



ITÄ-SUOMEN
YLIOPISTO

University of Eastern Finland

*Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta
Faculty of Science and Forestry*

VARHAISPERKAUKSEN ONNISTUMISEN ARVIOINTI JA TULEVAN PERKAUSTARPEEN
ENNUSTAMINEN KONEELLISESTI KITKETYISSÄ KUUSEN (*Picea abies*) TAIMIKOISSA

Mikael Kukkonen

METSÄTIETEEN PRO GRADU
ERIKOISTUMISALA METSÄNHOITO JA METSÄBIOENERGIA

JOENSUU 2011

Kukkonen, Mikael. 2011. Varhaisperkauksen onnistumisen arviointi ja tulevan perkaustarpeen ennustaminen koneellisesti kitketyissä kuusen (*Picea abies*) taimikoissa. Itä-Suomen yliopisto, luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, metsätieteiden osasto, metsätieteen pro gradu -tutkielma, metsänhoidon ja metsäbioenergian erikoistumisala. 57 s.

TIIVISTELMÄ

Pentin Paja Oy:n patentoima kitkevä reikäperkausmenetelmä on muutaman viime vuoden aikana otettu vähitellen laajenevaan käyttöön tämän tutkimuksen toimeksiantajayritys UPM Metsässä. Kitkentämenetelmässä kuusia haittaavat lehtipuut poistetaan nostamalla ne juurineen, mikä on herättänyt huomiota metsänhoidon ammattilaisten keskuudessa. Juurineen nostetut lehtipuut eivät synnytä juurivesoja ja täten työtä voidaan tehdä koko sulan maan kauden ajan. Kitkevä menetelmä voidaan nähdä potentiaalisena osaratkaisuna taimikoiden hoitamattomuuden sekä harvesterityön kausiluonteisuuden ongelmaan. Kitkevän menetelmän kehittäminen on merkittävä askel metsänhoidon vaikeimmin koneellistettavan työläjien eli varhaisperkauksen koneellistamisessa.

Tutkimuksen päätavoite oli tutkia tarvitseeko kitketyissä kuusentaimikoissa tehdä taimikonhoitoa vai säilyttävätkö kitkemällä vapautetut kuusen taimet valta-asemansa ilman lisäkustannuksia. Tutkimusaineisto koostui 22:sta Pohjois-Karjalassa ja Kymenlaaksossa kitketystä kuusentaimikosta, jotka mitattiin heinä–elokuussa vuonna 2009. Taimikoiden varhaisperkaus oli tehty kitkevällä Naarva-reikäperkaajalla kesän ja syksyn aikana vuonna 2008.

Varhaisperkauksen onnistumista tutkittiin simuloimalla taimikoiden sekä niistä valittujen koepuukuusten kehitystä kahteen tarkasteluvaiheeseen, jotka olivat 1) normaali taimikonhoidon ajankohta (yli kolmen metrin valtapituus) ja 2) tutkimuksessa käytetyn kuusen pituuskasvumallin takaraja 20 ikävuotta. Työssä tarkasteltiin kitkemättä jääneiden lehtipuiden kuusille aiheuttamaa perkaustarvetta, joka muodostui pituuskasvutappiosta ja/tai mekaanisesta vaurioitumisesta. Lisäksi tarkasteltiin kitkentätyössä vaurioituneiden kuusten määrää. Kuviotasolla taimikonhoitotarve määritettiin kuvioille, joilla perkaustarpeen kriteeriksi asetettu tukkipuuaihiovaatimus 1 000 kpl ha⁻¹ ei täytynyt tai mikäli kuusista yli kolmasosa oli perkaustarpeessa.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että kitkevä varhaisperkaus on hyvä kuusentaimikon varhaisperkausmenetelmä. Kitketyistä taimikoista 68 % selvisi kasvun simuloinnin mukaan ilman toista taimikonhoitoa. Suuntaa antavan kustannuslaskelman mukaan kitkentämenetelmä tuli metsänomistajalle keskimäärin 78 € ha⁻¹ raivaussahatyötä edullisemmaksi, kun 32 % kohteista vaati myöhemmän taimikonhoidon. Kitkennässä vaurioitui vakavasti keskimäärin 3,3 % ja lievästi 2,3 % kuusista. Lisäksi havaittiin, että Kymenlaakson kohteilla kitkentä onnistui hieman Pohjois-Karjalan kohteita paremmin ja että koneistutetut kohteet onnistuivat hieman manuaalisesti istutettuja kohteita paremmin.

Avainsanat: Kuusi, varhaisperkaus, taimikonhoito, kitkentä, koneellistaminen, kasvumallit, metsänhoito.

Kukkonen, Mikael. 2011. Evaluating the success of pre-commercial thinning and predicting the need of re-cleaning on mechanically uprooted Norway spruce (*Picea abies*) young forest stands. University of Eastern Finland, School of Forest Sciences, master's thesis in Forest Science, specialization Forest management and Forest bioenergy. 57 p.

ABSTRACT

Uprooting spot cleaning method, patented by Pentin Paja Ltd., has been in gradually expanding use during past few years at UPM Forest, the commissioner of this research. In uprooting method the competing broadleaves are uprooted and removed around spruce stems, which has got attention among professionals of silviculture. Uprooted broadleaves do not cause sprouting stumps and thus uprooting can be done during whole period of unfrozen soil. Uprooting method can partly be seen to have potential in solving the problem of untreated young forest stands and the seasonality of wood harvesting work. Development of uprooting method is a major step in mechanizing pre-commercial thinning (PCT) which has been the most difficult type in silvicultural work mechanizing.

The main objective of this study was to investigate whether there will become a need for re-cleaning in Norway spruce stands that have been released by mechanically uprooting the broadleaves, or whether the spruces maintain their dominance without further costs. The material consisted of 22 spruce stands in North Karelia and Kymenlaakso areas in Finland. The stands had been treated with uprooting Naarva spot cleaner during summer and autumn 2008. The measurements were done during July and August 2009.

The success of PCT was studied by simulating the development of the stands and sample trees and reviewing their state after two simulation periods, which were 1) normal timing of re-cleaning (over three meters dominant height) and 2) 20 years age limit of the growth model for spruce used in this study. The need of re-cleaning caused by remaining broadleaves was studied and determined by height growth decrease and/or mechanic damage. Also amount of spruces damaged by the treatment was studied. The need of re-cleaning at stand level was determined to stands which failed to complete the demand of 1 000 undisturbed stems ha⁻¹ which will grow to good quality timber. Also re-cleaning was determined to stands where more than one third of the spruces had the need of re-cleaning.

This study shows that uprooting method is a good PCT method in spruce stands. According to simulations 68 % of the stands survived without need of re-cleaning. According to indicative cost calculation the uprooting method was on average 78 € ha⁻¹ cheaper than manual work when 32 % of the stands needed re-cleaning. On average 3,3 % of spruces were damaged seriously and 2,3 % less seriously by the treatment. Also was noticed that uprooting in Kymenlaakso area succeeded a bit better than in North Karelia. In addition the results on stands which had been planted mechanically were better compared to manually planted stands.

Keywords: Norway spruce, *Picea abies*, pre-commercial thinning, uprooting, mechanizing, growth models, silviculture.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	5
1.1 Taimikon varhaisperkauksen rooli metsänkasvatuksen toimenpideketjussa	5
1.2 Taimikonhoidon ja varhaisperkauksen nykytila	6
1.3 Koneellinen varhaisperkaus	7
1.3.1 Syitä varhaisperkauksen koneellistamiseen	7
1.3.2 Kuusen taimikon koneellinen kitkentäkäsittely	8
1.3.3 Kitkettävien taimikoiden valintakriteerit	11
1.3.4 Kitkentätyössä aiheutuvat kasvatettavan puulajin vahingot	12
1.3.5 Koneellisen kitkennän tuottavuus ja kustannukset	13
1.4 Työn tavoitteet	15
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	16
2.1 Tutkimuksen aineisto	16
2.2 Koealajärjestely ja aineiston mittausmenetelmät	16
2.3 Aineiston käsittelymenetelmät ja kasvun ennustaminen	18
2.4 Perkaustarpeen ennustaminen	20
2.4.1 Perkaustarpeen määrittely yksittäiselle kuuselle	20
2.4.2 Perkaustarpeen määrittely kuviokohtaisesti	23
3 TULOKSET	26
3.1 Taimikon tila mittaushetkellä	26
3.2 Kitkennässä vaurioituneet kuusentaimet	27
3.3 Kasvukohdan korkeuseron tuoma etu mättäässä kasvavalla kuusentaimella	29
3.4 Taimikoiden simuloitu pituuskehitys	30
3.5 Kitkentätyön onnistumisen ja taimikon perkaustarpeen arviointi	31
3.5.1 Alakynteen jääneet kuusentaimet	31
3.5.2 Lehtipuiden piiskaamaksi joutuneet kuusentaimet	34
3.5.3 Onnistuneet sekä epäonnistuneet kitkentätyömaat	35
3.5.4 Taimikonhoitokustannusten suuntaa antava vertailu	38
4 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET	40
KIRJALLISUUS	46
LIITTEET (3 KPL)	49

1 JOHDANTO

1.1 Taimikon varhaisperkauksen rooli metsänkasvatuksen toimenpideketjussa

Metsikön käsittelyllä ohjataan metsikön kehitystä, ja siten vaikutetaan metsikön myöhempään käsittelyihin. Valittaessa metsikössä kulloinkin tavoitteiden kannalta parhaat käsittelyt muodostuu metsikön käsittelyn optimaalinen toimenpideketju. Taimikon varhaisperkauksessa taimikosta poistetaan kasvatettavan pääpuulajin kasvua haittaava puusto (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Tällä on suuri vaikutus kasvatettavan puuston elossa pysymiselle sekä sen järeytymiselle ainespuuksi ensiharvennukseen mennessä (Vuokila 1987).

Kuusen taimikon varhaisperkaus suoritetaan noin 1 metrin pituudessa, yleensä reikäperkauksena, jossa taimikosta poistetaan noin metrin säteellä kasvatettavista taimista oleva puusto (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Varhaisperkaus samoin kuin jo sitä ennen tehtävä heinäntorjunta tehdään tarpeen vaatiessa. Perkaustarve riippuu taimikkoon siemen- ja vesälähtöisesti syntyvästä lehtipuustosta, jonka määrä ja kehitys vaihtelevat kuvioittain sekä kuvion sisäisesti mm. uudistamistavan, metsätyypin, maaperän ja ilmaston mukaan. Edellisen puuskupolven lehtipuusto vaikuttaa uudistusosalalle syntyvän vesakon määrään, ja pahasti vesakoituvilla alueilla voikin olla syytä lehtipuuston poistamiseen viimeisessä harvennuksessa tai 3–4 vuotta ennen päätehakkuuta (Harstela 2004).

Kuusi kestää muihin puulajeihimme verrattuna hyvin varjostusta, mutta vaihtaa varjostusasemaan joutuessaan neulasensa varjoneulasiin, minkä vuoksi taimen kasvu hidastuu. Varjostusaseman välttämiseksi on kuusen taimikonhoito syytä ajoittaa siten, että taimien kasvu ei pääse taantumaan lehtipuuden varjostuksen takia (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Liian varhaisessa vaiheessa tehty hoitotyö voidaan joutua uusimaan. Tarkempaa, kunnollista perkaustarpeen rajaa ei kuitenkaan ole määritetty kirjallisuudessa. Usein perkaustarve arvioidaan silmämääräisesti tai kuvion keskitunnusten perusteella. Uotilan (2008) tutkimuksessa vertailtiin maanmuokkaustavan vaikutusta taimikonhoitokustannuksiin ja määriteltiin taimikonhoidon ajoitus käyttäen kahta kriteeriä: taimikonhoito ajoitettiin tehtäväksi joko silloin, kun lehtipuuston keskipituus ylittää kuusen valtapituuden, tai jo aiemmin, mikäli kasvunsimuloinnin mukaan lehtipuuvesakko ei enää aiheuta perkaustarvetta uudestaan. Keskitunnukset, kuten kasvatettavien taimien sekä kilpailijoiden runkoluku ja keskipituus, eivät kuitenkaan välttämättä suoranaisesti kerro kasvatettavia taimia haittaavasta kilpailusta. Näin voi olla

etenkin reikäperkauksen tapauksessa, mikäli kilpailevat lehtipuut sijoittuvat perkausreikien väleihin ja ovat riittävän kaukana kuusista.

Koska kantovesasta syntyneiden lehtipuiden pituuskasvu on ensimmäisinä vuosina erittäin nopeaa, saavuttavat varhaisperkauksessa katkaistut lehtipuut usein kuusentaimien pituuden jo muutamassa vuodessa (Björkdahl 1983). Tämän vuoksi kuusentaimikossa joudutaankin tavallisesti tekemään taimikonhoito 3–4 metrin pituudessa: perkauksen lisäksi taimikko harvennetaan tiheyteen 1600–1800 runkoa hehtaarilla (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Voimakkaasti vesovissa taimikoissa taimikonhoito joudutaan tekemään kahteen kertaan. Taimikosta ei ole syytä poistaa kaikkia lehtipuita. Maisema- ja monimuotoisuussyistä kuusentaimikkoon suositellaan jätettäväksi 5–10 % koivusekoitusta, joka ei vielä alenna metsikön tuottoa mutta mahdollistaa korkealaatuisten vaneritukkien kasvattamisen (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Taimikonhoidolla mahdollistetaan kannattava ensiharvennus ja metsikön tuleva kehitys kohti päätehakkuuta, jossa suurin osa kiertoajan hakkuutuloista saadaan.

1.2 Taimikonhoidon ja varhaisperkauksen nykytila

Taimikonhoito nostaa välittömästi metsäomaisuuden arvoa, mutta taimikoiden hoitotoimenpiteistä saatava rahallinen hyöty sijoittuu vasta useiden vuosien päähän. Suuri osa kohteista jääkin hoitamatta, mikä on jopa aiheuttanut huolta tulevaisuuden tukkipuuvarannon riittävydestä. Ahosen ja muiden (1989) mukaan hoitamatta jättämiseen vaikuttaa työvoiman heikon saatavuuden lisäksi ulkopuolisen "avaimet käteen" -periaatteella suoritettujen palvelujen heikko tarjonta. Tämänkaltaista palvelua tuottaessa asiakkaan tekemä selvitys- ja organisointityö kannattaisi minimoida, sillä useat metsänomistajat kokevat taimikonhoitopalvelun ostamisen sekä siihen mahdollisesti saatavan valtion tuen anomisen liian monimutkaiseksi prosessiksi (Ahonen ym. 1989). Kuusen varhaishoidon tekemättä jättäminen voi aiheuttaa kaksijaksoisen metsikkörakenteen, kun kuusten pituuskasvu hidastuu varjostuksen vuoksi (Harstela 2004) ja hoitotyön viivästyttäminen lisää sen työajan menekkiä ja kustannuksia (Kaila ym. 2006).

Taimikonhoitoa ja varhaisperkausta suoritettiin Suomessa vuonna 2008 noin 165 000 hehtaaria (Metsäntutkimuslaitos 2009). Vuotuinen tavoite oli 203 000 hehtaaria (Maa- ja metsätalousministeriö 2007). Mutikaisen (2006) mukaan yksityismetsissä tehdyistä taimikonhoito- ja varhaisperkaustöistä yli kaksikolmasosa suorittaa omatoiminen metsänomistaja itse. Valtaosa työstä tehdään käyttäen raivaussahaa. Vähemmän käytettyjä työvälineitä ovat vesuri ja erilaiset raivausveitset (Mutikainen 2006).

1.3 Koneellinen varhaisperkaus

1.3.1 Syitä varhaisperkauksen koneellistamiseen

Kun puunkorjuuketjun koneellistaminen on aiheuttanut metsänhoitotöihin käytettävissä olevan metsurityövoiman voimakkaan vähenemisen, on myös taimikonhoitotöiden koneellistamismahdollisuuksia tutkittu (esim. Kaivola 1995). Valtaosa kohteista olisi nykyisillä maanmuokkaus- ja istutuskoneilla mahdollista uudistaa koneellisesti, joten tarkoituksenmukaista olisi hoitaa koneille soveltuvat kohteet koneellisesti ja teettää koneille huonommin soveltuvat kohteet metsurityönä. Ylimartimon ja Heikkilän (2003) mukaan VMI9:ssä käsitellyiksi ehdotetuista taimikonhoitokohteista 68 % oli teknisesti koneellistettavissa. Sen sijaan Metsäteho Oy:n (Strandström ym. 2009) mukaan koneellistamisen tekninen potentiaali on 90 % kaikista taimikonhoitotöistä. Vuonna 2008 toteutunut alle 1 %:n taimikonhoidon koneellistamisosuus on Metsätehon tavoitteena nostaa 20 %:n vuoteen 2015 mennessä (Strandström ym. 2009). Varhaisperkausta ja taimikonhoitoa voidaankin pitää metsänhoidon viimeisinä koneellistettavina työlajeina. Metsänhoidon koneellistamisen tavoitteena on parantaa metsänhoitotöiden laatua ja tuottavuutta sekä alentaa kustannuksia (Kuru 2009).

Koneellistamiskehitystyön tuloksena taimikonhoitoon ja varhaisperkaukseen on kehitetty useita erilaisia koneita, joita voidaan käyttää esimerkiksi harvesterin tai kaivinkoneen puomin päähän sijoitettuna (Harstela 2004 ja Tantt & Mutikainen 2010). Harvesterikäyttöisille taimikonhoitolaitteille voisi olla käyttöä, sillä Perkiö-Mäkelän ja muiden (2001) mukaan harvesterinkuljettajista noin joka kolmas on työttömänä tai lomautettuna keskimäärin 2,3 kuukautta vuodessa. Metsänhoito- ja puunkorjuutöiden eriaikaisen kausiluonteisuuden vuoksi harvesterikäyttöisillä varhaisperkaus- ja taimikonhoitokoneilla voitaisiinkin työllistää metsäkonekuljettajia kesäaikaan, joka yleensä on puunkorjuussa hiljaisempaa: joka vuosi noin 1 000 harvesteria on kesäkuukausina käyttämättä (Metsäntutkimuslaitos 2009). Harvesterinkuljettajalle voitaisiin saada ympärivuotinen työpaikka, mikä voisi parantaa kuskiensa alalla pysymistä.

Harvesterityön tuottavuuden sekä laadun kehittämisen kannalta välttämätön kokemus ja hiljainen tieto kehittyvät kuljettajalle vuosien myötä (Väätäinen ym. 2005), joten metsäkone-työntekijöiden vaihtuvuuteen olisi syytä kiinnittää huomiota. Jos harvesteri olisi hiljaisina sulan maan aikoina koneellisen perkauksen käytössä, koneelle saataisiin lisää vuotuisia käyttötunteja. Tämä alentaisi harvesterin käytön yksikkökustannuksia, kun kiinteät kustannukset jakautuisivat suuremmalle tuntimäärälle. Harvesterin käyttöasteen nostaminen koneellisen

perkauksen avulla voisikin siis parantaa myös puunkorjuun kannattavuutta koneyrittäjän kannalta.

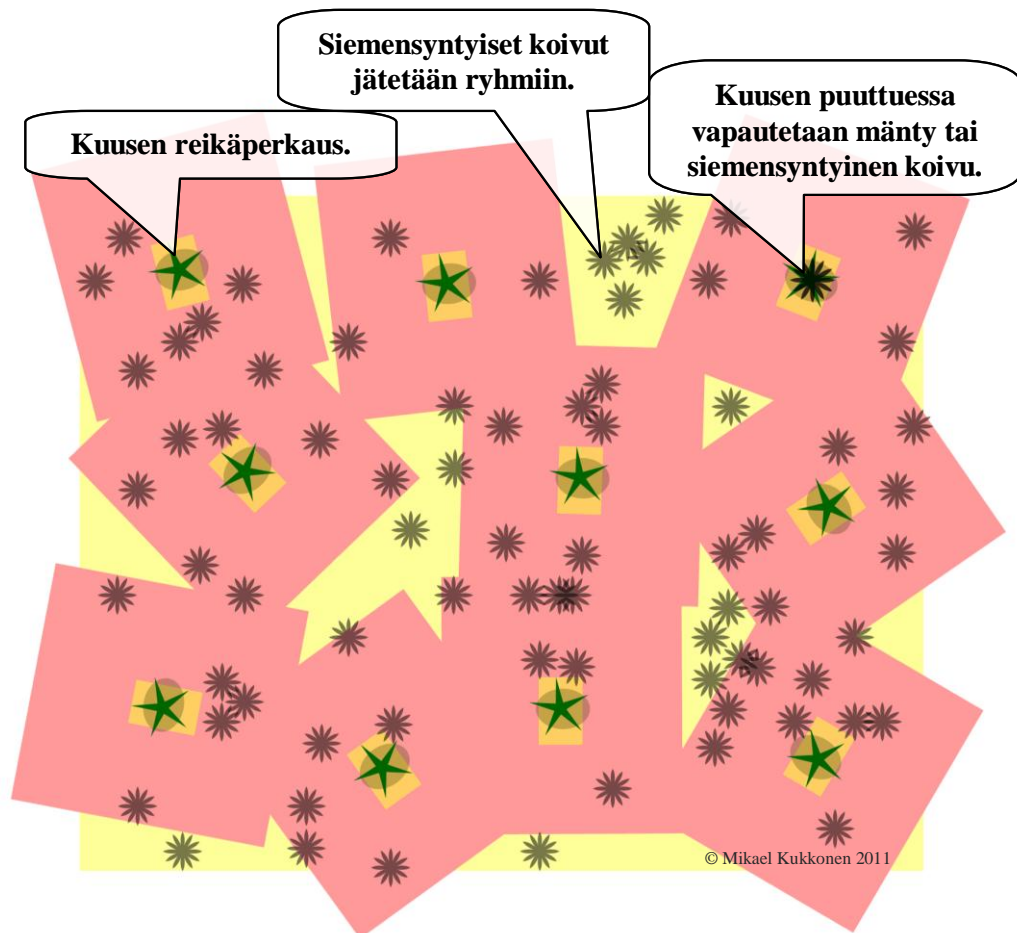


Kuva 1. Kitkevä Naarva-reikäperkaaja. Laite kiinnitetään harvesteriin hakkuukouran tilalle.

1.3.2 Kuusen taimikon koneellinen kitkentäkäsittely

Aikaisemmin koneellista varhaisperkausta on tehty poistettavaa puustoa leikkaavalla koneella, esimerkiksi keksijänsä mukaan nimetyllä Kurunpyörällä, jota ilomantsilainen Pentin Paja Oy on kehittänyt (Harstela 2004). Saman idean jatkojalosteena on kehitetty pienemmällä hydraulisilla paineilla toimiva ja patentoitu (FI 118293 2005) kitkevä Naarva-reikäperkaaja (kuva 1), joka ei katkaise poistettavia taimia vaan tarttuu niihin kumisilla leuoilla, jotta ne voidaan nostaa juurineen maasta irti. Laitteen muoto on kehittynyt alkuperäisestä pyöreästä laitteesta suorakaiteen muotoiseksi, ja se koostuu kahdesta päällekkäisestä 210 cm * 225 cm:n kokoisesta kehikosta, jotka on varustettu kuudella kiskolla. Ylempi kehikko on liikkuva ja kun laite laskeaan kasvatettavan taimen ympärille, ylemmän kehikon kiskoilla puristetaan kitkentälaitteen sisäpuolelle jääneet puut alemman kehikon kiskoja vasten. Kitkentälaitteen keskellä on 67 cm * 41 cm aukoltaan oleva kehikko, jonka sisällä kasvatettava taimi pysyy vahingoittu-

mattomana. Tartuntaleuat avattuna laitteen koko on 241 cm * 225 cm, joten käsittelyksi tulee kerralla noin viiden neliömetrin alue kasvatettavan taimen ympäriltä. Raivaussahatyössä metrin säteellä tehtäessä käsitelty pinta-ala on noin 3,1 m². Kitkentäkehikon tähtäämistä helpottamaan on suunniteltu kitkentälaitteeseen kiinnitetty kamera, joka ei kuitenkaan ollut vielä käytössä tähän tutkimukseen tulleissa, vuonna 2008 kitketyissä taimikoissa. Laitteeseen on kehitteillä automaattinen kuusentaimen tunnistaminen kameran avulla sekä puoliautomaattiliikkeet.



Kuva 2. Kuusen kitkennän työohje kuvana. Keltainen tausta kuvassa vastaa puolen aarin (7,91 m * 6,32 m:n) pinta-alaa taimikossa. Kuvassa on kuusia 9 kpl eli 1 800 kpl ha⁻¹ ja lehtipuita 75 kpl eli 15 000 kpl ha⁻¹. Yhteensä aukkopaiikkaan on vapautettu siemensyntyinen koivu (200 kpl ha⁻¹). Perkausreikien ulkopuolella on lehtipuita 13 kpl eli 2 600 kpl ha⁻¹.

Kuusentaimikon kitkentäkäsittelyssä (kuva 2) poistetaan kaikki lehtipuusto kasvatettavien taimien ympäriltä reikäperkauksena, jotta kuuset pääsevät valtaamaan kasvutilan. Perkausreikien väliin jätetään siemensyntyisiä koivuja kasvamaan ryhmissä, mutta poistetaan ylipitkät koivut, jotka yleensä ovatkin vesasyntyisiä. Kaikki muutkin vesasyntyiset lehtipuut poistetaan. Myös alikasvoskuuset kitketään pois. Kohtiin, joista puuttuu kasvatuskelpoinen kuusi,

pyritään valitsemaan kasvatuskelpoinen koivu, jolle vapautetaan kasvutilaa. Sekapuustoa, erityisesti koivuja, kasvatetaan perkausreikien ulkopuolella aines- ja energiapuiksi. Tavoitteena on jättää ensiharvennusvaiheessa runkoluvusta 5–10 %:n sekoitus parhaita koivuja kasvatettavaksi koivutukiksi.

On esitetty arvioita (Pentin Paja 2007), joiden mukaan kitkemällä varhaisperattu taimikko pärjää kokonaan ilman toista taimikonhoitoa, koska kantovesasyntyinen lehtipuusto jää syntymättä. Tämä edellyttää, että taimikon lehtipuut saadaan poistettua kitkemällä riittävän tarkasti. Kriittisiä ovat etenkin kasvatettavan taimen lähelle jääneet lehtipuut, sillä ne aiheuttavat varjostusta ja mekaanisia vaurioita sekä haittaavat hakkuutyötä ensiharvennuksessa. Kun ensiharvennuksessa poistetaan liian lähellä kasvava lehtipuu, saatetaan vaurioittaa kasvamaan jätettävää kuusta. Kuusten pääseminen valta-asemaan edellyttää myös, että taimikon kasvu ei ole päässyt missään vaiheessa häiriintymään esim. hallan vuoksi vaan kuuset ovat normaalissa hyvässä kasvussa, jotta muutoin alakynteen jäävät siemensyntyiset lehtipuut eivät enää pääse valta-asemaan. Tämä tarkoittaa myös sitä, että taimikon aiempien toimenpiteiden – maanmuokkauksen ja istutuksen – tulee olla laadukkaasti tehtyjä.

Taimikon jatkokehityksestä kitkennän jälkeen ei ole vielä saatu tutkimustietoa, mutta esimerkiksi Peltolan (2006) mukaan kitkevällä varhaisperkaus koneella suoritettu kitkentä on ainoa tehokas keino vesomisen vähentämiseksi, kunhan koneen tarttumamekanismi on kehitetty siten, että kitkennässä lehtipuuston juuriyhteydet kokonaan katkeavat. Tuotekehittelyn tuloksena Pentin Paja Oy kehittelikin tarttumaleukoihin s-kirjaimen muotoisen tarttumapinnan, jotta pitävä ote pysyisi kaikenkokoisia taimia kitettäessä (Voutilainen 2007). Laitetta on edelleen kehitetty, ja vuoden 2008 kitkennät tehtiin laitteella, jossa tarttumapintaan tuli vielä yksi mutka lisää.

Kitkennän jälkeen siemensyntyistä lehtipuustoa voi vielä syntyä metsikköön sekapuustoksi, mutta hitaamman pituuskasvun vuoksi siitä ei ole yhtä välitöntä uhkaa kuusentaimien kehitykselle kuin raivauksen jälkeisestä vesasyntyisestä lehtipuustosta. Kitkennässä onkin tavoitteena luoda kuusentaimille riittävä etumatka aina noin 14 metrin valtapituudessa tehtyyn ensiharvennukseen saakka. Tällöin energiarunkopuun korjuu voidaan yhdistää ensiharvennukseen, ja voidaan olettaa, että kasvatettavien taimien välissä kasvavasta sekapuustosta saadaan tuntuva lisä harvennuskertymään. Yhdistetyn aines- ja energiapuun korjuukalusto on kehittynyt viime vuosina paljon, ja kehitystä voidaan odottaa edelleen energiapuun korjuun yleistyessä. Tässä vaiheessa on kuitenkin vielä mahdotonta ennustaa kuinka eri puutavaralajien hin-

nat kehittyvät kitkettyjen taimikoiden varttuessa ensiharvennusikään. Kaila ja muut (2006) totesivat vesakon pohjapinta-alan vaikuttavan merkittävästi raivauksen työajanmenekkiin, joten kitkettyjen taimikoiden mahdollinen myöhempi raivaus tulee joka tapauksessa olemaan normaalia halvempaa, koska vesakko on vähäistä. Alustavasti on esitetty arvioita, että tästä aiheutuisi metsänomistajalle kustannussäästöä noin 200 euroa hehtaaria kohti (Voutilainen 2007). Tässä tutkimuksessa on tarkoitus syventyä asiaan tarkemmin.

1.3.3 Kitkettävien taimikoiden valintakriteerit

Kitkentalaitetta käytetään pääasiassa laikkumätästettyjen kuusentaimikoiden reikäperkaukseen, mutta sillä on tehty varhaisperkausta myös kylväen tai luontaisesti uudistetuissa männyntaimikoissa (Kukkonen 2008 ja Aholaakko 2009). Kitkentämenetelmälle sopivat periaatteessa kaikki varhaisperkauskohteet, jotka maasto-ominaisuuksien puolesta voidaan muutenkin luokitella konekelpoiseksi. Jotkin ominaisuudet tekevät kohteesta paremmin tai huonommin kitkentäkoneelle sopivan. Esimerkiksi mikäli kohteessa on paljon kantoja tai pintakivikkoa, voi kitkentäkehikon sijoittelu ja riittävän alas laskeminen vaikeutua. Työskentelyä voivat haitata myös kuivat oksat ja hakkuutähteet, jotka kitkentäkehikon väliin joutuessaan estävät huonon taipuisuutensa vuoksi tartuntaleukojen kiinni puristamisen ja siten vaikeuttavat pitävän otteen saamista lehtipuista. Kannonnosto ja hakkuutähteiden korjuu voivat siis parantaa kitkentätyöskentelyä.

Kitkettävät työmaat on valittu iän perusteella, ja ne on käyty maastossa toteamassa kelvollisiksi ennen koneen viemistä kohteelle. Kohteen on käynyt toteamassa yleensä joko toimeksiantajayrityksen metsätoimihenkilö tai koneyrittäjä itse. Sopivana ikänä on kuusentaimikoissa pidetty 4–5 vuotta istutuksen jälkeen, jolloin lähes kaikki kohteet ovat olleet puuston puituuden puolesta koneelle sopivia. Kohteet, joissa kuuset ovat kasvaneet liian pitkäksi, joudutaan jättämään metsurityönä tehtäväksi. Kohteet, joissa lehtipuuston kehitys on ollut normaalia hitaampaa, voidaan ajoittaa tehtäväksi puuston pituuskasvukauden jälkeen. Kuusen osalta on kasvatettavan puuston vaurioiden minimoimisen vuoksi pidetty maksimipituutena noin metriä. Paljon metriä pidemmät taimet toipuvat huonommin koneen rungon alle jäämisestä, ja ne joutuvat helpommin myös renkaan alle pidempien oksiensä vuoksi.

Kitkentätyömaalla olevat poistettavat lehtipuut saavat olla kuusta pidempiä, jolloin niistä ainakin saa helposti otteen. Laitteella saadaan nostamisen lisäksi myös kaadettua jonkin verran tätä suurempia puita työntämällä ne kumoon. Kitkentätyön kannalta helpoimpana lehtipuusto-

na voidaan pitää tasaista siemensyntyistä hieskoivikkoa, sillä niistä saadaan kitkentälaitteella helpoiten hyvä pysyvä ote. Sen sijaan hankalimpana voidaan pitää suuria pihlajia, sillä niille tyypillistä on katketa tyveltä. Usein pihlajapusikoita joudutaan repimään osissa sivuille päin, jotta pihlajapusikon mukana ei kitkettäessä nousisi kerralla valtava juuristo. Suuren juuripaa-kun noustessa voi myös lähellä kasvava kuusentaimi nousta mukana. Pihlaja, haapa ja rauduskoivu vaativat keskimäärin noin 35–40 % kovemman nostovoiman käyttöä verrattuna hieskoivuun ja pajuun (Nuortimo 2008). Voimakkaasti heinittyvät kohteet on syytä tehdä syyskaudella, koska silloin näkyvyys on parempi. Kitkettäessä pimeän aikaan koneen valais-tuksen varassa kuljettajalla paranee kuusentaimien havainnointi, sillä kuusentaimet heijastavat metsäkoneen valon eri tavalla kuin ympäröivä kasvillisuus (Salmela 2009). Koneen siirtokus-tannusten vuoksi kitkentätöyömaita kannattaa keskittää suuremmiksi kokonaisuuksiksi ja jättää ainakin pienet yksittäiset kuviot metsurityöksi. Kelvollisen työmaan minimikoko riippuu mm. koneyrittäjän siirtokaluston ja muiden työmaiden sijoittumisesta, mutta yleisenä ohjearvona voidaan pitää noin kolmen hehtaarin minimikokoa työmaalle. Tällainen työmaa voi koostua yhdestä tai useammasta kuviosta.

1.3.4 Kitkentätöyössä aiheutuvat kasvatettavan puulajin vahingot

Kitkentäkone aiheuttaa varhaisperkaustyössä kasvatettavalle puustolle vaurioita pääasiassa kolmella eri tavalla. Kuljettaja pyrkii ohjaamaan konetta siten, että renkaat eivät taimia tallai-si, mutta osa taimista voi kuitenkin jäädä renkaan alle ja vaurioitua (kuva 3). Koneen rungon alle jääneet taimet yleensä taipuvat ja palautuvat vaurioitumatta. Kitkentätöyössä voi myös vaurioitua osa kasvatettavien taimien latvoista, kun lehtipuustoa kitkettäessä tartutaan samalla vahingossa kasvatettavan taimen latvaan. Kolmanneksi osa kasvatettavista taimista voi olla vaikea havainnoida tai niiden juuristo on niin tiukasti yhteydessä poistettavien lehtipuiden juuristoon, että ne nousevat kitkennässä mukana.

Kitkentätöyössä aiheutuneet kasvatettavan puulajin vauriot voidaan jakaa vaurioluokan perus-teella kahteen ryhmään: lieviin vaurioihin ja vakaviin vaurioihin. Lievällä vauriolla tarkoi-tetaan kitkentätöyössä aiheutunutta mekaanista vikaa, joka alentaa taimen laatua niin, että tai-mesta ei enää voi kasvaa tukkipuun laatukriteerejä täyttävää puuta. Vakavalla vauriolla tarkoi-tetaan kitkennässä kuollutta tai lähes kuollutta, täysin kehityskelvotonta tainta. Kukkosen (2008) tutkimuksen mukaan männyntaimikon kitkevässä varhaisperkauksessa oli yliajossa kuolleiden männyntaimien osuus 2,3 % runkoluvusta ja vastaavasti raivaussahatyössä vaurioi-tui vakavasti sahausvirheinä 0,3 %. Koska tutkimuskenttänä oli luontaisesti ja kylvään uudis-

tettu männyntaimikko, poistui kitkennässä lisäksi lehtipuiden noston yhteydessä 2,7 % männyistä, joten kasvatettavan puulajin poistuma oli kitkennässä yhteensä 4,8 % (Kukkonen 2008). Heikkisen (2009) tutkimuksessa kuusentaimikon kitkennässä vaurioitui yhteensä 8 kpl kuusia eli 2,2 % kasvatettavista kuusentaimista. Näistä kolme oli vakavia ja viisi lieviä vaurioita.



Kuva 3. Hetki ennen kuvaamista kitkentäkoneella yliajettu kuusentaimi kesällä 2009.

1.3.5 Koneellisen kitkennän tuottavuus ja kustannukset

Kitkevä Naarva-reikäperkaaja soveltuu parhaiten lisälaitteeksi normaaliin metsäharvesteriin. Ottaen huomioon, että kitkentälaitte mahdollistaa harvesterille huomattavasti lisää vuotuisia käyttötunteja, noin 14 000 euron hintaista kitkentälaitetta voidaan pitää verrattain edullisena. Tämäntyyppisessä lisälaitteinvestoinnissa laitteen käyttökustannukset riippuvat pääasiassa käytössä olevasta peruskoneesta sekä siihen sidotun pääoman tuottovaatimuksesta. Lisälaitteinvestoinnin kannattavuuteen sekä yrittäjän lisäarvoon vaikuttaakin suurimmaksi osaksi koneyrittäjän yksilöllinen tilanne: hankitaanko kitkentäkoneita varten uusi tai käytetty metsäkone, vai käytetäänkö jo olemassa olevaa peruskonetta? Etenkin kesäkuukausina useat hak-

kuukoneet ovat vajaakäytössä (Metsäntutkimuslaitos 2009). Kitkentätyön yksikkökustannusten laskentaan vaikuttaa peruskoneen vuotuisten käyttötuntien määrä sekä sen jakautuminen kitkentään ja hakkuutyöhön. Peruskoneeksi kitkentään soveltuu pienikin harvesteri, mutta kookkaasta koneesta on yleensä parempi näkyvyys ja vakaus. Pidemmän puomin tuoman paremman ulottuvuuden avulla koneen tuottavuus voi parantua ja uraväli kasvaa. Käytettävän peruskoneen ominaisuuksilla saattaa olla vaikutusta myös kitkennässä aiheutuvien kasvatettavan puuston vaurioiden määrään, mutta asiaa ei ole vielä tutkittu.

Kitkentäkoneen edeltäjä, ”kurunpyöräksi” kutsuttu leikkaava reikäperkauskone, ei täysin vastaa kitkevää konetta, mutta myös sen tuottavuustutkimukset ovat suuntaa-antavia kitkevän menetelmän kannalta. On syytä huomioida, että leikkaavalla koneella poistetut lehtipuut vesovat, mutta kitkemällä juurineen poistetut eivät vesoa. Leikkaavan reikäperkauskoneen todettiin sopivilla työmaakohteilla alittavan miestyön kustannukset 10 000–15 000 poistetun vesan hehtaariheydellä (Metsäteho 2005). Kitkentäkoneen tuottavuus vuonna 2007 oli 1,5–2 hehtaaria 8 tunnin työpäivässä (Voutilainen 2007). Kesällä 2007 kitkentäkoneen seuranta-tutkimuksessa (Kiljunen & Saarinen 2008) kuusentaimikon perkaukseen meni keskimäärin 4,8 koneen käyttötuntia ha⁻¹ (sisältää alle 15 minuutin keskeytykset), mikä vastaa 70 €:n tuntikustannuksella kustannusta 334 € ha⁻¹. Samassa tutkimuksessa männyntaimikon perkaukseen käytettiin keskimäärin 5,2 käyttötuntia ha⁻¹, mikä vastaa 366 € ha⁻¹ kustannusta. Vastaavilla kohteilla laskennalliset miestyön kustannukset varhaisperkaukselle olisivat olleet kuusentaimikossa 201 € ha⁻¹ ja männyntaimikossa 256 € ha⁻¹.

Vuoden 2008 kitkentätöissä UPM Metsällä käytettiin aikapalkkausta, ja niiden keskimääräinen kustannus oli noin 430 € ha⁻¹. Vastaavasti varhaisperkaus miestyönä maksoi keskimäärin noin 270 € ha⁻¹ ja taimikonperkaus noin 350 € ha⁻¹. Raivaussahatyönä tehtyihin varhaisperkauksiin meni vuonna 2008 metsurilta keskimäärin 9,8 h ha⁻¹ ja taimikonhoitoihin keskimäärin 14,36 h ha⁻¹. Varhaisperkausta suositellaan lehtipuiden vesomisen vuoksi tehtäväksi vain keskikesällä (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006), joten voi olla haastavaa saada kaikki varhaisperkauskohteet tehtyä. Kitkentää sitä vastoin voidaan tehdä koko sulan maan kauden aikana. Etenkin mikäli suuri osa kohteista voidaan hoitaa pelkällä kitkennällä eikä toista perkausta enää monilla kohteilla tarvita, korvaa jokainen kitkentäkone vuositasolla työmäärässä useita metsureita. Tämä voisikin osaltaan ratkaista metsurityövoiman vähenemisen ongelmaa.

1.4 Työn tavoitteet

Tutkimuksen päätavoite on tutkia, tarvitseeko kitketyissä kuusentaimikoissa tehdä taimikonhoitoa vai säilyttävätkö kitkemällä vapautetut kuusen taimet valta-asemansa ilman lisäkustannuksia. Perkaustarpeen muodostumista tutkitaan simuloimalla tätä tutkimusta varten kerätystä maastoaineistosta käsittelyn jälkeistä kehitystä 20 vuoden ikään asti. Kitkevän varhaisperkausten onnistumista sekä menetelmän kannattavuutta arvioidaan metsänomistajan näkökulmasta.

Tutkimuksen muita tavoitteita on analysoida kitkentäkoneen aiheuttamia kasvatettavan puuston vaurioiden määrää sekä verrata niitä aiempiin tutkimuksiin. Lisäksi tarkastellaan syitä huonosti onnistuneille kohteille, jotta niitä voitaisiin mahdollisuuksien mukaan välttää työmaita valitessa sekä niitä ajoitettaessa. Samalla pohditaan kitkentätyön kehittämismahdollisuuksia lopputuloksen kannalta parempaan suuntaan. Tavoitteena on myös tehdä tämän tutkimuksen tuloksista johtopäätöksiä työmaasuunnittelun tueksi sekä havaita tunnuspiirteitä kitkentämenetelmän kannalta ensisijaisille ja toissijaisille kohteille. Lisäksi tässä työssä luodaan katsaus tähänastisiin kitkentäkonetta koskeviin tuotos- ja laatututkimuksiin. Kitketyistä kohteista on silmämääräiseen arvioon perustuvasti voitu esittää monenlaisia arvioita ja lausuntoja, ja on ollut tarve tehdä kattava tutkimus, jossa paneudutaan kitketyn taimikon tulevaan kehitykseen. Tätä tutkimusta voidaan pitää tärkeänä osana kitkevän varhaisperkausmenetelmän kehittämistä, ja tutkimuksen tuloksia on jo hyödynnetty osana menetelmän laadunhallintaa sekä laajempaa käyttöönottoa.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Tutkimuksen aineisto

Aineisto kerättiin UPM Kymmene Oy:n omistamilta mailta Pohjois-Karjalasta ja Kymenlaaksosta. Mitattavaksi valittiin molempien vuonna 2008 käytössä olleiden kitkentäkoneiden työmaista kaikki laikkumätästetyt kuusentaimikot, jotka oli kitketty vuoden 2008 aikana. Mittausten ulkopuolelle rajattiin tutkimukseen soveltumattomat kohteet. Tutkimukseen soveltumattomiksi kohteiksi luokiteltiin kohteet, joissa kitkentää oli tehty jo edellisellä vuonna, tai kuviosta oli kitketty vain osa. Lisäksi Pohjois-Karjalassa toimineella kitkentäkoneella työskenteli kesän 2008 alussa jonkin aikaa kuljettajana metsänhoitoon perehtymätön ja huonosti motivoitunut kuljettaja, jonka tekemät kolme työmaata todettiin luokattoman työjäljen vuoksi tähän tutkimukseen soveltumattomiksi. Ne jätettiin pois, sillä tässä tutkimuksessa oli tarkoituksena tutkia esitellyn kitkentämenetelmän mukaisesti tehdyn työn jäljen kehitystä. Kyseisillä kolmella työmaalla oli poistettu vesakkoa vain satunnaisesti eikä varhaisperkaustarve kohteilla ollut juuri vähentynyt. Kaikkiaan 23:sta tutkimukseen soveltuvasta kohteesta saatiin mitattua 22. Niistä 11 kuviota sijaitsee Pohjois-Karjalassa ja 11 kuviota Kymenlaaksosta. Mittaukset toteutettiin vuoden 2009 heinä- ja elokuun aikana viikoilla 28–35.

Mitatut kohteet oli päätehakattu kesäkuun 2001 ja maaliskuun 2004 välisenä aikana ja istutettu syyskuun 2002 ja kesäkuun 2005 välisenä aikana. Taimikoista 13 oli koneistutettuja ja 9 manuaalisesti istutettuja. Kaksivuotisilla paakkutaimilla oli istutettu 19 kuviota ja yksivuotisilla paakkutaimilla vastaavasti 3 kuviota. Metsätietojärjestelmän mukaan kuvioista 20 oli tuoreella kankaalla, 1 taimikko oli lehtomaisella kankaalla ja 1 kuivahkolla kankaalla.

2.2 Koealajärjestely ja aineiston mittausmenetelmät

Tutkimuksen aineisto tallennettiin mittausvaiheessa Panasonic Toughbook -maastotietokoneella suoraan MS Excel -taulukkolaskentaohjelmaan. Tällä pyrittiin välttämään tallennusvirheet. Kunkin kohteen mittaukset tehtiin erillisiin tiedostoihin, jotka tietojen analysointi- ja laskentavaihetta varten koostettiin omiksi välilehdiksi yhteenvetotiedostoon. Mittaukset tehtiin ympyräkoaloilta, joiden sijainti määräytyi systemaattisen koealaverkon solmukohtien mukaan kuvassa 4 esitetyllä tavalla. Koealat paikannettiin Garmin GPSMAP 60 CSx -maastonavigaattoria käyttäen. Koealaverkko kiinnitettiin mitattavan kuvion rajojen ulkopuolelle mielivaltaiseen sijaintiin riittävän lähelle, korkeintaan kahden koealavälin päähän

kuviosta esimerkiksi paikkaan, johon auto oli pysäytetty. Kyseinen sijainti tallennettiin GPS-laitteeseen reittipisteeksi, ja sitä käytettiin yhtenä koealaverkon solmukohtana. Sen jälkeen tätä reittipistettä siirrettiin GPS-laitteella koealaverkon solmuvälin mukainen metrimäärä pääilmansuuntien suuntaisesti ja valittiin mitattavaksi koealat kuvion sisälle osuneista koealaverkon solmukohdista. Koealaverkon solmuväli laskettiin käyttämällä kaavaa:

$$x = \sqrt{(y * 10000 / z)}, \quad (1)$$

jossa

x = koealaverkon solmuväli (m),

y = kuvion pinta-ala (ha^{-1}),

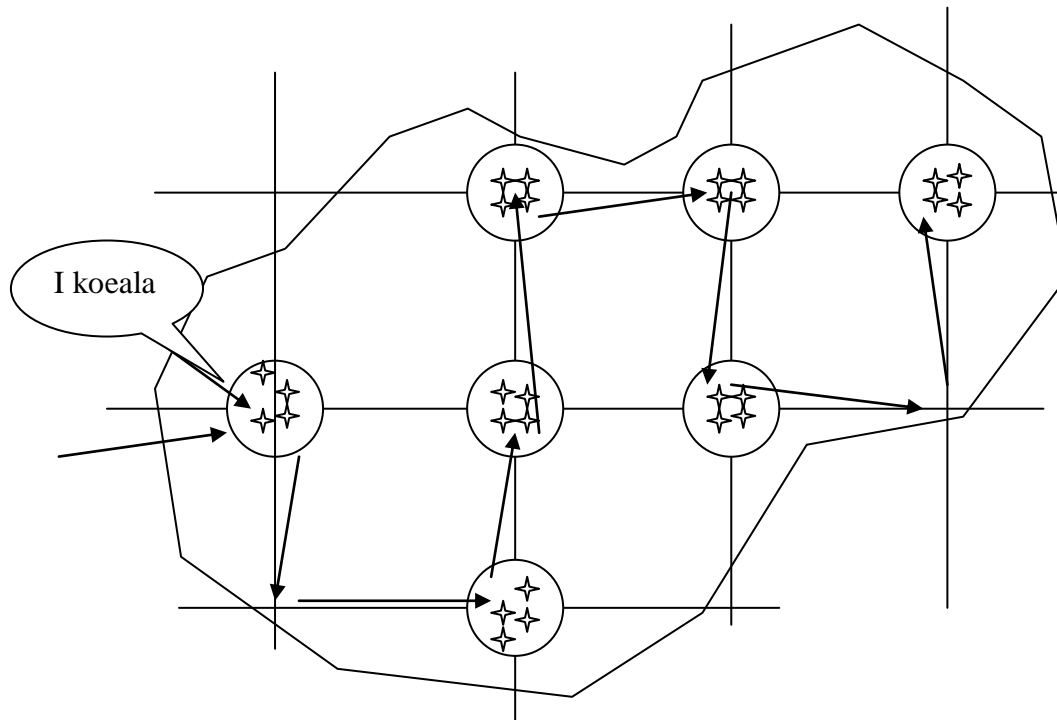
z = kuviolta mitattavien koealojen lukumäärä.

Koealoja mitattiin kuvioittain keskimäärin 7 kpl ja koealamäärä vaihteli välillä 5–10 muun muassa kohteen mittaustyömäärän mukaan. Kuhunkin mittauskohteeseen käytettiin yleensä yksi mittauspäivä. Ympyräkoetalan koko oli 50 m^2 (säde 3,99 m), ja 4 koetalan keskipistettä lähintä kuusta valittiin koepuiksi (kuva 4). Ympyräkoetalalta mitattiin seuraavat tunnuksat: runkoluku, keskipituus ja -läpimitta, kuusen valtapituus sekä kitkentäkoneen aiheuttamat kasvatettavan puuston vauriot. Koepuista mitattiin pituus ja läpimitta. Kuusen keskipituus ja -läpimitta laskettiin koetalan koepuiden keskiarvona. Valtapituus määritettiin 5,64 metrin säteeltä (koetalan koko 100 m^2), mutta muut tunnuksat mitattiin puulajeittain 50 m^2 :n ympyräkoetalta. Mittauksissa käytettiin yhden senttimetrin tarkkuutta.

Mitattavat puulajit olivat kuusi, rauduskoivu, hieskoivu sekä muut lehtipuut. Muihin lehtipuihin laskettiin haapa ja lepät, mutta esimerkiksi pihlajaa ja pajuja ei mitattu niiden vähäisen merkityksen vuoksi. Myöskään mäntyjä ei mitattu, sillä niitä ei ensimmäisillä kohteilla ollut ollenkaan eikä niille ollut huomioitu mittauslomakkeessa merkintämahdollisuutta. Muutamalla kuviolla olleen muutaman yksittäisen männyn vaikutusta tutkimuksen tuloksiin voidaan pitää merkitykseltään vähäisenä. Kitkentäkoneen aiheuttama kasvatettavan kuusen vaurio luokiteltiin vakavaksi, mikäli kuusi oli vaurioitunut niin pahasti, ettei se selviäisi ensiharvennukseen edes kuitupuuna, ja lieväksi, mikäli kuusi kasvaisi ensiharvennukseen kuitenkin kuitupuuna.

Koepuiden ympärillä olevat puut mitattiin 200 cm:n etäisyydelle asti. Mitattavat tunnuksat olivat puulaji, pituus ja etäisyys koepuuhun. Yhtä koepuuta kohden mitattiin enintään 10 kilpailevaa puuta, ja mikäli 200 cm:n säteellä puita oli enemmän, niistä jätettiin mittaamatta ne, jotka mittaushetkellä arvioitiin vähiten merkityksellisiksi kilpailijoiksi. Mikäli useita saman

lajin lehtipuita oli alle 20 cm:n etäisyydellä toisistaan, niistä valittiin mitattavaksi vain pisin, koska voidaan olettaa sitä lyhyempien hyvin lähellä kasvavien saman lajin lehtipuiden vaikutuksen kuusen perkaustarpeeseen olevan mitättömän pieni. Alle kolmasosan kuusen pituudesta olevat lehtipuut jätettiin mittaamatta. Jokaiselta koepuukuuselta mitattiin lisäksi maanmuokkauksesta johtuva maanpinnan korkeusero senttimetreinä verrattuna 1–3 pahimpaan kilpailevaan lehtipuuhun, ja tätä korkeuseroa päätettiin kutsua mätäseduksi.



Kuva 4. Koelaverkon periaate. Tähdet kuvaavat neljää koelalan keskipistettä lähintä kuusta, jotka valittiin koepuiksi. Kuvan mittasuhteet ovat mielivaltaiset.

Lisäksi määritettiin, että mikäli koelalan sijaintiin osui kohde, joka yhtiön ohjeiden mukaan tulee jättää käsittelemättä, koelalaa siirretään siihen suuntaan, johon siirtämällä säästetty kohde saadaan lyhyimmällä siirtämismatkalla rajattua kokonaan koelalan ulkopuolelle. Siirrolla ei ollut vaikutusta muiden koelalojen sijaintiin.

2.3 Aineiston käsittelymenetelmät ja kasvun ennustaminen

Aineistosta laskettiin metsikköä kuvaavat perustunnusluvut. Kitkennässä syntyneiden puustovaurioiden määrän riippuvuutta muista tunnuksista tarkasteltiin lineaarisella regressioanalyysillä. Puiden kasvu mallinnettiin Kailan ja muiden (2006) julkaisemien kasvumallien avulla kahteen eri tarkasteluvaiheeseen. Ensimmäisessä tarkasteluvaiheessa mallinnusjakso oli mit-

taushetkestä sen kasvukauden loppuun, jonka aikana mahdollinen taimikonhoito tehtäisiin. Taimikonhoidon ajoitukseksi määritettiin ensimmäinen kasvukausi, jonka alkaessa kuusen valtapituus kuviolla oli yli 3 metriä. Jälkimmäinen tarkasteluvaihe oli kuusen 20 vuoden ikä, koska se oli käytetyssä kuusen pituuskasvumallissa mallinnuksen takaraja. Kuviokohtaisten metsikkötunnusten ja taimikonhoitokustannusten laskennat sekä kasvun mallintaminen tässä esitetyillä kasvumalleilla tehtiin MS Excel -taulukkolaskentaohjelmaa käyttäen. Kuusen valtapituuskehitys laskettiin käyttämällä kuusen valtapituuden mallia (Valkonen 1997):

$$H_{dom2} = H_{dom1} \left(\frac{1 - e^{-0.04478T_2}}{1 - e^{-0.04478T_1}} \right)^{(1-0,6565)^{-1}}, \quad (2)$$

jossa

H_{dom1} = valtapituus kasvukauden alussa,

H_{dom2} = valtapituus kasvukauden lopussa,

T_1 = taimen ikä kasvukauden alussa,

T_2 = taimen ikä kasvukauden lopussa.

Valtapituusmalli kalibroitiin nykyviljelytekniikkaa paremmin vastaavaksi käyttämällä Kailan ja muiden (2006) laatimaa mallin korjausta. Kasvun simulointia tehdessä havaittiin kyseisessä kaavassa virhe, joka korjattiin (Valkonen 2009, liitteenä). Julkaisussa Kaila ja muut (2006) kaavasta puuttui termi -1. Kaava korjatussa muodossa on seuraavanlainen:

$$IH_{dom(adj)} = IH_{dom(unadj)} * ((e^{0.80304+0.01687T_1}) - 1), \quad (3)$$

jossa

$IH_{dom(adj)}$ = korjattu valtapituuden kasvu aikavälillä T_1 ja T_2 ,

$IH_{dom(unadj)}$ = ei-korjattu valtapituuden kasvu aikavälillä T_1 ja T_2 , mallilla (2),

T_1 = taimen ikä kasvukauden lopussa.

Koepuukuusten pituuskehityksessä huomioitiin 2 metrin säteellä koepuukuusten ympärillä olevien puiden aiheuttama kilpailu käyttämällä seuraavaa Elliotin ja Vosen (1995) kilpailuindeksikaavaa:

$$CI_i = \Sigma(h_j / (h_i S_{ij})), \quad (4)$$

jossa

CI_i = kohdepuun i kilpailuindeksi,

h_i = kohdepuun pituus (m),

h_j = kilpailevan puun pituus (m),

S_{ij} = puiden i ja j välinen etäisyys (m).

Kilpailuindeksikaavassa (4) kuvataan kuusen ympärillä olevaa kilpailutilannetta laskemalla yhteen 2 metrin säteellä koepuukuusista olevien puiden ja koepuukuusen suhteelliset pituudet etäisyydellä käänteisesti painottaen. Koepuukuusten pituuskehitys laskettiin käyttämällä kuusen pituuskasvumallia (Kaila ym. 2006), johon on sisällytetty osatekijöinä kilpailuindeksikaava (4) sekä kuusen pituus suhteessa sen potentiaaliseen pituuteen kasvupaikalla. Kuusen potentiaalinen pituus kasvupaikalla laskettiin kuvion valtapituuspuista valtapituusmallin (3) avulla. Kuusen pituuskasvumalli oli seuraavanlainen:

$$i_h = IH_{dom} * (h / H_{dom})^{(-0.1639H_{dom} + 1.037)(h / H_{dom})^{-0.2157}} * (CI + 1)^{-0.0474} + \varepsilon, \quad (5)$$

Lehtipuiden pituuskehityksen mallintamisessa käytettiin seuraavaa lineaarista sekamallia (Kaila ym. 2006):

$$\ln(i_{hijk}) = -2.3871 - 0.1482h_{ijk} + 0.4639 \ln(h_{ijk}) + 0.6406 \ln(H_{25modk}) + \beta_k + \beta_{jk} + \varepsilon_{ijk}, \quad (6)$$

joissa

h = puun pituus (m),

i_h = puun vuotuinen kasvu (m),

CI = naapuripuiden kilpailu, lasketaan kaavalla (4),

H_{dom} = valtapituus (m),

H_{25mod} = kasvupaikkaindeksi, lasketaan valtapituusmallilla kuusen valtapituus 25 vuoden iässä (m),

I_{Hdom} = valtapituuden vuotuinen kasvu (m),

i, j, k = i viittaa vuoteen, j puuhun ja k kuviotason vaikutukseen sekamalleissa,

β = puu- ja kuviotason satunnaisvaikutus,

ε = satunnaisvirhe.

2.4 Perkaustarpeen ennustaminen

2.4.1 Perkaustarpeen määrittely yksittäiselle kuuselle

Perkaustarvetta arvioitiin yksittäisen puun tasolla käyttäen kahta erillistä kriteeriä, joista jommankumman täytyminen riitti aiheuttamaan kuuselle perkaustarpeen:

- 1) 200 cm:n säteellä kasvavien lehtipuiden varjostus hidasti kuusen pituuskasvua liikaa tai
- 2) lähellä kasvava lehtipuu aiheutti kuuselle mekaanisen vaurion.

Koska käytetty kuusen pituuskasvumalli huomioi ympäröivien lehtipuiden aiheuttaman varjostusvaikutuksen, pystyttiin perkaustarve määrittämään niille kuusille, joiden pituuskasvua ympärille jääneet lehtipuut hidastivat liikaa. Koska varjostus alentaa myös kuusen läpimitan kasvua, aiheutuu varjostuksesta itse asiassa huomattavasti pituuskasvutappiota suurempi tilavuuskasvutappio. Kuusen selviäminen lehtipuiden keskellä ilman myöhempää taimikonhoitoa riippuu kuitenkin ensisijaisesti pituuskasvun kilpailukyvyistä, joten tilavuuskasvutappioita ei tässä ole huomioitu. Kasvun taantuma laskettiin simuloimalla kuusten kasvu lehtipuiden kanssa sekä ilman niitä ja laskemalla kasvun taantuma näiden erotuksena. MS Excelissä tehtiin siis kustakin kuvioista välilehtikopio, josta manuaalisesti poistettiin kaikki lehtipuut ja mallinnettiin kuusten kasvu ilman niitä. Tällöin yksittäisen kuusen kilpailutilannetta kuvaava komponentti (kaava 4) kuusen pituuskasvun kaavassa (kaava 5) pienenee ja puun pituuskasvu kasvaa. Näin verrattiin perkaustarpeen muodostumista yksittäisille puille, kun kuusille sallitaan lehtipuiden aiheuttamana 8 %:n, 10 %:n tai 12 %:n pituuskasvutappio. Kuusia, joille muodostui pituuskasvutappion raja-arvoa suurempi kasvutappio, kutsuttiin alakynteen jääneiksi kuusiksi.

Koepuukuusten lähellä kasvavien lehtipuiden aiheuttamille runkovaurioille laadittiin malli, joka luokittelee sellaiset kuuset vaurioituneeksi, jotka joutuvat vieressä kasvavan lehtipuun piiskaamaksi. Vaikka lähellä kasvava lehtipuu ei välttämättä aiheuttaisikaan kuuselle niin pahaa mekaanista vauriota, että kuusi sen takia ei enää pystyisi kasvamaan hyvälaatuisiksi tukkipuiksi, voi lähellä kasvavan lehtipuun korjaaminen ensiharvennuksessa kasvattaa kuuselle syntyvän runkovaurion riskiä. Tämän vuoksi kitkemättä jääneet, kriittisen pituiset lähellä kasvavat lehtipuut haluttiin huomioda erityisen tarkasti. Lähellä kasvavien lehtipuiden vaurioittamia kuusia päätettiin kutsua yleisesti lehtipuiden piiskaamiksi kuusiksi.

Runkovaurion syntymisen malli haluttiin laatia aiempia tutkimustuloksia hyväksikäyttäen, mutta koska riittävän hyvin tähän soveltuvia tutkimustuloksia aiheesta ei löytynyt, täytyi malli laatia pääasiassa omaan arviointikykyyn pohjautuvasti. Laaditussa mallissa on mahdollista käyttää kahta muutettavissa olevaa ehtoa, joista toisen täytyminen riitti aiheuttamaan runkovaurion. Mallin avulla havaitaan, mikäli jommallakummalla kahdesta eri tarkasteltavasta säteestä koepuukuusen läheisyydessä esiintyy kriittisen pituisia lehtipuita. Mallin laadinnassa oletettiin, että liian lähellä kasvavan lehtipuun ei tarvitse olla aivan kuusen mittainen aiheuttaakseen kuuselle melko todennäköisesti mekaanisesta piiskaamisesta johtuvan tai puunkorjuun yhteydessä syntyvän runkovaurion, kun taas riittävän kaukana kasvava lehtipuu ei aiheuta vauriota, vaikka olisi kuusta pidempi. Tukea oletukselle otettiin mm. Laaksosen (2008)

tutkimuksesta, jossa analysoitiin perkaamattomien kuusentaimikoiden istutustulosta kolmen ja seitsemän vuoden iässä. Vaikka Laaksosen tutkimus keskittyikin tämän tutkimuksen kannalta liian nuoriin taimikoihin, omaksuttiin Laaksosen tutkimustuloksista mekaanisten vaurioiden syntymisen kannalta kriittinen 40 cm:n raja-arvo: taimen kasvua ja laatua alentavat vauriot lisääntyivät merkittävästi, jos kilpailevat lehtipuut olivat alle 40 cm:n etäisyydellä kuusen taimesta (Laaksonen 2008). Lisäksi tämän tutkimuksen maastomittausten yhteydessä asiaa pohdittaessa muodostui itselle käsitys, jonka mukaan noin yhden vuoden pituuskasvun etumatka kuusella on riittävä rajoittamaan lähellä kasvavien lehtipuiden aiheuttaman piiskaamisen kohdistuvaksi pääasiassa vain kuusen oksiin, kun kuusen kasvaessa sen oksakiehkurat ”työntävät” lähellä kasvavia lehtipuita kauemmaksi.

Koska runkovauriomallissa käytettyjen parametrien valintaan sisältyi epävarmuutta, mallin raja-arvoja 40 cm ja 60 cm sekä kilpailevan puun kriittisen pituuden raja-arvoa ei voida pitää ehdottomina. Tämän vuoksi mallissa käytettävien parametrien vaikutusta mallin tuottamaan vaurioituneiden runkojen määrään tarkasteltiin raja-arvoja muuttelemalla. Varsinaiset lopulliset tulokset kitkettujen työmaiden onnistumisesta on laskettu käyttäen eniten runkovaurioita tuottavaa runkovauriomallia 1 (8), mutta luvuissa 3.5.2. ja 3.5.3. on analysoitu runkovauriomallissa käytettyjen parametrien vaikutusta runkovaurioiden määrään käyttämällä myös kahta hieman muutetuilla kriteereillä olevaa mallia (9 ja 10), joilla vaurioituneeksi luokiteltuja kuusia tulee vähemmän. Käyttämämme runkovauriomallit olivat siis seuraavanlaiset:

$$\begin{aligned} \text{Runkovauriomalli 1)} \quad & (S_j < 0,4m \wedge H_j > (H_i - 0,5m + H_m)) \vee \\ & (S_j < 0,6m \wedge H_j > (H_i + H_m)) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{Runkovauriomalli 2)} \quad & (S_j < 0,4m \wedge H_j > (H_i + H_m)) \vee \\ & (S_j < 0,6m \wedge H_j > (H_i + 0,5m + H_m)) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{Runkovauriomalli 3)} \quad & (S_j < 0,3m \wedge H_j > (H_i + H_m)) \vee \\ & (S_j < 0,5m \wedge H_j > (H_i + 0,5m + H_m)) \end{aligned} \quad (10)$$

joissa

S_j = Kilpailevan lehtipuun etäisyys kohdepuuhun,

H_j = Kilpailevan lehtipuun pituus,

H_i = Kohdepuun pituus,

H_m = Kohdepuun mätäsetu.

Tällöin siis esimerkiksi runkovauriomallin 1 mukaan runkovaurio syntyi kuusille, joilla täytyi toinen seuraavista kriteereistä: 1) kuusen läheisyydessä korkeintaan 0,4 metrin säteellä kasvaa lehtipuu, joka on pituudeltaan puoli metriä vaille kuusen pituuden tai pidempi, tai 2) kuusen läheisyydessä korkeintaan 0,6 metrin säteellä kasvaa lehtipuu, joka on vähintään samanpituinen kuin koepuukuusi. Runkovauriomallissa 2 vastaavasti 0,4 metrin säteellä olevan lehtipuun täytyy olla vähintään kuusen pituinen tai 0,6 metrin säteellä olevan puun vähintään 0,5 metriä kuusta pidempi. Runkovauriomallissa 3 on edellisen mallin molempia tarkastelusäteitä alennettu 0,1 metriä.

Kuusen maanmuokkauksesta johtuva kasvukohdan korkeusero huomioitiin aineiston analyysissä kahdessa vaiheessa:

- 1) Kuusen pituuskasvua mallinnettaessa mätäsetu lisättiin kuusen pituuteen kilpailuindeksikaavassa (kaava 4).
- 2) Mätäsetu lisättiin kuusen pituuteen lähellä kasvavan lehtipuun aiheuttaman runkovaurion mallissa (kaava 8).

Päädyin tässä työssä siihen, että mätäsetu voidaan ja se kannattaa huomioida mallinnettaessa varjostustilannetta sekä lähellä kasvavien lehtipuiden aiheuttamia runkovaurioita, vaikka se ei alun perin Kailan ym. (2006) tutkimuksessa ollut mukana. Mätäsedun käyttämisestä perusteltiin sillä, että alkuperäinen kasvumalli ei perustunut mättääseen istutettuihin kuusiin, joten malli olettaa kuusten kasvukohdan olevan keskimäärin suurin piirtein samalla tasolla lehtipuiden kanssa. Kun mättäässä kasvavan kuusen korkeusetu lisätään kuusen pituuteen, varjostustilanne saadaan kilpailuindeksin laskennassa kuvattua realistisemmin, sillä todellisuudessa laikkumättääseen istutetuilla taimilla nimenomaan on pieni etumatka kilpailijoihin nähden. Laskennassa kuitenkin mallinnettiin kuusten kasvu sekä mätäsedun kanssa että ilman, ja analysoitiin mätäsedun käyttämisen vaikutusta mallinnettuun kuusen pituuskasvuun.

2.4.2 Perkaustarpeen määrittely kuviokohtaisesti

Lähtöoletus perkaustarpeen kuviokohtaisessa määrittelyssä oli se, että kuuset, jotka luokiteltiin ryhmiin alakynteen jääneet, lehtipuiden piiskaamaksi joutuneet tai kitkentäkoneen yliajossa vaurioituneet, eivät olleet kehityskelpoisia kasvatettavaksi laadukkaaksi tukkipuiksi. Kuusia, jotka kasvoivat ilman vaurioita ja ilman liian suurta pituuskasvutappiota, kutsuttiin tukkipuuaihoiksi. Luokittelussa käytettävät kriteerit pyrittiin valitsemaan mahdollisimman hyvin todellisuutta vastaavaksi niin, että tukkipuuaihoiksi luokitellut kuuset olisivat riittävän hyvä-

laatuisia jätettäväksi kasvamaan ensiharvennuksessa. Tällöin toista harvennusta ja päätehakkuuta kohti kasvava metsikkö koostuisi mahdollisimman hyvälaatuisista tukkipuista ja tuotaisi mahdollisimman suuren taloudellisen hyödyn.

Kohde luokiteltiin onnistuneeksi kitkentätyömaaksi, mikäli tukkipuuaihioiden määrävaatimus täyttyi. Tällainen kohde kasvatettaisiin ensiharvennuksen ilman muita hoitotoimenpiteitä. Mikäli kuviolla ei täyttynyt vaadittu tukkipuuaihiomäärä, luokiteltiin kohde epäonnistuneeksi kitkentätyömaaksi. Luokittelu pyrittiin tekemään niin, että epäonnistuneisiin kitkentätyömaihin saataisiin luokiteltua kohteet, joissa täytyy tehdä kitkennän jälkeen jonkinlainen taimikon tai nuoren metsän hoitotoimenpide ennen ensiharvennusta. Tukkipuuaihioiden määrän vaatimuksena tarkasteltiin ensisijaisesti raja-arvoa $1\ 000\ \text{kpl ha}^{-1}$, sillä se oli toimeksiantajan UPM Metsä Oy:n asettama tavoite. Perusteluna kyseisen arvon riittävyydelle oli tukkipuuaihioksi luokiteltujen kuusten erinomainen laatu melko vapaasti kilpailulta kasvaneina, sekä mahdollisuus valita harvennuksessa kasvatettavaksi myös jonkin verran siemensyntyisiä rauduskoivuja. Lisäksi luokiteltiin kuviolle tukkipuuaihioiden määrävaatimuksenkin täytyessä aina perkaustarve, mikäli kohteen kuusista yli kolmasosa oli perkaustarpeessa. Lisäksi herkkyysanalyysissä tarkasteltiin kuinka perkaustarpeen saaneiden kuvioiden määrä muuttui, kun tukkipuuaihiomäärän vaatimusta muutettiin.

Tarkastelussa luokiteltiin lisäksi erilleen kuuset, jotka kasvoivat muutenkin huonosti. Tähän ryhmään luokiteltiin kuuluvaksi kuuset, jotka eivät olisi edes lehtipuiden kilpailun puuttuessa saavuttaneet kumpaakaan seuraavista pituuksista: 1) puolet kuusen valtapituudesta kyseisellä kuviolla tai 2) kaksikolmasosaa kuusen keskipituudesta kyseisellä kuviolla. Nämä haluttiin eritellä aineistosta, jotta taimikonhoitoa ei luokiteltaisi tehtävän sellaisten alakynteen jääneiden kuusten takia, jotka olivat muutenkin niin huonokasvuisia, ettei niitä voisi ensiharvennuksessa suosia. Tällaisia kuusia havaittiin jo mittausvaiheessa etenkin tietyillä Pohjois-Karjalan alueella olleilla kuvioilla. Huonokasvuisuuden syyksi arvioitiin eri tapauksissa useimmiten joko hallan aiheuttamat vauriot, rouste, heikko taimen tiivistys tai istutussyvyys, heikko maanmuokkaus tai metsämaan ravinteiden epätasapaino.

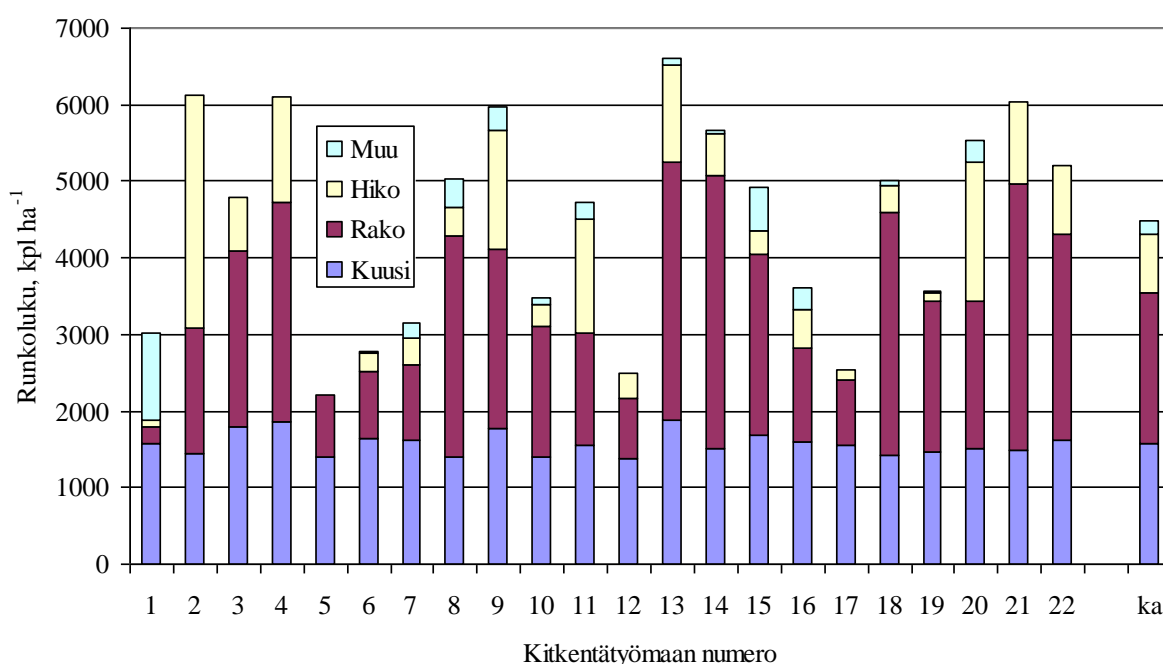
Onnistuneiksi sekä epäonnistuneiksi luokitelluille kitkentätyömaille laadittiin suuntaa antava laskelma taimikonhoidon kokonaiskustannuksista. Onnistuneilla työmailla tähän sisältyi pelkästään kitkentä, mutta epäonnistuneilla kohteilla kitkennän lisäksi taimikonhoito, joka laskelmassa tehtäisiin 12 vuoden iässä. Kitkentämenetelmälle laskettiin taimikonhoidon keskimääräinen kokonaiskustannus pelkällä kitkentäkäsittelyllä selviävien ja myöhemmän taimi-

konhoidon vaativien kohteiden kustannusten suhteellisenä keskiarvona. Kitkentämenetelmän keskimääräistä kokonaiskustannusta verrattiin normaalin raivaussahatyön kokonaiskustannukseen, johon sisällytettiin varhaisperkaus ja taimikonhoito. Taimikonhoitokustannusten suuntaa antavassa vertailussa käytettiin seuraavia UPM Kymmene Oy:n keskimääräisiä kustannuksia vuodelta 2008: varhaisperkaus 270 € ha⁻¹, taimikonhoito 350 € ha⁻¹ ja kitkentä 430 € ha⁻¹. Tässä yhteydessä taimikonhoidon oletettiin kitkentämenetelmässä maksavan normaalin taimikonhoidon verran, vaikka voidaan olettaa kitkettyjen kuvioiden taimikonhoidon olevan vähäisemmän työmäärän vuoksi normaalia taimikonhoitoa jonkin verran edullisempi toimenpide, koska juurineen poistetut lehtipuut eivät tee vesoja. Kustannuksille laskettiin nykyarvot kitkentävuonna eli taimikoiden ollessa viiden vuoden ikäisiä. Korkokantana käytettiin 0 %, 3 % ja 5 %.

3 TULOKSET

3.1 Taimikon tila mittaushetkellä

Kuusen runkoluku taimikoissa ennen kitkettä vaihteli välillä 1 400–1 960 kpl ha⁻¹ ($\bar{x} = 1626$, $\sigma = 160$), joten suuri osa taimikoista oli melko harvoja. Vain neljä kohdetta 22:sta (18 %) täytti kuusentaimikon kasvatuksen tiheyssuosituksen 1 800 kpl ha⁻¹, ja kohteista tasan puolet oli ennen käsittelyä alle 1 600 kpl ha⁻¹. Käsittelyn jälkeisestä runkoluvusta poistettiin kitkennässä kuolleet kuusen taimet, jolloin kuusen runkoluku (kuva 6) eri kuvioilla vaihteli välillä 1 371–1 880 kpl ha⁻¹ ($\bar{x} = 1 572$, $\sigma = 153$). Lehtipuiden määrän vaihtelu taimikoiden välillä oli voimakasta. Rauduskoivuja esiintyi kohteilla 220–3 572 kpl ha⁻¹ ($\bar{x} = 1 976$, $\sigma = 999$), hieskoivuja 0–3 040 kpl ha⁻¹ ($\bar{x} = 763$, $\sigma = 744$) ja muita lehtipuita 0–1 140 kpl ha⁻¹ ($\bar{x} = 167$, $\sigma = 267$). Taimikoiden mittaushetken kokonaistiheys vaihteli välillä 2 280–6 680 kpl ha⁻¹ ($\bar{x} = 4 532$, $\sigma = 1 390$). Lisäksi muutamalla kohteella oli jonkin verran mäntyjä, joita ei tässä tutkimuksessa mitattu.



Kuva 6. Taimikoiden kitkennän jälkeinen runkoluku puulajeittain, sekä niiden keskiarvo. Lyhenteet: Rako = rauduskoivu, Hiko = hieskoivu ja Muu = muu lehtipuu.

Kuusten mittaushetken keskipituus vaihteli kohteittain välillä 88–220 cm ($\bar{x} = 150$, $\sigma = 32$). Jätetty lehtipuusto oli valtaosalla kohteista keskimäärin kuusta lyhyempää. Rauduskoivun keskipituus vaihteli välillä 70–198 cm ($\bar{x} = 124$, $\sigma = 32$). Rauduskoivun keskipituus oli kol-

mella kohteella kuusen keskipituutta suurempi. Näillä kohteilla rauduskoivuja oli muutenkin keskimääräistä enemmän: 2 343, 2 886 ja 3 171 kpl ha⁻¹. Hieskoivun keskipituus taimikoissa vaihteli välillä 49–143 cm ($\bar{x} = 105$, $\sigma = 23$). Hieskoivun keskipituus oli yhdellä kuviolla kuusen keskipituutta suurempi, mutta kyseisellä kuviolla hieskoivuja esiintyi vain 80 kpl ha⁻¹. Muiden lehtipuiden keskipituus vaihteli välillä 80–222 cm ($\bar{x} = 121$, $\sigma = 38$).

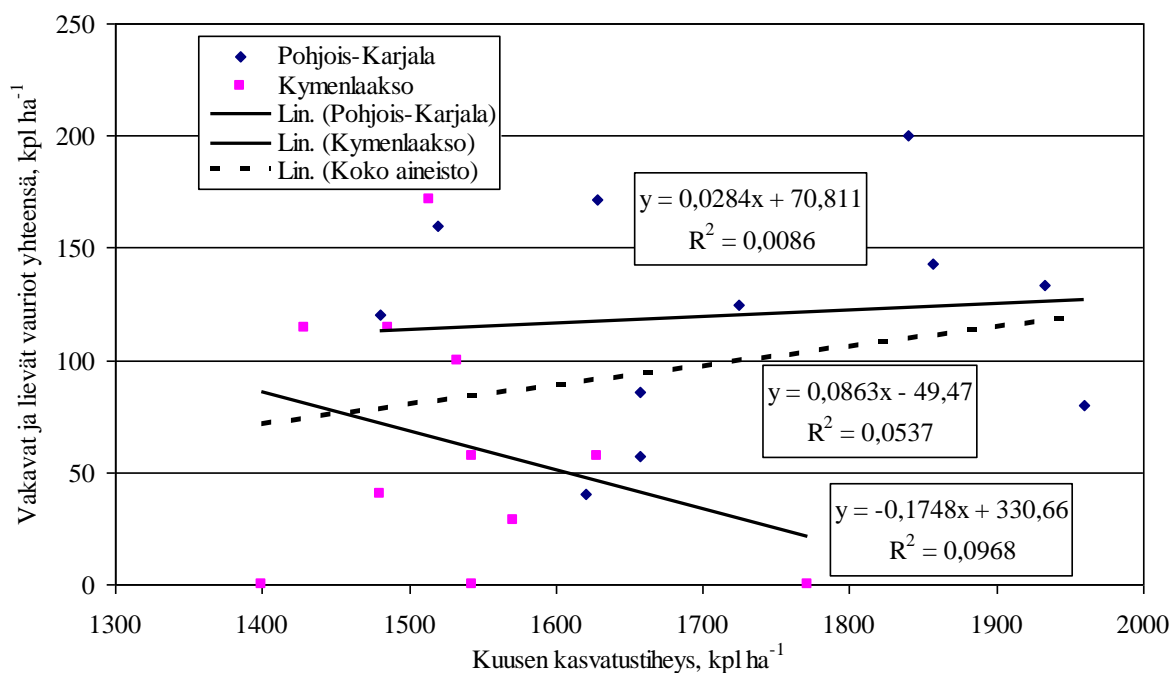
Kun tarkastellaan Pohjois-Karjalan ja Kymenlaakson kohteita erikseen, havaitaan, että Pohjois-Karjalan kohteilla kuusen kasvatustiheys ennen kitkentää oli keskimäärin 1 716 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 161$) ja Kymenlaaksossa 1 536 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 101$). Kuusen keskipituus oli Pohjois-Karjalassa keskimäärin 135 cm ($\sigma = 30$) ja Kymenlaaksossa 166 cm ($\sigma = 28$). Käsittelyn jälkeinen runkoluku oli Pohjois-Karjalassa keskimäärin 1 640 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 160$) ja Kymenlaaksossa 1 504 ($\sigma = 117$). Rauduskoivuja esiintyi Pohjois-Karjalan kohteilla keskimäärin 1 834 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 1 124$) ja Kymenlaaksossa 2 119 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 888$), hieskoivuja 763 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 875$) ja 762 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 630$), ja muita lehtipuita 211 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 354$) ja 123 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 143$). Taimikoiden mittaushetken kokonaistiheys oli Pohjois-Karjalassa keskimäärin 4 525 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 1 571$) ja Kymenlaaksossa 4 539 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 1 261$).

3.2 Kitkennässä vaurioituneet kuusentaimet

Kitkentäyön aiheuttamia kasvatettavan puulajin vaurioita havaittiin kohteita 8, 9 ja 11 lukuun ottamatta kaikilla työmailla. Vauriottomat kohteet sijoituivat UPM Metsä Oy:n Halla-Sippolan tilalle Kymenlaaksossa. Kuusen tiheys vauriottomissa kohteissa oli 1 400, 1 771 ja 1 543 kpl ha⁻¹, eli kahden kohteen tiheys oli melko alhainen, mutta yhden kohteen tiheys ylitti aineiston keskiarvon. Kuusen mittaushetken keskipituus 172, 153 ja 191 cm oli kaikissa yli kaikkien kohteiden keskiarvon 150 cm.

Vakavia vaurioita oli taimikoissa 0–8,7 % ($\bar{x} = 3,3$ %, $\sigma = 2,5$ %), joka on runkolukuna 0–160 kpl ha⁻¹ ($\bar{x} = 54$, $\sigma = 43$). Lieviä vaurioita kohteissa oli 0–5,3 % ($\bar{x} = 2,3$ %, $\sigma = 1,8$ %), eli runkolukuna 0–86 kpl ha⁻¹ ($\bar{x} = 37$, $\sigma = 29$). Vaurioita oli jostain syystä Pohjois-Karjalan kohteilla selvästi enemmän kuin Kymenlaaksossa. Pohjois-Karjalan kohteilla vakavia vaurioita oli keskimäärin 4,5 % runkoluvusta ($\sigma = 2,0$ %) eli 76 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 36$), mutta Kymenlaakson kohteilla vakavia vaurioita oli vain 2,1 % runkoluvusta ($\sigma = 2,5$ %) eli 32 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 38$). Lieviä vaurioita oli Pohjois-Karjalassa keskimäärin 2,6 % ($\sigma = 1,8$ %) eli 43 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 31$), ja Kymenlaaksossa 2,0 % ($\sigma = 1,7$ %) eli 30 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 26$).

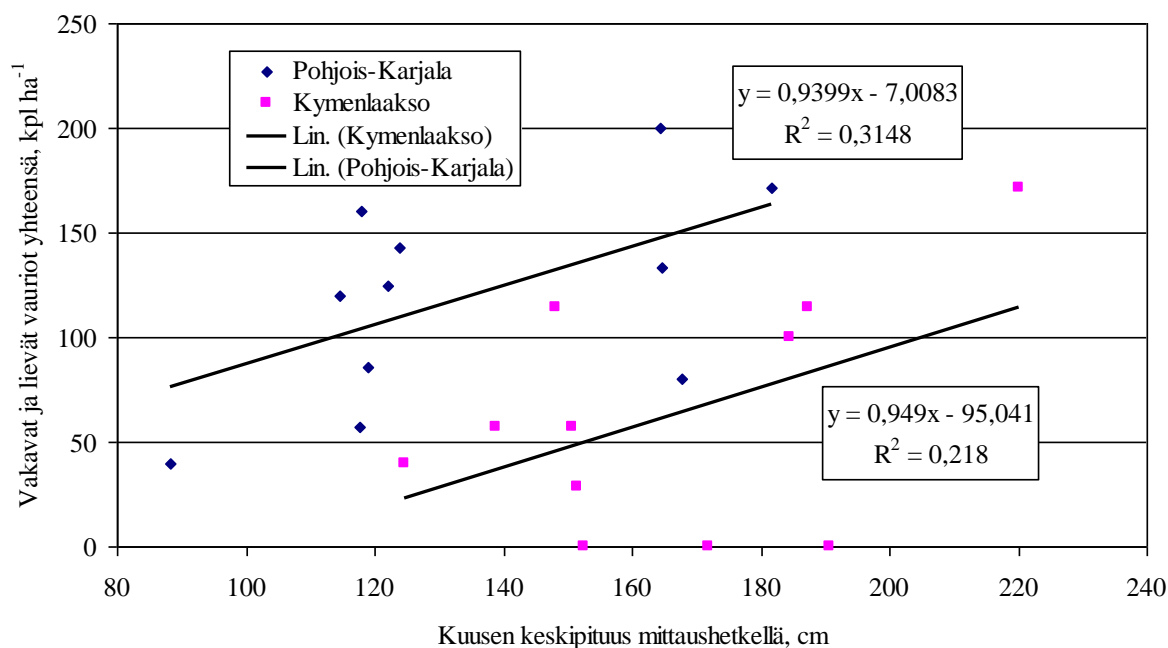
Kitkennässä syntyneiden puustovaurioiden määrän riippuvuutta muista tunnuksista tarkasteltiin lineaarisella regressioanalyysillä, mutta minkään yksittäisen tekijän ei todettu vaikuttaneen vahvasti vaurioiden määrään. Esimerkiksi kuusen kasvatustiheyden voitiin ennalta olettaa olevan yhteydessä vaurioiden määrään, mutta riippuvuutta ei kuitenkaan havaittu (kuva 7). Kohteita, joissa kasvatustiheys oli jo ennen kitkentää vain 1 428–1 533 kpl ha⁻¹ ja kitkennässä vaurioitui näistä vielä 100–171 kpl ha⁻¹, oli tässä tutkimuksessa jopa 5 kohdetta 22:sta eli 23 %.



Kuva 7. Kitkennässä vaurioituneiden kuusten määrän riippuvuus kuusen kasvatustiheydestä. Ylempi sarja ($r^2 = 0,9$ %) kuvaa Pohjois-Karjalan ja alempi ($r^2 = 9,7$ %) Kymenlaakson kohteita. Katkoviivalla esitetty kuvaa koko aineiston lineaarista regressiota ($r^2 = 5,4$ %).

Kuitenkin yksittäisistä tunnuksista todettiin vaurioiden määrää parhaiten selittäväksi nimenomaan kuusen keskipituus (kuva 8). Vaurioiden määrän todettiin kasvavan odotetunlaisesti kuusen keskipituuden kasvaessa, mutta vasta tarkastellessa Pohjois-Karjalan ja Kymenlaakson työmaita erikseen. Keskipituuden vaikutus oli lineaarisessa regressioanalyysissä molemmilla alueilla samansuuntainen. Selitysaste jäi kuitenkin molemmilla alueilla kohtalaisen pieneksi: Pohjois-Karjalan kohteilla se oli 31,5 % ja Kymenlaakson kohteilla 21,8 %, joten voidaan olettaa, että asiaan selvästi vaikuttaa jotkin muutkin tekijät ja satunnaisuus. On kuitenkin huomioitava, että aineiston keräämistä ja koealajärjestelyä suunniteltaessa kasvatettavan puulajin vaurioiden kuviotason tarkkuus oli toissijainen; tässä tutkimuksessa haluttiin keskittyä

pääasiassa taimikon pituuskehityksen ja kilpailutilanteen kuvaamisessa tarvittavien tunnusten mittaamiseen.



Kuva 8. Kitkentätyössä vaurioituneiden kuusten määrän lievä riippuvuus kuusen mittaushetken keskipituudesta. Ylempi sarja ($r^2 = 31,5 \%$) kuvaa Pohjois-Karjalan ja alempi ($r^2 = 21,8 \%$) Kymenlaakson kitkentätyömaita.

3.3 Kasvukohdan korkeuseron tuoma etu mättäessä kasvavalla kuusentaimella

Mättäessä kasvavan taimen kasvukohdan tuoma korkeusetu (mätäsetu) pahimpiin kilpailijoihin vaihteli kohteittain välillä 9–28 cm ($\bar{x} = 17$, $\sigma = 6$). Mätäsetu oli kohteesta riippuen 39–100 %:lla ($\bar{x} = 66 \%$, $\sigma = 19 \%$) kuusista. Joillakin kuusilla mätäsetua ei ollut, vaikka ne pääasiallisesti olivatkin mättääseen istutettuja. Tämä johtui siitä, että mätäsetu jätettiin merkittävää, mikäli yksikin pahimpiin kilpailijoihin kuuluva lehtipuu oli kasvukohdaltaan kuusta korkeammalla.

Mätäsedun lisäämisen vaikutusta mallin tuottamaan pituuskasvuennusteeseen voidaan pitää kuitenkin erittäin vähäisenä, sillä mätäsedun keskimääräinen vaikutus kuusten pituuskasvuun oli mallintamallamme aikajaksolla kuusen 20 vuoden ikään mennessä kohteesta riippuen välillä 0,3–1,8 cm ($\bar{x} = 0,8$, $\sigma = 0,4$). Eri kohteilla mätäsedun positiivinen vaikutus yksittäisten kuusten pituuskasvuun oli enintään 1,1–4,1 cm ($\bar{x} = 2,2$, $\sigma = 0,9$). Liitteenä olevan taulukon avulla asiaa voi tarkastella yksityiskohtaisemmin.

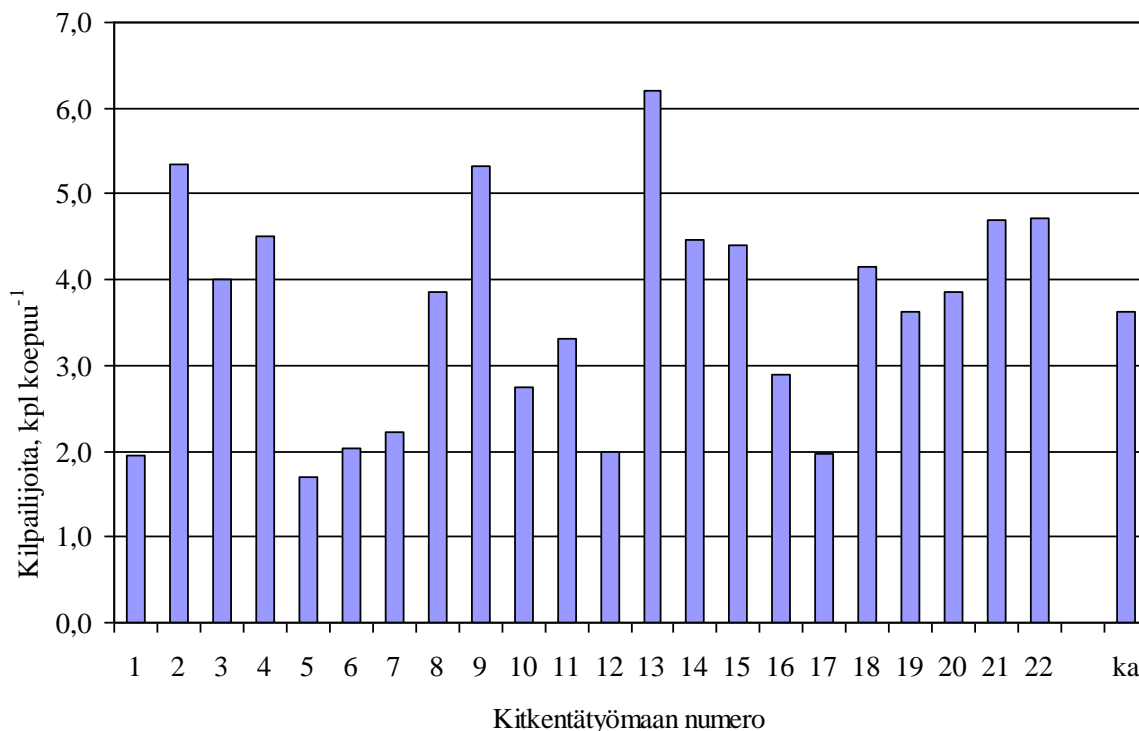
3.4 Taimikoiden simuloitu pituuskehitys

Ensimmäiseksi kasvunsimuloinnin tarkasteluajankohdaksi, eli taimikonhoidon suorittamisen ajankohdaksi määritettiin ensimmäinen kasvukausi, jonka alkaessa kuusen valtapituus on yli kolme metriä. Kuusten ikä oli tällöin välillä 11–15 vuotta ($\bar{x} = 12,1$, $\sigma = 0,9$). Ikänä käytettiin kuusten biologista ikää. Kuusen valtapituus eri kohteilla vaihteli välillä 3,4–4,0 m ($\bar{x} = 3,7$, $\sigma = 0,2$) ja keskipituus 1,7–3,6 m ($\bar{x} = 2,7$, $\sigma = 0,4$). Valtapituuden vuotuinen kasvu kyseisenä kasvukautena vaihteli kohteittain välillä 0,30–0,53 m ($\bar{x} = 0,46$, $\sigma = 0,05$). Kaikkien lehtipuiden keskipituus vaihteli välillä 1,4–5,4 m ($\bar{x} = 2,8$, $\sigma = 0,7$).

Taimikonhoitovaiheeseen päästiin Pohjois-Karjalan kohteilla keskimäärin 12,3 vuoden ($\sigma = 1,2$) iässä ja Kymenlaaksossa keskimäärin 11,9 vuoden ($\sigma = 0,3$) iässä. Kuusen valtapituus Pohjois-Karjalan kohteilla oli keskimäärin 3,6 m ($\sigma = 0,2$) ja vuotuinen kasvu 0,45 m ($\sigma = 0,07$). Kymenlaaksossa kuusen valtapituus oli keskimäärin 3,7 m ($\sigma = 0,1$) ja vuotuinen kasvu 0,48 m ($\sigma = 0,2$). Kaikkien lehtipuiden pituus oli Pohjois-Karjalassa keskimäärin 2,9 m ($\sigma = 0,9$) ja Kymenlaaksossa 2,6 m ($\sigma = 0,5$).

Toisessa tarkasteluvaiheessa eli 20 vuoden iässä kuusen valtapituus eri kohteilla vaihteli välillä 4,8–8,2 m ($\bar{x} = 7,2$, $\sigma = 0,8$) ja keskipituus 4,3–7,3 m ($\bar{x} = 5,9$, $\sigma = 0,7$). Valtapituuden vuotuinen kasvu kyseisenä kasvukautena vaihteli kohteittain välillä 0,26–0,45 m ($\bar{x} = 0,39$, $\sigma = 0,04$). Käyttämämme kuusen pituuskasvumallin mukaan kuusen vuotuinen pituuskasvu alkaa hidastua jonkin verran 12–13 vuoden iästä alkaen ja on 20 vuoden iässä laskenut huipputasostaan noin kahdeksan senttimetriä. Kaikkien lehtipuiden keskipituus vaihteli välillä 5,5–6,3 m ($\bar{x} = 5,8$, $\sigma = 0,25$).

Kuuset kasvoivat Pohjois-Karjalan kohteilla hieman hitaammin kuin Kymenlaaksossa. Pohjois-Karjalan aineistossa oli useissa tunnuksissa jonkin verran suurempi hajonta kuin Kymenlaaksossa. Valtapituus 20 vuoden iässä oli Pohjois-Karjalassa keskimäärin 6,9 m ($\sigma = 1,0$) ja Kymenlaaksossa 7,4 m ($\sigma = 0,4$). Valtapituuden vuotuinen kasvu Pohjois-Karjalassa oli kyseisenä kasvukautena keskimäärin 0,38 m ($\sigma = 0,06$) ja Kymenlaaksossa 0,41 m ($\sigma = 0,02$). Kuusen keskipituus oli Pohjois-Karjalassa keskimäärin 5,6 m ($\sigma = 0,8$) ja Kymenlaaksossa 6,1 m ($\sigma = 0,6$). Kaikkien lehtipuiden keskipituus kuvioilla oli Pohjois-Karjalassa keskimäärin 5,7 m ($\sigma = 0,2$) ja Kymenlaaksossa keskimäärin 5,9 m ($\sigma = 0,2$).



Kuva 9. Kilpailijoiden määrä koepuuta kohden mittausvaiheessa. Luku sisältää kilpailevat puut 200 cm säteellä, myös kilpailevat kuuset.

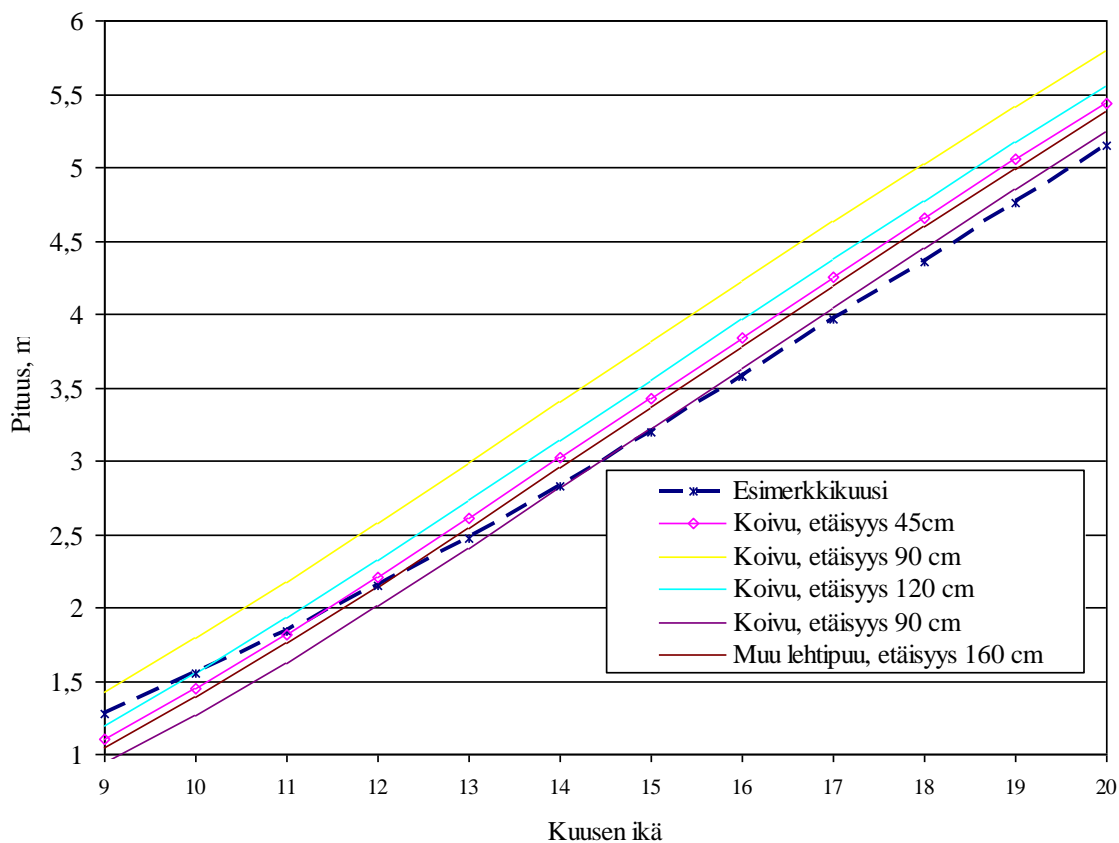
Kilpailijoiden lukumäärä koepuuta kohden (kuva 9) vaihteli kuvioittain voimakkaasti. Mittauskohteilla 1, 5, 6, 7, 12 ja 17 oli kilpailevina puina lähes ainoastaan kasvatettavia kuusia. On otettava huomioon, etteivät käytetyt mallit pystyneet huomioimaan lehtipuiden itseharvenemista mitenkään, vaan kilpailevien lehtipuiden kehitys tapahtui riippumatta niiden ympärillä olevien puiden määrästä ja koosta. Kilpailijoiden lukumäärässä alueiden välillä ei ollut havaittavissa suurta vaihtelua. Pohjois-Karjalassa kilpailijoita oli keskimäärin 3,3 kpl ($\sigma = 1,5$) ja Kymenlaaksossa 3,4 kpl ($\sigma = 1,3$).

3.5 Kitkentätyön onnistumisen ja taimikon perkaustarpeen arviointi

3.5.1 Alakynteen jääneet kuusentaimet

Perkaustarpeen muodostumisen tarkastelu aloitettiin analysoimalla kitketyille kuvioille jääneiden lehtipuiden aiheuttamaa kuusten pituuskasvun tappiota. Lähellä kasvavien lehtipuiden aiheuttamia vaurioita perkaustarpeen syntyyn ei siis vielä tässä vaiheessa huomioitu. Kuusten keskimääräinen pituuskasvutappio oli 20 ikävuoteen mennessä eri kohteilla välillä 10–47 cm ($\bar{x} = 26$, $\sigma = 9$). Kuuset olivat tällöin keskimäärin 5,9 metriä pitkiä. Kuvion suurin yksittäisen

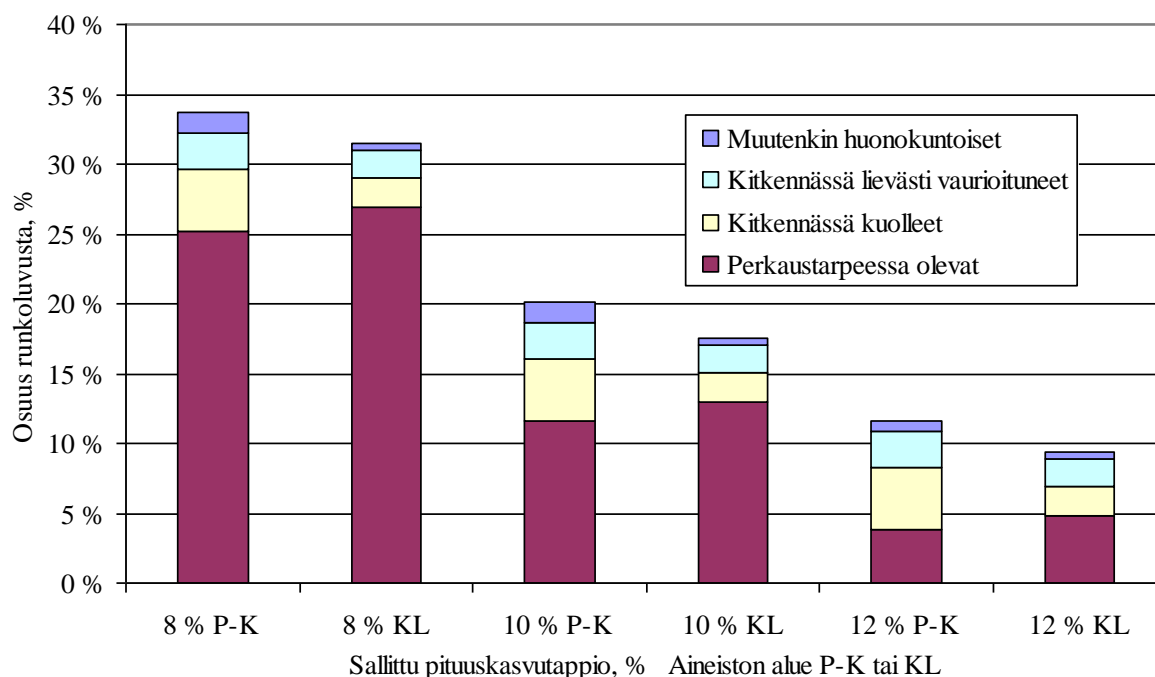
kuusen pituuskasvutappio vaihteli välillä 33–83 cm ($\bar{x} = 58$, $\sigma = 12$). Pohjois-Karjalan kohteilla kuusten keskimääräinen pituuskasvutappio oli 25 cm ($\sigma = 0,7$) ja kuvion suurin kasvutappio keskimäärin 55 cm ($\sigma = 13$). Kymenlaakson kohteilla keskimääräinen pituuskasvutappio oli 28 cm ($\sigma = 11$) ja kuvion suurin kasvutappio keskimäärin 60 cm ($\sigma = 12$).



Kuva 10. Esimerkki alakynteen jääneestä kuusesta: kohde 11 (Halla-Sippola), koeala 2, koe-
puu 4. Lehtipuut hidastivat esimerkkikuusen kasvua 10,3 %. Kuusen pituus 20 vuoden iässä
oli 5,15 metriä, mutta ilman kuvassa mukana olevien lehtipuuden kilpailua pituudeksi olisi
tullut 5,6 metriä.

Kun kuusille sallittiin enintään 10 %:n pituuskasvutappio ja luokiteltiin tätä suuremman kas-
vutappion kärsineet kuuset alakynteen jääneiksi, jäi eri kohteilla alakynteen ensimmäiseen
tarkasteluajankohtaan mennessä 0–45 % ($\bar{x} = 9,3$, $\sigma = 10,5$) ja toiseen tarkasteluajankohtaan
mennessä 0–50 % ($\bar{x} = 13,2$, $\sigma = 12$) kuusista. Kuvassa 10 on esitetty erään alakynteen jää-
neen koepuukuusen ja sitä ympäröivien viiden lehtipuun pituuskehitys kuusen 20 ikävuoteen
mennessä. Mikäli kyseisellä kohteella kuvion perkaustarve täytyisi, suoritettaisiin taimikon-
hoito kuviolla 12 vuoden iässä.

Alakynteen jääneitä kuusia tarkasteltiin tarkemmin, ja todettiin niistä kuviokohtaisesti 0–100 % ($\bar{x} = 9,5$, $\sigma = 23,8$) olevan muutenkin huonokuntoisia eli kuusia, jotka eivät olisi edes ilman lehtipuiden kilpailua saavuttaneet puolta valtapituudesta tai kahta kolmasosaa kuusen keskipituudesta. Alakynteen jääneiden kuusten kuviokohtainen keskipituus 20 vuoden iässä olisi ollut ilman lehtipuiden kilpailua välillä 2,9–6,9 metriä ($\bar{x} = 5,7$, $\sigma = 0,99$), kun muilla kuusilla kuviokohtainen keskipituus ilman lehtipuita olisi ollut välillä 4,6–7,5 metriä ($\bar{x} = 6,2$, $\sigma = 0,72$).



Kuva 11. Sallitun pituuskasvutappion määrän vaikutus puutason perkaustarpeen kriteerinä jälkimmäisessä tarkasteluvaiheessa. Kuvassa on esitetty aluekohtaisesti (P-K = Pohjois-Karjala, KL = Kymenlaakso) kitkennässä kuolleiden ja kitkennän jälkeen heikkolaatuisiksi kuusiksi kasvavien puiden keskimääräiset osuudet kuusen runkoluvusta, kun tilannetta tarkastellaan kuusen 20 vuoden iässä.

Alakynteen jääneiden kuusten määrä (kuva 11) oli erittäin herkkä sallitun pituuskasvutappion raja-arvolle. Kun kuusille sallittiin pituuskasvutappiota 12 %, laski alakynteen jääneiden kuusten määrä jälkimmäisessä tarkasteluajankohdassa Pohjois-Karjalan alueella suhteellisesti 66 % ja Kymenlaaksossa 61 %. Alakynteen jääneitä kuusia oli tällöin koko aineistossa eri kohteilla välillä 0–25 % ($\bar{x} = 4,8$, $\sigma = 6,7$) runkoluvusta, eli välillä 0–370 kpl ha⁻¹ ($\bar{x} = 76$, $\sigma = 99$). Kun tästä poistettiin muutenkin huonokuntoiset, perkaustarpeessa olevien kuusten määrä vaihteli kohteesta riippuen välillä 0–20 % ($\bar{x} = 4,3$, $\sigma = 5,4$) runkoluvusta eli välillä 0–296 kpl ha⁻¹ ($\bar{x} = 66$, $\sigma = 81$).

Vastaavasti, kun sallitun pituuskasvutappion raja-arvoksi asetettiin 8 % (kuva 11), kasvoi alakynteen jääneiden kuusten määrä jälkimmäisessä tarkasteluajankohdassa molemmilla alueilla hieman yli kaksinkertaiseksi verrattuna raja-arvoon 10 %. Tällöin alakynteen jääneitä kuusia oli koko aineistossa eri kohteilla välillä 3,6–85 % ($\bar{x} = 26,9$, $\sigma = 19,6$) runkoluvusta eli välillä 55–1 258 kpl ha⁻¹ ($\bar{x} = 426$, $\sigma = 309$). Kun tästä poistettiin muutenkin huonokuntoiset, perkaustarpeessa olevien kuusten määrä vaihteli kohteesta riippuen välillä 3,6–80 % ($\bar{x} = 26$, $\sigma = 18,9$) runkoluvusta eli välillä 55–1 184 kpl ha⁻¹ ($\bar{x} = 411$, $\sigma = 301$).

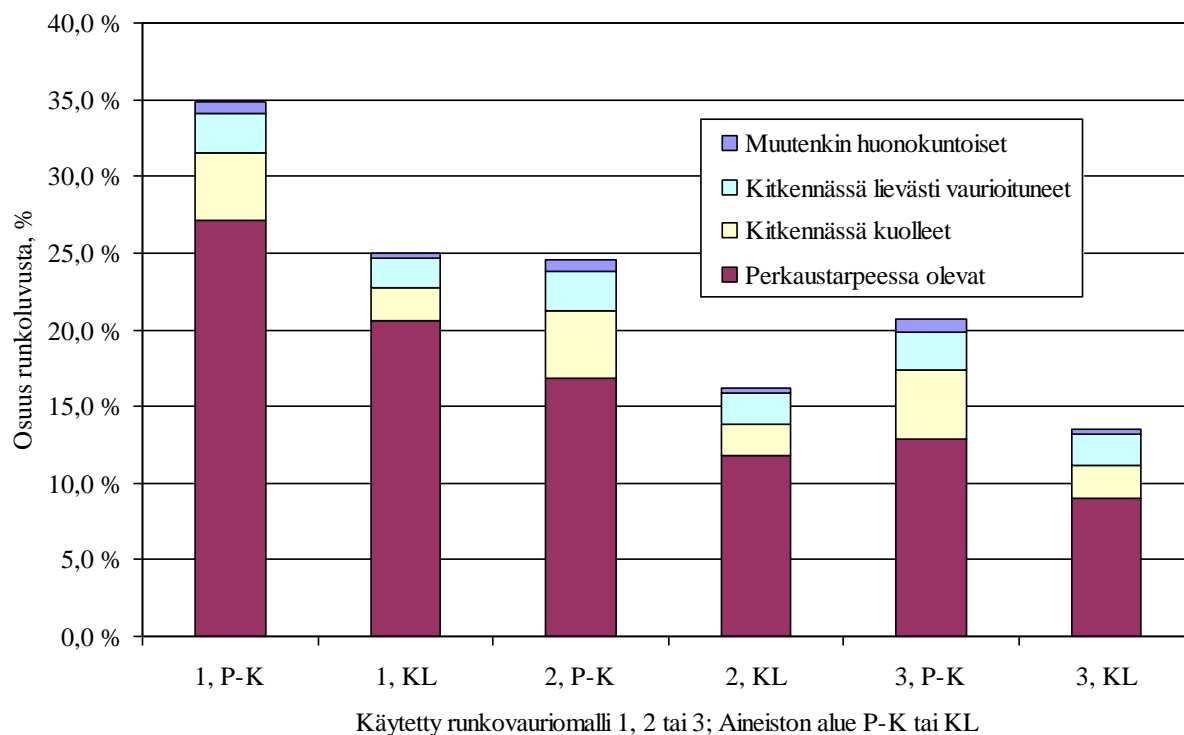
3.5.2 Lehtipuiden piiskaamaksi joutuneet kuusentaimet

Vastaava perkaustarpeen muodostumisen tarkastelu tehtiin analysoimalla erikseen lähellä kasvavien lehtipuiden aiheuttamista mekaanisista vaurioista johtuvaa perkaustarvetta. Runko-vauriomallin 1 mukaan lehtipuiden piiskaamaksi joutui ensimmäiseen tarkasteluajankohtaan mennessä kuviokohtaisesti 0–50 % ($\bar{x} = 20$, $\sigma = 14$) ja toiseen tarkasteluajankohtaan mennessä 0–70 % ($\bar{x} = 24$, $\sigma = 19$) kuusista. Muutenkin huonokuntoisten kuusten osuus runkovaurion saaneista kuusista vaihteli välillä 0–17 % ($\bar{x} = 2,5$, $\sigma = 5,8$) ollen Pohjois-Karjalassa keskimäärin 12 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 28$) ja Kymenlaaksossa 5 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 18$). Tulosten perusteella vaikutti siltä, että lähellä kasvavia lehtipuita oli Pohjois-Karjalan kohteilla jäänyt kitkemättä hieman enemmän kuin Kymenlaaksossa. Pohjois-Karjalassa runkovaurion saaneita kuusia oli keskimäärin 28 % ($\sigma = 20$) ja Kymenlaaksossa 21 % ($\sigma = 17$) runkoluvusta eli 470 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 360$) ja 311 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 257$).

Kun perkaustarpeen määrän syntyä analysoitiin runkovauriomallin 2 mukaan (kuva 12), lehtipuiden piiskaamaksi joutuneiden kuusten määrä laski Pohjois-Karjalassa 37 % ja Kymenlaaksossa 42 %. Tällöin koko aineistossa lehtipuiden piiskaamaksi joutuneiden kuusten kuviokohtainen määrä vaihteli jälkimmäisessä tarkasteluajankohdassa välillä 0–50 % ($\bar{x} = 14,7$, $\sigma = 14,3$) runkoluvusta, eli 0–846 kpl ha⁻¹ ($\bar{x} = 240$, $\sigma = 240$). Muutenkin huonokuntoisten kuusten määrä oli edelleen molemmilla alueilla sama kuin runkovauriomallin 1 tarkastelussa: Pohjois-Karjalassa keskimäärin 12 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 28$) ja Kymenlaaksossa 5 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 18$).

Lähellä kasvavien lehtipuiden vaurioittamien kuusten osuus runkoluvusta laski edelleen molemmilla alueilla kolme prosenttiyksikköä, kun tarkasteltiin lehtipuiden piiskaamaksi joutuneiden kuusten määrää runkovauriomallin 3 (kuva 12) mukaan jälkimmäisessä tarkasteluajankohdassa. Tällöin lehtipuiden piiskaamaksi joutuneita kuusia oli Pohjois-Karjalassa keski-

määrin 230 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 232$) ja Kymenlaaksossa 141 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 199$). Muutenkin huonokuntoisten kuusten määrä oli edelleen molemmilla alueilla sama kuin runkovauriomallien 1 ja 2 tarkastelussa: Pohjois-Karjalassa keskimäärin 12 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 28$) ja Kymenlaaksossa 5 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 18$). Perkaustarpeessa olevien kuusten määrä vaihteli kuvioittain välillä 0–45 % ($\bar{x} = 11$, $\sigma = 12,8$) runkoluvusta, eli välillä 0–666 kpl ha⁻¹ ($\bar{x} = 177$, $\sigma = 211$).

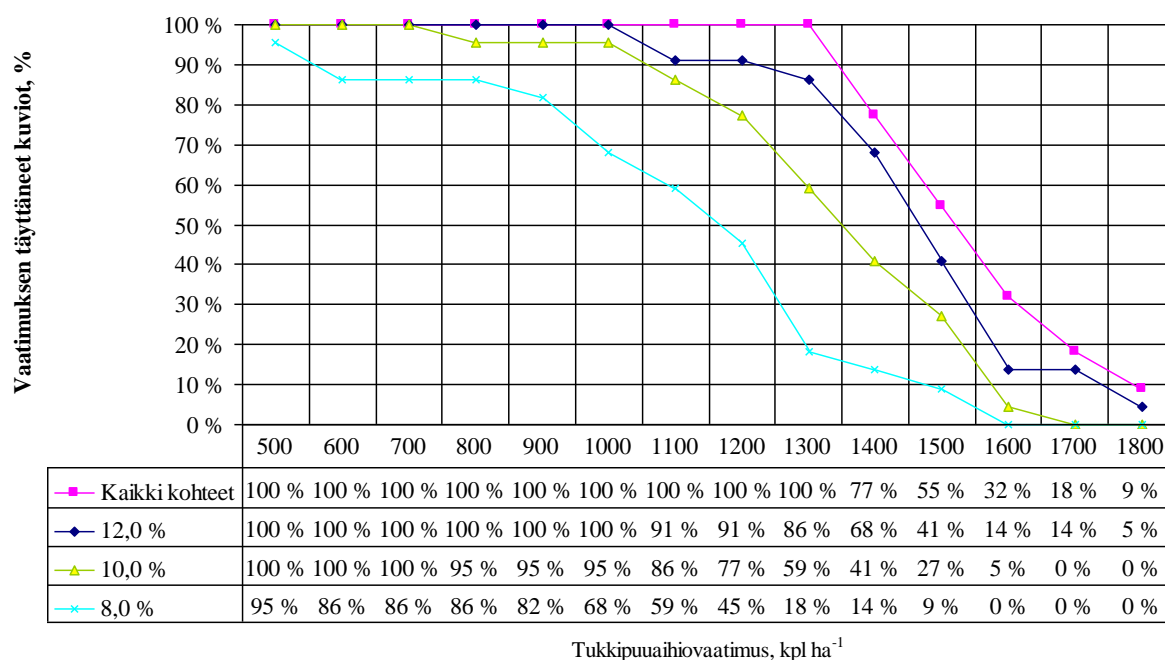


Kuva 12. Runkovauriomallissa käytettyjen raja-arvojen vaikutus puutason perkaustarpeen kriteerinä jälkimmäisessä tarkasteluvaiheessa. Kuvassa on esitetty perkaustarpeessa olevien runkojen (alin palkin osa) lisäksi kitkennässä syntyneet kasvatettavan puuston vauriot sekä muutenkin huonokuntoiset kuuset. Runkovauriomallit 1, 2 ja 3 on esitelty sivulla 20. Alue P-K = Pohjois-Karjala ja KL = Kymenlaakso

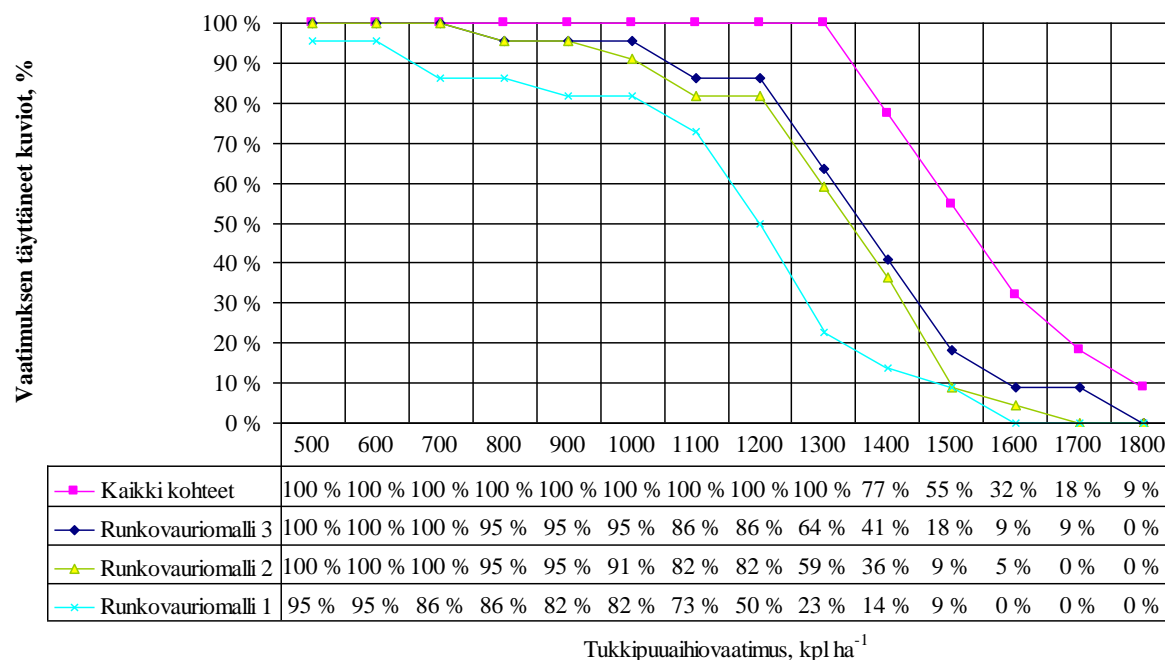
3.5.3 Onnistuneet sekä epäonnistuneet kitkentäyömaat

Kitkentäyömaiden onnistumisen arviointi aloitettiin analysoimalla sallitun pituuskasvutappion vaikutusta tukkipuuaihiovaatimuksen saavuttaneiden kuvioiden määrään (kuva 13) ilman, että runkovauriomallia sisällytettiin tarkasteluun. Kun puukohtainen sallittu pituuskasvutappio oli enintään 10 %, tukkipuuaihiovaatimuksen 1 000 kpl ha⁻¹ saavutti 95 % kohteista, mutta tiukennettaessa pituuskasvutappio- tai tukkipuuaihiovaatimuskriteeriä vaatimukset täyttäneiden kuvioiden määrä laski huomattavasti. Esimerkiksi 8 % sallitulla pituuskasvutappiolla tukkipuuaihiovaatimuksen 1 000 kpl ha⁻¹ täytti vain 68 % kuvioista. Vastaava määrä täytti 12 % pituuskasvutappiorajalla jopa tukkipuuaihiovaatimuksen 1 400 kpl ha⁻¹. Mainittakoon, että

tutkimuksen taimikot olivat melko harvoja, ja koko aineistossa vain 23 % kohteista edes ylitti kuusen runkoluvun 1 400 kpl ha⁻¹.



Kuva 13. Sallitun pituuskasvutappion vaikutus tukkipuuaihioiden kuviokohtaiseen määrään, sekä erisuuruisten tukkipuuaihiomäärävaatimusten täyttäneiden kuvioiden osuudet. ”Kaikki kohteet” kuvaa koko aineistoa ilman perkaustarpeen kriteereitä.



Kuva 14. Käytettävän runkovauriomallin vaikutus tukkipuuaihioiden kuviokohtaiseen määrään, sekä erisuuruisten tukkipuuaihiomäärävaatimusten täyttäneiden kuvioiden osuudet. ”Kaikki kohteet” kuvaa koko aineistoa ilman perkaustarpeen kriteereitä.

Tarkasteltaessa kitkennän onnistumista vastaavasti pelkästään runkovauriomalleihin perustuen (kuva 14), todettiin käytettävästä runkovauriomallista riippuen 82–95 % kuvioista täyttävän tukkipuuaihiovaatimuksen 1 000 kpl ha⁻¹. Runkovauriomallien 2 ja 3 tulosten havaittiin poikkeavan toisistaan melko vähän. Tukkipuuaihiovaatimuksen nostaminen rajoitti vaatimuksen täyttäneiden kohteiden määrää jyrkästi, ja esimerkiksi runkovauriomallin 1 mukaan tukkipuuaihiovaatimuksen 1 400 kpl ha⁻¹ täytti vain 14 % kohteista.

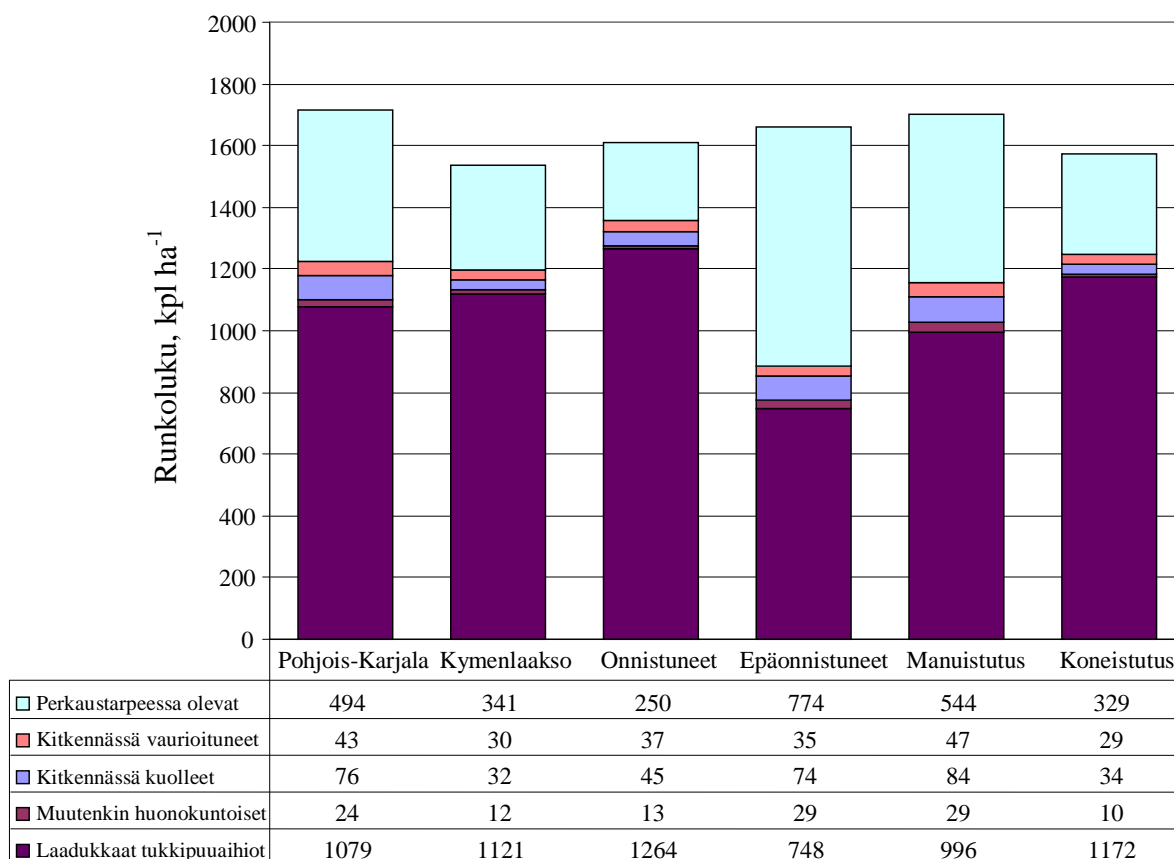
Kun kitkennän onnistumista tarkasteltiin analysoimalla yhtä aikaa sekä alakynteen jääneiden että lehtipuiden piiskaamaksi joutuneiden kuusten vaikutusta perkaustarpeeseen ja tukkipuuaihiovaatimuksen täyttämiseen, havaittiin molemmilla kriteereillä mallinnetun perkaustarpeen koskevan melko usein samoja puuyksilöitä. Esimerkiksi käytettäessä runkovauriomallia 1 ja sallitun pituuskasvutappion 10 % rajaa (taulukko 1), olivat alakynteen jääneet kuuset usein osajoukko lehtipuiden piiskaamaksi joutuneista kuusista. Näin siis kasvatettavan puun vierestä kitkemättä jääneet lehtipuut paitsi aiheuttivat runkovaurion, myös varjostivat kuusta ja taannuttivat sen pituuskasvua.

Taulukko 1. Perkaustarpeessa olevien kuusten muodostuminen runkovaurion saaneista ja alakynteen jääneistä kuusista jälkimmäisessä tarkasteluajankohdassa.

	Keskiarvo, kpl ha ⁻¹	Keskihajonta, kpl ha ⁻¹
Lehtipuiden piiskaamaksi joutuvat	390	316
Alakynteen jäävät	208	185
Perkaustarpeessa olevat yhteensä	417	334

Kitkentätyön onnistumisen rajaksi asetettiin kuviokohtaisesti 1 000 kpl ha⁻¹ tukkipuuaihiovaatimus, joka laskettiin käyttämällä rajoitteina eniten vaurioita tuottavaa runkovauriomallia (runkovauriomalli 1) ja sallimalla kuusille korkeintaan 10 % pituuskasvutappio. Kuviot, joilla tukkipuuaihiovaatimus 1 000 kpl ha⁻¹ ei täytynyt, luokiteltiin epäonnistuneiksi kuten myös kuviot, joiden kuusista yli 33 % oli perkauksen tarpeessa. Ilman kitkennän jälkeistä taimikonhoitoa selvisi 68 % kohteista, ja 32 % kohteista tarvitsi kitkennän jälkeen taimikonhoidon. Pohjois-Karjalan kohteista 45 % tarvitsi taimikonhoidon ja Kymenlaakson kohteista 18 %. Ero oli vielä suurempi, kun onnistumista tarkasteltiin istutustavan mukaan: manuistutetuista kohteista jouduttiin perkaamaan 56 %, mutta koneistetuista vain 15 %. Kohteista 77 % olisi luokiteltu onnistuneiksi, jos tukkipuuaihiovaatimusta olisi alennettu 100 kpl ha⁻¹, ja vastaavasti onnistuneiden kohteiden osuus olisi ollut 59 %, jos vaatimusta olisi nostettu 100 kpl ha⁻¹.

Onnistuneiksi luokitelluissa kohteissa (kuva 15) oli laadukkaita tukkipuuaihoita jälkimmäisessä tarkasteluvaiheessa keskimäärin 81 % ($\sigma = 9$) runkoluvusta eli 1 264 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 149$), kun epäonnistuneissa niitä oli keskimäärin 48 % ($\sigma = 19$) runkoluvusta eli 748 kpl ha⁻¹ ($\sigma = 264$).



Kuva 15. Kitkettyjen taimikoiden keskimääräinen runkoluku jälkimmäisessä tarkasteluvaiheessa, ja sen jakautuminen laadukkaisiin tukkipuuaihoihin (alin osa palkista) ja eri syistä huonompilaatuisiin runkoihin. Kuvassa taimikoiden keskimääräinen tila on jaoteltu alueen mukaisesti (Pohjois-Karjala ja Kymenlaakso), onnistumisen mukaisesti (onnistuneet ja epäonnistuneet) ja istutusmenetelmän mukaisesti (manuaalinen istutus ja koneistutus).

3.5.4 Taimikonhoitokustannusten suuntaa antava vertailu

Taimikonhoitokustannusten suuntaa antavassa vertailussa (taulukko 2) käytettiin seuraavia UPM Kymmene Oy:n keskimääräisiä kustannuksia vuodelta 2008: varhaisperkaus 270 € ha⁻¹, taimikonhoito 350 € ha⁻¹ ja kitkentä 430 € ha⁻¹. Raivaussahamenetelmässä oletettiin, että taimikkoon tehdään kerran varhaisperkaus ja kerran taimikonhoito. Kitkentämenetelmässä taimikonhoidon oletettiin maksavan normaalin taimikonhoidon verran, vaikka kitkettyjen kuvioiden taimikonhoidon voitaisiinkin olettaa olevan vähäisemmän työmäärän vuoksi normaalia

taimikonhoitoa edullisempi toimenpide, kun juurineen poistetut lehtipuut eivät tee vesoja. Kustannuksille laskettiin nykyarvot kitkentävuonna eli taimikoiden ollessa viiden vuoden ikäisiä. Korkokantana käytettiin 0 %, 3 % ja 5 %.

Taulukko 2. Kitkentämenetelmän ja raivaussahatyön kustannusten suuntaa antava vertailu. Vuosi 0 = kitkentävuosi. Tällöin taimikko on viiden vuoden iässä. Varhaisperkaus raivaussahatyönä tehdään vuotta myöhemmin kuin kitkentä.

Perinteinen raivaussahatyö					Kitkentämenetelmä keskimäärin				
	Kustannus, € ha ⁻¹			Vuosi		Kustannus, € ha ⁻¹			Vuosi
	0 %	3 %	5 %			0 %	3 %	5 %	
<i>Korko</i>	0 %	3 %	5 %		<i>Korko</i>	0 %	3 %	5 %	
Varhaisp.	270	262	257	1	Kitkentä	430	430	430	0
Taimikonh.	350	285	249	7	Taimikonh.	112	91	80	7
Yhteensä	620	547	506	0	Yhteensä	542	521	510	0
Vertailu	0	0	0	0	Vertailu	-78	-26	4	0

Pelkkä kitkentä (68 % kohteista)					Kitkentä ja taimikonhoito (32 % kohteista)				
	Kustannus, € ha ⁻¹			Vuosi		Kustannus, € ha ⁻¹			Vuosi
	0 %	3 %	5 %			0 %	3 %	5 %	
<i>Korko</i>	0 %	3 %	5 %		<i>Korko</i>	0 %	3 %	5 %	
Kitkentä	430	430	430	0	Kitkentä	430	430	430	0
					Taimikonh.	350	285	249	7
Yhteensä	430	430	430	0	Yhteensä	780	715	679	0
Vertailu	-190	-117	-76	0	Vertailu	160	168	173	0

Perinteisen raivaussahatyön kokonaiskustannus oli 620 € ha⁻¹ (taulukko 2). Onnistuneissa kitkentäkohteissa hehtaarikustannus oli 430 € ha⁻¹, eli 190 € ha⁻¹ edullisempi. Epäonnistuneissa kohteissa hoitoon meni yhteensä 780 € ha⁻¹, eli 160 € ha⁻¹ perinteistä raivaussahatyötä enemmän. Taimikonhoito tuli kitkentämenetelmällä keskimäärin 78 € ha⁻¹ perinteistä raivaussahatyötä edullisemmaksi. Kun vertailussa otettiin korkokanta huomioon, kitkentä menetti hieman etuaan, sillä kitkentätyö maksaa perinteistä varhaisperkausta enemmän ja hoitotyö tehdään yleensä vuoden raivaussahatyötä aiemmin.

4 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen päätavoite oli kitkettyjen kuusentaimikoiden taimikonhoitotarpeen ennustaminen. Ilman kitkennän jälkeistä taimikonhoitoa selvisi 68 % kohteista, ja 32 % kohteista tarvitsi kitkennän jälkeen taimikonhoidon, kun kitkentätyön onnistumisen rajaksi asetettiin kuviokohtaisesti 1 000 kpl ha⁻¹ tukkipuuaihiovaatimus. Suuntaa antavan kustannuslaskennan perusteella taimikonhoito kitkentämenetelmällä tuli keskimäärin 78 € ha⁻¹ edullisemmaksi kuin perinteinen kahteen kertaan tehtävä raivaussahatyö. Onnistuneissa kohteissa taimikonhoitokustannuksissa tuli säästöä 190 € ha⁻¹, mutta epäonnistuneet kohteet tulivat 160 € ha⁻¹ perinteistä raivaussahatyötä kalliimmaksi. Kitkentämenetelmän paremmuutta normaaliin raivaussahatyöhön verrattuna parantaa kuitenkin vähätöisempi taimikonhoito. Voidaan olettaa, että epäonnistuneillakin kitkentäkohteilla myöhempi taimikonhoito tulee olemaan normaalia taimikonhoitotoimenpidettä vähätöisempi ja edullisempi, kun juurineen poistetut lehtipuut eivät veso. Suuntaa antavassa kustannuslaskelmassa epäonnistuneiden kitkentäkohteiden taimikonhoitokustannuksena käytettiin silti normaalin raivaussahamenetelmän keskimääräistä taimikonhoitokustannusta, sillä haluttiin välttyä liian optimisilta arvioilta.

Kitkennässä syntyi vakavia vaurioita kuusille keskimäärin 3,3 % ja lieviä vaurioita keskimäärin 2,3 %. Vaurioita oli aiempiin tutkimuksiin verrattuna kohtalaisen vähän. Kiljusen & Saarisen (2008) mukaan vakavia vaurioita oli neljällä mitatulla kitkentätyömaalla 4,7–11,5 %. Vaurioita oli Pohjois-Karjalan kohteilla selvästi enemmän kuin Kymenlaaksossa. Pohjois-Karjalan kohteilla vakavia vaurioita oli keskimäärin 4,5 %, mutta Kymenlaakson kohteilla vain 2,1 %. Lieviä vaurioita oli Pohjois-Karjalassa keskimäärin 2,6 % ja Kymenlaaksossa 2,0 %. Huomion arvoista on, että kaikki aiemmat tutkimukset koskevat vain Pohjois-Karjalan alueella työskennellyttä kitkentäkonetta. Ero vaurioiden määrässä voisi osittain selittyä esimerkiksi Kymenlaakson keskimäärin alhaisemmalla kasvatustiheydellä, erilaisella kitkennässä käytetyllä peruskoneella, kuljettajien työskentelyn eroavaisuuksilla, Kymenlaakson kohteiden mahdollisesti helpommilla maasto-ominaisuuksilla tai jollain muulla, mutta tämän tutkimuksen aineiston perusteella selitystä ei voitu varmuudella sanoa.

Kun tutkittiin puustovaurioiden määrän riippuvuutta eri tekijöistä, ei havaittu minkään yksittäisen tekijän selvää vaikutusta vaurioiden määrään. Ainoastaan kuusen keskipituuden kasvu vaikutti lievästi lisäävän vaurioita. Analyysissä käytettiin mittaushetken pituutta eikä kitkentähetken pituutta. Pääsääntöisestihän kitkennän ja mittauksen välisenä aikana taimikot olivat

kasvaneet pituutta yhden kokonaisen kasvukauden ajan, sillä mittauksia aloittaessa valtaosa kuusista oli jo lopettanut pituuskasvunsa. Kitkentäytyö oli tehty elo–marraskuun välisenä aikana kahta kesäkuussa Pohjois-Karjalassa tehtyä kohdetta lukuun ottamatta. Näillä kohteilla kuusen pituuskasvu on voinut jatkua vielä hoitotyön jälkeen kitkentävuonna. Kuitenkin voidaan olettaa, että kasvatettavan puulajin vaurioiden välttämiseen vaikuttaa useat tekijät, kuten muun muassa maaston kaltevuus ja kuljettajan kyky pujotella koneella taimien välissä erilaisissa maasto-olosuhteissa, kuusen kasvatustiheys ja keskipituus, taimien tilajärjestys, sekä koneen uraväli ja renkaiden leveys. Mielestäni aihe kaipaa jatkotutkimuksia, sillä etenkin alhaisten kasvatustiheyksien taimikoissa 100–200 kpl ha⁻¹ menetys tuntuu suurelta ja voi aiheuttaa aukkoisuutta etenkin hyvälaatuisia puita tarkastellessa.

Tukkipuuaihion kriteerinä käytettiin rajoitteina runkovauriomallia 1 ja sallittiin kuusille korkeintaan 10 % pituuskasvutappio. Kun runkovauriomallin ja varjostuksesta johtuvan pituuskasvun hidastumisen vaikutusta perkaustarpeen muodostumiseen tarkasteltiin erikseen, todettiin molemmilla kriteereillä mallinnetun perkaustarpeen koskevan melko usein samoja puuyksilöitä. Tämä johtui siitä, että aivan kuusen viereen jätetyt lehtipuut aiheuttivat usein sekä runkovaurion, että myös hidastivat sen pituuskasvua liikaa. Kokonaisperkaustarve ei siis ollut molempien kriteerien tuloksen summa, vaan etenkin onnistuneimmilla kohteilla perkaustarve muodostui vain niille puille, joita kitkettäessä oli kitkettävän taimen kanssa jäänyt yksi tai useampi lehtipuu suojakehikon sisään. Suurin osa kuusista oli perattu huolellisesti ja ne kasvoivat hyvin pienellä kilpailulla.

Kitkentämenetelmän onnistumisen kannalta ratkaisevaksi havaittiin kitkentätyön tarkkuus etenkin aivan kuusen vieressä kasvavien lehtipuiden poistamisessa. Noin joka kolmas (32 %) kohde epäonnistui juuri tästä syystä. Mikäli mahdollista, tällaisilla kohteilla voisikin olla syytä käyttää vaikka tarvittaessa hieman enemmän työaikaa tarkan kitkentätyön onnistumisen varmistamiseksi kuin jättää mahdolliseksi toisen perkaustarpeen syntyminen. Kitkentätyön tarkkuuteen tulee kiinnittää aiempaa enemmän huomiota etenkin vielä kitkentävaiheessa pienten lehtipuiden kanssa, jotka voivat hoitotyötä suorittaessa vaikuttaa vähämerkityksellisiltä, mutta aiheuttavat perkaustarvetta jo lähivuosina. Nopealla työskentelytekniikalla voi myös yksittäisten kuusten viereen jäädä haitallisia lehtipuita, mikäli lähellä kasvava lehtipuu jää kasvatettavaa puuta suojaavan kehikon sisään kasvatettavan puun kanssa. Vaikka kitkentäkehikon tarkempi kohdistaminen voi hieman alentaa työn päivätuotosta, voi sillä olla useilla kohteilla ratkaiseva merkitys toisen perkauksen välttämiseksi. Tähän toivotaan myös automaattisen kameratunnistustekniikan ja robottiliikkeiden tuovan apua. On myös selvitettävä,

olisiko laitetta mahdollista kehittää siten, että lähellä kasvavat lehtipuut saataisiin ohjattua suojakehikon ulkopuolelle. Mikäli toisen perkauksen välttäminen joillakin kitkettävillä kohteilla ei ole mahdollista, tulisi selvittää kannattaisiko ne mieluummin tehdä raivaussahatyönä.

Tutkimuksessa oli tavoitteena myös löytää työmaasuunnittelun tueksi tunnusmerkkejä, joiden avulla pystyttäisiin etukäteen erottamaan paremmin onnistuvat kohteet huonommin onnistuvista kohteista. Mitään uusia kriteereitä jo kappaleessa 1.3.3 lueteltujen lisäksi ei kuitenkaan varsinaisesti pystytty löytämään, mutta havaittiin mm. koneistutettujen taimikoiden onnistuneen manuistutettuja paremmin sekä Kymenlaakson kohteiden onnistuneen keskimäärin paremmin kuin Pohjois-Karjalan kohteet. Lisäksi onnistuneet kohteet olivat keskimäärin pinta-alaltaan suurempia kuin epäonnistuneet kohteet. Itse asiassa kuvion pinta-alalla painotettuna ilman tulevaa taimikonhoitotarvetta selvinneiden osuudeksi saadaan 81 % ja taimikonhoidon vaativien osuudeksi vain 19 %. Alueen, istutustavan ja onnistumisen mukaan jaoteltuna havaittiin siis eroja useissa keskitunnuksissa. Keskitunnuksissa olevat eroavaisuudet ovat kuitenkin keskenään autokorreloituneita, sillä alueen ja istutustavan mukaan jaoteltuna eroavaisuuksia on ollut jo ennen kitkentäkäsittelyä. Tutkimuksen liitteenä olevan taulukon (liite 2) sekä kuvien (liite 3) avulla asiaan on mahdollista syventyä tarkemmin.

Tutkimuksessa jäi myös epäselväksi mistä syystä osa taimista oli hoidettu huonosti; olivatko kitkemättä jääneet lehtipuut olleet kitkentähetkellä liian lyhyitä kitkettäväksi vai olivatko ne vain jääneet kuljettajalta kitkemättä? On mahdollista, että osa taimista on jäänyt kokonaan käsittelemättä. Heikkisen (2009) tutkimuksessa kitkentä todettiin työn laadun osalta raivaussahatyötä tarkemmaksi, sillä käsittelemättömiä taimia oli raivaussahatyössä jäänyt 27 % ja kitkennässä 19 %. On kuitenkin huomioitava, että kitkentämenetelmässä edellytettävä työn tarkkuus ei voi perustua pelkästään vertailuun raivaussahatyönä tehtävän varhaisperkauksen kanssa, vaan kitkennän tulee myös ehkäistä taimikossa syntyvä myöhempi perkaustarve, jotta taimikon kasvattaminen ensiharvennukseen asti voi onnistua ilman hoitotarpeen muodostumista. Arvioitaessa kitkevän varhaisperkauksen kustannustehokkuutta onkin olennaista tulevien kustannusten minimointi ja tulojen maksimointi laadukkaasti tukkipuuston kasvattamisen varmistamisella.

On huomattava, että lehtipuiden kilpailusta johtuva pituuskasvun hidastuminen vertaa kitkennän jälkeistä tilannetta ainoastaan kuusten kasvun kannalta teoreettiseen ideaalitalanteeseen, jolloin koko taimikossa ei ole yhtään lehtipuuta. Näin lasketun kasvun taantuman perusteella ei siis kitkentää voida suoraan verrata esimerkiksi raivaussahatyöhön, jossa yhtä lailla tapah-

tuu kasvun taantumaa. Raivaussahatuissa kuusentaimikoissa kasvun taantumaa aiheutuu sekä kuusen ympäriltä poistamatta jääneiden lehtipuiden varjostuksen, mutta myös katkaistujen lehtipuiden vesomisen vuoksi. Onnistuneilla kitkentätyömailla sitä vastoin lehtipuusto ei juurikaan rajoita vapautettujen kuusten kasvua, joten kuuset kasvavat jonkin verran normaalia paremmin ja elinvoimaisempana ensiharvennusvaiheeseen, ja myös siirtyvät normaalia aiemmin arvokkaampaan puutavaralajiin.

Tuloksia tarkastellessa on huomioitava, että tulokset pohjautuvat voimakkaasti mallipohjaiseen simulointiin. Epävarmuutta tuloksiin aiheuttaa myös perkaustarpeen määräävien raja-arvojen arvioinnin vaikeus. Kuuselle sallitun pituuskasvutappion herkkyysanalyysissä havaittiin, että raja-arvon muuttaminen vaikutti tulokseen erittäin voimakkaasti. Runkovauriomallin epävarmuus johtuu siitä, että mallissa käytetyt raja-arvot perustuivat pääasiassa omaan harkintaan eivätkä tieteelliseen tutkimukseen, joten ei voida tietää kuinka todennäköistä runkovaurion syntyminen valituilla raja-arvoilla todellisuudessa on. Toisaalta, tässä tutkimuksessa runkovaurion syntyminen haluttiin huomioida lisäkriteerinä perkaustarpeen muodostumiseen, ja sen perusteluna oli myös hakkuutyön helpottaminen ensiharvennuksessa, kun välittömästi kuusen viereen ei sallita puita esteeksi.

Kuusen osalta olisi mielenkiintoista tietää vaikuttaako kitketyn taimikon pienempi juuristokilpailu kuusen pituuskasvuun. Kasvussa voi olla jonkinlaista eroa myös uudistamistavasta (13/22 istutettu koneellisesti) johtuen, joten tässä tutkimuksessa käytetty kuusen pituuskasvumalli tuskin ainakaan yliarvioi kuusen pituuskasvua. Myös lehtipuiden pituuskasvun mallintamiseen liittyy epävarmuustekijöitä. Lehtipuiden kasvunsimulointiin voi tulla virhettä myös siitä, kun lehtipuiden kasvu kalibroitu kuvioittain lasketun kasvupaikan hyvyiden (H_{dom25}) mukaan. Mallilla laskettu H_{dom25} kuitenkin osaltaan kertoo vain metsänuudistamisen onnistumisesta kuviolla, sillä sen laskentaperusteena on kuusen valtapituuskehitys mittausajankohtaan mennessä. Metsänuudistamisen onnistumiseen tuo vaihtelua mm. maanmuokkauksen sekä istutustyön laadunvaihtelu. Etenkin, koska tämän tutkimuksen mittauskohteista merkittävä osa (13/22) on uudistettu koneellisesti, voi kuusten alkukehitys mittausajankohtaan mennessä aiheuttaa kasvupaikan hyvyysarhaa lehtipuulle. On myös muistettava, että lehtipuiden kasvumalli ei huomioi koepuukuusen aiheuttamaa varjostusvaikutusta eikä lehtipuiden itseharvenemista, mikä voi antaa yliarviota yksittäisille kuusille syntyvien mekaanisten vaurioiden määrässä.

On myös muistettava, ettei tässä tutkimuksessa huomioitu puiden pituuskasvun satunnaisvaihtelua mitenkään, vaan puiden oletettiin kasvavan mallien mukaisesti. Mikäli kuviolla joka toinen kuusi saisi olla perkaustarpeessa ja joka toinen ei, satunnaisvaihtelulla ei olisi tuloksiin juurikaan merkitystä. Tällaisessa tapauksessa, jossa useat kuviot ovat lähellä perkausrajaa, ja jos esimerkiksi joka kolmannen puun perkaustarve aiheuttaa kuviolle perkaustarpeen, pituuskasvun satunnaisvaihtelu voikin todellisuudessa aiheuttaa enemmän hoitotarvetta kuin pelkän keskimääräisen kasvun olettaminen. Luotettavamman ennusteen olisikin voinut saada, mikäli kasvunsimuloinnin alkuvaiheessa malleihin olisi sisällytetty kasvun satunnaisvaihtelu, ja laskettu tulevasta taimikonhoitotarpeesta useita eri skenaarioita.

Tulosten yleistettävyyden kannalta on syytä huomioida, että tutkimuksen aineisto koostui pääasiassa tuoreen kankaan kuusentaimikoista. Vain yhdellä taimikolla kasvupaikka oli lehtomainen kangas, ja yksi taimikko sijaitsi kuivahkolla kankaalla. Raivaussahamenetelmässä hän osa kuusentaimikoista joudutaan rehevimmillä kasvupaikoilla perkaamaan aggressiivisen vesomisen vuoksi vielä kerran tavallista enemmän (Harstela 2004). Mielestäni on kuitenkin syytä olettaa tulosten olevan vähintään yhtä hyviä myös ravinteikkaammilla kuusen kasvupaikoilla, ja että kuuset pystyvät hyödyntämään kitkennällä vapautetun kasvutilan sekä maaperän ravinteet tehokkaasti.

Kitketyt taimikot ovat erityislaatuisia perkauskohteita niiden tullessa taimikonhoidon ikään, sillä kitketyissä taimikoissa ei tapahdu lehtipuiden vesomista. Tästä syystä kitketyille taimikonhoidon vaativille kohteille tulee myös tehdä erilliset taimikonhoito-ohjeet. On selvítettävää mm. taimikonhoidon oikea ajoitus sekä perkaustapa. Mikäli kohteilta raivataan ainoastaan välttämättömät perkaustarpeen aiheuttavat lehtipuut, on taimikonhoito huomattavasti esimerkiksi täysperkausta nopeampi toimenpide.

Tämä oli ensimmäinen tutkimus, jossa perkaustarpeen muodostumista tarkastellaan tällä tavoin puutason perkaustarpeeseen ja tukkipuuaihioiden määrävaatimukseen perustuen. Tämä myös vaikeuttaa tulosten vertailua muihin, esimerkiksi raivaussahatyön onnistumista koskeviin tutkimuksiin. Mielestäni tässä työssä onnistuttiin luomaan aiheeseen soveltuvissa tutkimuksissa käyttökelpoinen lähestymistapa perkaustarpeen määrittelyyn ja varhaisperkauksen onnistumisen arviointiin, joskin vielä tutkimusta kaippaa kriteereinä käytettyjen raja-arvojen oikeellisuus. Tukkipuuaihiovaatimuksen asettamisessa ajatellaan metsänkasvatus prosessina, jossa varhaisperkauksen ”asiakkaana” ovat seuraavat käsittelyt aina metsänkasvatuksen suurimpaan tulonlähteeseen eli päätehakkuuseen asti. Tässä tutkimuksessa oli uutta myös se, että

luotiin mättääseen istutetun taimen kasvukohdan korkeuserolle käsite mätäsetu, sekä tarkasteltiin sen vaikutusta taimen pituuskasvuun.

Tarvetta jatkotutkimuksille on edelleen taimikon kitkennän jälkeisessä kehityksessä. Kun asetetaan tavoitetta hyvälaatuisten tukkipuuaihioiden vähimmäismäärälle, vaikuttaa riittäväksi arvioidun määrän valintaan ensiharvennuksessa kasvamaan jätettävien runkojen määrän ohella puiden tilajärjestys sekä laadukkaiden tukkipuuaihioiden jakautuminen tasaisesti kuviolle. Tässä tutkimuksessa käytetty koealajärjestely ei tuottanut riittävä aineistoa tällaisen spatiaalisen jakautumisen analysoimiseksi, mutta tilajärjestyksen huomioon ottaminen jatkotutkimuksissa voisi olla tarpeen. Kitkettyjen taimikoiden kehittymisen tutkiminen voi helpottua jo lähivuosina, kun kitketyt taimikot ovat varttuneet jo useamman kasvukauden ajan. Tätä varten onkin jo perustettu vuonna 2008 koealajärjestely UPM Kymmene Oy:n omistamalle Aittolan-salon tilalle Pohjois-Karjalassa. Erityisen tärkeä on tutkia vaikuttaako kitkennän vuoksi alentunut juuristokilpailu kasvatettavan puuston kasvuun. Jatkotutkimuksia kaipaa myös kitkennässä syntyvät kasvatettavan puuston vauriot, vaurioiden määrään vaikuttavat tekijät, ja erityisesti kuinka vaurioita voitaisiin vähentää.

KIRJALLISUUS

Aholaakko, K. 2009. Kylvömännikön koneellisen kitkennän laatu ja tuotos. Opinnäytetyö, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

Ahonen, A., Karjalainen, T. & Kiukaanniemi, E. 1989. Metsänhoidon esteet ja metsänhoitotöiden tehostaminen. Obstacles to silviculture and improvement of silvicultural measures. Research institute of Northern Finland. Research reports 94. Oulun yliopisto. 58 s.

Björkdahl, G. 1983. Höjdtveckling hos stubbskott av vårt- och glasbjörk samt tall och gran efter mekanisk röjning. Stencil nr 18. Institution för skogsproduktion. Garpenberg.

Elliot, K. & Vose, J. 1995. Evaluation of the competitive environment for white pine (*Pinus strobus* L.) seedlings planted on prescribed burn sites in the Southern Appalachians. Forest Science, 41, 513–530.

FI 118293. 2005. Raivausmenetelmä. Pentin Paja Oy, Joensuu, Suomi. (Häikiö, M.) FI 20040701, 19.5.2004. Julk. 20.11.2005.

Harstela, P. 2004. Kustannustehokas metsänhoito. Otavan kirjapaino, Keuruu. 127 s.

Heikkinen, O. 2009. Kitkevän reikäperkauksen vaikutus lehtipuiden kantovesomisen määrään. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, metsätalouden koulutusohjelman opinnäytetyö. 28 s.

Hyvän metsänhoidon suositukset 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus Oy. Helsinki. 100 s.

Kaila, S., Kiljunen, N., Miettinen, A. & Valkonen, S. 2006. Effect of timing of precommercial thinning on the consumption of working time in *Picea abies* stands in Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 21: 496–504.

Kaivola, A. 1995. Taimikonhoidon koneellistamismahdollisuudet. Vuosina 1992–94 toteutetun projektin loppuraportti. Työtehoseuran julkaisuja 344. TummaVuoren kirjapaino Oy, Helsinki.

Kiljunen, N. & Saarinen, V-M., 2008. Towards a thoroughly mechanized wood production chain: The role of planting and pre-commercial thinning. Metsäntutkimuslaitoksen posterit. Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen toimintayksikkö. 1 s.

Kukkonen, M. 2008. Kitkevän reikäperkauskoneen soveltuvuus männyntaimikon varhaisperkaukseen. Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan proseminaaritö. 20 s.

Kuru, K. 2009. Kitkevän taimikonhoitolaitteen kehittäminen. Upm Metsä Oy. PowerPointesitys 8.6.2009.

Laaksonen, M. 2008. Perkaamattomien kuusen istutustaimikoiden uudistamistulos 3 ja 7 vuoden iässä sekä lehtipuuston vaikutus kuusten pituuskasvuun ja mekaanisten vaurioiden syntyyn. Helsingin yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, metsänhoitotieteen pro gradu -tutkielma. 69s.

Maa- ja metsätalousministeriö. 2007. Kansallinen metsäohjelma 2010 Seurantatiedote 2005-2006. Maa- ja metsätalousministeriö 5/2007. Vammalan kirjapaino Oy, Vammala. 57 s.

Metsäteho 2005. Käykö taimikon perkaus koneella? Metsätehon katsaus 1/2005. Käpylä print Oy. 4 s.

Metsäntutkimuslaitos 2009. Metsätaloustieteellinen vuosikirja 2009. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö. Vammalan kirjapaino Oy, Sastamala. 452 s.

Mutikainen, A. 2006. Markkinoilla olevat taimikonhoidon työvälineet. Työtehoseuran metsätiedote 6/2006 (700).

Nuortimo, P. 2008. Kitkentään tarvittava voima koneellisessa varhaisperkauksessa. Opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu.

Peltola, S. 2006. Reikäperkauksen, purppuranahakkasienikäsitteilyn (*Chondrostereum purpureum*) ja kitkennän vaikutukset kuusen taimikon varhaiskehitykseen. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, metsäympäristön hoidon ja suojelun pro gradu -tutkielma. 33 s.

Pentin Paja 2007. Pentin Paja Oy sai Pohjois-Karjalan Innosuomi 2007 palkinnon. - Pentin Paja Oy. [Verkkodokumentti]. Pentin Paja Oy. Saatavissa: http://www.pentinpaja.fi/main.site?action=news/view&id=23&ngid=2&language_code=fin [Viitattu 24.1.2008].

Perkiö-Mäkelä, M., Rytönen, H., Laulainen, S., Peurala, M. & Penttinen, J. 2001. Metsurien ja metsäkoneenkuljettajien ammatissa pysymiseen vaikuttavat tekijät. LEL Työeläkekassan julkaisuja 38:2001.

Salmela, M. 2009. Henkilökohtainen tiedonanto keskustelussa heinäkuussa 2009. Salmela on kitkentäkoneen kokenein kuljettaja.

Strandström, M., Hämäläinen, J. ja Pajuoja, H. 2009. Metsänhoidon koneellistaminen. Visio ja T&K-ohjelma. Metsätehon raportti 206. ISSN 1796-2374. [Verkkójulkaisu]. Metsäteho Oy. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_206_Metsanhoidon_koneellistaminen_ms-jh-hp_stand.pdf. [Viitattu 18.2.2011]. 47 s.

Tanttu, V. ja Mutikainen, A 2010. Taimikon varhaisoidon koneellistamisvaihtoehdot. [Verkkodokumentti]. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. URN: IBSN: 978-952-5694-78-9. Saatavissa: <http://www.tapio.fi/verkkójulkaisut>. [Viitattu 18.2.2011]. 18 s.

Uotila, K. 2008. Maanmuokkausmenetelmän yhteys perattavien puiden määrään ja uudistamisketjun kustannuksiin kuusen (*Picea abies*) istutusaloilla. Helsingin yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, metsäekologian laitoksen pro gradu -tutkielma. 78 s.

Valkonen, S. 1997. Viljelykuusikoiden alkukehityksen malli. Folia Forestalia, 3/1997, 321–347.

Valkonen, S. 2009. Korjaus julkaisuun Kaila et al. (2006). Julkaistaan tämän tutkimuksen liitteenä. 1 s.

Voutilainen, J. 2007. Pentin Paja Oy:ltä kitkevä taimikonperkauslaite. Juurineen nostetut risut eivät herää henkiin kantoversoina. Koneviesti 17/2007. 74–76.

Vuokila, Y. 1987. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY, Porvoo. 258 s.

Väättäin K., Ovaskainen H., Ranta P. ja Ala-Fossi A. 2005. Hakkuukonekuljettajan hiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 937. Metla, Joensuun tutkimuskeskus. Kopijyvä, Kuopio. 90 s.

Ylimartimo, M. ja Heikkilä, J. 2003. Taimikonhoitotöiden koneellistamiskelpoisuus. Metsätieteen aikakauskirja 4/2003: 429–437.

Liite 1. Sauli Valkosen korjaus julkaisuun Kaila ja muut (2006).

Korjaus julkaisuun Kaila et al. (2006)

Sauli Valkonen 18.12.2009

Kaila, S., Kiljunen, N., Miettinen, A. & Valkonen, S. 2006. Effect of timing of precommercial thinning on the consumption of working time in *Picea abies* stands in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 496-504.

Kaavasta 5 on jäänyt pois termi -1. Oikea kaava on:

$$IH_{dom(adj)} = IH_{dom(unadj)} * \left(e^{0.80304 - 0.01687T_1} - 1 \right)$$

$IH_{dom(adj)}$ = Adjusted dominant height growth between T_1 and T_2

$IH_{dom(unadj)}$ = Unadjusted dominant height growth between T_1 and T_2 ,
estimated with model (4)

T_1 = Stand age at the end of the growth period

Julkaisun tulokset on laskettu oikein joten korjauksen julkaisemiseen ei mielestäni ole tarvetta. Tämä on kuitenkin hyvä tallettaa jos kaavoja tarvitaan muuhun käyttöön.

Liite 2. Taulukko. Aineiston keskiarvo, minimi, maksimi, mediaani ja keskihajonta erinäisissä tunnuksissa. Keskiarvon ja -hajonnan vertailua alueen, istutustavan ja onnistumisen mukaan.

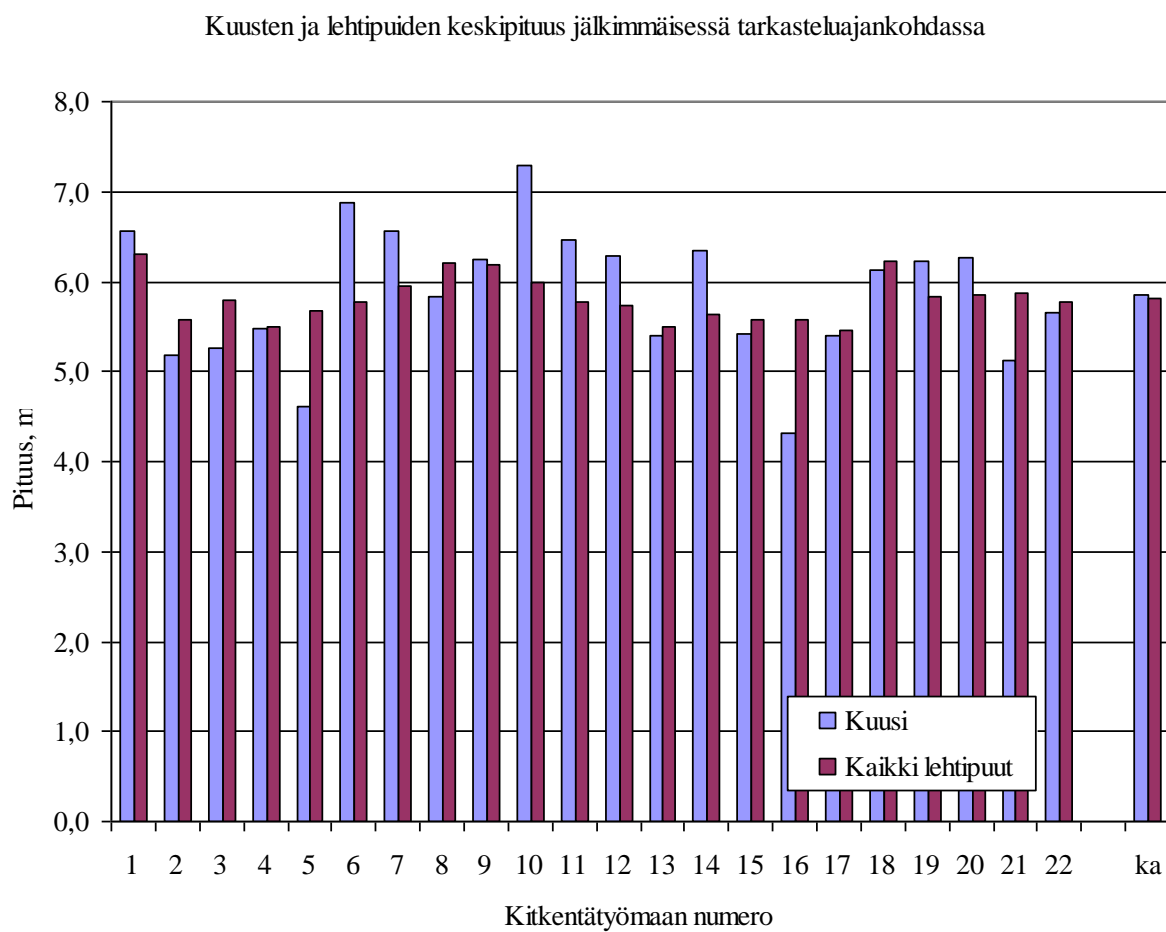
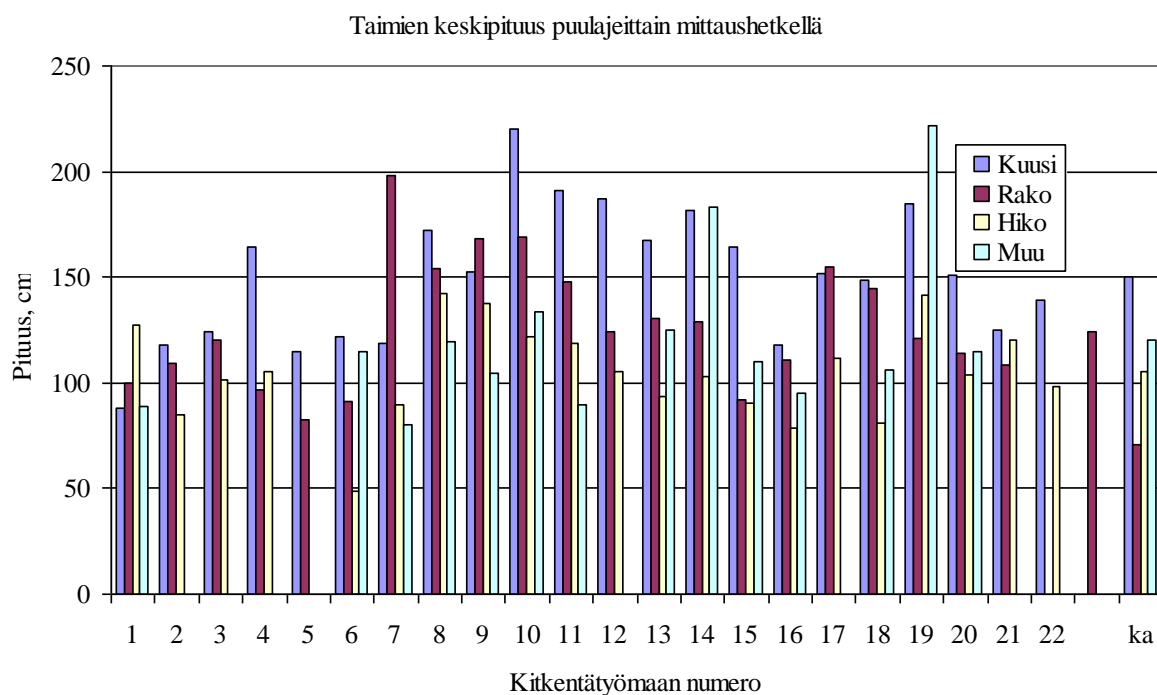
Kohteiden yleistietoja						Pohjois-Karj.(n=12)		Kymenlaakso (n=12)		Manuistutus (n=9)		Koneistutus (n=13)		Onnistuneet (n=15)		Epäonnistuneet (n=7)	
	K.a.	Min	Maks	Med	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ
Syntytapa, 1 = manu, 2 = koneist.	1,6	1,0	2,0	2,0	0,5	1,3	0,5	1,9	0,3	1,0	0,0	2,0	0,0	1,7	0,5	1,3	0,5
Kuvion pinta-ala, ha ⁻¹	2,9	0,7	5,9	2,3	1,7	2,0	1,4	3,7	1,6	2,4	1,9	3,2	1,5	3,4	1,7	1,7	0,9
Hakkuu v	2002	2001	2004	2001	1	2002,0	1,2	2001,6	0,8	2001,4	0,9	2002,1	1,0	2001,9	1,1	2001,7	1,0
Hakkuu kk	8	3	11	8	2	6,4	1,6	9,3	1,9	7,0	1,2	8,4	2,7	7,8	2,6	7,9	1,5
Mittaushetken tietoja																	
Runkoluku ilman kuusia, kpl ha ⁻¹						2809	1492	3003	1233	3103	1499	2769	1262	2437	1239	3910	986
Kuusi, kpl ha ⁻¹	1626	1400	1960	1596	160	1716	161	1536	101	1701	202	1575	103	1610	155	1661	178
Rako, kpl ha ⁻¹	1976	220	3571	1940	999	1834	1124	2119	888	2101	1048	1890	997	1729	945	2508	963
Hiko, kpl ha ⁻¹	763	0	3040	429	744	763	875	762	630	896	920	670	618	547	528	1225	959
Muu, kpl ha ⁻¹	167	0	1140	45	267	211	354	123	143	106	194	209	309	162	297	177	210
Yhteensä, sis. kuuset, kpl ha ⁻¹	4532	2280	6680	4943	1390	4525	1571	4539	1261	4804	1626	4344	1236	4047	1302	5571	982
Kuusi, cm	150	88	220	151	32	135	30	166	28	149	30	151	35	152	35	146	26
Rako, cm	124	70	198	121	32	104	20	145	29	116	18	130	38	128	37	116	15
Hiko, cm	105	49	143	104	23	92	20	117	19	95	10	111	27	109	26	96	14
Muu, cm	121	80	222	113	38	114	34	127	44	128	39	118	40	118	43	126	34
Yhteensä, cm	132	88	185	131	27	114	18	149	24	125	22	136	30	136	30	121	17
H _{dom} , cm	197	113	261	195	40	179	43	216	28	196	42	198	41	198	42	195	40
Kuusen mätäsetu, kpl ha ⁻¹	1081	606	1853	1066	341	1130	371	1032	318	1129	415	1048	292	1100	362	1040	313
Kuusen mätäsetu, cm	17	9	28	17	6	20	6	14	4	18	6	16	5	19	6	14	4
Mätäsedun osuus kuusista, %	66 %	39 %	100 %	68 %	19 %	66 %	20 %	67 %	19 %	66 %	22 %	67 %	18 %	68 %	19 %	63 %	21 %

Tarkasteluvaihe I						Pohjois-Karj.(n=12)		Kymenlaakso (n=12)		Manuistutus (n=9)		Koneistutus (n=13)		Onnistuneet (n=15)		Epäonnistuneet (n=7)	
	K.a.	Min	Maks	Med	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ
Kuusen ikä, vuotta	12,1	11,0	15,0	12,0	0,9	12,3	1,2	11,9	0,3	12,4	1,2	11,8	0,4	12,0	0,7	12,3	1,3
H _{dom} , m	3,7	3,4	4,0	3,7	0,2	3,6	0,2	3,7	0,1	3,5	0,1	3,8	0,2	3,7	0,2	3,5	0,2
H _{dom} kasvu, m vuosi ⁻¹	0,46	0,30	0,53	0,47	0,05	0,45	0,07	0,48	0,02	0,43	0,06	0,49	0,02	0,48	0,04	0,44	0,07
Kuusi, m	2,7	1,7	3,6	2,6	0,4	2,7	0,3	2,8	0,5	2,6	0,2	2,8	0,5	2,8	0,4	2,7	0,3
Kilpailijat, m	2,7	1,6	3,8	2,8	0,4	2,8	0,4	2,7	0,4	2,7	0,4	2,7	0,4	2,7	0,4	2,7	0,5
Lehtipuut, m	2,8	1,4	5,4	2,7	0,7	2,9	0,9	2,6	0,5	2,9	1,0	2,7	0,4	2,7	0,4	3,0	1,2
Kilpailijat, kpl kuusi ⁻¹	3,4	1,7	6,2	3,5	1,4	3,3	1,5	3,4	1,3	3,6	1,5	3,2	1,3	3,0	1,3	4,1	1,3
Kitkentävauriot yht., kpl ha ⁻¹	91	0	200	93	60	120	49	62	57	131	44	63	53	82	57	109	66
Ennen kitkentää "terveet", kpl ha ⁻¹	1626	1400	1960	1596	160	1716	161	1536	101	1701	202	1575	103	1610	155	1661	178
Kitkennässä kuolleet, kpl ha ⁻¹	54	0	160	57	43	76	36	32	38	84	34	34	36	45	35	74	53
ja lievästi vaurioituneet, kpl ha ⁻¹	37	0	86	40	29	43	31	30	26	47	31	29	26	37	30	35	29
Joutuu lehtipuiden piiskaamaksi, kpl ha ⁻¹	324	0	940	305	228	383	259	265	186	398	290	273	167	212	116	565	226
Jää alakynteen, kpl ha ⁻¹	146	0	666	107	160	125	128	166	191	143	134	148	181	81	87	284	197
Kuusia yhteensä, kpl ha ⁻¹	1572	1371	1880	1543	153	1640	160	1504	117	1617	200	1541	110	1565	159	1587	152
joista terveitä tukkipuuaihoita, kpl ha ⁻¹	1173	478	1518	1205	251	1182	245	1164	268	1127	237	1204	264	1301	138	897	213
Muutenkin huonokuntoisia, kpl ha ⁻¹	31	0	102	0	37	36	36	26	38	38	38	26	36	18	33	58	29
Perkaustarpeessa, kpl ha ⁻¹	332	0	940	295	245	379	271	284	220	404	294	281	202	208	103	597	257
Vaurioituneet kuuset, m	2,66	2,13	3,19	2,72	0,33	2,54	0,31	2,77	0,31	2,52	0,31	2,75	0,32	2,70	0,34	2,60	0,31
Tukkipuuaihoikuuset, m	2,94	2,27	3,26	3,00	0,27	2,91	0,24	2,96	0,30	2,85	0,21	2,99	0,29	2,99	0,22	2,82	0,34

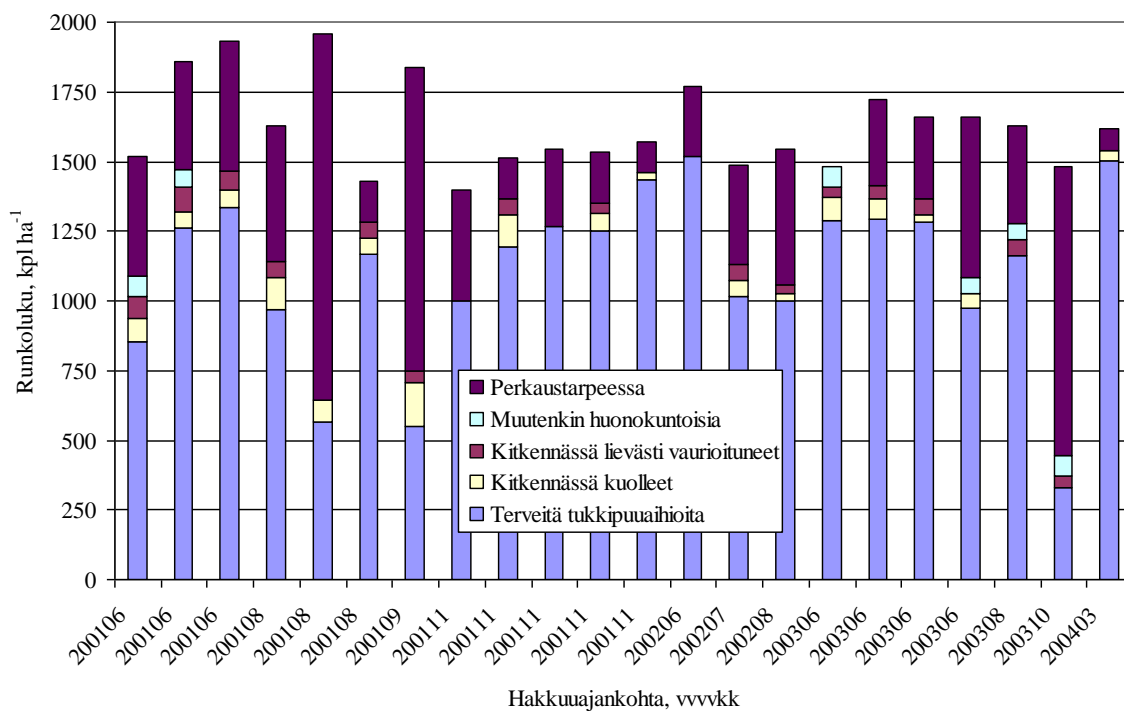
Tarkasteluvaihe I, %						Pohjois-Karj. (n=12).		Kymenlaakso (n=12)		Manuistutus (n=9)		Koneistutus (n=13)		Onnistuneet (n=15)		Epäonnistuneet (n=7)	
	K.a.	Min	Maks	Med	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ
Kitkennässä kuolleet, %	3 %	0 %	9 %	3 %	3 %	4,5 %	2,0 %	2,1 %	2,5 %	4,9 %	1,9 %	2,2 %	2,3 %	2,8 %	2,2 %	4,3 %	3,0 %
Kitkennässä vaurioituneet, %	2 %	0 %	5 %	3 %	2 %	2,6 %	1,8 %	2,0 %	1,7 %	2,9 %	1,9 %	1,9 %	1,6 %	2,3 %	1,8 %	2,2 %	1,9 %
Lehtipuiden piiskaamaksi joutuvat, %	20 %	0 %	50 %	18 %	13 %	23 %	15 %	18 %	13 %	24 %	16 %	18 %	11 %	13 %	7 %	35 %	12 %
Alakynteen jäävät, %	9 %	0 %	45 %	7 %	11 %	8 %	8 %	11 %	13 %	9 %	8 %	10 %	12 %	5 %	6 %	18 %	13 %
Kuusia yhteensä, %	97 %	91 %	100 %	97 %	3 %	96 %	2 %	98 %	3 %	95 %	2 %	98 %	2 %	97 %	2 %	96 %	3 %
Laadukkaat tukkipuuaihiot, %	75 %	32 %	97 %	78 %	16 %	73 %	16 %	77 %	17 %	71 %	17 %	78 %	16 %	83 %	8 %	57 %	14 %
Muutenkin huonokuntoiset, %	2 %	0 %	7 %	0 %	2 %	2,2 %	2,2 %	1,8 %	2,6 %	2,3 %	2,3 %	1,7 %	2,5 %	1,2 %	2,2 %	3,7 %	1,8 %
Perkaustarpeessa olevat, %	21 %	0 %	60 %	17 %	15 %	23 %	15 %	19 %	15 %	24 %	16 %	18 %	14 %	13 %	6 %	37 %	15 %
Tarkasteluvaihe II																	
Kuusen ikä, vuotta	20,00	20,00	20,00	20,00	0,00	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0
H _{dom} , m	7,15	4,76	8,17	7,25	0,79	6,9	1,0	7,4	0,4	6,6	0,9	7,5	0,4	7,3	0,6	6,8	1,0
Kasvu, m	0,39	0,26	0,45	0,40	0,04	0,38	0,06	0,41	0,02	0,37	0,05	0,41	0,02	0,40	0,04	0,38	0,06
Kuusi, m	5,9	4,3	7,3	6,0	0,7	5,6	0,8	6,1	0,6	5,4	0,7	6,2	0,6	6,1	0,7	5,4	0,7
Kilpailijat, m	5,9	5,6	6,3	5,9	0,2	5,9	0,2	6,0	0,2	5,7	0,1	6,0	0,2	6,0	0,2	5,8	0,1
Kaikki lehtipuut, m	5,8	5,5	6,3	5,8	0,3	5,7	0,2	5,9	0,2	5,6	0,1	5,9	0,2	5,9	0,3	5,7	0,1
Kilpailijoiden lkm, kpl kuusi ⁻¹	3,6	1,7	6,2	3,9	1,3	3,6	1,5	3,7	1,1	3,9	1,5	3,4	1,2	3,2	1,2	4,6	1,1
Vaurioituneet kuuset, m	5,8	2,91	7,56	5,90	0,92	5,46	1,06	6,09	0,66	5,20	1,01	6,18	0,62	5,84	1,03	5,63	0,66
Tukkipuuaihiokuuset, m	6,2	4,50	7,47	6,38	0,75	6,02	0,86	6,40	0,61	5,76	0,72	6,53	0,61	6,38	0,69	5,84	0,79
Kasvutappio max, m	0,58	0,33	0,83	0,54	0,12	0,55	0,125	0,60	0,123	0,50	0,076	0,63	0,128	0,57	0,133	0,60	0,111
Kasvutappio keskimäärin, m	0,26	0,10	0,47	0,28	0,09	0,25	0,079	0,28	0,106	0,25	0,092	0,27	0,095	0,23	0,084	0,32	0,081
Mätäsetu max, m	0,0224	0,0110	0,0405	0,0188	0,0086	0,027	0,010	0,018	0,004	0,022	0,008	0,023	0,009	0,024	0,010	0,020	0,005
Mätäsetu keskimäärin, m	0,0076	0,0027	0,0183	0,0067	0,0043	0,009	0,005	0,006	0,003	0,009	0,006	0,007	0,003	0,008	0,004	0,007	0,005

Tarkasteluvaihe II						Pohjois-Karj. (n=12).		Kymenlaakso (n=12)		Manuistutus (n=9)		Koneistutus (n=13)		Onnistuneet (n=15)		Epäonnistuneet (n=7)	
	K.a.	Min	Maks	Med	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ	K.a.	σ
Ennen kitkentää "terveet", kpl ha ⁻¹	1626	1400	1960	1596	160	1716	161	1536	101	1701	202	1575	103	1610	155	1661	178
Kitkennässä kuolleet, kpl ha ⁻¹	54	0	160	57	43	76	36	32	38	84	34	34	36	45	35	74	53
ja lievästi vaurioituneet, kpl ha ⁻¹	37	0	86	40	29	43	31	30	26	47	31	29	26	37	30	35	29
Lehtipuiden piiskaamaksi joutuvat, kpl ha ⁻¹	390	0	1222	329	316	470	360	311	257	515	383	304	240	240	134	712	361
Alakynteen jäävät, kpl ha ⁻¹	208	0	740	191	185	215	162	202	213	252	153	178	204	114	97	409	169
Kuusia yhteensä, kpl ha ⁻¹	1572	1371	1880	1543	153	1640	160	1504	117	1617	200	1541	110	1565	159	1587	152
Laadukkaat tukkipuuaihiot, kpl ha ⁻¹	1100	330	1518	1180	309	1079	321	1121	311	996	298	1172	307	1264	149	748	265
Muutenkin huonokuntoiset, kpl ha ⁻¹	18	0	74	0	30	24	33	12	27	29	35	10	25	13	27	29	37
Perkaustarpeessa olevat, kpl ha ⁻¹	417	0	1316	353	334	494	393	341	259	544	418	329	242	250	134	774	362
Tarkasteluvaihe II, %																	
Kitkennässä kuolleet, %	3 %	0 %	9 %	3 %	3 %	4,5 %	2,0 %	2,1 %	2,5 %	4,9 %	1,9 %	2,2 %	2,3 %	2,8 %	2,2 %	4,3 %	3,0 %
ja lievästi vaurioituneet, %	2 %	0 %	5 %	3 %	2 %	2,6 %	1,8 %	2,0 %	1,7 %	2,9 %	1,9 %	1,9 %	1,6 %	2,3 %	1,8 %	2,2 %	1,9 %
Lehtipuiden piiskaamaksi joutuvat, %	24 %	0 %	70 %	20 %	19 %	28 %	20 %	21 %	17 %	30 %	21 %	20 %	16 %	15 %	8 %	44 %	20 %
Alakynteen jäävät, %	13 %	0 %	50 %	11 %	12 %	13 %	10 %	13 %	14 %	15 %	9 %	12 %	14 %	7 %	6 %	26 %	12 %
Kuusia yhteensä, %	97 %	91 %	100 %	97 %	3 %	96 %	2 %	98 %	3 %	95 %	2 %	98 %	2 %	97 %	2 %	96 %	3 %
Laadukkaat tukkipuuaihiot, %	70 %	22 %	95 %	71 %	20 %	67 %	21 %	74 %	19 %	63 %	21 %	76 %	18 %	81 %	9 %	48 %	19 %
Muutenkin huonokuntoiset, %	1 %	0 %	5 %	0 %	2 %	2 %	2 %	1 %	2 %	2 %	2 %	1 %	2 %	1 %	2 %	2 %	2 %
Perkaustarpeessa olevat, %	26 %	0 %	70 %	22 %	20 %	29,3 %	21,8 %	22,8 %	17,6 %	32,4 %	22,9 %	21,7 %	16,5 %	15,8 %	8,1 %	48,0 %	19,2 %
kasvu- tai mekaaninen vaurio, %	27 %	5 %	75 %	25 %	20 %	31 %	21 %	24 %	19 %	34 %	22 %	22 %	18 %	17 %	8 %	50 %	19 %

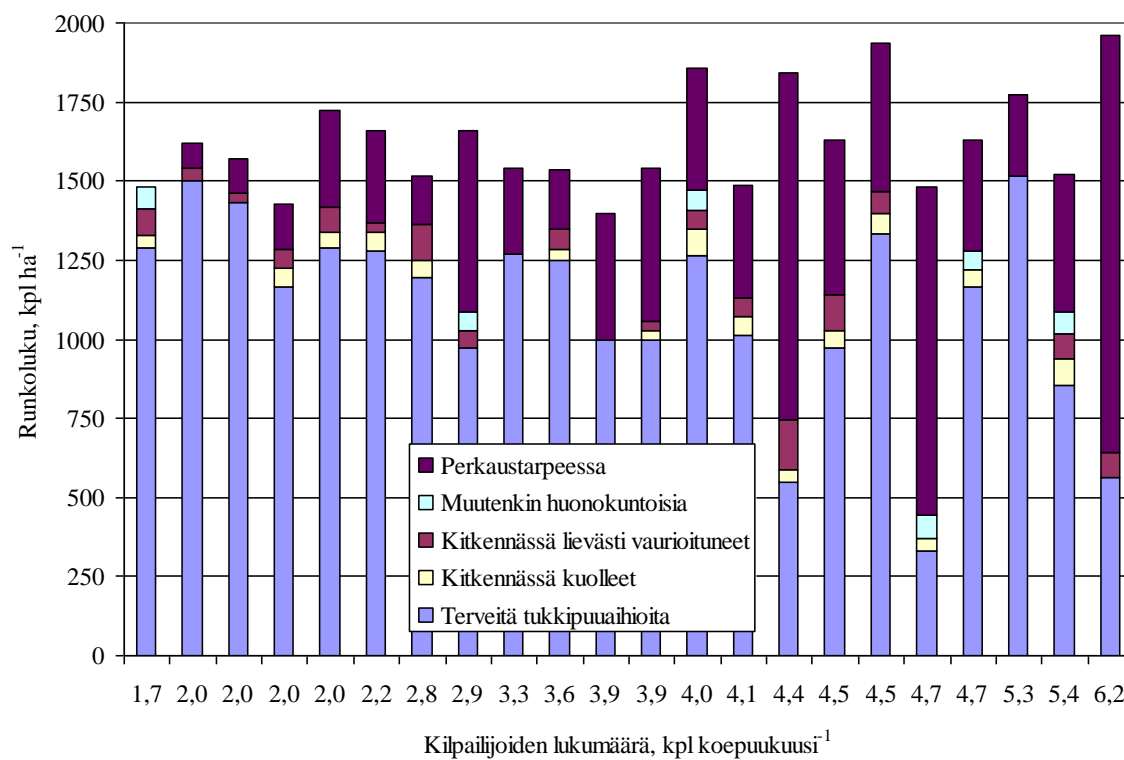
Liite 3. Kuvia.



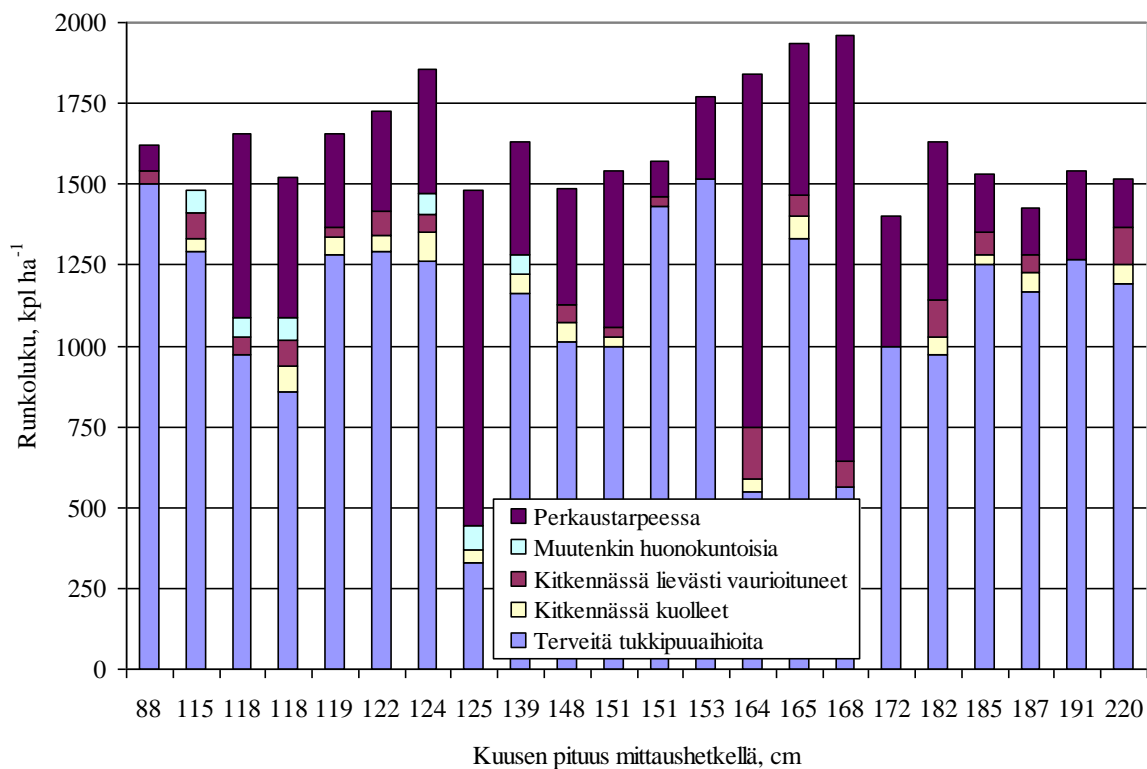
Taimikoiden kehitys hakkuuajankohdan mukaan järjestettynä



Taimikoiden kehitys kilpailijoiden lukumäärän mukaan järjestettynä



Taimikoiden kehitys kuusen mittaushetken pituuden mukaan järjestettynä



Taimikoiden kehitys rauduskoivun mittaushetken pituuden mukaan järjestettynä

