalta.

| | li | | Pudasjärvi | | Kuusamo | |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | paksu | ohut | paksu | ohut | paksu | ohut |
| Mätäs jäätyi | 17.10.2013 | 18.11.2013 | 18.11.2013 | 21.11.2013 | 17.10.2013 | 17.10.2013 |
| Mätäs sulii | 12.4.2014 | 19.4.2014 | 19.4.2014 | 23.4.2014 | 7.5.2014 | 8.5.2014 |
| Talviaika vrk. | 177 | 152 | 152 | 153 | 202 | 203 |
| Talviajan pakkassumma °C | -117 | -110 | -110 | -52 | -51 | -25 |
| Lämpötila > 0 °C talviaikana (vrk) | 24 | 1 | 1 | 1 | 42 | 56 |
| Talviajan minimilämpötila °C | -3.6 | -3.0 | -3.0 | -1.3 | -1.6 | -1.0 |

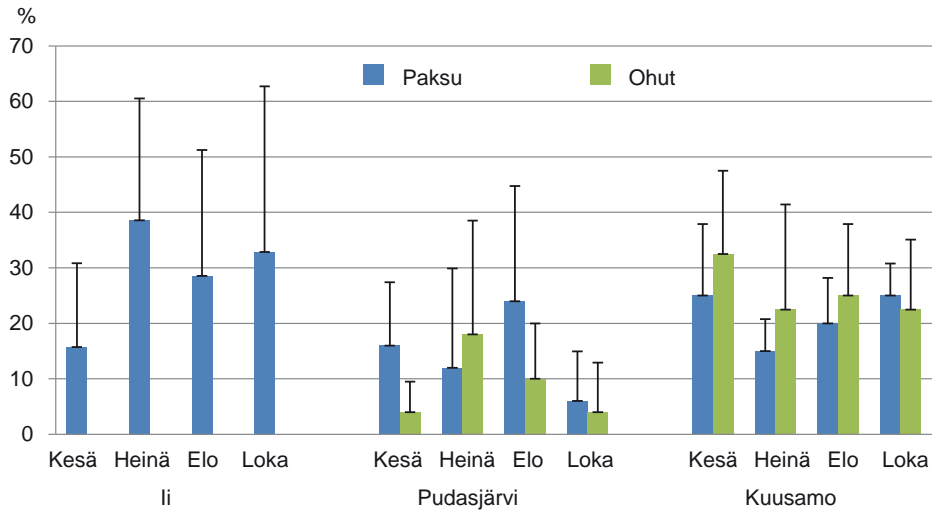


3.1.2 Kivisyys ja maalaji

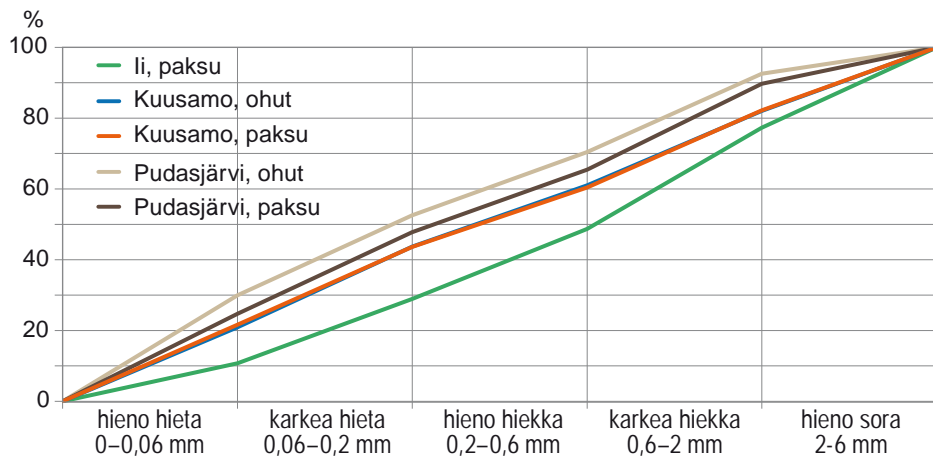
Koalojen (30m*30m) kivisyys vaihteli suuresti sekä tutkimusalueiden välillä, että tutkimusalueiden sisällä (kuva 23) Tutkimusalueista keskimäärin kivisimmäksi osoittautui Iin tutkimusalue ja pienintä kivisyys oli Pudasjärvellä.

Koaloilta kerätyistä maanäytteistä tehdyn raekokoanalyysin perusteella vallitseva raekoko oli Iin koaloilla karkea hiekka, Pudasjärven ohutkunttaisilla koaloilla karkea hiekka ja muilla koaloilla hieno hiekka (kuva 24). Pudasjärvellä myös hienon hiedan osuus oli suuri etenkin ohutkunttaisilla koaloilla (30 %, kuvat 24 ja 25). Hienon hiedan osuus oli pienin Olhavassa (11 %), jossa hienon soran osuus oli tutkimuskohteista suurin (23 %, kuvat 24 ja 25). Hienoaineksen (raekoko $< 0,06$ mm) osuutta tarkasteltiin tarkemmin eri istutuskuukausina ja paksu- ja ohutkunttaisilla istutusalueilla, sillä suuri hienoainespitoisuus voi lisätä routavaurioiden riskiä (Mälkönen 2003). Toisaalta hienoainespitoisuuden osuus kertoo myös maaperän viljavuudesta (Valkonen ym. 2001). Hienojakoisen aineksen osuus oli keskimäärin suurinta Pudasjärven kesä- ja heinäkuun koaloilla (kuva 25). Kyseisellä tutkimusalueella kesäkuun ohutkunttaisilla koaloilla hienojakoisen aineksen osuus oli jopa 40 %, kun taas lokakuun istutusaloilla se jää noin 20 % (kuva 25).

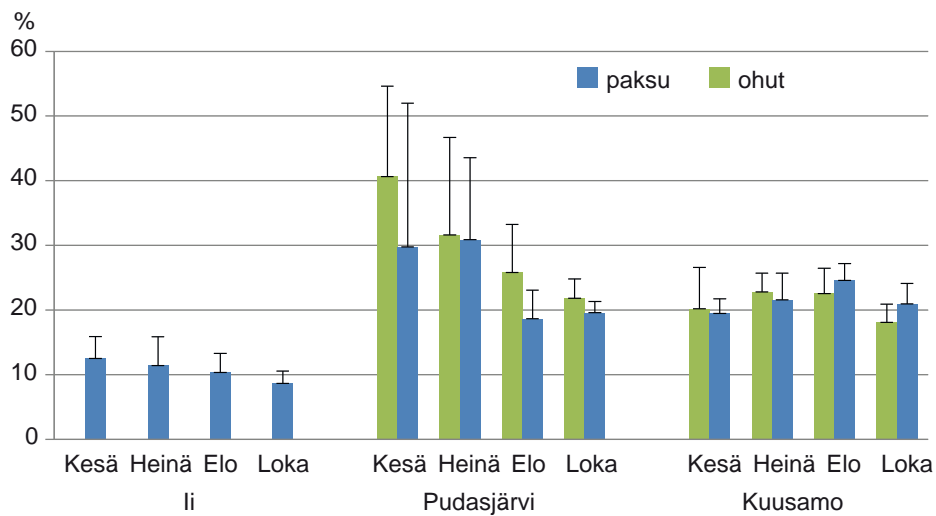
Kuva 22. Mättäiden (juuripaakun) ja koskemattoman maan vuorokauden keskilämpötila kesällä 2013 ohut- ja paksukunttaisilla koaloilla a) Iissä, b) Pudasjärvellä ja c) Kuusamossa.



Kuva 23. Koealojen kivisyys (keskiarvo ja keskihajonta) eri tutkimusalueilla kuukausittain ohut- ja paksukunntaisilla kohteilla eri istutuskuukausina.



Kuva 24. Raekokojen jakautuminen eri tutkimusalueilla paksu- ja ohutkunntaisilla kohteilla.

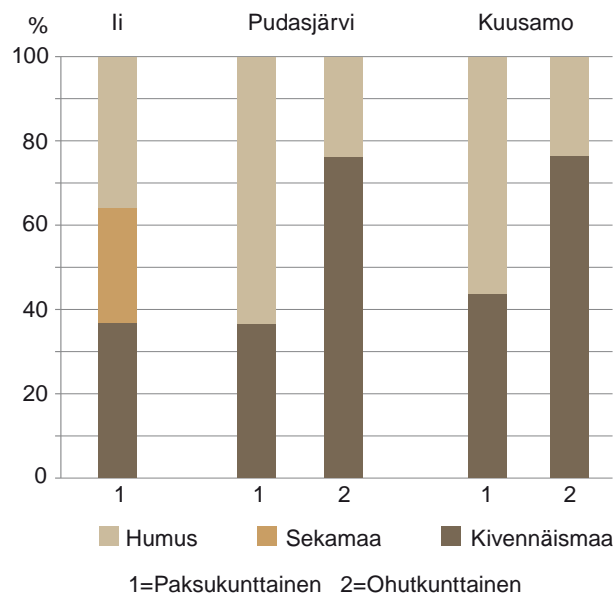


Kuva 25. Hienojakoisen aineksen osuus (keskiarvo ja keskihajonta) eri tutkimusalueilla ohut- ja paksukunntaisilla kohteilla istutuskuukausittain.

3.2 Istutuksen laatu

3.2.1 Istutussyvyys ja mättäiden ominaisuudet

Taimien keskimääräinen istutussyvyys, sekä mättään ja laikun mitat vaihtelivat tutkimusalueittain (taulukko 2). Keskimääräinen istutussyvyys oli matalin Iissä (5,2 cm) ja syvin Kuusamon paksukunttaisilla koealoilla (6,3 cm). Mättään koko (pituus, leveys ja korkeus) oli suurin Olhavassa, jossa oli myös verrattain suuret laikun mitat (taulukko 2). Laikun syvyys on keskimäärin suurempi paksukunttaisilla koealoilla, mutta muihin mättään tai laikun mittoihin kuntan paksuudella ei havaittu olevan selkeitä vaikutuksia. Keskimääräinen kivennäismaakerroksen paksuus mättäiden pinnalla vaihteli Olhavan paksukunttaisten mättäiden 11,4 cm:stä Kuusamon paksukunttaisten mättäiden 12,7 cm:iin (taulukko 2). Kivennäismaakerroksen paksuus on hieman suurempi ohutkunttaisilla koealoilla sekä Pudasjärvellä, että Kuusamossa. Kivennäismaakerros saatiin mättäiden pinnalle kuitenkin vain 54 % kaikista tutkituista mättäistä. Mättäistä oli humuspintaisia 37,4 %, ja mättäitä, joista ei ollut erotettavissa selvää kerrostumaa (sekamaa) oli 8,6 %. Kivennäismaapintaisia mättäitä oli selvästi enemmän ohutkunttaisilla kohteilla sekä Pudasjärvellä, että Kuusamossa (kuva 26, taulukko 2). Sekamaapintaisia mättäitä oli ainoastaan Olhavassa (kuva 26.).



Kuva 26. Mättäiden pinnalla olevan kerroksen jakautuminen tutkituissa mättäissä Iissä (n= 86), Pudasjärvellä (n=136) ja Kuusamossa (n=128) paksu- ja ohutkunttaisilla kohteilla. Kivennäismaa = mättään pinnalla selvä kivennäismaakerros, sekamaa = mättään pinnalla ei erotettavissa selvää kerrostumaa ja humus = mättään pinta koostuu humuksesta.

Taulukko 2. Mättäiden istutussyvyys ja ominaisuudet tutkimusalueilla ohut- ja paksukunttaisilla koealoilla.

| | Ii | | Pudasjärvi | | Kuusamo | |
|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------|
| | Paksu | Ohut | Paksu | Ohut | Paksu | Ohut |
| Istutussyvyys (cm) | 5,2 ± 2,9 | 5,7 ± 3,0 | 5,3 ± 2,6 | 5,7 ± 3,1 | 6,3 ± 2,9 | |
| Mättään pituus (cm) | 87 ± 19 | 72 ± 18 | 76 ± 15 | 76 ± 17 | 87 ± 18 | |
| Mättään leveys (cm) | 79 ± 20 | 70 ± 16 | 62 ± 11 | 68 ± 11 | 75 ± 15 | |
| Mättään korkeus (cm) | 21 ± 14 | 15 ± 9 | 17 ± 7 | 13 ± 6 | 15 ± 8 | |
| Laikun pituus (cm) | 125 ± 31 | 111 ± 24 | 118 ± 23 | 122 ± 25 | 129 ± 28 | |
| Laikun leveys (cm) | 58 ± 21 | 60 ± 16 | 54 ± 10 | 61 ± 12 | 64 ± 16 | |
| Laikun syvyys (cm) | 37 ± 9 | 38 ± 11 | 33 ± 7 | 35 ± 12 | 33 ± 9 | |
| Kivennäismaan paksuus (cm) | 11,4 ± 4,1 | 11,8 ± 5,6 | 12,0 ± 3,6 | 12,4 ± 4,3 | 12,7 ± 4,9 | |
| Kivennäismaa mättäiden osuus (%) | 36,9 | 36,7 | 76,3 | 43,8 | 76,6 | |

3.2.2 Mättään laatu ja heinittyminen

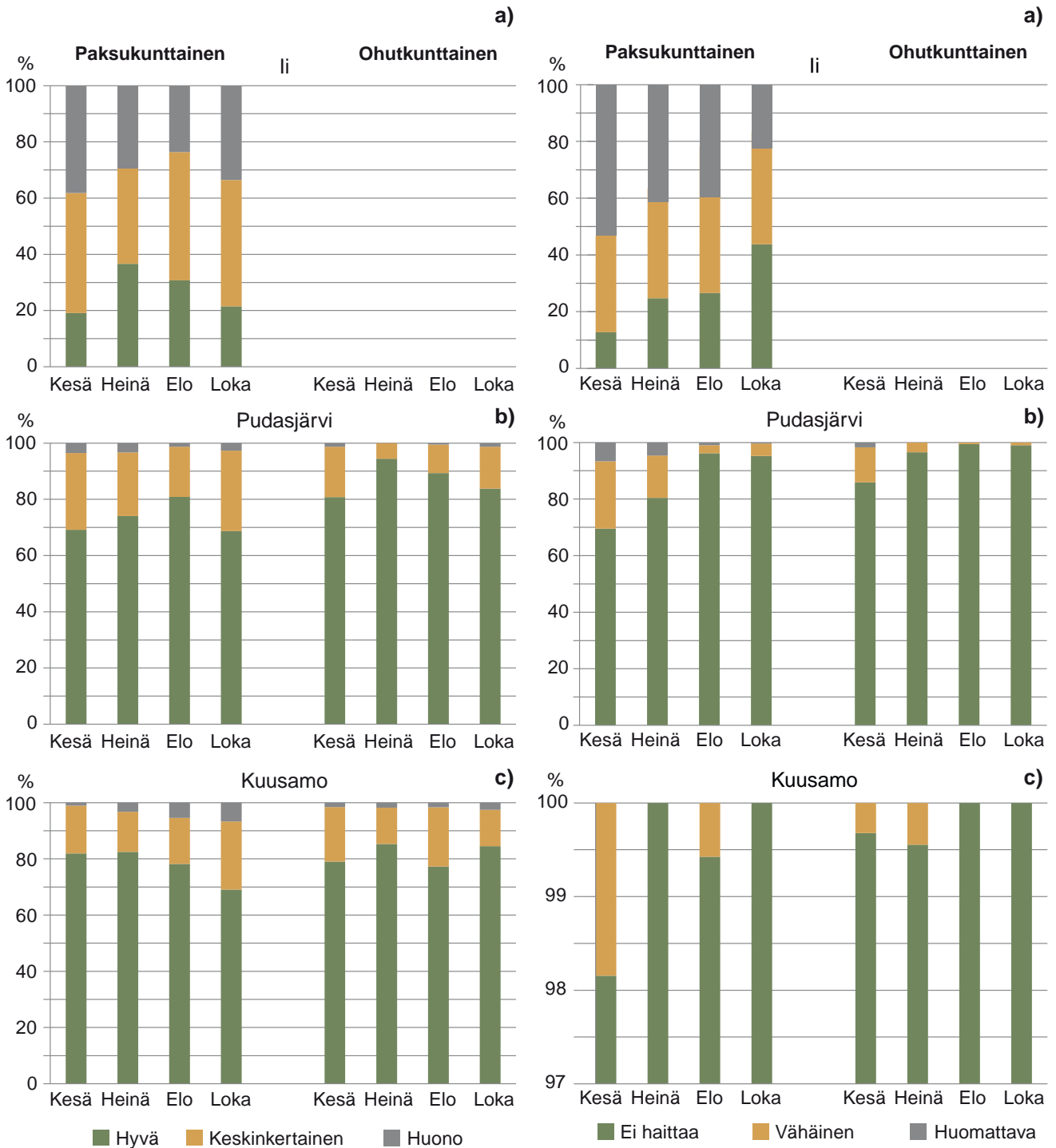
Mättäiden laatua taimien kasvupaikkana tarkasteltiin taimi-inventointien yhteydessä (katso luku 2.4.2). Mättäiden laatu osoittautui heikoimmaksi Iissä, jossa jopa 23,6–38,2 % mättäistä arvioitiin huonoksi (kuva 27 a). Mättäiden

den kunto Iissä oli paras heinä- ja elokuun istutuksissa. Pudasjärvellä ja Kuusamossa mättäiden laatu oli selvästi parempi. Pudasjärvellä huonoksi luokiteltujen mättäiden osuus oli korkeintaan 3,5 % paksukunttaisella ja 1,3 % ohutkunttaisella koealoilla. Kuusamossa vastaavat osuudet olivat 6,7 % ja 2,5 %. Sekä Pudasjärvellä että Kuusamos-

sa mättäiden kunto oli jonkin verran heikompi paksukunttaisilla koealoilla.

Mättäiden heinittymistä havaittiin eniten Olhavassa, jossa heinittymisestä oli huomattavaa haittaa kaikkina istu-

tuskuukausina (kuva 28). Vähiten heinittymistä havaittiin Kuusamossa. Kaikilla tutkimusalueilla kesäkuussa istutuksissa heinittymisen oli runsainta, poikkeuksena Kuusamon ohutkunttaiset koealat, joissa heinäkuun istutuksissa heinittymisen oli runsainta.



Kuva 27. Mättään laatu kasvualueilla eri istutuskuukausina paksu- ja ohutkunttaisten koealoilla a) lissä, b) Pudasjärvellä ja c) Kuusamossa.

Kuva 28. Arvioitu heinittymisen haitta taimelle eri istutuskuukausina paksu- ja ohutkunttaisten koealoilla a) lissä, b) Pudasjärvellä ja c) Kuusamossa.

3.2.3 Istutustiheys

Koealojen toteutunut istutustiheys määritettiin koeympyrältä mitattujen istutustiheyksien avulla. Iissä keskimääräinen istutustiheys jäi alhaiseksi 1 274 tainta/ha (vaihteluväli: 911–1 600), mikä oli n. 80 % tavoitetiheydestä. Tavoiteltuun istutustiheyteen, 1 600 kpl/ha, päästiin vain 5 % koealoista. Myös Pudasjärvellä tavoitetiheys oli 1 600kpl/ha. Pudasjärvellä tavoitetiheyteen päästiin 15 % koealoista ohutkunttaisilla ja 10 % koealoista paksukunttaisilla koealoilla. Keskimääräinen istutustiheys kohteen ohutkunttaisilla koealoilla oli 88 % tavoitetiheydestä (1 407 kpl/ha, 1 067–1 978) ja paksukunttaisilla 87 % (1 391 kpl/ha, 1 200–1 667). Kuusamossa tavoitetiheys oli 2 000 kpl/ha ja toteutunut tiheys keskimäärin 85 % tavoitetiheydestä sekä ohut- (1 690 kpl/ha, 1 156–2 222), että paksukunttaisilla (1 697 kpl/ha, 1 244–2 400) koealoilla. Tavoitetiheyteen päästiin 12,5 % ohutkunttaisista ja 6,3 % paksukunttaisista koealoista.

3.3 Taimien kunto, vuosikasvu ja taimituhot

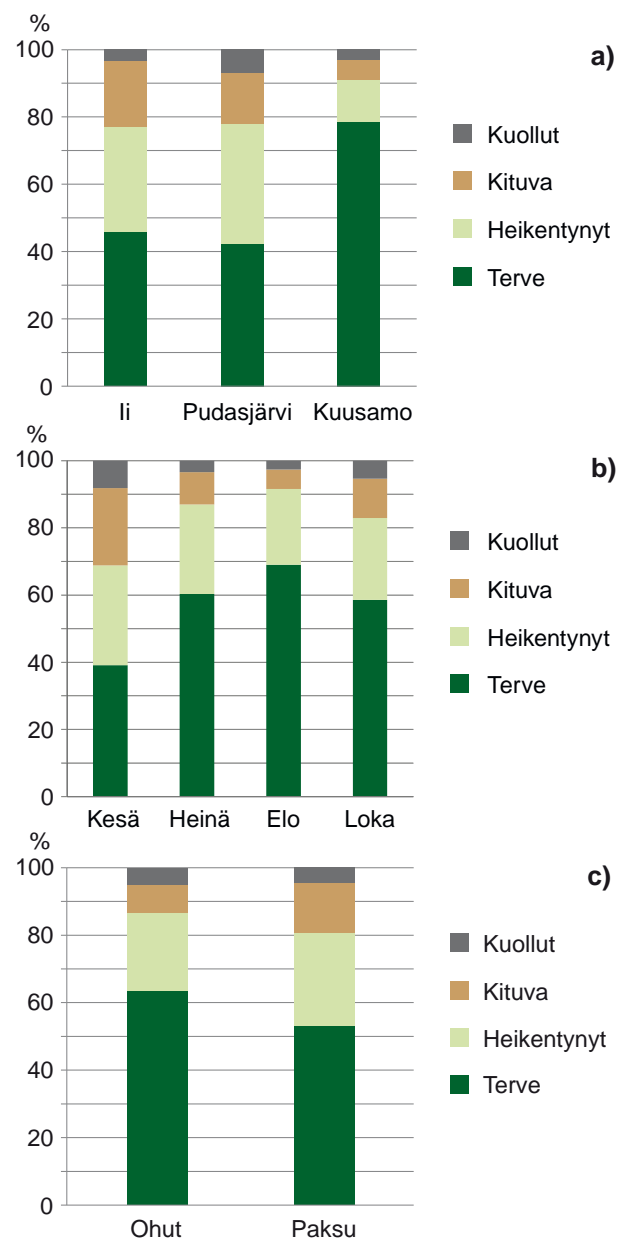
3.3.1 Taimien kunto

Tarkasteltaessa koko aineistoa yhtä aikaa tutkimusalue, kunttakerroksen paksuus ja istutuskuukausi sekä niiden yhdysvaikutukset ovat merkitseviä taimen kuntoon vaikuttavia tekijöitä (taulukko 3). Terveiden taimien osuus on suurin Kuusamossa, jossa 78,5 % taimista luokiteltiin terveiksi (kuva 29 a). Kuolleiden taimien osuus on suurin Pudasjärvellä, jossa myös terveitä taimia on vähiten. Kaikkia tutkimusalueita tarkasteltaessa terveiden taimien osuus on keskimäärin suurin ja kuolleiden pienin elokuussa (kuva 29 b). Terveitä taimia on keskimäärin enemmän ohutkunttaisilla alueilla, mutta toisaalta kuolleita taimia on vähemmän paksukunttaisilla alueilla, joskaan ero ei ole suuri (kuva 29 c). Istutuskuukauden ja kunttakerroksen vaikutus taimien kuntoon vaihtelee kuitenkin alueittain (kuva 30 a-e). Koska tutkimusalueet eroavat myös taustamuuttujiltaan (ympäristötekijöiltään) toisistaan, tarkasteltiin kunttakerroksen paksuuden ja istutuskuukauden vaikutusta tarkemmin kullakin tutkimusalueella erikseen.

Iissä istutuksia tehtiin vain paksukunttaisille koealoille. Kohteessa istutuskuukaudella on merkitsevä vaikutus eri kuntolukkiin osuuteen (df=9, $\chi^2=74.60$, $p < 0.001$). Terveiden taimien osuus on suurin istutuksissa, jotka on tehty heinä- ja elokuussa, jolloin myös kuolleiden taimien osuus on pienin (Kuva 30 a).

Taulukko 3. Tutkimusalueen (alue), kunttakerroksen (kuntta) ja istutuskuukauden (kk) vaikutus sekä niiden yhdysvaikutukset taimien kuntoon.

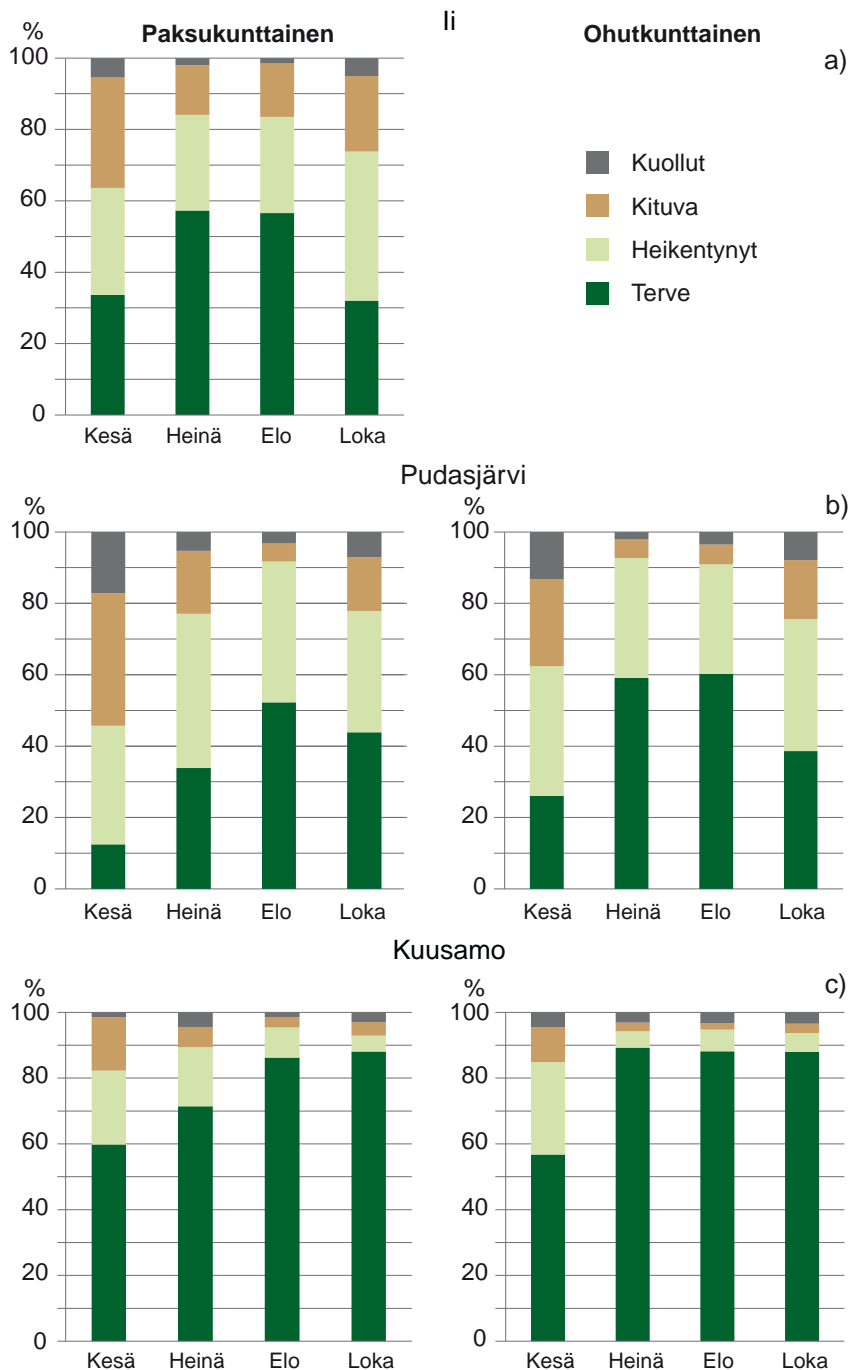
| | df | Chi-Square | Pr> ChiSq |
|----------------|----|------------|-----------|
| alue | 6 | 600.14 | < .0001 |
| kk | 9 | 121.24 | < .0001 |
| kuntta | 3 | 29.69 | < .0001 |
| alue*kk | 18 | 124.32 | < .0001 |
| alue*kuntta | 3* | 8.43 | 0.0379 |
| kk*kuntta | 9 | 42.72 | < .0001 |
| alue*kk*kuntta | 9* | 18.87 | 0.0263 |



Kuva 29. Taimien eri kuntoluokkien osuus a) eri tutkimusalueilla, b) eri istutuskuukausina ja c) ohut- ja paksukunttaisilla kohteilla kun tarkastellaan kaikkia tutkimusalueita yhdessä.

Pudasjärvellä sekä kunttakerroksella ($df=3$, $\chi^2=29.69$, $p < 0.001$) että istutuskuukaudella ($df=9$, $\chi^2=253.37$, $p < 0.001$) on merkitsevä vaikutus taimien kuntoon. Kunttakerroksella ja istutuskuukaudella on myös merkitsevä yhdysvaikutus ($df=9$, $\chi^2=42.72$, $p < 0.001$). Terveiden taimien osuus on suurin elokuussa sekä ohut- että paksukunttaisilla koealoilla (kuva 30 b). Ohutkunttaisilla koealoilla myös heinäkuun istutusten taimet ovat menestyneet hyvin. Kesäkuussa istutetuista taimista vain 26,1 % on terveitä ohut- ja 12,5 % paksukunttaisilla koealoilla. Kuolleiden taimien osuus on suurin kesäkuun istutuksissa sekä paksu-, että ohutkunttaisilla koealoilla (kuva 30 b).

Myös Kuusamossa kunttakerroksen ($df=3$, $\chi^2=14.04$, $p < 0.003$) ja istutuskuukauden ($df=9$, $\chi^2=205.36$, $p < 0.001$) vaikutus sekä niiden yhdysvaikutus ($df=9$, $\chi^2=26.52$, $p < 0.002$) olivat merkitseviä. Ohutkunttaisilla koealoilla terveiden taimien osuus on lähes 90 % heinä-, elo- sekä lokakuun istutuksissa, jolloin myös kuolleiden taimien osuus jäi vähäiseksi. Myös paksukunttaisilla koealoilla terveiden taimien osuus on lähes 90 % elo- ja lokakuun istutuksissa (kuva 30c). Paksukunttaisilla koealoilla sekä kuolleiden että terveiden taimien osuus oli pienin kesäkuussa. Kuolleiden taimien osuudessa ei ole kuitenkaan merkitsevää eroa.



Kuva 30. Taimien kuntoluokkien osuudet istutuskuukausittain paksu- ja ohutkunttaisilla koealoilla a) lissä, b) Pudasjärvellä ja c) Kuusamossa. Istutuskuukaudet: 6 = kesäkuu, 7 = heinäkuu, 8 = elokuu ja 10 = lokakuu.

3.3.3 Taimien vuosikasvu

Taimien vuosikasvua tarkasteltiin vain terveistä taimista. Vuosikasvussa on merkitsevä ero tutkimusalueiden välillä (taulukko 4), kun tarkastellaan koko aineistoa. Kasvu on suurinta Olhavassa kaikkina istutuskuukausina (kuva 31). Kunttakerroksella ja istutuskuukaudella on merkitsevä yhdysvaikutus ja niiden vaikutus vaihtelee tutkimusalueittain (taulukko 4, kuva 31). Siten myös kunttakerroksen paksuuden ja istutuskuukauden merkitystä taimien vuosikasvuun tarkasteltiin tarkemmin eri tutkimusalueilla.

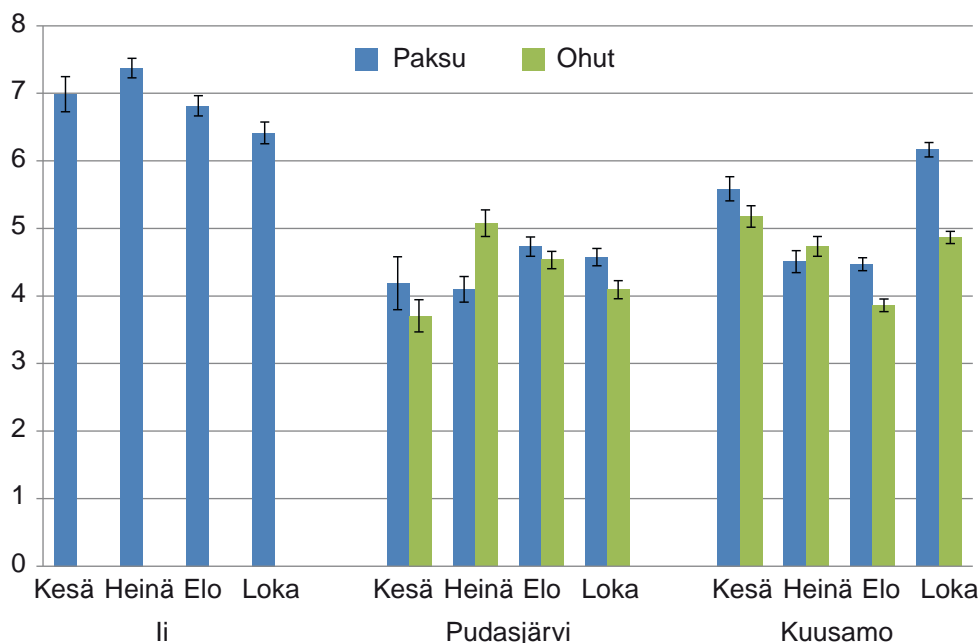
Taulukko 4. Tutkimusalueen (alue), istutuskuukauden (kk) ja kunttakerroksen paksuuden (kuntta) vaikutukset taimien vuosikasvuun.

| | Num DF | Den DF | F Value | Pr > F |
|-------------|--------|--------|---------|---------|
| alue | 2 | 3248 | 195.02 | < .0001 |
| kk | 3 | 3248 | 8.77 | < .0001 |
| kuntta | 1 | 3248 | 10.11 | 0.0015 |
| alue*kk | 6 | 3248 | 27.99 | < .0001 |
| kk*kuntta | 3 | 3248 | 19.16 | < .0001 |
| alue*kuntta | 1 | 3248 | 13.33 | 0.0003 |

Olhavassa istutuskuukaudella on merkitsevä vaikutus vuosikasvuun ($F_{3,472}=5.42$, $p=0.001$). Terveiden taimien vuosikasvu on suurin heinäkuussa istutetuissa taimissa (kuva 31), joka eroaa merkitsevästi elokuussa ($t=2.68$, $\text{Adj } P=.038$) ja lokakuussa ($t=3.82$, $\text{Adj } P=0.001$) istutettujen taimien vuosikasvusta.

Pudasjärvellä istutuskuukaudella on merkitsevä omavaikutus ($F_{3,986}=3.65$, $p=0.012$) sekä yhdysvaikutus kunttakerroksen paksuuden kanssa ($F_{1,986}=7.49$, $p=0.0001$). Pituuskasvu oli suurinta heinäkuussa ohutkunttaisilla koealoilla, mutta muina istutuskuukausina paksukunttaisilla koealoilla (kuva 31).

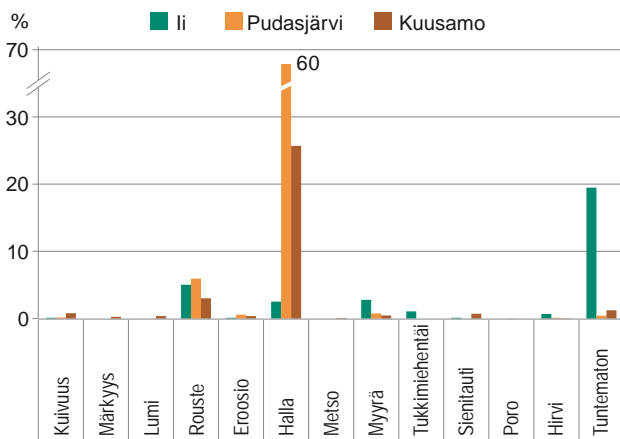
Kuusamossa istutuskuukaudella ($F_{3,1787}=59.99$, $p < 0.001$) ja kunttakerroksen paksuudella ($F_{1,1787}=34.69$, $p=0.0001$) on merkitsevä omavaikutus sekä lisäksi yhdysvaikutus ($F_{3,1787}=12.79$, $p=0.001$). Kasvu on suurinta kesä- ja lokakuussa istutetuissa taimissa sekä ohut- että paksukunttaisilla koealoilla (kuva 31). Lokakuun istutusten vuosikasvu paksukunttaisella koealoilla oli suurempaa kuin heinä- ja elokuun istutuksissa sekä paksu- että ohutkunttaisilla sekä elokuun ohutkunttaisilla koealoilla. Vähiten olivat kasvaneet elokuussa ohutkunttaisille koealoille istutetut taimet (kuva 31).



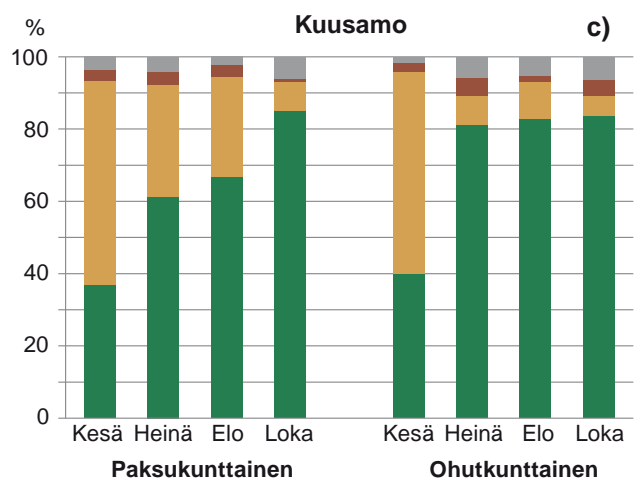
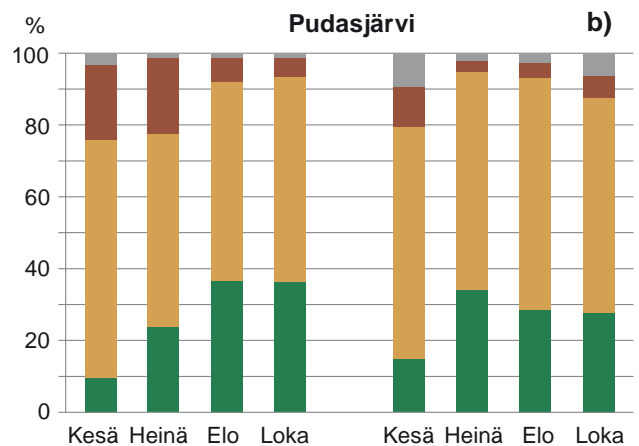
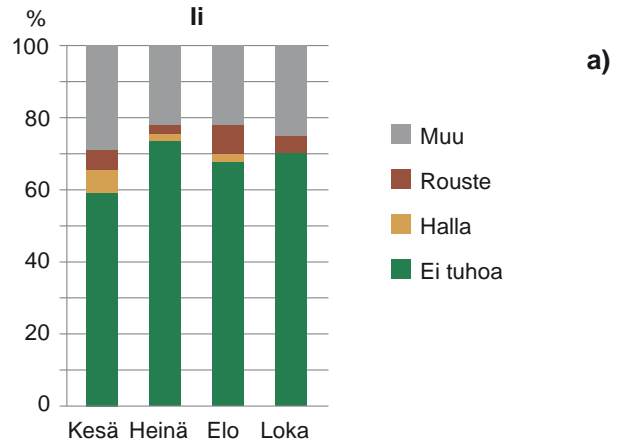
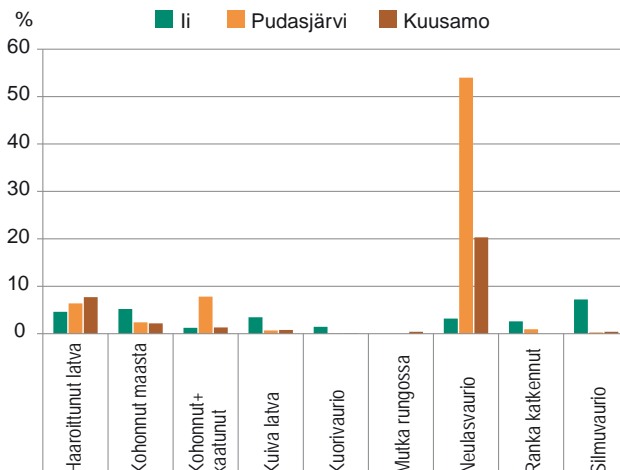
Kuva 31. Taimien vuosikasvu (cm, keskiarvo ja keskivirhe) paksu- ja ohutkunttaisilla koealoilla eri istutuskuukausina (6=kesäkuu, 7=heinäkuu, 8=elokuu ja 10=lokakuu) Iissä, Pudasjärvellä ja Kuusamossa.

3.3.4 Taimituhot

Yleisimmät määritetyt taimien tuhojen aiheuttajat olivat halla ja rouste, joita esiintyi kaikilla tutkimusalueilla (kuvat 32 ja 33). Tuhoja havaittiin eniten Pudasjärvellä, jossa 72,4 % taimista havaittiin tuhoja. Yleisin tuhon aiheuttaja Pudasjärvellä oli halla, joka oli vaurioittanut kaikkina istutuskuukausina noin 60 % taimista sekä ohut että paksukunttaisilla koealoilla (kuva 33 b). Myös roustevaurioita esiintyi eniten Pudasjärvellä. Kuusamossa hallavaurioiden määrä oli huomattavasti alhaisempi, ja vaurioita esiintyi lähinnä kesäkuun istutuksissa (kuva 33 c). Hallavaurioita esiintyi hiukan enemmän paksukunttaisilla koealoilla kaikkina istutuskuukausina. Olhavassa yleisin määritetty tuhon syy oli rouste jota esiintyi 5 % taimista (kuvat 32 ja 33 a). Olhavassa suurimmassa osassa vaurioituneista taimista tuhon aiheuttajaa ei pystytty määrittämään (kuva 32). Yleisin tuhon ilmiäsi oli neulasvaurio, jota esiintyi kaikilla tutkimusalueilla (kuva 34). Neulasvaurioiden määrä oli suurin Pudasjärvellä. Olhavassa yleisin tuhon ilmiäsi oli silmuvaurio (7,2 %).



Kuva 32. Taimituhojen aiheuttajien esiintyminen eri tutkimusalueilla (tuhosta kärsineiden taimien osuus inventoiduista taimista).

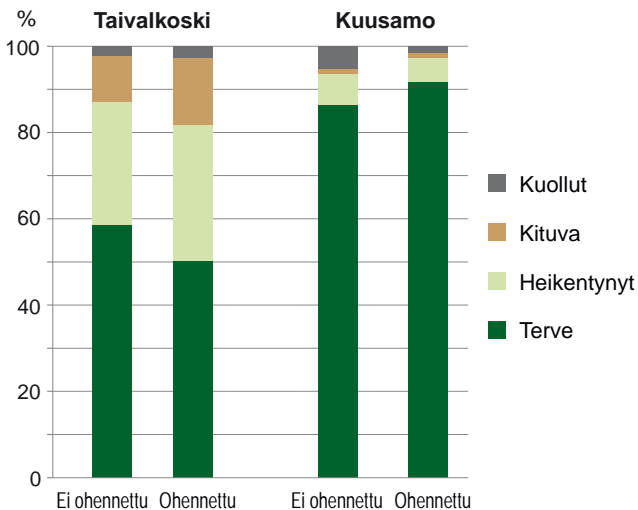


Kuva 33. Taimituhojen esiintyminen lissä (a), Pudasjärvellä (b) ja Kuusamossa (c) istutuskuukausittain paksu- ja ohutkunttaisilla koealoilla.

Kuva 34. Yleisimmät taimituhojen ilmiäsi tutkimusalueilla.

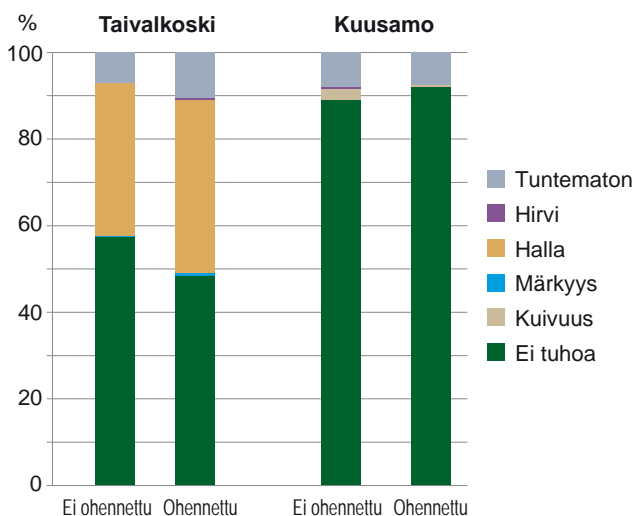
3.3.5 Kuntan ohentamisen vaikutus taimien kuntoon ja mättäiden laatuun 2014

Terveiden taimien osuus oli selvästi suurempi Kuusamossa kuin Taivalkoskella ($df=3$, $\chi^2=133.66$, $p < 0.001$, kuva 35). Kuolleita taimia oli molemmilla tutkimusalueilla enintään 5,2 % inventoiduista taimista. Kunttakerroksen ohentamisella ei todettu olevan merkitsevää vaikutusta taimien kuntoon kummallakaan tutkimusalueella ($df=3$, $\chi^2=1.6100$, $p=0.6571$, kuva 35).



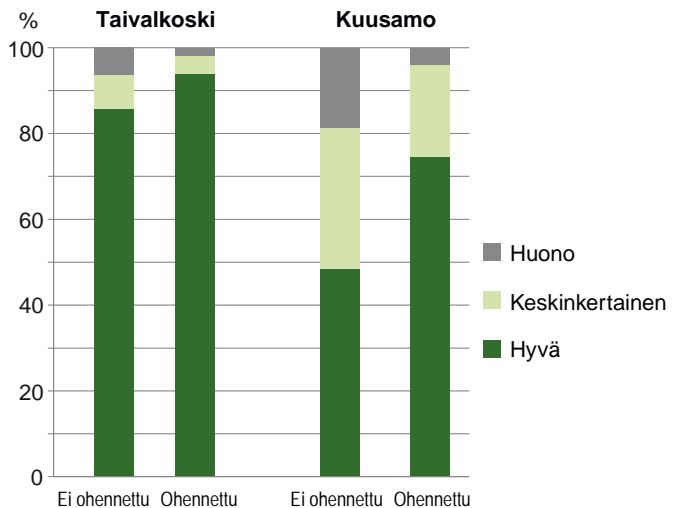
Kuva 35. Taimien kuntoluokkien osuudet ei ohennetuilla ja ohennetuilla koealoilla Taivalkoskella ja Kuusamossa.

Taimituhoja esiintyi enemmän Taivalkoskella, jossa suurin tuhon aiheuttaja oli halla (kuva 36). Kuusamossa koelaoilla, joissa kunttakerrosta ei ollut ohennettu 2,7 %:ssa taimista havaittiin kuivuuden aiheuttamia tuhoja, mutta yleisesti ottaen taimituhoja todettiin alueella vähän (kuva 36).



Kuva 36. Taimituhojen aiheuttajien osuus Taivalkoskella ja Kuusamossa koealoilla, joissa kunttakerrosta ei ole ohennettu ja on ohennettu.

Mättäiden laatu kasvualustana oli Taivalkoskella merkitsevästi parempi kuin Kuusamossa ($df=2$, $\chi^2=91.375$, $p < 0.001$, kuva 37). Myös kunttakerroksen ohentamisella oli merkitsevä vaikutus mättään laatuun ($df=3$, $\chi^2=36.946$, $p < 0.001$). Molemmilla tutkimusalueilla hyväksi määritetyjä mättäitä oli enemmän koealoilla, joissa kunttakerrosta oli ohennettu (kuva 37).



Kuva 37. Mättäiden laatu kasvualustana tutkimusalueilla koealoilla, joissa kunttakerrosta ei ole ohennettu tai on ohennettu.

3.4 Taimikohtaisen paikkatiedon tarkkuuden tarkastaminen

Kesän 2013 istutuksissa 3D-mittalaitteiston paikannusjärjestelmä toimi suhteellisen luotettavasti lukuun ottamatta ajoittaisia ongelmia Smartnet-korjausviestin vastaanottamisessa. Vaikka laitteisto toimi hyvin, heti kesäkuun istutusten aikana havaittiin, että 3D-mittalaitteistolla tallennetut taimien sijaintitiedot ovat systemaattisella tavalla virheellisiä (virhe 0,9 m–2 m alueesta riippuen) Leica Viva tarkkuus-GPS:n antamaan tulokseen verrattuna. 3D-mittalaitteiston toimittajan Scanlaser pyrki selvittämään ja korjaamaan ongelman useaan kertaan. Koneen mittalaitteisto kalibroitiin uudestaan, jonka jälkeen tarkistettiin tarkkuus-GPS:n avulla, että paikannustarkkuus on < 10 cm. Lukuisista korjausyrityksistä huolimatta varsinaisissa istutustöissä esiintyi istutusten loppuun asti systemaattinen paikannusvirhe, jonka jälkikäteiskorjaus osoittautui mahdottomaksi. Pitkällisten selvitysten jälkeen paikannusvirheen syy löytyi loppuvuodesta 2013. Istutuspään asennusvaiheessa mittalaitteistoon tallennettiin aluksi väärät kalibrointiarvot, mikä huomattiin ja korjattiin kesäkuussa tehdyssä uudelleenkalibroinnissa. Alun perin väärät kalibrointiarvot olivat kuitenkin tallentuneet tiedostojen siirtoon tarkoitettulle muistitikulle, jolla kaikki istutuksia koskevat aineistot siirrettiin 3D-laitteistoon. Väärät kalibrointiarvot muuttuivat 3D-järjestelmän oletusarvoiksi aina, kun muistitikun sisältö synkronoitiin 3D-laitteiston kanssa. Tämä selittää sen, että paikannustarkkuus oli oikea (+/-10 cm) tilanteissa, joissa ei käytetty muistitikulla siirrettyä työmaatiiedostoa. Virhe kuitenkin siirtyi 3D-laitteistoon heti, kun siihen laitettiin seuraava työmaatiiedosto kyseisellä muistitikulla. Virhe olisi voitu välttää, mikäli tiedostojen siirtämiseen olisi käytetty eri muistitikua tai pilvipalvelinta. Paikkatiedon keräämisessä ei vuonna 2013 näin ollen päästy tavoiteltuun alle 10 cm:n tarkkuuteen, vaan kalibrointivirheestä johtuen taimien paikannustarkkuus oli keskimäärin 1 metriä. Tästä syystä hankkeen ohjausryhmän kokouksessa päätettiin, että koneistutuksia jatketaan kesällä 2014, jotta voidaan testata saadaanko istutettujen taimien paikannustarkkuus alle 10 cm tarkkuuteen, mikä olisi erittäin tärkeää menetelmän laajamittaisempaa käyttöä varten.

Kesän 2014 koealojen istutusten yhteydessä 3D-mittalaitteiston tarkkuutta tarkistettiin järjestelmällisesti heti koneistutuksen yhteydessä tarkkuus-GPS:n avulla sekä Taivalkosken että Kuusamon tutkimusalueilla. Kummallakin kohteella paikannettiin tarkkuus-GPS:llä koneen istuttamia taimia jokaiselta tutkimuslohkoilta siten, että tarkistuspaikannukset sijoittuivat mahdollisimman kattavasti koko tutkimusalueiden alalle. Tarkkuus-GPS:llä kerättyjä paikannuksia verrattiin sitten 3D-mittalaitteiston paikannuksiin.

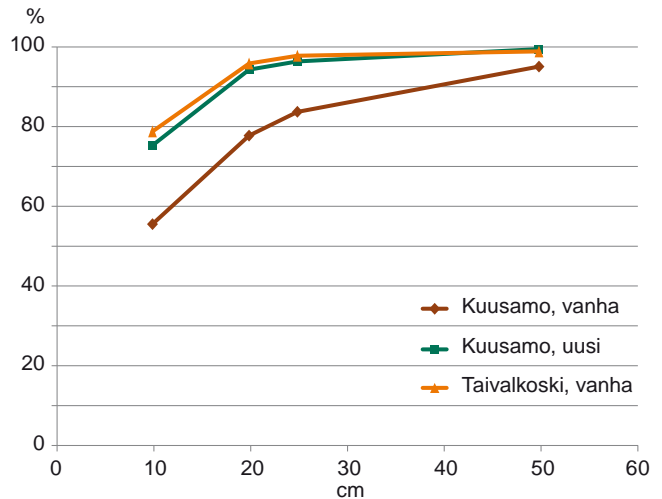
Vertailua varten 3D-mittalaitteiston tuottamaa paikkatietoaineistoa jouduttiin muokkaamaan. Aineistosta mm. poistettiin sellaiset ylimääräiset pisteet, jotka ovat tallentuneet koneen yrittäessä istuttaa tainta useampaan kertaan samaan määttääseen esimerkiksi laitteiston syöttöhäiriöstä johtuen. Ylimääräisiä tallennuksia esiintyi etenkin Kuusamon aineistossa, jossa istutusta vaikeutti kohteen kivisyys. Lisäksi Kuusamossa istutuskoneen istutusputki tukkeutui usein johtuen ilmeisesti siitä, että istutuksissa käytetty Plantek 121- taimipaakku on pienempi ja keveämpi Taivalkoskella käytettyihin kookkaampiin ja paremmin koneistutukseen soveltuviin Plantek 81 -paakkutaimiin verrattuna. Kuljettajan on vaikea poistaa virhepaikannuksia istutustyön aikana, joten aineiston muokkaaminen on tehtävä jälkikäteen jollakin soveltuvalla paikkatieto-ohjelmalla. Virhepaikannusten poistamista varten paikannuspisteiden ympärille luotiin ArcMap-ohjelman avulla 25 cm säteiset ympyrät ja toisensa leikkaavat ympyrät yhdistettiin spatiaalisella toiminnolla yhtenäiseksi alueeksi. Näin saatiin yhdistettyä joukko lähekkäisiä paikannuksia, jotka todennäköisesti ovat yhden ja saman taimen istutusyrityksistä syntyneitä tallennuspisteitä. Taimen sijaintikoordinaatiksi valittiin 3D-mittalaitteiston ajallisesti viimeiseksi tallentama piste. Tuloksena saadaan taimikartta, jossa jokaisella istutetulla taimella on tarkka sijaintitieto (kuva 38).

Aineiston muokkaamisen jälkeen tarkkuus-GPS:n koordinaattien ympärille luotiin erikokoisia ympyröitä (säde: 10, 20, 25, 50 ja 100 cm), joiden avulla verrattiin 3D-mittalaitteiston ilmoittamien taimikohtaisten koordinaattien etäisyyttä tarkkuus-GPS:n ilmoittamiin koordinaatteihin. 3D-mittalaitteiston ja tarkkuus-GPS:n ilmoittamien paikkatietojen etäisyyden vertailu tehtiin erikseen Taivalkosken ja Kuusamoon aineistoille, jotta voidaan huomioida tutkimusalueiden erilainen sijainti suhteessa korjausviestin vastaanottamisessa käytettyyn RTK-verkkoon. Paikannustarkkuus vaihteli alueittain siten, että paras tarkkuus saavutettiin Taivalkoskella (n. 80 % taimista vähintään 10 cm paikannustarkkuudella), kun taas Kuusamossa istutetuista taimista vain vähän yli puolet oli tallennettu vastaavalla tarkkuudella (taulukko 5 ja kuva 39). Eroa voidaan ainakin osittain selittää etäisyydellä RTK-korjausviestiä lähettävään tukiasemaan, joka oli Taivalkoskella huomattavasti lähempänä (6 km) kuin Kuusamossa (30 km). Istutuskoneeseen vaihdettiin kesken Kuusamon istutusten keväällä 2014 markkinoille tulleet uudentyyppiset paikannusantennit, joiden kantama tukiasemaan on jopa 60–80 km entisen 20–30 km:n sijaan. Tämä vaihdos vaikutti paikannustarkkuuteen huomattavasti, sillä uusilla antennilla saavutettiin myös Kuusamossa 75 % paikannuksista alle 10 cm tarkkuus (taulukko 5 ja kuva 39). Koko aineiston osalta lähes 70 % 3D-mittalaitteiston paikannuksista sijoittui alle

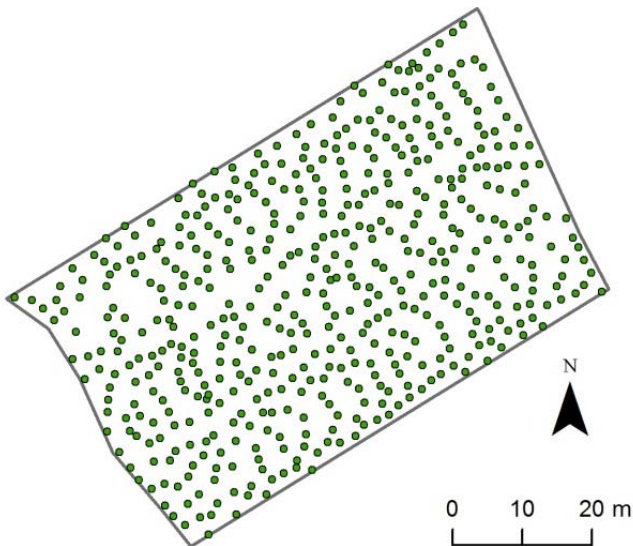
10 cm:n etäisyydelle tarkkuus-GPS:n paikantamista sijainneista ja 93 % alle 25 cm:n etäisyydelle. Tätä voidaan pitää erittäin hyvänä tarkkuutena metsäistutuksessa.

Taulukko 5. Istutettujen taimien 3D-koneohjausjärjestelmän paikantama sijainti suhteessa tarkkuus-GPS:n paikantamaan sijaintiin. Tarkkuus-GPS paikannusten määrä: Taivalkoski=464 kpl, Kuusamo uusi antenni=195 kpl ja Kuusamo vanha antenni=185 kpl.

| Paikannusten ero (cm) | Taivalkoski | Kuusamo uusi antenni | Kuusamo vanha antenni | Keskiarvo |
|-----------------------|-------------|----------------------|-----------------------|-----------|
| < 10 | 78,88 | 75,38 | 55,68 | 69,98 |
| < 20 | 95,91 | 94,36 | 77,84 | 89,37 |
| < 25 | 97,84 | 96,41 | 83,78 | 92,68 |
| < 50 | 98,92 | 99,49 | 95,14 | 97,85 |



Kuva 39. Istutettujen taimien 3D-koneohjausjärjestelmän paikantama sijainti suhteessa tarkkuus-GPS:n paikantamaan sijaintiin. Tarkkuus-GPS paikannusten määrä: Taivalkoski=464 kpl, Kuusamo uusi antenni=195 kpl ja Kuusamo vanha antenni=185 kpl.



Kuva 38. 3D-mittalaitteiston paikannuksista saadaan taimikartta, jossa jokaisella istutetulla taimella on tarkka sijaintitieto.

4 Pohdinta ja johtopäätökset



4.1 Koneistutuksen soveltuvuus paksukunttaisille kohteille ja istutuskauden pidentäminen

Tässä tutkimuksessa saadut tulokset viittaavat siihen, että kuusen istutuskautta voidaan koneellisella istutuksella jatkaa kesäkuuta pidemmälle, paikoin jopa myöhäissyksyyn. Taimien kunto oli keskimäärin paras elokuun istutuksissa ja heikoin kesäkuun istutuksissa. Taimien menestymisessä oli kuitenkin alueellisia eroja ja esimerkiksi Kuusamossa myös lokakuussa istutetut taimet olivat menestyneet erittäin hyvin. Taimikuolleisuus jäi pääsääntöisesti kaikkina istutuskuukausina alle 5,5 %:n. Poikkeuksena oli Pudasjärvi, jossa taimikuolleisuus oli kesäkuussa 15,3 % ja lokakuussa 7,5 %. Taimien kunto olikin yleisesti heikoin Pudasjärvellä, jossa vähintään 60 %:ssa taimista esiintyi hallan aiheuttamia tuhoja kaikkina istutuskuukausina. Koaloilla tehtyjen lämpötilamittausten mukaan Pudasjärvellä esiintyi ankaraa hallaa (< -4 °C) sekä kesällä 2013 että 2014, mikä selittää Pudasjärven laajoja hallavaurioita. Kuusamossa ei esiintynyt ankaraa hallaa vuonna 2014 ja hallavaurioiden runsas esiintyminen nimenomaan kesäkuun istutuksissa viittaa siihen, että hallavauriot ovat pääosin syntyneet jo vuonna 2013. Kesäkuulta 2013 ei kuitenkaan ollut saatavissa Kuusamosta lämpötilamittaus- ja asian varmistamiseksi. Hallavaurioiden syntymiseen jo vuonna 2013 viittaa myös se, että Kuusamoon kesäkuussa 2014 tehdyssä lisätutkimuksessa istutetut taimet eivät olleet juurikaan kärsineet hallavaurioista. Taivalkoskelle kesäkuussa 2014 istutetuista taimista sen sijaan hallavaurioita löytyi runsaammin. Hallavaurioiden lisäksi, kesäkuussa istutetut taimet voivat kärsiä enemmän mättäiden heinittymisestä, sillä kesäkuussa istutetuilla koaloilla mättäät olivat useimmiten heinittyneet runsaammin kuin muiden istutuskuukasien koaloilla. Runsaat pintakasvillisuus mättäissä voi tukahduttaa tai vaurioittaa taimia sekä altistaa taimet jyrksijätuhoille ja sienitaudeille (Äijälä ym. 2014).

Kuusen uudistamisen merkittävä riskitekijä halla korostui tässä tutkimuksessa, sillä hallaa esiintyi molempina tutkimusvuosina ja se oli merkittävin taimituhojen aiheuttaja sekä vuoden 2013 että 2014 istutuksissa. Hallan aiheuttamia vaurioita esiintyi eniten silloin, kun uudistusala ympäröivät tekijät, kuten korkeuserot ja reunametsä estivät aamu- ja iltaurinkoa lämmittämästä uudistusala. Esimerkiksi Pudasjärven tutkimusalueella mättäistä tehtyjen lämpötilamittausten mukaan halla kesti yön aikana pidempään kuin muilla tutkimusalueilla, sillä maaston topografia

estää kohteessa auringon lämmittävän vaikutuksen aamulla ja illalla. Niinpä etenkin hallanaroissa kohteissa olisi tärkeää ottaa huomioon uudistusalan sijainti ja välttää alkukesän istutuksia varjoisissa kohteissa.

Istutuskausi on suositeltu lopetettavaksi etenkin turvemaila ja hienojakoisilla kohteilla syyskuun lopulla, sillä taimet eivät ehdi välttämättä juurtua kunnolla, jolloin niiden rouste- ja routariski kasvaa (Laine ja Syri 2012). Myöhäinen istutusajankohta ei tässä tutkimuksessa lisännyt roustevaurioiden määrää. Roustevaurioita oli eniten Pudasjärven kesä- ja heinäkuussa istutetuilla paksukunttaisilla koaloilla, mitä osittain selittänee niiden verrattain korkea hienoainespitoisuus (keskimäärin 30 %), sillä suuri hienoainespitoisuus voi lisätä roustevaurioiden riskiä (Laine ja Syri 2012, Mälkönen 2003). Paksukunttaisilla kohteilla mättäät olivat myös jäätyneet voimakkaammin, sillä niiden juuripaakuista mitattiin kaksi kertaa korkeampi pakkasumma ja alhaisempi minimilämpötila talven aikana kuin ohukunttaisilta kohteilta. Kuusamon ohukunttaisilla koaloilla, missä mättäiden lämpötila pysyi korkeimpana talven ajan (alin lämpötila -1 °C), lokakuussa istutetut taimet olivat menestyneet parhaiten. Myöhäisellä istutusajankohdalla ei myöskään havaittu selkeää vaikutusta taimien vuosikasvuun. Kasvu vaihteli eri tutkimusalueilla ja ohut- ja paksukunttaisilla kohteilla. Vuosikasvu oli suurinta liissä, mikä selittyy kohteen rehevämällä kasvupaikalla sekä pidemmällä kasvukaudella. Kasvupaikan rehevyys I:n tutkimusalueella näkyy myös selvästi runsaampana mättäiden heinittymisenä verrattuna Pudasjärven ja Kuusamon tutkimusalueisiin.

Tämän tutkimuksen perusteella koneellinen istutus soveltuu myös paksukunttaisille kohteille, sillä kunttakerroksen paksuudella ei havaittu olevan selvää vaikutusta taimien menestymiseen. Kunttakerroksen vaikutus taimien kuntoon, taimituhojen määrään sekä taimien vuosikasvuun vaihteli tutkimusalueittain eri istutuskuukausina. Mättäiden laatu kasvualustana oli hieman parempi ohut- kuin paksukunttaisilla koaloilla. Mättäiden laatua laski taimen kasvua haittaavaksi katsottu kivisyys ja hakkuutähteet, jos mättäitä ei ollut saatu tiivistettyä ja/tai jos niistä puuttui kivennäismaakerros. Kesän 2014 lisätutkimuksen mukaan kunttakerroksen ohentamisella ei ole selvää vaikutusta taimen kuntoon, mutta mättäiden laatu oli molemmilla tutkimusalueilla parempi koaloilla, joissa kunttakerrosta oli ohennettu. Taivalkoskella taimien kunto oli parempi ohentamattomilla kohteilla, kun taas Kuusamos-

sa tilanne oli päinvastainen. Toisin kuin Taivalkoskelta, Kuusamon koealalta ei ollut kerätty hakkuutähteitä, jonka vuoksi kunnakerroksen ohentaminen voi olla kohteessa eduksi, sillä hakkuutähteet saadaan siirrettyä paremmin syrjään samalla kun kunnakerrosta ohennetaan. Hakkuutähteiden jättäminen istutusalueelle selittänee myös osittain mättäiden huonompaa laatua Kuusamossa kuin Taivalkoskella. Hakkuutähteiden poistamisen ennen istutuksia on todettu nopeuttavan istutustyötä ja parantavan työn laatua (Luoranen ym. 2011, Laine ja Syri 2012). Kuusamossa mättäiden huonoon laatuun vaikutti myös kohteen suurempi kivisyys. Sekä mättäiden kivisyys että hakkuutähteet voivat lisätä myös taimien kuivumisriskiä (Luoranen ym. 2011). Onkin syytä huomioda, että mättäiden laatu oli molemmilla tutkimusalueilla parempi koealoilla, joissa kunnakerrosta oli ohennettu, ja paremman kasvualustan antamat edut taimien kuntoon ja kasvuun voivat ilmetä vasta myöhemmin.

Maanmuokkauksella pyritään kohottamaan maan lämpötilaa (Kubin ja Kempainen 1994, Luoranen ym. 2007). Mättään keskilämpötila juuripaakun syvyydeltä mitattuna olikin kaikilla tutkimusalueilla korkeampi kuin koskemattoman maan lämpötila. Maan lämpötila oli hieman korkeampi ohut- kuin paksukunnaisilla kohteilla sekä mättäissä että muokkaamattomassa maassa, mikä johtunee paksun kunnakerroksen eristävästä vaikutuksesta. Se että myös mättäiden lämpötila oli korkeampi ohutkunnaisilla kohteilla kuin paksukunnaisilla kohteilla, selittyy sillä, että kivennäismaapintaisia mättäitä oli selvästi enemmän ohutkunnaisilla kohteilla. Kivennäismaapinta lämpiää nopeammin kuin kuivan tumman orgaanisen aineksen muodostama pinta (esim. Luoranen ym. 2007).

Laikkumättäissä kaksinkertaisen humuskerroksen päälle tulevan kivennäismaakerroksen tulisi olla yhtenäinen 5–15 cm paksu (Laine ja Syri 2012). Tässä tutkimuksessa kivennäismaakerroksen keskimääräinen paksuus oli 11,4–12,7 cm mättäissä, joiden pinnalle saatiin kivennäismaakerros. Kuitenkaan verrattain suureen osaan mättäistä, etenkin Kuusamon (56 % mättäistä) ja Pudasjärven (63 % mättäistä) paksukunnaisilla kohteilla, ei saatu kivennäismaakerrosta ollenkaan. Humuspintaisissa mättäissä taimet ovat alttiimpia kuivuuden (Luoranen ym. 2011) ja tukkimiehen tain (Luoranen & Heikkilä 2006, Brorklund ym. 2003, Kindvall ym. 2000) aiheuttamille vaurioille. Kuivuuden aiheuttamia vaurioita esiintyi kuitenkin kaikilla tutkimusalueilla hyvin vähän ja tukkimiehentain aiheuttamia tuhoja vain vähäisissä määrin Iin tutkimusalueella.

Vuoden 2013 istutuksissa keskimääräinen istutustiheys jäi kaikilla tutkimusalueilla tavoitetiheydestä ja koealojen välinen vaihtelu oli suurta kaikilla tutkimusalueilla. Tut-

kimusalueiden sekä koealojen välistä vaihtelua selittävät osittain erot kohteiden kivisyudessa. Iissä, joka oli tutkimusalueista kivisin, istutustiheys jäi kauimmaksi tavoitetiheydestä. Iissä myös hakkuutähteiden määrä oli suurin, mikä haittasi tavoitetiheyden saavuttamista. Myös Luoranen ym. (2011) havaitsivat hakkuutähteiden alentavan istutustiheyttä Keski-Suomessa tehdyssä tutkimuksessa. Istutustiheyden vaihteluun voi vaikuttaa myös koneen kuljettajien väliset erot. Reaaliaikainen istutustiheyden seuranta auttaisi kuljettajaa työn edetessä seuraamaan toteutunutta istutustiheyttä kohteen pinta-alaan nähden ja saavuttamaan siten tavoitetiheyden. Reaaliaikaista istutustiheyden seuranta ei kuitenkaan ollut mahdollista toteuttaa hankkeessa käytetyn 3D-mittalaitteiston avulla.

Kookkaampia ja koneistutukseen paremmin soveltuvia Plantek 81-paakussa kasvatettuja taimia oli saatavilla vain Taivalkoskella 2014 tehtyihin istutuksiin, muutoin istutuksissa käytettiin Plantek 121-paakussa kasvatettuja taimia. Paakun koon vaikutus suuremman eduksi ei kuitenkaan tullut esille ainakaan taimien kunnossa kun vertaillaan Kuusamo ja Taivalkoskea. Suuremmalla paakkukoolla oli enemmän vaikutusta istutuksen onnistumiseen ja kestoon, sillä pienempi paakku aiheutti useammin istutuspaan tukkeutumisia, jolloin istutus epäonnistui ja kuljettaja joutui puhdistamaan istutuspaatä.

Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten mukaan istutuskautta voidaan Pohjois-Pohjanmaalla jatkaa, ainakin laikkumättäitä tekevällä koneistutuksella, perinteisestä kesäkuusta pidemmälle kesään ja paikoin jopa myöhäissyksyyn. Tulosten mukaan paras ajankohta kuusen koneistutukselle on vasta kesäkuun jälkeen etenkin hallalle, ja rehevillä heinitymiselle alttiilla alueilla. Uudistamistyöt kannattaa alkukesällä aloittaa vähemmän hallanaroilta aloilta ja hallanarat alueet uudistetaan heinäkuusta alkaen. Koneistuksessa mätäs tehdään istutuksen yhteydessä, joten taimi istutetaan tuoreeseen kasvualustaan. Tässä tutkimuksessa ei tutkittu onnistuuko myöhäinen istutus myös manuaali-istutuksella. On mahdollista, että myös manuaalisesti istutetut taimet menestyvät, jos taimet istutetaan koneellisesti tehtyihin laikkumättäisiin heti maanmuokkauksen jälkeen. Istutuskautta pidentämällä välttäisiin istutustöiden ruuhkautumiselta alkukesään.

On kuitenkin muistettava, että tässä tutkimuksessa saadut tulokset perustuvat vain yhden vuoden seurantaan, joten pidempiaikaista tutkimusta tarvitaan seuraamaan taimien kunnan ja kasvun kehitystä jatkossa tulosten luotettavuuden ja yleistettävyyden parantamiseksi.

4.2 Koneistutukseen yhdistetyn paikkatiedon hyödyntämismahdollisuudet, haasteet ja kehittämistarpeet

Hankkeen aikana ilmenneistä teknisistä ongelmista huolimatta maanrakennuspuolelle kehitetyllä 3D-mittausjärjestelmällä päästiin lopulta erittäin tarkkoihin paikannustuloksiin. Keskimäärin 70 % 3D-mittalaitteiston paikannuksista oli alle 10 cm:n tarkkuudella ja 93 % alle 25 cm:n tarkkuudella. Näin ollen 3D-mittausjärjestelmä soveltuu erinomaisesti tarkan taimikohtaisen paikkatiedon keräämiseen. Kuljettaja pystyi näkemään tietokoneen näytöllä istutettujen taimien paikat sekä istuttamatta jääneet kohdat ja seuraamaan taimien menekkiä. Tuloksena syntyvä taimikartta, jossa jokaisella istutetulla taimella on tarkka sijaintitieto, voidaan toimittaa suoraan paikkatietomuodossa työn tilaajalle ja valvontaviranomaiselle.

Istutuksen yhteydessä kerättyä uudistusala koskevaa taimikohtainen tietoa voidaan myös jatkossa hyödyntää monin tavoin. Tallennettujen paikkatietojen pohjalta on mahdollista tarkastella toteutunutta istutustiheyttä, sekä taimien sijaintia istutusalueella. Esimerkiksi tehtäessä myöhemmin samalla kuviolla metsänhoidollisia toimenpiteitä, kuljettaja pystyy näkemään tietokoneen näytöllä istutettujen taimien paikat sekä istuttamatta jätetyt ajourat. Paikkatieto parantaa siten metsänuudistamisen laadunhallintaa. Kerättyjä paikkatietoja voidaan hyödyntää myös taimien inventoinnissa sekä kohteen metsäsuunnittelussa, koneellisessa taimikonhoidossa ja puunkorjuussa. Esimerkiksi varhaisperkauksen yhteydessä istutetut taimet voitaisiin tunnistaa karttaan istutushetkellä tehdyn sijaintimerkinnän perusteella ja muut kuin istutetut taimet konenäön avulla. Paikkatiedon avulla istutustyöstä syntyy myös kattava tietopaketti metsänomistajalle sekä metsävaratietoja ylläpitäville tahoille ja lisäksi saadaan tallennettua arvokasta, käytännönläheistä historiatietoa mm. tutkimustoimintaan.

Järjestelmän käyttöön metsänuudistamisen yhteydessä liittyy kuitenkin vielä myös haasteita. Tässä tutkimuksessa paikkatiedon keräämisessä yleisimmin ilmenneet ongelmat liittyivät toisaalta 3D-järjestelmän kalibroitongelmiin ja toisaalta ympäristöstä aiheutuviin haasteisiin. Ympäristön aiheuttamat haasteet tarkoittavat koneistutuksen näkökulmasta lähinnä hakkuuaukkoa ympäröivän metsän muodostamia katvealueita, joihin ei saada satelliittiyhteyttä. Myös mobiiliverkon katveista johtuvat ongelmat aiheuttavat epätarkkuutta koneohjausjärjestelmien paikannustarkkuuteen, mikäli korjausdatan siirtämiseen käytetään 3G- tai 4G -yhteyttä. Lisäksi pitkä etäisyys korjausviestiä lähettävään tukiasemaan voi aiheuttaa paikannuksiin epätarkkuutta. Hankkeen tutkimusalueilla paikannustarkkuus vaihteli alueittain siten, että paras tarkkuus saavutettiin

Taivalkoskella (80 % taimista < 10 cm paikannustarkkuudella), kun taas Kuusamossa istutetuista taimista vain vähän yli puolet oli tallennettu vastaavalla tarkkuudella. Taivalkoskella RTK-korjausviestiä lähettävään tukiasemaan sijaitsee huomattavasti lähempänä (6 km) istutusaloja kuin Kuusamossa (30 km). Uuden kehittyneemmän antennin vaihtaminen vaikutti kuitenkin paikannustarkkuuteen huomattavasti, sillä uusilla antennilla saavutettiin myös Kuusamossa erittäin hyviä paikannustarkkuuksia. Varsinaista istutustyötä edellä mainitut ongelmat eivät haittaa, mutta esimerkiksi satelliittikatveen aikana järjestelmä ei pysty tallentamaan tietoja – ainakaan suurella tarkkuudella. Näin ollen tuloksena saatava taimikartta voi olla osittain hyvinkin aukkoinen, vaikka todellisuudessa taimia on istutettu suunnitelman mukaisesti. Tukiaseman etäisyydestä ja katvealueista aiheutuvia ongelmia voidaan korjata omalla tukiasemalla, mutta sen hankkiminen tuo lisää kustannuksia.

Toisen merkittävän haasteen muodostavat taimien syöttöhäiriöistä ja istutusputken puhdistamisesta aiheutuvat virhepaikannukset, sillä sijaintitieto tallentuu automaattisesti joka kerta kun istutuskäske annetaan. Virhepaikannusten poistaminen voidaan tehdä istutusten yhteydessä, mutta se hidastaa istutustyötä, jos virhepaikannuksia on paljon. 3D-koneohjausjärjestelmään olisi lisäksi tärkeää kehittää pinta-alaakohtainen taimilaskuri, mikä mahdollistaisi reaaliaikaisessa istutustiheyden omavalvonnan. Ominaisuutta ei pystytty hankkeen puitteissa sisällyttämään olemassa olevaan ohjelmistoon, sillä ohjelmiston kehittäminen vaatisi suurempia investointeja ja laajempaa kysyntää kehitettävälle ominaisuudelle. Suurin kynnys 3D-järjestelmien hyödyntämisen yleistymiselle on varmasti kuitenkin laitteiden korkea hinta, sillä järjestelmän joutuu ostamaan aina ulkopuoliselta toimittajalta. Kokonaiselle 3D-mittalaitteijärjestelmälle kertyy hintaa lähes 30 000 euroa. Lisäksi tarvitaan tukiasema tai verkkokorjauslisenssi, joista tulee lisäkustannuksia. 3D-järjestelmän hankkiminen on suuri investointi, joka voi kuitenkin olla kannattavaa, mikäli kaivukonetta käytetään istutustöiden lisäksi myös koneohjausjärjestelmää edellyttäviin maanrakennustöihin.

Hankkeessa käytettiin maanrakennuspuolelle suunniteltua 3D-mittausjärjestelmää, joten se sisältää paljon metsänistutuksessa tarpeettomia toimintoja ja toisaalta tietyistä lisäominaisuuksista olisi ollut merkittävää hyötyä. Vaikka 3D-järjestelmää pystytään jonkin verran muokkaamaan asiakkaan tarpeisiin, ovat muokkauskeinot varsin rajalliset. Paikannuksen tallennus saatiin kytkettyä erittäin helposti kaivinkoneen kahvaan samalle napille istutuskäskyn kanssa. Seuraavista hyödyllisistä muutoksista ja/tai ominaisuuksista keskusteltiin, mutta niitä ei ollut mahdollista toteuttaa hankkeessa.

Järjestelmään tallentuva aikaleima eli hetki, jolloin istutus on tehty. Aikaleima auttaisi mm. analysoimaan, minä ajankohtina paikannuksessa on esiintynyt eniten ongelmia. Aikaleiman avulla pystyisi selvittämään mm. sen, kuinka paljon 3G tai 4G -verkon kuormittavuus vaikuttaa paikatiedon keräämiseen. Istutuksissa havaittiin selkeästi se, että merkittävä osa paikannusongelmista, ts. ongelmista Smartnet-korjausviestin tarkkuudessa, osoittautui ajoittuvan klo 11–12 ja klo 16–17 välisille ajankohdille, jolloin mobiiliverkot ovat kuormittuneita. Aikaleima olisi hyödyllinen myös istutustyön ajankäytön seurannassa.

Järjestelmään tallentuva tieto korjausviestin tarkkuudesta sekä korjausviestin perustana olevista satelliiteista (ns. satelliittigeometria), jotta aineiston jälkikorjaus olisi tarvittaessa mahdollista. Scanlaserin 3D- järjestelmässä pystytään säätämään tallennuksen toleranssia siten, että ns. liian epätarkat paikannukset eivät tallennu järjestelmään. Tämä kuitenkin hidastaa työtä. Selkeämpää olisi, jos paikatietojen tallennus olisi epätarkkuudesta huolimatta mahdollista, ja epätarkat tiedot voitaisiin korjata jälkikäsitteilyllä tarkemmiksi.

Järjestelmään tallentuva tieto koneen suunnasta paikatiedon tallennushetkellä, mikä mahdollistaisi mittauksissa ilmenevien systemaattisten mittausvirheiden korjaamisen tarvittaessa.

Mahdollisuus rasteripohjaisten peruskarttalehtien siirtämiseen 3D-koneohjausjärjestelmään. Tällä hetkellä 3D-järjestelmät ymmärtävät ainoastaan vektoripohjaisia CAD-tiedostoja. Istutuskoneen kuljettaja kuitenkin tarvitsee tietoa maaston ominaisuuksista esimerkiksi suunnittellessaan istutuskoneelle soveltuvaa kulkureittiä, jolloin peruskarttanäkymä on välttämätön. Hankkeen käyttämässä kaivinkoneessa oli valmiiksi maastotietokone, johon asennettiin Työohjelma-GIS peruskarttapohjien tarkastelua varten. Erillisestä tietokoneesta tulee kuitenkin huomattava lisäkustannus ja lisäksi on erittäin haastavaa sijoittaa kaivinkoneen ohjaamoon sekä tietokone että 3D-näyttö. Olisikin hyödyllistä, jos 3D-näyttö olisi niin iso, että siitä pystyisi helposti hahmottamaan kartatelementtejä ja siihen pystyisi tallentamaan istutettujen taimien tiedot ja näkemään koneen kulkeman reitin.

Mahdollisuus reaaliaikaisen istutustiheyden laskemiseen ja tarkkailuun järjestelmän avulla. Paikatiedon keräämisestä koneistutuksen yhteydessä olisi hyötyä istutuskoneen kuljettajan omavalvonnassa. Perinteisessä koneistutuksessa omavalvonta toimii siten, että kuljettaja mittaa istutuskohteelta tietyn määrän ympyräkoaloja työn edetessä ja määrittää niiden avulla hehtaarikohtaisen istutustiheyden sekä muita työtä kuvaavia laatutekijöitä. Jos is-

tutustiheyden reaaliaikainen seuranta olisi mahdollista, se auttaisi kuljettajaa työn edetessä seuraamaan toteutunutta istutustiheyttä kohteen pinta-alaan nähden ja saavuttamaan siten asetetun taimitiheyden. Tämä myös nopeuttaisi istutuskoneen kuljettajan työtä, koska seuranta ei tarvitsisi tehdä manuaalisesti. Reaaliaikaista istutustiheyden seuranta ei pystytty toteuttamaan hankkeessa käytetyn 3D-mittalaitteiston avulla. Ominaisuuden lisääminen 3D-mittalaitteistoon olisi vaatinut laitteiston valmistajan tekemiä muutoksia laitteen ohjelmistoon. Kyseinen kehitystyö valmistajan puolelta olisi vaatinut suurempia investointeja kuin hankkeessa oli mahdollista sekä laajempaa kysyntää toiminnolle.

6 Yhteenveto



Koneelliseen metsänistutukseen on kehitetty erilaisia laiteratkaisuja, joilla päästään sopivissa työolosuhteissa hyvään istutustulokseen. Vaikka koneelliseen metsänistutukseen kehitetyt laitteet ovat olleet markkinoilla jo useita vuosia, istutetaan koneellisesti tällä hetkellä vain muutamia prosentteja vuosittaisesta uudistamisalasta. Koneellisesta metsänistutuksesta ja sen soveltumisesta erilaisiin uudistamiskohteisiin eri vuodenaikoina löytyy kasvavassa määrin tietoa Etelä- ja Keski-Suomessa tehdyistä tutkimuksista. Pohjois-Suomeen ja korkeille alueille siirryttäessä olosuhteet kuitenkin muuttuvat. Siten on ollut tarpeellista selvittää koneistutuksen soveltuvuutta ja tuottaa uutta tietoa metsänhoitosuosituksen tarkentamiseen myös Pohjois-Suomessa.

Metsänhoidon koneellistumisen lisäksi nykyaikainen metsätalous kaipaa yhä tarkempaa ja reaaliaikaisempaa tietoa metsistä. Erilaisia paikannustekniikoita ja paikkatietoahyödynnetäänkin jo mm. hakkuukoneissa, puunhankinnan kuljetuksissa ja maanmuokkauksessa. Myös metsävaroja, kuten puustoa ja kasvupaikkaa, koskevat kuviokohtaiset tiedot kerätään ja ylläpidetään nykyään yleisesti paikkatietomuodossa, ja niitä voidaan hyödyntää metsänhoidon suunnittelussa. Metsän uudistamiseen liittyvää puuvaratietoa on lisäksi mahdollista kerätä ja kytkeä paikkaan myös koneistutuksen yhteydessä.

Euroopan maaseuturahaston rahoittaman ”Paikkatietoon yhdistetyn koneistutuksen kehittäminen Pohjois-Pohjanmaalla” -hankkeen (1.1.2012–31.12.2014) tavoitteena oli selvittää koneistutuksen ja paikkatiedon käyttöönottoa metsänuudistamisessa. Hankkeessa tutkittiin koneistutuksen soveltuvuutta Pohjois-Suomen vaihteleviin olosuhteisiin, etenkin korkeille alueille ja paksukunttaisille kangasmaille, sekä mahdollisuutta istutuskauden pidentämiseen myöhäiseen syksyyn. Koneistutuksen yhteydessä kerättiin taimikohtaista paikkatietoa. Hanke tuo merkittävän lisän muualla Suomessa tehtävään koneistutustutkimukseen etenkin paikkatiedon osalta, sillä sitä ei ole aikaisemmin kerätty koneistutuksen yhteydessä. Hankkeen päätoteuttajana toimi Metsäntutkimuslaitoksen Oulun toimipaikka yhteistyössä Oulun seudun ammattiopiston (OSAO) Taivalkosken yksikön kanssa.

Tutkimusta varten perustettiin kolme tutkimusaluetta Pohjois-Pohjanmaalle eri korkeusvyöhykkeille. Tutkimusalueet sijaitsevat Iissä, Pudasjärvellä ja Kuusamossa. Kullekin tutkimusalueelle perustettiin koealoja, joiden koko 30m*30m. Tutkitut tekijät olivat kuntan paksuus (ohut-

kuntainen ja paksukuntainen kuvio) sekä istutusajankohta (kesäkuu, heinäkuu, elokuu ja lokakuu). Istutukset kyseisillä tutkimusalueilla tehtiin vuonna 2013. Tutkimusta jatkettiin kesällä 2014 kahdella uudella tutkimusalueella Taivalkoskella ja Kuusamossa. Jatkotutkimuksen päätavoitteena oli jatkaa tarkan paikkatiedon keräämisen kehittämistä koneistutuksen yhteydessä sekä tutkia tarkemmin koneistutuksen soveltuvuutta paksukunttaisille kohteille. Tutkimuksessa selvitettiin, parantaako kunttakerroksen ohentaminen koneistutuksen yhteydessä istutustulosta. Uudet tutkimusalueet jaettiin kahdeksaan koealaan, joista puolella kunttakerrosta ohennettiin istutuksen yhteydessä ja puolella kunttakerrosta ei ohennettu. Sekä kesällä 2013 että 2014 istutetut taimet inventoitiin elo–lokakuussa 2014. Kaikilta koekentiltä mitattiin lisäksi ympäristömuuttujia, kuten kivisyyttä, maaperän raakoostumusta sekä lämpötilaa 10 cm mättään yläpuolelta ja mättäästä juuripaakun kohdalta.

Tutkimuksessa saadut tulokset viittaavat siihen, että Pohjois-Pohjanmaalla kuusen istutuskautta voidaan jatkaa, ainakin laikkumättäitä tekevällä koneistutuksella, kesäkuuta pidemmälle, paikoin jopa myöhäissyksyyn. Taimien kunto on keskimäärin paras elokuun istutuksissa ja heikoin kesäkuun istutuksissa. Taimien menestymisessä oli kuitenkin alueellisia eroja ja esimerkiksi Kuusamossa myös lokakuussa istutetut taimet olivat menestyneet erittäin hyvin. Myöhäinen istutusajankohta ei tässä tutkimuksessa lisännyt roustevaurioiden määrää eikä myöhäisellä istutusajankohdalla myöskään havaittu olevan selkeää vaikutusta taimien vuosikasvuun. Taimien kunto oli heikoin Pudasjärvellä, jossa vähintään 60 % taimista esiintyi hallan aiheuttamia tuhoja kaikkina istutuskuukausina. Kuusen uudistamisen merkittävä riskitekijä halla korostui tässä tutkimuksessa, sillä halla oli merkittävin taimituhojen aiheuttaja sekä vuoden 2013 että 2014 istutuksissa. Tulosten mukaan uudistamistyöt kannattaa alkukesällä aloittaa vähemmän hallanaroilta aloilta ja hallanarat alueet uudistaa heinäkuusta alkaen. Koneistuksessa mätäs tehdään istutuksen yhteydessä, joten taimi istutetaan tuoreeseen mättääseen ja se saa siten tuoreen kasvualustan. On mahdollista, että myös manuaalisesti istutetut taimet menestyvät, jos ne istutetaan koneellisesti tehtyihin laikkumättäisiin heti maanmuokkauksen jälkeen. Istutuskautta pidentämällä vältetään istutustöiden ruuhkautumiselta alkukesään.

Tämän tutkimuksen perusteella koneellinen istutus soveltuu myös paksukunttaisille kohteille, sillä kunttakerroksen paksuudella ei ollut selvää vaikutusta taimien kun-

toon. Myöskään kunnakerroksen ohentamisella ei havaittu selvää vaikutusta taimen menestymiseen. Kunnakerrosta ohentamalla voidaan kuitenkin parantaa mättäiden laatua taimille sopivana kasvualustana etenkin kohteissa, joista ei ole kerätty hakkuutähteitä. Koneistutettavilta aloilta olisi kuitenkin suositeltavaa kerätä hakkuutähteet, sillä ne huonontavat mättäiden laatua ja hidastavat istutustyötä. On kuitenkin syytä huomioida, että tässä tutkimuksessa saadut tulokset perustuvat vain yhden vuoden seurantaan. Pidempiaikaista tutkimusta tarvitaan seuraamaan taimien kunnan ja kasvun kehitystä jatkossa tulosten luotettavuuden ja yleistettävyyden parantamiseksi.

Paikkatiedon keräämistä varten istutuskone varustettiin maanrakennuspuolelle kehitetyllä 3D-mittalaitteistolla, joka perustuu RTK-GNSS satelliittipaikannukseen. Järjestelmä koostuu istutuspään, puomiston ja rungon anturoinnista, näyttö- ja tietokonelaitteista sekä satelliittipaikantimista. Kahden GNSS-antennin ansiosta koneen paikka ja suunta ovat koko ajan tiedossa, ja tukiaseman tai verkko- korjauspalvelun tuottaman korjaussignaalin avulla järjestelmällä saavutetaan jopa senttimetriluokan tarkkuus. Taimikohtaisen paikkatiedon kerääminen onnistuu 3D-mittajärjestelmän avulla helposti, sillä taimen sijaintitieto tallentuu samalla napinpainalluksella, kuin taimi istutetaan. Samalla kuljettajan omavalvonta tehostuu, sillä kuljettaja pystyy seuraamaan reaaliaikaisesti hytissään olevan näytön avulla istutuksen etenemistä ja työjäljen laatua.

Vuonna 2013 tehdyissä istutuksissa ei päästy taimista kerätyn paikkatiedon osalta tavoiteltuun alle 10 cm:n paikannustarkkuuteen 3D-mittalaitteistossa ilmenneen kalibrointivirheen takia. Koska kalibrointivirhe pystyttiin korjaamaan, jatkettiin istutuksia kesällä 2014 mittalaitteiston todellisen paikannustarkkuuden selvittämiseksi Taivalkoskelle ja Kuusamoon perustetuilla uusilla koealoilla. Paikannustarkkuus vaihteli alueittain siten, että paras tarkkuus saavutettiin Taivalkoskella (79 % taimista < 10 cm paikannustarkkuudella), kun taas Kuusamossa istutetuista taimista vain vähän yli puolet oli tallennettu vastaavalla tarkkuudella. Eroa voidaan ainakin osittain selittää etäisyydellä RTK-korjausviestiä lähettävään tukiasemaan, joka oli Taivalkoskella huomattavasti lähempänä (6 km) kuin Kuusamossa (30 km). Istutuskoneeseen vaihdettiin kesken Kuusamon istutusten, keväällä 2014 markkinoille tulleet uudentyyppiset paikannusantennit, joiden etäisyys tukiasemaan voi olla jopa 60–80 km entisen 20–30 km:n sijaan. Tämä vaihdos vaikutti paikannustarkkuuteen huomattavasti, sillä uusilla antennilla saavutettiin myös Kuusamossa 75 % tapauksista < 10 cm tarkkuus.

Maanrakennuspuolelle kehitetyllä 3D-mittausjärjestelmällä päästään tutkimustulosten valossa erittäin tarkkoi-

hin paikannustuloksiin ja näin ollen se soveltuu taimikohtaisen paikkatiedon keräämiseen. Kuljettaja pystyi näkemään tietokoneen näytöllä istutettujen taimien paikat sekä istuttamatta jääneet kohdat ja seuraamaan taimien menekkiä. Tuloksena syntyvän taimikartan, jossa jokaisella istutetulla taimella on tarkka sijaintitieto, voi lähettää suoraan paikkatietomuodossa työn tilaajalle ja valvontaviranomaiselle. Uudistusalaa koskeva taimikohtainen tieto on sen jälkeen käytettävissä metsäsuunnittelussa ja koneellisessa taimikonhoidossa, ensiharvennuksessa ja myöhemmissä harvennuksissa.

Paikkatiedon keräämiseen liittyy kuitenkin vielä haasteita. Yleisimmin ilmenneet ongelmat liittyivät 3D-järjestelmän kalibrointiongelmiin ja ympäristöstä aiheutuviin haasteisiin. Myös pitkä etäisyys korjausviestiä lähettävään tukiasemaan aiheuttaa paikannuksiin epätarkkuutta. Varsinaista istutustyötä edellä mainitut ongelmat eivät haittaa, mutta esimerkiksi satelliittikatveen aikana järjestelmä ei pysty tallentamaan tietoja – ainakaan suurella tarkkuudella. Näin ollen tuloksena saatava taimikartta voi olla osittain hyvinkin aukkoisen, vaikka todellisuudessa taimia on istutettu suunnitelman mukaisesti. 3D-koneohjausjärjestelmään olisi tärkeää lisäksi kehittää pinta-alakohtainen taimilaskuri, mikä mahdollistaisi reaaliaikaisessa istutustiheyden omavalvonnan. Ominaisuutta ei pystytty hankkeen puitteissa sisällyttämään olemassa olevaan ohjelmistoon, sillä ohjelmiston kehittäminen vaatisi suurempia investointeja ja laajempaa kysyntää. Suurin kynnys 3D-järjestelmien hyödyntämisen yleistymiselle on kuitenkin laitteiden korkea hinta. 3D-järjestelmän hankkiminen on suuri investointi, joka voi kuitenkin olla kannattavaa, mikäli kaivukonetta käytetään istutustöiden lisäksi myös koneohjausjärjestelmää edellyttäviin maanrakennustöihin.

Kiitokset

Tämän hankkeen taustalla on Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen yksikön vuosina 2004–2008 Kuusamon yhteismetsän maille toteuttama hanke ”Laikkumätästysmenetelmän kehittäminen Koillismaalla”, jonka päättyessä katsottiin tarpeelliseksi selvittää koneistutuksen käyttöä ja soveltuvuutta metsänuudistamisessa Pohjois-Pohjanmaan vaihtelevissa olosuhteissa. Ensimmäiseksi haluammekin kiittää Maaseuturahastoa, rahoittajan edustajaa Pohjois-Pohjanmaan Ely-keskusta sekä osarahoittajina toimineita Kuusamon yhteismetsää, Sallan yhteismetsää, Kalajokilaakson, Pudasjärven ja Taivalkosken metsänhoitoyhdistyksiä, Metsänomistajien liittoa, Koneyrittäjien liittoa, Pölkky Oy:tä ja Pohjois-Pohjanmaan liittoa siitä, että he mahdollistivat tämän koneistutus-hankkeen toteuttamisen.

Hankkeella on ollut aktiivinen ohjausryhmä, jonka jäseninä ovat olleet: Jarmo Korhonen (puheenjohtaja), Kuusamon yhteismetsä, Seppo Pohjola, Metla (Oulu), Jouko Karjalainen, OSAO Taivalkoski, Eljas Heikkinen, Metsäkeskus, Heikki Rahko, Metsänomistajien liitto, Markku Törmänen Koneyrittäjien liitto ry, Teuvo Puolakanaho, Taivalkosken metsänhoitoyhdistys, Tarmo Myllymäki, Metsähallitus, Kalevi Hirvonen, OSAO Taivalkoski, Teija Tolonen, OSAO Taivalkoski, Timo Saksa, Metla (Suonenjoki) ja Tuomas Pihlaja, Pudasjärven metsänhoitoyhdistys. Maaseuturahaston yhteyshenkilönä toimi Pirjo Onkalo Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksesta. Kiitos teille kaikille.

Hankkeen hyvän onnistumisen edellytys oli kaikkien tiimin työntekijöiden tahto onnistua, voimakas sitoutuminen ja innostus työnsä tekemiseen. Hankkeen alusta alkaen Metsäntutkimuslaitos teki kiinteää yhteistyötä erittäin hyvässä hengessä partnerinsa OSAO:n Taivalkosken yksikön kanssa. Lehtori Jouni Kortetjärvi osallistui paikkatiedon keräämisratkaisun valintaan, testaamiseen ja koalojen merkitsemiseen. Tuntiopettaja Pertti Nissi Pertti toimi istutusten aikana taimivastaavana ja hoiti kaikki taimihuoltoon liittyvät asiat. Lisäksi Jouni ja Pertti istuttivat kaikki kesän 2014 koealat. Heidän ideansa ja työnsä ovat näin ollen merkittävästi myötävaikuttaneet projektin menestykselliseen toteutukseen. Lämpimät kiitokset sekä Jounille että Pertille! Kiitos myös OSAO:n Taivalkosken yksikön toisen vuoden oppilaille ja heidän opettajilleen, jotka rakensivat nuotiopaikan Kuusamon yhteismetsän työnäytösalueelle.

Koneistutuskohteiksi haettiin paksukunttaisia istutusalueita eri korkeusvyöhykkeiltä ja Metsähallitus avusti sopivien alueiden valinnassa. Erityiskiitokset Metsähallitukseen tiimiesimies Jorma Kouvalle, suunnittelija Rami Nissemalle ja maankäyttöasiantuntija Ilkka Herukalle, sillä ilman teidän apuunne kohteita olisi ollut mahdotonta löytää!

Metsäntutkimuslaitos on vuosien saatossa perustanut Oulangan alueelle Kuusamon yhteismetsän maille useita korkeiden alueiden maanmuokkausta ja metsänuudistamista koskevia kenttäkokeita ja yhteistyö jatkui myös tässä paikkatietohankkeessa. Suuret kiitokset Kuusamon yhteismetsälle ja etenkin sen toiminnanjohtaja Jarmo Korhoselle ja aluevastaava Mikko Koskelle, jotka auttoivat sopivien koalueiden valinnassa.

Koneistutuksiin tarvittava istutuskone saatiin käyttöön Pohjois-Karjalan koulutuskuntayhtymältä. Kiitos erityisesti koulutusjohtaja Harri Savoselle, joka järjesti koneen käyttöömmme. Koneistutukset eivät olisi onnistuneet ilman pitkähermoisia ja ammattitaitoisia kuskeja. Lämpimät kiitokset Pohjois-Karjalan ammattiopisto Valtimon opettajille Marko Härköselä ja Usko Parviäiselle sekä aikuisopiskelija Marko Hyvöselle kesän 2013 istutustöistä! Kesällä 2014 tehdyistä istutustöistä kiitokset kuuluvat Jouni Kortetjärvelle ja Pertti Nissille.

Paikkatiedon keräämisessä käytetyn 3D-järjestelmän käytössä ja ongelmatilanteissa saimme aina nopeasti apua Leican ja Scanlaserin edustajilta. Suuret kiitokset myyntipäällikkö Mikko Saloselle, aluemyyntipäällikkö Anssi Pellikalle, 3D-asiantuntijoille Pekka Kotalalle ja Sven-Erik Emtölle sekä asentaja Matti Simoselle kaikesta tarjoamastanne avusta!

Koelajärjestelyt vaativat tarkkoja suunnitelmia ja useita maastokäyntejä. Erityiskiitokset kuuluvat tutkimusavustaja Reijo Seppäselle, joka vastasi koelasuunnitelmista, maastomerkinnöistä, hankkeessa kerättyjen paikkatietoaineistojen tallennuksesta ja myös taimi-inventoinneista. Ilman Reijon apua koko hankkeen toteuttaminen olisi ollut vaikeaa! Istutustyön laadun ja paikkatiedon tarkkuuden mittaaminen vaati paljon työtä, joka olisi ollut vaikea toteuttaa ilman Metlan aineistopalvelujen väkeä. Lämmin kiitos kaikille inventoinneissa mukana olleille: Seppo Pohjola, Ari Kokko, Jorma Pasanen, Heikki Vesala, Kyösti Markkanen, Esko Jaskari ja Eero Siivola. Kiitos myös erikoissuunnittelija Jouni Karhulle, joka osallistui niin paikannusteknisten ongelmien ratkomiseen kuin myös tulosten analysointiin ja Oili Tarvaiselle, joka antoi tähän loppuraporttiin arvokkaita kommentteja.

Esitämme lämpimät kiitokset myös kaikille muillekin hankkeen toteutuksessa mukana olleille henkilöille ja taivoille.

Oulussa 19.2.2015

Katja Kangas, Miia Parviainen ja Eero Kubin

Kirjallisuus

- Anonyymi 2012. Kansallinen metsäohjelma 2015. Metsäalasta biotalouden vastuullinen edelläkävijä. Maa- ja metsätalousministeriö. Juvenes Print. 52 s.
- Björklund N., Nordlander G., and Bylund H., 2003. Host-plant acceptance on mineral soil and humus by the pine weevil *Hylobius abietis* (L.). *Agric. For. Entomol.* 5: 61–65.
- Hallongren, H., Laine, T. & Juntunen, M-L. 2014. Metsänhoitotöiden koneellistamisesta ratkaisu metsuripulaan? *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2012).
- Helmisaari, H-S., Lehto, T. & Makkonen, K. 2003. Teoksessa: Mälkönen E. (toim.) *Metsämaa ja sen hoito*. Metsäntutkimuslaitos. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. s. 115–128.
- Holopainen, M. 2000. Paikkatieto luonnonvarojen hallinnassa. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2000 s. 515–516.
- Kindvall, O, Norlander, G. & Nordenhem; H. 2000. Movement behavior of the pine weevil *Hylobius abietus* in relation to soil type: an arena experiment. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 95: 53–61.
- Kubin, E. & Kempainen, L. 1994. Effect of soil preparation of boreal spruce forest on air and soil temperature conditions in forest regeneration areas. *Acta Forestalia Fennica* 244. 56 s.
- Laine T & Syri M. 2012. Koneellisen metsänistutuksen opas. Vammalan kirjapaino.
- Leica iCON grade iCP41 for wheel loader User Manual (<http://www.surveyteq.com/pdf/Leica%20iCON%20grade%20iCP41%20for%20wheel%20loader%20UserManual.pdf>), viitattu 16.12.2014
- Luoranen, J., Saksa, T., Finér, L. & Tamminen, P. 2007. Metsämaan muokkausopas. Metsäntutkimuslaitos, Suomenjoen yksikkö. Gummerus kirjapaino, Jyväskylä. 75s.
- Luoranen, J., Rikala, R. & Smolander, H. 2011. Machine planting of Norway spruce by Bracke and Ecoplant: an evaluation of soil preparation, planting method and seedling performance. *Silva Fennica* 45(3): 341–357.
- Maa- ja metsätalousministeriön metsävaratiedon ja metsäsuunnittelun strategia 2008–2015. (http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/muutjulkaisut/5ze9UDdSF/MMMn_metsavaratiedon_ja_metsasuunnittelun_strategia_2008-2015.pdf)
- Meriläinen, O. 2010. Työkoneautomaatio maanrakennustyömaalla. Opinnäytetyö (ylempi AMK-tutkinto). Savonia-ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma (<https://publications.theseus.fi/handle/10024/33678>.)
- Metsähallitus. Metsänhoitotöiden palvelukuvaus. (<http://www.metsa.fi/sivustot/metsa/fi/metsatalous/urakointi/metsanhoito/palvelukuvaus/sivut/default.aspx>). Viitattu 16.12.2014.
- Mälkönen 2003. Maan kunnostaminen metsän uudistamiseksi. Teoksessa: Mälkönen E. (toim.) *Metsämaa ja sen hoito*. Metsäntutkimuslaitos. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. s. 115–128.
- Novatron 2014. <http://www.novatron.fi/fi/>
- Star, J. & Estes, J. 1990. Geographic information systems. An introduction. Prentice Hall, N.J. 303 s.
- Strandström, M., Hämäläinen, M. & Pajuoja, H. 2009. Metsänhoidon koneellistaminen – Visio ja T&K-ohjelma. *Metsätehon raportti* 206. 47s.
- Valkonen, S., Ruuska, J., Kolström, T., Kubin, E. & Saari- nen, M. (toim.) *Onnistunut metsänuudistaminen*. Metsäntutkimuslaitos. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. 217 s.
- Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Pirinen, P. & Drebs, A. 2005. Tutkimuskäyttöön kootun vuosien 1961–2000 perusilmastoaineiston kuvaus. Ilmatieteen laitos, Helsinki. Raportti No. 2005:5.
- Väätäinen, K., Lamminen, S., Ala-Ilomäki, J. Siren, M. & Asikainen, A. 2013. Kuljettajaa opastavat järjestelmät koneellisessa puunkorjuussa – kooste hankkeen avaintuloksista. *Metlan työraportteja* 279. 24 s.
- <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp279.pdf>
- Aijala, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Vaisanen, P. (toim.) 2014. Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja.

Kannen valokuvat: Miia Parviainen / Luke

