

Aki Lokasaari

**Energiapuun korjuun vaikutus hakkuutähteiden määrään
ja ravinnesisältöön turvemaiden ensiharvennuksilla**

Opinnäytetyö

Syksy 2009

Maa- ja metsätalouden yksikkö, Ähtäri

Metsätalouden koulutusohjelma

Metsätaloustuotannon suuntautumisvaihtoehto



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö:	Maa- ja metsätalouden yksikkö Ähtäri	
Koulutusohjelma:	Metsätalouden koulutusohjelma	
Suuntautumisvaihtoehto:	Metsätaloustuotanto	
Tekijä:	Aki Lokasaari	
Työn nimi:	Energiapuun korjuun vaikutus hakkuutähteiden määrään ja ravinnesisältöön turvemaiden ensiharvennuksilla.	
Oppilaitoksen ohjaaja:	Yliopettaja, MH Ossi Vuori	
Työelämän ohjaaja:	Metsäntutkimuslaitos: Erikoistutkija MMT, Jyrki Hytönen	
Vuosi: 2009	Sivumäärä: 34	Liitteiden lukumäärä: 2

TIIVISTELMÄ

Tutkimusaineistona käytettiin kolmea Metsäntutkimuslaitoksen perustamaa ensiharvennuskohdetta Etelä- ja Keski-Pohjanmaalla. Koealueilla selvitettiin erilaisten metsänkäsittelyvaihtoehtojen vaikutusta hakkuutähteiden määrään ja ravinnesisältöön turvemaiden ensiharvennuksilla. Tutkimuksessa käytetyt menetelmät olivat koealueelle jääneiden hakkuutähteiden määrän mittaaminen ja niiden ravinnesisällön määrittäminen.

Tutkimuksessa selvitettiin, kuinka paljon neljällä erilaisella käsittelyvaihtoehdolla hakkuutähteitä jäi koealueille. Tulokset osoittavat, että ns. normaalin ainespuukorjuun alueille jäi eniten hakkuutähteitä ja siten myös ravinteita. Kokopuukorjuussa hakkuutähteiden määrä oli 34 – 47 % ja ravinteiden 29 – 50 % ainespuukorjuualueiden vastaavista määristä. Talvella tehdyssä käytännön kokopuukorjuussa jäi kuitenkin nykyisten hyvän metsänhoidon suositusten mukainen määrä hakkuutähteitä alueelle.

Yhdeltä tutkimuskohteelta (Tokola, Himanka) saatiin ensimmäisen viiden vuoden jakson tulokset puuston kasvun ja neulasnäytteiden ravinteiden kehityksestä. Tällä kokeella kokopuukorjuu ei vaikuttanut puuston kasvuun tai neulasten ravinnepitoisuuksiin. Näiden pohjalta ei voida kuitenkaan vielä arvioida käsittelyjen pidemmän ajan vaikutuksia, vaan kokeita on seurattava kauemmin.

Asiasanat: kokopuukorjuu, ainespuukorjuu, hakkuutähde, ravinteet.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: Tuomarniemi School of Forestry
Degree programme: Forestry
Specialisation: Forestry Production
Author: Aki Lokasaari
Title of thesis: The influence of energy tree harvesting on the logging residue and nutrient content during first thinning on peat land.
Tutors: Tuomarniemi School of Forestry:
M.Sc. (Agr. & For.) Ossi Vuori
Finnish Forest Research Institute:
D.Sc. (Agr. & For.) Jyrki Hytönen
Year: 2009 Number of pages: 34 Number of appendices: 2

Three Forest Research Institute first thinning sites in South and Central Ostrobothnia were used as research material. The influence of the different harvesting methods to the amount of the logging residue and the nutrient content were measured in the research areas. The research methods used were to measure the logging residue in the research areas and measure the nutrient content of the residue.

The amount of logging residue was measured after four different harvesting methods were used in the research areas. The results are indicating that normal commercial timber wood-processing leaves most logging residue and also nutrients in the area. The tree-length wood-processing leaves 34 - 57 % less logging residue and 29 - 50 % less nutrients than normal commercial timber wood-processing. The tree-length wood-processing during winter time still leaves enough logging waste to fulfill the good forest care reference.

The first five year results of tree growth and needle nutrition content from the one research area (Tokola, Himanka) were received. These results are showing that tree-length wood-processing is not affecting tree growth or needle nutrient content. However long term influences can not be evaluated using these results, further examinations are needed.

Keywords: tree-length wood-processing, commercial timber wood-processing, logging residue, nutrients.

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
1. JOHDANTO.....	5
2. AINEISTO JA MENETELMÄT.....	11
2.1. Koealueiden sijainti ja erityispiirteet.....	11
2.2. Käsittelyjen kuvaus.....	13
2.3. Hakkuutähteiden mittaukset.....	14
2.4. Muut mittaukset.....	16
2.5. Aineiston käsittely.....	18
3. TULOKSET.....	19
3.1. Hakkuutähteen määrä eri käsittelyillä.....	19
3.3. Neulasten ravinnepitoisuudet.....	26
3.4. Puuston kasvu Tokolan koealueella.....	28
4. TULOSTEN TARKASTELU.....	29
5. PÄÄTELMÄT.....	34
LÄHTEET:.....	35
LIITE 1. Puukkoahon käsittelykartta, kivennäismaan lohkot.....	38
LIITE 2. Puukkoahon käsittelykartta, turvemaan lohkot.....	39

1. JOHDANTO

Suomen maapinta-alasta 87 prosenttia eli yhteensä 26 miljoonaa hehtaaria luokitellaan metsätalousmaaksi. Metsätalousmaasta 34 prosenttia on suota. Soilla tehdyt ojitukset ovat sekä parantaneet huonokasvuisten metsämaan soiden kasvuolosuhteita että muuttaneet osan kitu- ja joutomaan soista metsämaaksi. Suopuustojen merkitys metsätaloudessa kasvaa nopeasti. (Metsätilastollinen vuosikirja 2007, 33.)

Soiden metsäojitus on ollut vilkkainta 60- ja 70-luvulla, jolloin parhaina vuosina ojituksia on tehty lähes 300 000 hehtaaria vuodessa (Tapion taskukirja 2002, 221). Nyt nämä ojitetut suot ovat suurelta osin harvennuskypsiä metsiä. Soiden metsänhoidossa on tärkeää vesitalouden kunnossapidon lisäksi turvata kasvamaan jäävän puuston ravinteiden tarve.

Euroopan komissio julkisti tammikuussa 2008 direktiiviehdotuksen uusiutuvista energialähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi. Euroopan unioni (EU) on sitoutunut kasvihuonepäästöjen 20 prosentin vähentämiseen vuoteen 2020 mennessä vuoden 1990 päästötasoon verrattuna. Uusiutuvien energialähteiden käytön edistämällä tuetaan EU:n energiapoliittisia tavoitteita. Direktiiviehdotuksessa (ns. RES-direktiivi) esitetään tavoitteeksi lisätä uusiutuvien energialähteiden osuus 20 prosenttiin EU:n energialähteiden loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä, tällä hetkellä osuus on 8,5 prosenttia. Suomessa uusiutuvien energialähteiden osuus on 28,5 prosenttia (Metsätilastollinen vuosikirja 2007, 284) energian loppukulutuksesta ja direktiivissä tavoitteeksi on asetettu 38 prosenttia vuonna 2020. Suomessa uusiutuvan energian lisääminen merkitsee lähinnä metsäenergian, vesi- ja tuulivoiman sekä maalämmön käytön lisäämistä. (Metsätilastollinen vuosikirja 2008, 284.)

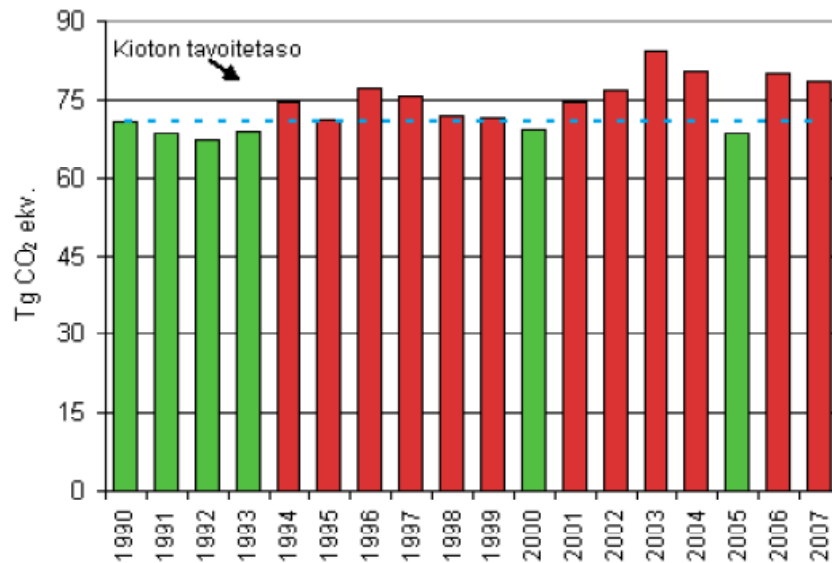
Kansallinen metsäohjelma (KMO) 2015 on valtioneuvoston 27.3.2008 periaatepäätöksenä hyväksymä ohjelma, jonka päämääränä on lisätä kansalaisten hyvinvointia hyödyntämällä metsiä monipuolisesti kestävän kehityksen periaatteita nou-

dattaen. KMO 2015 rakentuu kuudelle painopistealueelle, yhtenä painopistealueena on tärkeässä osassa metsien ilmasto- ja energiahäyötyjen lisääminen. Lupaavimmat mahdollisuudet puuperäisen energian lisäämiseksi ovat metsähakkeen lisäkäyttö lämpölaitoksissa ja sellutehtaiden biojalostamokonseptien kehittäminen. KMO:n tavoitetaso metsähakkeen käytölle on 8 – 12 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Vuonna 2008 metsähaketta käytettiin 4 milj. m³ (Metinfo tilastopalvelu 2009). Metsäohjelman toteuttaminen tukisi merkittävästi EU:n asettamaa tavoitetta lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä. Metsähakkeen lisäkäyttö (n. 5 – 9 milj. m³) vuodessa merkitsisi noin 2 – 3 prosenttiyksikön lisäystä uusiutuvien energialähteiden osuuteen primäärienergian kokonaiskäytöstä. Jos metsähakkeen koko lisäkäyttö ohjautuisi fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen, voitaisiin saavuttaa vuositasolla jopa 6 – 7 miljoonan hiilidioksiditonin päästövähennys. Metsähakkeella tarkoitetaan oksa- ja latvusmassasta, pienpuusta, kannoista ja juurakoista tai runkokuusta valmistettua haketta (KMO 2015, 7 - 20).

Kioton pöytäkirja velvoittaa kehittyneitä maita vähentämään kuuden kasvihuonekaasun (hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, fluorihilivedyt, perfluorihilivedyt ja rikikiheksafluoridi) päästöjä yhteensä 5,2 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuosina 2008–2012. Tämä sitova yleisvelvoite on jaettu maakohtaisiksi velvoitteiksi, jotka ovat erisuuruisia eri maissa. Kioton ilmastopimusta täydentävä pöytäkirja hyväksyttiin vuonna 1997 ja se tuli voimaan 16.2.2005 (Kioton pöytäkirja). Suomi ratifioi sopimuksen Euroopan unionin jäsenmaiden kanssa vuonna 2002. Suomen veloitteena on pitää kasvihuonekaasujen päästöt vuosina 2008–2012 keskimäärin vuoden 1990 tasolla (kuvio 1).

Ilmaston muutoksessa metsillä on tärkeä rooli, koska kasvihuonekaasuja ja erityisesti hiilidioksidia sitoutuu puustoon ja maaperään. Turvemaametsien käytön vaikutus on kaksijakoinen. Metaania vapautuu eniten märiltä luonnontilaisilta soilta ja ojitusten myötä metaanin päästöt pienenevät. Metaanipäästöt nopeuttavat ilmaston lämpenemistä. Lisäksi ojitus nopeuttaa puuston kasvua ja lisääntyvä turvemaiden puuvarasto sitoo yhä enemmän ilmakehän hiiltä. Toisaalta ojituksenjälkeinen vedenpinnan aleneminen nopeuttaa turpeen hajoamista suon pintaosissa ja muuttaa maaperän hiilidioksiditaseen negatiiviseksi. Kasvavan suometsän puusto pitää

kuitenkin suometsien kokonaishiilitaseen positiivisena (Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille 2007, 9).



Kuvio 1. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2007 suhteessa Kioton tavoitetasoon (71 Tg CO₂ ekv.). Lähde: Tilastokeskus, kasvihuonekaasut.

Bioenergian tuotannolle on 2000-luvulla asetettu kovia kasvutavoitteita. Taustalla on kansainväliset sitoumukset kasvihuonekaasujen päästöjen leikkaamiseksi ja ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi. Puuenergian lisääminen vähentää kasvihuonepäästöjä, jos sillä korvataan fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Samalla se on lisännyt energian tuottajien mielenkiintoa päästövapaita puupolttoaineita kohtaan. Kun päätehakkuiden ainespuun korjuuseen yhdistetään latvusmassan ja kantojen talteenotto, biomassan poistuma kasvupaikalta voi kasvaa yli puolella ja ravinnepoistumat voivat moninkertaistua. Energiapuun talteenoton seurannaisvaikutuksista tiedetään vielä vähän. Vuonna 2005 laadittiin Metsätalouden kehittämiskeskus Tapiossa ensimmäiset valtakunnalliset suositukset kestäväälle energiapuunkorjuulle. Tutkitun tiedon vähyyden takia suositukset nojaavat varovaisuusperiaatteeseen ja suosituksia päivitetään uusien tietojen perusteella (Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset 2008, 3).

Metsähakkeen käytön lisääntyessä tavoiteohjelman mukaisesti merkitsisi se hakkuumäärien kasvua noin 10 miljoonalla kuutiometrillä. Samalla se merkitsisi 120 –

220 miljoonan euron lisäystä metsänomistajien sekä korjuu- ja kuljetusyrittäjien liikevaihtoon. Metsäohjelma lisäisi maaseudun elinvoimaisuutta. Lisääntyvän aines- ja energiapuun korjuun ja kuljetuksen, metsänhoito- ja parannustöiden sekä energian tuotannon tarjoamat työllistävät mahdollisuudet kohdistuisivat pääosin haja-asutusalueille. Samoin alemman asteisen tieverkon ja vähäliikenteisen rautatieverkoston kunnostamisen sekä ylläpidon tuomat työmahdollisuudet kohdistuisivat myös harvaan asutuille alueille. Hakkuiden lisääntyminen ja painottuminen nykyistä enemmän turvemaille ja kuitupuuhun sekä metsänhoitotöiden ja energiapuun korjuun lisääntyminen tarkoittavat samalla työllistävää vaikutusta metsätaloudessa (KMO 2015, 36 - 37).

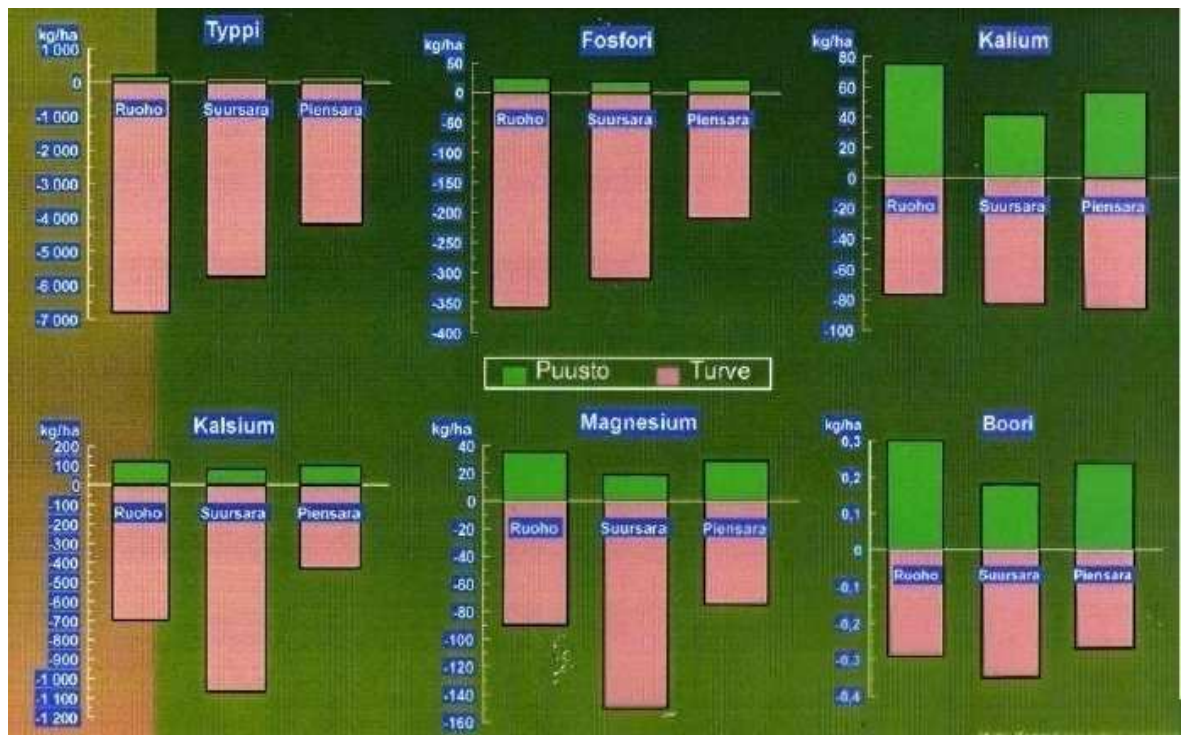
Kokopuukorjuussa (kuva 1) poistuu metsiköstä runkopuun ja latvusten mukana ravinteita, mikä voi alentaa puuston kasvua esimerkiksi vähäravinteisilla ravinnetaloudeltaan epätasapainoisilla turvekankailla. Hakuutähteitä otettaessa talteen tulee kiinnittää erityistä huomiota ravinnetalouteen (Hyvän metsänhoidon suositukset, 66). Biomassan korjuuasteen vaikutuksista suopuustojen kasvuun ei ole kokeellista tutkimustietoa (Nurmi & Kokko 2001, 42).



Kuva 1. Kokopuukorjuuta Puukkoahon koealueella. (Kuva: Seppo Vihanta, Metla)

”Turvemaiden puuston kasvua rajoittaa yleisimmin kaliumin, fosforin tai boorin niukkuus, vain karuimmilla kohteilla voi myös typestä olla puutetta.” (Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset 2008, 28).

Turvemaat poikkeavat ravinteikkuudeltaan huomattavasti kivennäismaista. Etenkin paksuturpeisilla ojitusalueilla turpeessa on puiden kannalta niukasti fosforia, kaliumia ja hivenaineita, kuten booria, sinkkiä ja kuparia. Puille käyttökelpoisen typen määrä pintaturpeessa vaihtelee suuresti suotyypin mukaan. Typpi ja fosfori yleensä konsentroituvat kasvualustassa ojituksesta kuluvan ajan myötä. Kalium ja boori puolestaan vähenevät puunkorjuussa ja huuhtoutumalla (kuvio 2). Näin suomaille syntyy herkästi ravinteiden epätasapainotiloja, jotka tulevaisuudessa todennäköisesti edelleen kärjistyvät (Moilanen 1999 – 2003, 1). Kokopuukorjuuna tehtävän hakkuun on arvioitu lisäävän kaliumin poistumaa jopa 10 - 15 kg/ha verrattuna normaaliin runkopuun korjuuseen, kun runkopuun kertymä on luokkaa 30 - 40 m³/ha (Kaunisto 1996, 22).



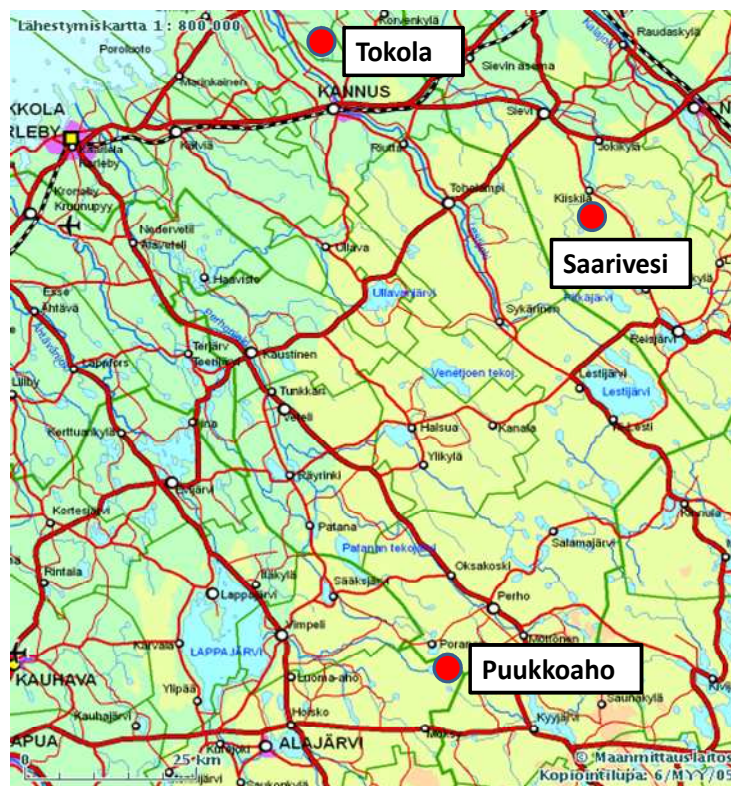
Kuvio 2. Turpeen pintakerroksen (0 – 20 cm) ja puuston sisältämät ravinnemäärät kasvupaikkatyypeittäin hakkuupoistumat huomioiden (Moilanen, Piironen & Karjalainen 1996, 49).

Energiapuun hyödyntämiseen liittyy monenlaisia sekä kansainvälisiä että kansallisia tekijöitä, jotka tukevat sekä energiapuun käytön tutkimista että energiapuun käyttöä. Puu on uusiutuva luonnonvara, jonka asemaa energialähteenä Kioton sopimus parantaa. Päästökauppa lisää tulevaisuudessa uusiutuvien energialähteiden kilpailukykyä uusiutumattomiin verrattuna (Koistinen & Äijälä 2006, 5). Energiapuun käytön lisääminen voi olla sekä taloudellisesti, ekologisesti että sosiaalisesti merkittävää. Energiapuun korjuuseen liittyen on tärkeää saada lisää tutkimustuloksia siitä, mikä merkitys jätettävällä latvumassalla on maaperän puuntuotoskykyyn. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää kokopuukorjuun vaikutuksia energiapuun korjuussa turvemaiden ensiharvennuksilla. Tulokset ovat kolmelta Metsäntutkimuslaitoksen kokopuukorjuun koealueelta Pohjanmaalta. Tarkoituksena on selvittää käsittelyittäin puuston määrä ja rakenne, sekä ennen että jälkeen harvennusten, sekä saada tietoa erilaisten käsittelytapojen vaikutuksista jäävään hakkuutähteiden ja ravinteiden määrään.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. Koealueiden sijainti ja erityispiirteet

Tutkimuksen aineisto kerättiin Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen toimintayksikön perustamalta kolmelta erilliseltä energiapuun koealueelta Himangan Tokolasta, Sievin Saarivedeltä ja Alajärven Puukkoaholta (kuva 2).



Kuva 2. Tutkimusalueiden sijainti. (Kartta, Maanmittauslaitos).

Kaikilta koealueilta kerättiin kasvupaikkaan liittyvää perustietoa (taulukko 1.), maantieteellinen sijainti (N^o), kartat (liite 1 ja 2, Puukkoahon käsittelykartat), kasvupaikka, puustotiedot, korkeus merenpinnasta (mpy, m), sademäärät (mm) ja lämpösumma (dd) (taulukko 1).

Taulukko 1. Perustietoja koealueista.

Kokeen nimi	Tokola	Saarivesi	Puukkoaho kivennäismaa	Puukkoaho turvema
Perustamisvuosi	2003	2007	2008	2008
Suotyyppi	Ptkg –(Mtkg)	Ptkg	VT - kangas	Ptkg
Turpeen paksuus, cm	20 - 105	18 - 100	-	33 - 98
Puusto m ³ /ha	ennen hakkuita	265	141	174
	hakuupoistuma	152	25	56
	hakkuiden jälkeen	113	116	118
Korkeus merenpinnasta mpy, m	50	125	180	180
Lämpösumma, dd (ka.1995 - 2004)	1160	1137	1146	1146
Sademäärä, mm (ka.1995 - 2004)	572	582	615	615

Ensimmäinen koealue perustettiin Himangan kunnan Tomujoen kylän Tokolan palstalle vuonna 2003. Kasvupaikkatyyppi on puolukkaturvekangas, jossa turpeen paksuus vaihtelee välillä 20 – 105 cm. Metsikkö oli luontaisesti syntynyt ja perusojitus alueelle oli tehty 1970-luvulla. Puuston kokonaisrunkotilavuus koetta perustettaessa oli 265 m³/ha ja ikä 61 – 81 vuotta. Alkupuusto mitattiin jokaiselta ruudulta kahdelta ympyränäytealalta, jossa säde (r) oli 6 m. Näytealoilta mitattiin kaikki d_{1,3} > 45 mm:n puut. Alkupuustosta noin 60 % oli mäntyä, hieskoivua 35 % ja kuusta 5 %. Koeruutuja oli yhteensä 26 kpl ja ne oli jaettu 6 lohkokoon. Koeruutujen koko 1500 – 2000 m².

Toinen koealue perustettiin Sievin Saarivedelle vuonna 2007. Kasvupaikkatyyppi on puolukkaturvekangas, jossa turpeen paksuus vaihtelee välillä 18 – 100 cm. Kohde oli ollut avosuo (neva), jolle puusto luontaisesti syntynyt. Kohde oli ojitettu auralla 1960-luvulla ja ojitusta oli täydennetty 1980-luvulla. Puuston kokonaisrunkotilavuus koetta perustettaessa oli 141 m³/ha ja ikä 55 – 61 vuotta. Alkupuusto mitattiin ruutujen keskellä olevalta 10 metriä leveältä mittauskaistalta koko ruudun leveydeltä. Kaistalta mitattiin kaikki d_{1,3} > 45 mm:n puut. Alkupuustosta noin 90 % oli mäntyä ja 10 % hieskoivua. Koeruutuja oli yhteensä 20 kpl ja ne oli jaettu 4 lohkokoon. Koeruutujen koko noin 1600 m².

Kolmas koealue perustettiin Alajärven Puukkoaholle vuonna 2008. Koealueella on kaksi erillistä koealuetta toinen kivennäismaalla ja toinen turvemaalla. Kasvupaik-

katyyppi kivennäismaalla on kuivahko kangas. Metsikkö on syntynyt kylvämällä kahdessa eri vaiheessa 1960-luvulla ja iältään 39 – 48 vuotta vanhaa. Puuston kokonaisrunkotilavuus koetta perustettaessa oli 174 m³/ha. Kasvupaikkatyyppi turvemaalla on puolukkaturvekangas, jossa turpeen paksuus vaihtelee välillä 33 – 98 cm. Metsikkö turvemaalle on syntynyt luontaisesti ja perusojitus alueella tehty 1970-luvulla. Puuston kokonaisrunkotilavuus koetta perustettaessa oli 179 m³/ha. Alkupuusto mitattiin kivennäismaalla 10 metriä ja turvemaalla 8 metriä leveiltä mitauskaistoilta ruutujen keskeltä. Koealueen puusto on puhdasta männikköä. Koealue on jaettu 5 lohkoon ja koeruutuja kivennäismaalla on 10 kpl sekä turvemaalla 15 kpl. Koeruutujen koko 1200 – 1900 m².

2.2. Käsittelyjen kuvaus

Kaikilla koealueilla oli viisi erilaista käsittelytapaa: A) Normaali ainespuukorjuu (kuva 3), jossa latvat, oksat ja raivauspuusto jäävät alueelle. Hakkuu tehtiin yksioteharvesterilla ja metsäkuljetus metsätraktorilla. Hakkuutähteitä jäi alueelle paljon. B) Kokopuukorjuu, jossa oksat ja latvat kerättiin koneellisesti pois. Hakkuu tehtiin yksioteharvesterilla, jossa katkonta ensin puun tyvestä ja sen jälkeen rungon puolivälistä, koneellista karsintaa ei tehty. Metsäkuljetus tehtiin metsätraktorilla. C) Kokopuukorjuu (kuva 3), kuten B, mutta lisäksi täydennettiin hakkuutähteiden kerääminen koneellisen korjuun jälkeen vielä käsin puhtaaksi, jolloin hakkuutähteitä jäi vähän. D) Ainespuukorjuu, kuten A, minkä lisäksi polttoranka otettiin talteen, alueelle jää oksat ja lyhyt latva. Hakkuu suoritettiin yksioteharvesterilla ja metsäkuljetus metsätraktorilla. E) 0 – käsittely, jossa ruudulle ei tehdä minkäänlaista käsittelyä.

Kaikilla koealueilla käytettiin ns. satunnaistettujen lohkojen menetelmää. Koealueet on jaettu lohkoihin sijainnin, maaperän ja puustotunnusten ominaisuuksien perusteella. Lohkon sisällä suoritettiin käsittelyiden arvonta satunnaisesti.



Kuva 3. Puukkoahon turvemaan koealueelta hakkuiden jälkeinen kuva keväällä 2009, vasemmalla normaali ainespuukorjuu ja oikealla kokopuukorjuu, jolta on vielä käsin kerätty hakkuutähteitä pois. (Kuva: Aki Lokasaari.)

2.3. Hakkuutähteiden mittaukset

Hakkuutähteitä kerättiin (kuva 3) ja punnittiin 15 näytealalta jokaiselta koeruudulta, näytealojen (koko 3 m², 1 m x 3 m). Hakkuutähteisiin luettiin kaikki hakkuusta johdettu materiaali mukaan lukien raivauspuusto, niillä käsittelyillä joilla se jätettiin koeruudulle. Ruutujen todelliseen pinta-alaan kuului myös ajourat. Näytealojen paikka määrättiin linjoittaisella otannalla ja linjaväli saatiin jakamalla ruudun pinta-ala 15 (näytealamäärä ruudulla), josta neliöjuuri. Punnituksessa ensimmäinen näyteala mitattiin puolitetulla linja- ja näytealavälillä. Mikäli näyteala sattui mittauksessa ruudun reunaan, näyteala siirrettiin taaksepäin, niin että se oli kokonaan ruudulla. Punnitusten jälkeen voitiin Microsoft Excelin avulla laskea näytealoilta saaduista tuloksista tuoremassan määrä kg/ha.



Kuva 4. Hakkuutähteet kerättiin 15 eri näytealalta joka koeruudulta. Puukkoaholla hakkuun jälkeinen lumisade vaikeutti hakkuutähteiden keräämistä. (Kuva: Seppo Vihanta, Metla.)

Koeruuduilta kerättiin koostettu kosteus- ja ravinnenäyte kolmelta eri näytealalta. Näyte kerättiin jokaiselta koeruudulta näytealoilta 5, 10 ja 15. Näytteisiin otettiin samassa suhteessa eri hakkuutähdettä (neulaset, kuori, oksat, runkopuu), kuin sitä oli näytealalla. Kosteusnäytteiden avulla laskettiin ruutukohtaiset kosteusprosentit, joiden avulla voitiin laskea hakkuutähteiden kuivamassa ruutu- ja hehtaarikohtaisesti. Mittauksessa käytettiin bussolia, rullamittaa, kooltaan yksi kertaa kolme metriä olevaa kehikkoa, moottorisahaa, oksasaksia, saavia ja digitaalienttävaakaa (kuva 4), jolla punnittiin näytealalle jäänyt hakkuutähde. Hakkuutähteen paino kirjattiin näytealoittain. Näytteet säilytettiin laboratorion kylmiössä +5 asteessa.

Koostetut näytteet punnittiin ensin laboratoriossa tuoreena ja sen jälkeen ne fraktioitiin (eli eroteltiin ositteisiin); 1) neulaset ja lehdet, 2) 2 mm ja sitä ohuempia oksat sekä irralliset tuohen ja kuoren palat, 3) yli 2 mm:n oksat. Erottelun jälkeen ositteet kuivattiin lämpökaapissa +75 asteen lämpötilassa kaksi vuorokautta. Kui-

vauksen jälkeen ositteet punnittiin uudelleen ja saatiin ositteiden kuivapaino. Koe-ruuduille jäljelle jäänyt hakkuutähteiden määrä laskettiin ositteittain ja yleistettiin otoksista käsittelykohtaisiksi tuloksiksi Microsoft Excelin avulla.



Kuva 5. Hakkutähteet punnittiin joka näytealalta. (Kuva: Seppo Vihanta, Metla.)

Näytteiden fraktioinnin ja punnitusten jälkeen laboratoriossa määriteltiin näytteistä vielä eri ositteiden ravinnepitoisuudet.

2.4. Muut mittaukset

Tutkimuksessa kerättiin kaikki kasvupaikkaan liittyvä tieto kokeilta: maantieteellinen sijainti (N^o), lämpösummat, sademäärät, karta t, kasvupaikkatyyppi, maalaji, turpeenpaksuus ja maaravinteet.

Puuston mittauksessa mitattiin puustosta seuraavat tiedot; keskipituus, keskiläpimitta, valtapituus, valtaläpimitta, runkoluku, pohjapinta-ala, latvusraja, runkopuun tilavuus, rungon kuorellinen biomassa, puutavaralajijakauma (tukkipuuta, kuitupuuta, hukkapuuta). Nämä tunnuksot laskettiin puulajeittain ennen ja jälkeen hakkuiden, ja näin saatiin selville alkupuusto, poistuma ja kasvamaan jäänyt puusto.

Alkupuusto mitattiin Tokolan koealueella kahdelta ympyräkoealalta, jonka säde (r) oli 6 m ja pinta-ala yhteensä noin 226 m² yhdellä koeruudulla. Ympyräkoealat olivat ruudun keskilinjalla eikä niissä ollut ajouria mukana. Puusto luettiin ympyräkoealoilta rinnankorkeudelta ($d_{1,3}$) mm tarkkuudella kohtisuoraan keskipisteeseen päin. Luettujen puiden määrä/ ruutu oli 95 – 208 kpl. Laskentaa varten otettiin koepuiksi ruutujen 4, 10, 14 ja 21 ruutujen toinen ympyräkoeala, jonka kaikki puut (224 kpl) tulivat alkupuuston laskentaan mukaan. Koepuista mitattiin lisäksi pituus (dm). Hakkuun jälkeisessä puustolaskennassa jäljelle jääneet puut kartoitettiin ruuduittain samoilta ympyräkoealoilta. Kaikista lukupuista mitattiin $d_{1,3}$, suunta ja etäisyys keskipisteeseen, puulaji määritettiin ja arvioitiin elinvoimaisuus, latvuskerros sekä teknillinen laatu (Metsikkökokeiden maastotyöohje 1987, 225 – 227). Ympyräkoealoilta joka neljäs puu otettiin kaikilta ruuduilta koepuiksi (233 kpl) laskentaa varten. Saariveden ja Puukkoahon puuston mittaukset tehtiin mittauskaistoittain ruutujen keskelle, kohtisuoraan ajouriin nähden. Mittauskaistan leveys oli Saarivedellä ja Puukkoahon kivennäismaalla 10 metriä sekä Puukkoahon turvemaalla 8 metriä. Mittauskaistoille tuli mukaan myös ajourat. Mittauskaistojen pinta-ala Saarivedellä oli noin 400 m² ja Puukkoaholla 300 – 427 m². Mittauskaistojen kaikki lukupuut luettiin rinnankorkeudelta ($d_{1,3}$) mm tarkkuudella kohtisuoraan konepisteeseen päin. Saariveden koealueella mittauskaistoilla oli kaksi konepistettä ja Puukkoaholla yksi konepiste. Alkupuuston mittauksessa koepuita otettiin kahdelta koeruudulta Saarivedellä (ruuduilta 10 ja 21) ja Puukkoaholla (ruuduilta 7 ja 8 kivennäismaalla sekä ruuduilta 3 ja 5 turvemaalla), koepuita tuli 35 – 60 kpl. Myös Saariveden ja Puukkoahon puusto kartoitettiin mittauskaistoittain samoin kuin edellä mainitut Tokolan ympyräkoealat hakkuun jälkeen. Hakkuun jälkeisessä mittauksessa koepuiksi Saarivedellä ja Puukkoaholla otettiin joka toinen puu jokaiselta mittauskaistalta.

Jokaiselta koealueelta kerättiin ensimmäisen talven aikana neulasnäytteet ravinnepitoisuuksien määrittelyä varten. Neulasnäytteet kerättiin joulukuun – maaliskuun välisenä aikana puiden lepokautena. Jokaiselta koeruudulta otettiin viidestä vallitsevaa latvuskerrosta hyvin kuvaavasta puusta näyte oksaleikkurilla. Näyteoksiksi valittiin 1 – 2 etelänpuoleista oksaa puun latvuksen ylimmästä kolmanneksesta, näytepuuksi leikattiin viimeinen vuosikasvain. Näytepuut valittiin tasaisesti koko koeruudun alueelta. Näytepuiksi ei hyväksytty ojamailta kasvavia puita. Näyteisiin ei

koskettu käsin vaan ne leikattiin suoraan näytepussiin, johon kerättiin aina yhden koeruudun näytteet. Tokolan ja Saariveden alueelta neulasnäytteitä on kerätty koekoiden perustamisesta lähtien lähes vuosittain ravinnepitoisuuksien määrittelyä varten.

2.5. Aineiston käsittely

Hakkuutähteiden ja hakkuutähteissä olevien ravinteiden määrä laskettiin Microsoft Excelillä jokaiselle koealueelle erikseen. Tulosten perusteella voitiin vertailla eri käsittelytapojen vaikutusta hakkuutähteiden määrään ja piirtää tuloksista kaaviot (kuvio 3).

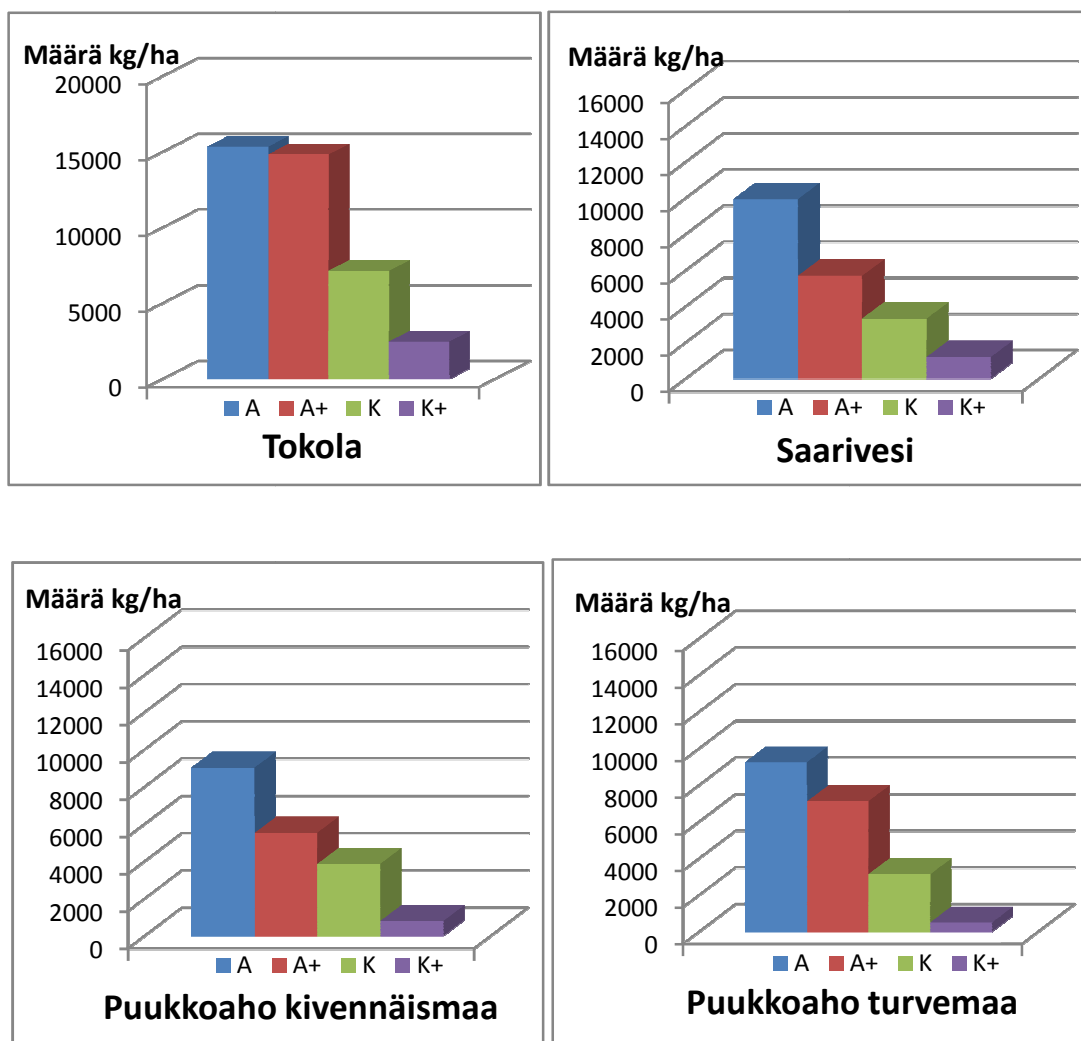
Peruslaskennassa lasketut koeruutukohtaiset tunnuksot (hakkuutähteiden määrät sekä ravinneanalyysistä saadut ravinnepitoisuuksien tulokset) siirrettiin SPSS tilasto-ohjelmistoon, jolla muuttujamuunnokset ja varsinaiset tilastolliset analyysit tehtiin. Tilasto-ohjelmalla tutkittiin käsittelyiden välisiä tilastollisesti merkitseviä eroja. Varianssimallissa olivat mukana käsittely ja toisto. Varianssianalyysin jälkeen keskiarvoja vertailtiin Tukey'n testillä.

Puustotunnukset on laskettu koealojen puu- ja puustotunnusten (KP7) laskentaohjelmalla (Heinonen 1994). Ohjelmassa koepuutiedot yhdistetään tasoitusfunktioiden avulla kuvaamaan koko runkolukusarjaa. Aineiston laskennassa käytettiin Näslundin pituuskäyrää $h = 1.3 + (d / (a_0 + a_1 * d))^{**E}$, jossa h on puun pituus, d on rinnankorkeusläpimitta ja E on eksponentti, joka tässä on 2. Runkotilavuuden laskennassa käytetty tasoitusfunktio oli muotoa $v / (d * d) = a_0 + a_1 * d + a_2 * d * d$, missä a₀, a₁ ja a₂ ovat kertoimia. Tasoitusfunktioiden ja mittausaineiston yhteensopivuus tarkistettiin KP7-ohjelmiston PIC7P-grafiikkaohjelmalla. Tokolan aineistossa otosvirhe jäi pieneksi riittävän koepuumäärän johdosta, sen sijaan Saariveden ja Puukkoahon alkumittauksessa koepuita (35-60 kpl) oli vain kahdelta koeruudulta, jota määrää täydennettiin lisäämällä alueiden lopullisen puustonmittauksen koepuutiedoilla.

3. TULOKSET

3.1. Hakkuutähteen määrä eri käsittelyillä

Kaikilla koealueilla hakkuutähteen määrä (kuvio 3) oli odotetusti suurin normaalisti ainespuukorjuussa, seuraavana olivat polttorangan korjuu ainespuun lisäksi ja kokopuukorjuu. Pienin hakkuutähteen määrä koealueille jäi, kun kokopuukorjuun jälkeen käsin poistettiin loput hakkuutähteet.



Kuvio 3. Hakkuutähteen määrä koealueilla eri käsittelytavoilla, kuivapaino (kg/ha). A = ainespuukorjuu, A+ = ainespuukorjuu + ranka, K = kokopuukorjuu ja K+ = kokopuukorjuu + kaikki pois.

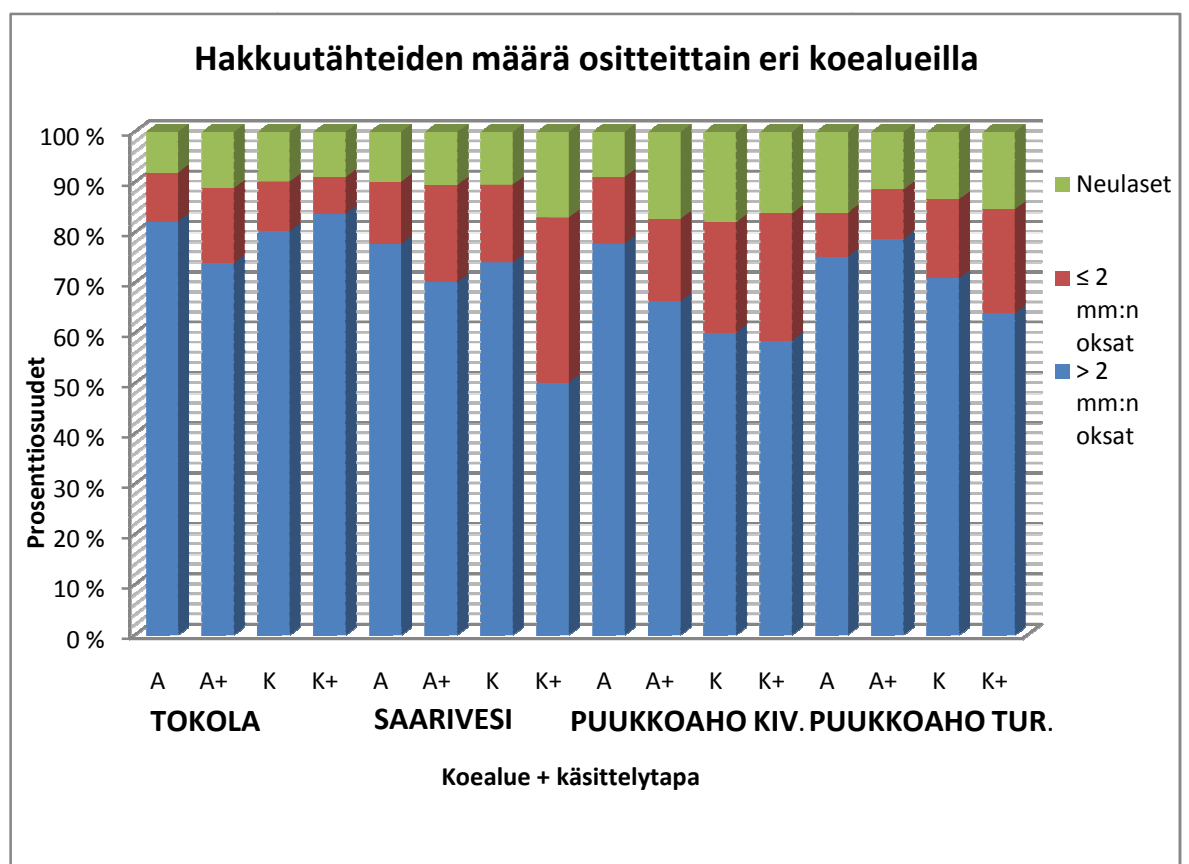
Tokolan koealueella harvennushakkuun jälkeen kaikissa käsittelyissä jäi eniten hakkuutähteitä. Syynä Tokolan suuriin hakkuutähdemääriin on se, että Tokolan koealue oli alueista ravinteikkain ja samalla alkupuuston määrä oli huomattavasti suurempi kuin muilla koealueilla. Lisäksi Tokolan alueella alkupuustosta kolmasosa oli hieskoivua. Tokolan alkupuuston määrä 265 m³/ha (taulukko 1) oli 86 – 124 m³/ha enemmän kuin muilla koealueilla. Saariveden alueella puustosta oli noin 10 % hieskoivua ja Puukkoahon alue oli lähes puhdasta männikköä. Hakkuupoistuma oli Tokolan alueella 152 m³/ha, kun se muilla koealueilla oli 25 – 78 m³/ha. Hakkuupoistuma, alkupuuston määrä ja sekapuusto selittää hakkuutähteen määrän selvää eroa. Saariveden sekä Puukkoahon koealueilla hakkuutähteen määrä oli vain 20 – 65 % Tokolan hakkuutähteen määrästä erilaisilla käsittelymenetelmillä. Tokolassa ainespuuhakkuussa jäi koealueille 15 340 kg/ha hakkuutähteitä (kuivapaino) ja kokopuukorjuussa 7150 kg/ha. Kokopuukorjuussa saatiin siis talteen Tokolassa 8190 kg/ha hakkuutähteitä. Tulosten mukaan kokopuukorjuunkin jälkeen koealueelle jäi varsin runsaasti hakkuutähteitä. Jäljelle jääneen hakkuutähteen määrä oli 47 % verrattuna ainespuukorjuuseen. Ainespuukorjuu alueilla joissa ranka otettiin myös talteen, vähensi Tokolan alueella vain 4 % hakkuutähteen määrää. Käsin täydennetyssä kokopuukorjuussa Tokolassa jäi varsin runsaasti, 4980 kg/ha hakkuutähteitä.

Saariveden ainespuuhakkuussa jäi koealueelle 9940 kg/ha hakkuutähteitä ja kokopuukorjuussa 3330 kg/ha. Saarivedellä kokopuukorjuussa saatiin talteen 6610 kg/ha hakkuutähteitä. Tulosten mukaan kokopuukorjuussa jäi jäljelle 34 % hakkuutähteistä verrattuna ainespuukorjuuseen. Käsin täydennetyssä kokopuukorjuussa jäi 1200 kg/ha hakkuutähteitä.

Puukkoaholla ainespuuhakkuussa jäi kivennäismaan koealueille 9030 kg/ha ja turvemaan koealueille 9240 kg/ha hakkuutähteitä ja kokopuukorjuussa kivennäismaalle 3860 kg/ha ja turvemaalle 3140 kg/ha. Puukkoaholla männikön ensiharvennuksessa kokopuukorjuussa saatiin talteen kivennäismaalla 5170 kg/ha ja turvemaalla 6100 kg/ha hakkuutähteitä. Tulosten mukaan kokopuukorjuussa jäi kivennäismaalla jäljelle 43 % ja turvemaalla 34 % hakkuutähteistä verrattuna ainespuukorjuuseen. Puukkoaholla kokopuukorjuutuloksen täydentämiseksi käytettiin haravaa turvemaalla, ja hakkuutähteitä jäikin varsin vähän. Keskimäärin käsin

puhdistetuille ruuduille jäi kivennäismaalla 800 kg/ha ja turvemaalla 500 kg/ha hakkuutähteitä.

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös, minkä kokoista oli koealueille jäänyt hakkuutähte eri käsittelyissä. Neulaset ja pienet oksat hajoavat nopeammin kuin isot ja paksut oksat. Tokolan koetta lukuun ottamatta muilla koealueilla käsin täydennetyn kokopuukorjuun jälkeen jäi vähiten isoja ja paksuja oksia. Siten käsin korjatuilla koeruuduilla oli eniten jäljellä neulasia ja pieniä oksia. Käsin korjuussa oli siis poistettu erityisesti isoja oksia.



Kuvio 4. Hakkuutähteen määrä (%) koealueilla erilaisten käsittelytapojen jälkeen. Käsittelytavat; A = ainespuukorjuu, A+ = ainespuukorjuu + ranka, K = kokopuukorjuu, K+ = kokopuukorjuu, joka täydennettiin käsin puhtaaksi.

Hakkuutähteiden määrä ositteittain eri koealueilla (kuvio 4) erosi Tokolan alueella muista koealueista. Hakkuutähteistä suurin osuus koostui yli 2 mm:n oksista, jota oli kaikilla koealueilla hakkuutähteiden osuudesta 50 – 80 %. Pienten oksien

osuus oli 7 – 32 % ja neulasten osuus 8 – 18 %. Suurin neulasten ja pienten oksien osuus, 37 – 49 % tuli käsittelyalueilta, joissa kokopuukorjuu täydennettiin käsin puhtaaksi ennen punnitusta. Tokolan alue poikkeaa tässä kuviossa muista alueista, ja siellä osuudeksi jää 16 %. Aiemmin mainittujen syiden lisäksi siihen on voinut vaikuttaa se, että kokopuukorjuu hakkuu toteutettiin Tokolan alueella kaato-
kasauslaitteella eli ns. ”nipsulla”, kun taas muilla koealueilla kokopuukorjuu toteutettiin yksioteharvesterilla.

3.2. Hakkuutähteen sisältämät ravinnemäärät

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös hakkuutähteissä koealoille jääneitä ravinteiden määriä. Varianssianalyysin jälkeen testattiin keskiarvojen välisiä eroja. Taulukkoon (2) samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät poikkea toisistaan tilastollisesti merkitsevästi Tukeyn testin mukaan 0.05 prosentin riskitasolla.

Taulukko 2. Hakkuutähteissä koealoille jääneet ravinteet, kg/ha.

Tokola						
	N	P	K	Ca	Mg	B
Ainespuukorjuu	86a	7a	21a	40a	7a	0,13a
Ainespuu + latva	71ab	6a	21a	38a	7a	0,12a
Kokopuukorjuu	35bc	3b	9b	20ab	3b	0,05b
Kaikki pois	14c	1b	3b	7b	1b	0,02b
Saarivesi						
	N	P	K	Ca	Mg	B
Ainespuukorjuu	43a	5a	11a	16a	5a	0,05a
Ainespuu + latva	33a	3b	7b	13a	3b	0,03a
Kokopuukorjuu	21b	2c	4c	6b	2c	0,02b
Kaikki pois	9c	1c	2c	3b	1c	0,01b
Puukkoaho, turvemaa						
	N	P	K	Ca	Mg	B
Ainespuukorjuu	55a	7a	19a	23a	5a	0,07a
Ainespuu + latva	39ab	4ab	12ab	16ab	4ab	0,05ab
Kokopuukorjuu	16bc	2b	4b	8bc	2bc	0,02ab
Kaikki pois	3c	0,4b	0,9b	1c	0,3c	0,003b
Puukkoaho, kivennäismaa						
	N	P	K	Ca	Mg	B
Ainespuukorjuu	37	5	16	17	4	0,05
Ainespuu + latva	33	4	13	15	3	0,04
Kokopuukorjuu	24	3	8	11	2	0,03
Kaikki pois	5,2	0,5	1,4	2,2	0,4	0,004

Kokopuukorjuun jälkeen jäi kasvupaikalle hakkuutähteissä merkitsevästi vähemmän typpeä kuin ainespuun korjuun jälkeen. Ero muuttui vielä merkittävämmäksi, kun kokopuukorjuun kohteet kerättiin käsin hakkuutähteistä. Kokopuukorjuu lisäsi typen poistumista kasvupaikalta Tokolassa 59 % (51 kg/ha), Saarivedellä 51 %

(22 kg/ha), Puukkoahon turvemaan osalla 71 % (39 kg/ha) ja Puukkoahon kivennäismaan osalla 35 % (13 kg/ha).

Kokopuukorjuu vähensi kasvupaikalle jäävän fosforin määrää. Tilastollisesti merkitsevä ero syntyi Tokolassa ainespuukorjuun ja kokopuukorjuun välille. Saarivedellä ja Puukkoahon turvemaalla merkitsevä ero syntyi jo ainespuukorjuun ja ainespuukorjuu + latva välille. Saarivedellä merkitsevä ero syntyi myös ainespuukorjuu + latva ja kokopuukorjuun välille. Kokopuukorjuu vähensi fosforin määrää ainespuukorjuuseen verrattuna Tokolassa 57 % (4 kg/ha), Saarivedellä 60 % (3 kg/ha), Puukkoahon turvemaalla 71 % (5 kg/ha) ja Puukkoahon kivennäismaalla 40 % (2 kg/ha).

Kokopuukorjuu vähensi kasvupaikalle jäävän kaliumin määrää. Merkitsevä ero syntyi Tokolassa ainespuun ja kokopuun korjuun välille. Saarivedellä ja Puukkoahon turvemaalla merkitsevä ero syntyi jo ainespuukorjuun ja ainespuukorjuu + latva välille. Saarivedellä merkitsevä ero syntyi myös ainespuukorjuu + latva ja kokopuukorjuun välille kaliumin pitoisuuksissa. Kokopuukorjuu vähensi kaliumin määrää ainespuukorjuuseen verrattuna Tokolassa 57 % (12 kg/ha), Saarivedellä 64 % (7 kg/ha), Puukkoahon turvemaalla 79 % (15 kg/ha) ja Puukkoahon kivennäismaalla 50 % (8 kg/ha).

Kokopuukorjuu vähensi kasvupaikalle jäävän kalsiumin määrää. Puukkoahon turvemaalla kalsiumin pitoisuuksissa merkitsevä ero tuli ainespuukorjuun ja ainespuukorjuu + latva välille. Tokolassa ja Saarivedellä merkitsevä ero tuli ainespuukorjuun ja kokopuukorjuun välille. Lisäksi Puukkoahon turvemaalla merkitsevä ero tuli ainespuukorjuu + ranka ja kokopuukorjuun välille. Kokopuukorjuu vähensi kalsiumin määrää ainespuukorjuuseen verrattuna Tokolassa 50 % (20 kg/ha), Saarivedellä 63 % (10 kg/ha), Puukkoahon turvemaalla 65 % (15 kg/ha) ja Puukkoahon kivennäismaalla 35 % (6 kg/ha).

Kokopuukorjuu vähensi kasvupaikalle jäävän magnesiumin määrää. Magnesiumin pitoisuuksissa merkitsevä ero Tokolassa tuli ainespuukorjuun ja kokopuukorjuun välille. Saarivedellä ja Puukkoahon turvemaalla merkitsevä ero syntyi ainespuukorjuun ja ainespuukorjuu + latva välille sekä ainespuukorjuu + latva ja kokopuu-

korjuun välille. Kokopuukorjuu vähensi magnesiumin määrää ainespuukorjuuseen verrattuna Tokolassa 57 % (4 kg/ha), Saarivedellä 60 % (3 kg/ha), Puukkoahon turvemaalla 60 % (3 kg/ha) ja Puukkoahon kivennäismaalla 50 % (2 kg/ha).

Kokopuukorjuu vähensi kasvupaikalle jäävän boorin määrää. Boorin pitoisuuksissa merkitsevä ero syntyi Tokolassa ja Saarivedellä ainespuukorjuun ja kokopuukorjuun välille. Puukkoahon turvemaalla tilastollisesti merkitsevä ero syntyi ainespuukorjuun ja ainespuukorjuu + latva välille. Kokopuukorjuu vähensi boorin määrää ainespuukorjuuseen verrattuna Tokolassa 62 % (0,08 kg/ha), Saarivedellä 60 % (0,03 kg/ha), Puukkoahon turvemaalla 71 % (0,05 kg/ha) ja Puukkoahon kivennäismaalla 40 % (0,02 kg/ha).

Puukkoahon kivennäismaan koealueella ei käsittelyjen välillä ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Se johtui siitä, että kivennäismaan kuviolla 9 hakkuutähteiden määrä oli jäänyt suureksi ja poikkesi paljon keskimääräisistä luvuista.

3.3. Neulasten ravinnepitoisuudet

Kokopuukorjuuseen liittyvästä tutkimusaineistosta on Tokolan koealueelta käytävissä ensimmäisen 5 vuoden ajalta tietoa neulasten ravinnepitoisuuksista (taulukko 3). Näitä tuloksia on tarkasteltu Tapion ”Hyvän metsähoidon suositukset turvemaille” (2007) neulas- ja lehtianalyysin vertailuarvojen avulla.

Taulukko 3. Tokolan koealueen neulasten ravinnepitoisuudet ensimmäisen 5 vuoden aikana harvennushakkuun jälkeen. Ravinteiden pitoisuus; N alle 1,2 = puutos, 1,2 – 1,5 = välttävä, 1,5 – 1,8 sopiva; P alle 1,3 = puutos, 1,3 – 1,6 = välttävä, 1,6 – 2,2 = sopiva; K alle 4,0 = puutos, 4,0 – 4,5 = välttävä, 4,5 – 5,5 = sopiva; B alle 5,0 = puutos, 5,0 – 10,0 = välttävä, 10,0 – 30,0 = sopiva (Hyvän metsähoidon suositukset turvemaille, 47)

Tokola	Aika vuosia käsittelystä	Ravinne					
		N %	P g/kg	K g/kg	Ca g/kg	Mg g/kg	B mg/kg
Ainespuukorjuu	1	1,57	1,42	4,24	2	1,01	16,42
	2	1,73	1,46	4,64	2,6	1,23	21,49
	3	1,61	1,65	5,18	1,21	2,26	22,67
	4	1,56	1,4	5,19	1,81	1,01	17,11
	5	1,56	1,54	4,8	2,35	1,22	14,22
Ainespuu + latva	1	1,64	1,54	4,6	2,09	1,08	19,18
	2	1,82	1,38	4,34	2,14	1,07	23,36
	3	1,63	1,69	5,2	1,09	2,05	23,17
	4	1,5	1,45	5,03	1,68	0,93	16,86
	5	1,68	1,6	4,8	2,15	1,09	19,56
Kokopuukorjuu	1	1,58	1,57	4,19	2,32	1,15	17,23
	2	1,7	1,49	4,47	2,33	1,19	19,59
	3	1,62	1,69	4,8	1,24	2,24	17,83
	4	1,5	1,51	4,54	1,78	1,1	15,11
	5	1,62	1,59	4,47	2,19	1,18	14,47
Kaikki pois	1	1,54	1,52	4,4	1,93	1,02	16,78
	2	1,66	1,36	4,4	2,39	1,06	19,68
	3	1,59	1,65	4,94	1,12	2,19	22,33
	4	1,49	1,32	4,73	1,76	1	16,26
	5	1,64	1,43	4,64	2,2	1,1	17,58

Typen (N) pitoisuuksissa neulasten ravinnetasot ovat eri käsittelyalueilla enimmäkseen pysyneet hyvän metsähoidon suositusten mukaisella tasolla. Ainoastaan kokopuukorjuun alueella, joka on vielä tyhjennetty käsin puhtaaksi, on neljänenä vuotena typen prosentuaalinen osuus tippunut välttävälle tasolle.

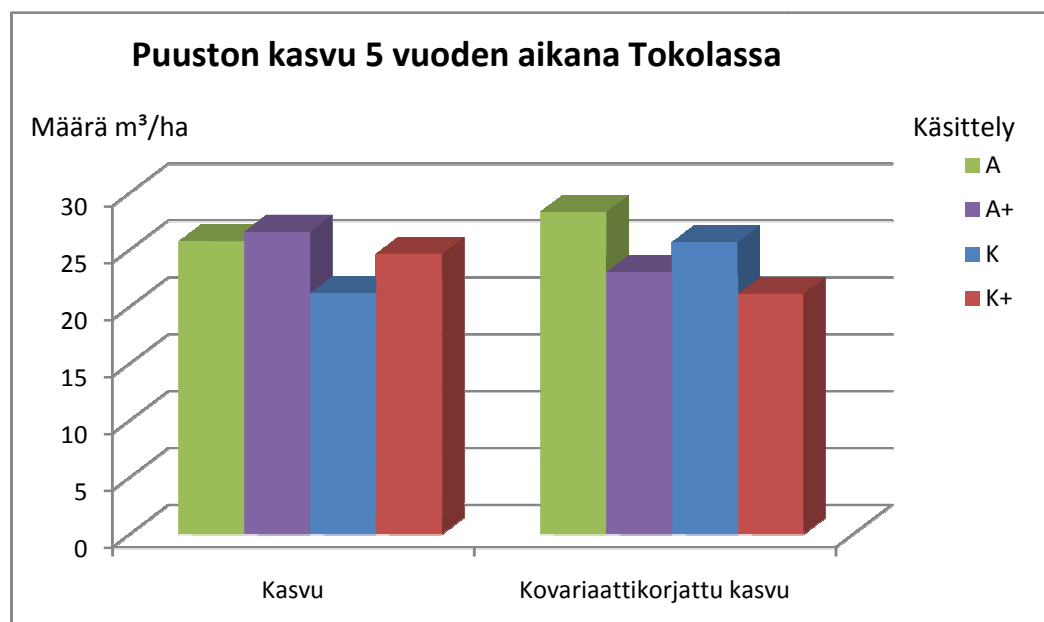
Fosforin (P) pitoisuuksissa neulasten ravinnetaso oli seurantajakson aikana välttävällä tasolla kahtena ensimmäisenä ja kahtena viimeisenä vuonna, lukuun ottamatta ainespuu + latva käsittelyä. Kolmantena vuonna hakkuun jälkeen neulasten ravinnetaso fosforin osalta oli kuitenkin kaikilla käsittelyalueilla kasvun kannalta sopivalla tasolla.

Kaliumin (K) pitoisuuksissa neulasten ravinnetaso laski ensimmäisten kahden vuoden aikana välttävälle tasolle kokopuukorjuussa, myös ainespuukorjuussa ainakin toisena vuotena laski kalium välttävälle tasolle. Seurantajakson jälkipuoliskolla ainespuukorjuualueiden kaliumtasot säilyivät kasvun kannalta sopivalla tasolla, kun taas kokopuukorjuun alueella kaliumin taso laski välttävälle tasolle.

Boorin (B) pitoisuuksissa ravinnetaso neulasnäytteissä nousi toisena ja kolmantena vuonna kaikilla käsittelyalueilla, minkä jälkeen boorin määrät kääntyivät laskuun, mutta säilyivät selvästi kasvun kannalta suositusten mukaisten sopivan tason alueella koko seurantajakson ajan.

3.4. Puuston kasvu Tokolan koealueella

Puuston kasvun kehityksestä tuloksia 5 vuoden seurantajaksolta on käytettävissä Tokolan koealueelta. Tokolan koealueella alkupuuston määrä vaihteli 97 – 126 m³/ha eri käsittelyalueilla. Puuston kasvu eri käsittelyalueilla oli keskimäärin 21 – 27 m³/ha. Alkupuuston määrä on vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi puuston kasvuun, ja tämän takia on koealueelle laskettu varianssianalyysi ohjelman avulla kovariaattikorjatut keskiarvot (kuvio 5). Kovariaattikorjauksella on poistettu koealojen alkupuuston määrän vaihtelun aiheuttamat erot. Kovariaattikorjatut kasvut olivat keskimäärin 21 – 28 m³/ha. Viiden vuoden seurantajaksolla eniten puusto on kasvanut normaalin ainespuukorjuun käsittelyalueella, noin 28 m³/ha. Vähiten puusto on kasvanut kokopuukorjuun käsittelyalueilla, jotka on vielä tyhjennetty käsin puhtaaksi hakkuutähteistä hakkuun jälkeen, noin 21 m³/ha. Kasvun ero normaalin ainespuukorjuun ja normaalin kokopuukorjuun alueilla on keskimäärin noin 2,6 m³/ha (9 %) 5 vuoden seurantajaksolla. Kokopuukorjuun ja ainespuukorjuun välillä ei ollut puuston kasvussa tilastollisesti merkitsevää eroa ensimmäisten viiden vuoden aikana Tokolan koealueella.



Kuvio 5. Tokolan koealueen puuston kasvu (m³/ha) ensimmäisen viiden vuoden aikana eri käsittelytavoilla. A = ainespuukorjuu, A+ = ainespuukorjuu + ranka, K = kokopuukorjuu ja K+ = kokopuukorjuu + kaikki pois.

4. TULOSTEN TARKASTELU

Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen toimintayksikkö perusti Himangalle 2003, Sieviin 2007 ja Alajärvelle 2008 kolme kokopuukorjuukoetta. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kokopuukorjuun vaikutuksia energiapuun korjuussa turvemaiden ensiharvennuksilla. Tarkoituksena oli saada tietoa eri käsittelytapojen vaikutuksista jäävään hakkuutähteiden ja ravinteiden määrään. Aiempaa tutkimustietoa turvemaiden ensiharvennushakkuiden erilaisten käsittelyvaihtoehtojen vaikutuksesta jäävän puuston kasvuun ei ole (Nurmi & Kokko 2001, 42). Nykyinen suositus kivennäismaille on että kolmasosa hakkuutähteistä jätettäisiin korjaamatta ja hakkuutähteiden ravinteet olisivat turvaamassa puuston kasvua (Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset, 23). Turvemaille kokopuukorjuuta suositellaan vain, jos puunkorjuussa menetettävät ravinteet korvataan lannoituksella tai tuhkalannoituksella. Lisäksi pienikokoinen puusto suositellaan hakattavaksi maahan turvemaille, joilla on kaliumin puutoksen riski olemassa. On myös otettava huomioon, että kokopuukorjuu on taloudellisesti kannattavaa (Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille, 31).

Hakkuutähteiden määrä (kuvio 3) oli tässä tutkimuksessa odotetusti suurin ainespuukorjuussa. Kokopuukorjuun alueilla jäi hakkuutähteitä 34 – 47 % ainespuukorjuun alueisiin verrattuna. Näin ollen myös kokopuukorjuun alueet täyttivät nykyisten kivennäismaiden suositusten vaatimukset ja hakkuutähteiden määrä olisi suositusten mukainen myös kokopuukorjuun jälkeen. Tutkimuksen hakkuut tehtiin talvella pakkasten aikaan, jolloin oksat katkeavat helposti. Toisaalta soilla puunkorjuu kesällä on hyvin hankalaa. Kokeessa myös keinotekoisesti vähennettiin hakkuutähteen määrää keräämällä kokopuukorjuun jälkeen hakkuutähteitä käsin pois. Keräämisen jälkeen hakkuutähteiden määrä oli näillä alueilla 6 – 16 % ainespuukorjuun alueisiin verrattuna. Nämä alueet eivät siten täytä nykyisiä suosituksia.

Koealoille hakkuutähteisiin jääneiden ravinteiden määrä on suhteessa hakkuutähteiden määrään ja siten ainespuukorjuun alueille jäi myös eniten ravinteita, kg/ha (taulukko 2). Ravinteista typpeä jäi kokopuukorjuun alueille 29 – 49 % verrattuna ainespuukorjuun alueisiin turvemaille. Muiden ravinteiden prosentuaaliset pitoi-

suudet olivat seuraavia; fosforia 29 – 43 %, kaliumia 21 – 43 %, kalsiumia 35 – 50 %, magnesiumia 40 – 43 % ja booria 29 – 40 %. Puukkoahon kivennäismaalla ravinteiden osuus kokopuukorjuussa oli 50 – 65 % verrattuna ainespuukorjuuseen.

Hakkuutähteiden ravinteiden määriä koealueittain vertailemalla voidaan todeta, että etenkin typen, kaliumin, kalsiumin ja boorin määrät ovat Tokolassa noin kaksinkertaiset verrattuna Saariveden ravinnemääriin. Fosforin ja magnesiumin määrät Saarivedellä ovat 71 % verrattuna Tokolan koealueeseen. Puukkoahon ravinnemäärät ovat kokonaisuudessaan hivenen korkeammat kuin Saarivedellä, mutta jäävät selkeästi Tokolan ravinnemääriä pienemmiksi. Typpi, fosfori, kalium ja boori ovat keskeisimpiä ravinnetalouden elementtejä turvemailla (Ahti, Kaunisto, Moilanen & Murtovaara 2005, 58). Etenkin kaliumia ja fosforia on yleensä turvemailla niukasti (Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille, 11). Tässä tutkimuksessa kaliumia jäi hakkuutähteissä kokopuukorjuu alueilla 21 – 43 % ja fosforia 29 – 43 % verrattaessa sitä ainespuukorjuu alueisiin. Vasta pidemmän ajan seurannalla saadaan tietoa siitä onko hakkuutähteiden mukana lähteneillä ravinteilla merkitystä puuston kasvuun. Heikkilän turvemaiden tutkimuksessa on arvioitu, että ero hakkuutähteiden jäämissä ei olisi runkopuun korjuun ja kokopuukorjuun välillä niin suuri, että se oleellisesti lisäisi kaliumin puutosta (Heikkilä 2007, 22). Tämä tutkimus kuitenkin osoittaa, että kaliumia jää merkittävästi vähemmän hakkuutähteissä (taulukko 2) hakkuualueelle kokopuukorjuun jälkeen verrattaessa sitä ainespuukorjuuseen. Se, aiheuttaako se kaliumin puutosta, nähdään tulevaisuudessa. Neulasnäytteiden tulokset (taulukko 3) osoittavat, että kokopuukorjuun alueella kaliumin määrät olivat seurantajakson lopulla jo välttävällä tasolla. Toisaalta koealueilta, jolta vietiin käsin kaikki hakkuutähteet pois, kaliumin pitoisuus neulasissa oli korkeampi kuin kokopuukorjuussa. Siksi tässä tutkimuksessa kokopuukorjuun vaikutus neulasten kaliumpitoisuuksiin jää epävarmaksi.

Turvemaiden harvennushakkuiden jälkeen on arvioitu ravinteiden huuhtoutumisen olevan hyvin vähäistä. Ravinteista lähinnä kalium ja typpi voi huuhtoutua. Huuhtoutumiseen on vaikuttamassa myös turvemaan vesitase. Harvennushakkuiden ainespuukorjuun alueilla huuhtoutuminen on voimakasta jos hakkuutähteet jäävät kasoihin (Nurmi & Kokko 2001, 42). Ainespuukorjuun hakkuut on toteutettu koealueilla yksioteharvesterilla ja tällöin hakkuutähteet pääosin ovat kasoissa ajourien

varrella. Hakkuiden jälkeen kaikki koealueiden ojat kunnostettiin ja alueiden vesitalous hoidettu näin kuntoon, Puukkoaholla kunnostusojitus on vielä tekemättä.

Neulasten ravinnepitoisuuksien (taulukko 3) seurannassa Tokolan alueella on tuloksia ensimmäisen 5 vuoden ajalta harvennushakkuiden jälkeen. Tuloksista käy ilmi, että suositusten (Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille, 47) mukaiset ravinnemäärät pysyvät kasvun kannalta sopivalla tasolla typen, kalsiumin, magnesiumin ja boorin osalta. Poikkeuksena typen määrissä on kaikki pois-käsittelyn alueella typen määrän tippuessa neljäntenä vuonna välttävälle tasolle. Sen sijaan fosforin määrä on lähes koko seurantajakson ajan välttävällä tasolla ja myös kaliumin määrä on etenkin kahden ensimmäisen vuoden aikana välttävällä tasolla. Kaliumin määrät laskevat seurantajakson viimeisenä vuonna ja kokopuukorjuun alueella kaliumin määrä menee jo välttävälle tasolle. Kaliumin laskeva trendi on nähtävissä myös muilla käsittelyalueilla. Eri käsittelytavoilla ei näyttäisi olevan selvää yhteyttä ravinteiden määrään ensimmäisen 5 vuoden seurantajaksolla, vaan esimerkiksi fosforin ravinnetaso on välttävä kaikilla käsittelyalueilla ja nousee sopivalle tasolle kolmantena vuonna jokaisella käsittelytavalla. Tässä tutkimuksessa voidaan todeta kaliumin ja fosforin olevan keskeisessä asemassa puuston kasvun kehityksessä, ainakin Tokolan koealueella.

Käsittelyjen vaikutuksesta puuston kasvuun on saatavissa vasta Tokolasta ensimmäisen 5 vuoden seurantajakson tuloksia (kuvio 5). Puuston kasvu on ollut parasta ainespuukorjuun käsittelyalueilla. Kokopuukorjuualueilla puuston kasvu oli 2,6 m³/ha (9 %) pienempi kuin ainespuukorjuun alueilla ensimmäisen 5 vuoden aikana. Kokopuukorjuu alueen kasvu oli keskimäärin toiseksi parasta käsittelyalueiden vertailussa. Ainespuukorjuu + ranka käsittelyalueilla puuston kasvu oli 2,7 m³/ha (10 %) pienempi kuin kokopuukorjuun alueella. Pienintä kasvu oli kokopuukorjuun alueilla, joilta vielä hakkuun jälkeen kerättiin hakkuutähteet käsin pois. Näillä käsittelyalueilla puuston kasvu oli 7,1 m³/ha (25 %) pienempi kuin ainespuukorjuun alueilla, ensimmäisen 5 vuoden aikana harvennushakkuun jälkeen. Kuitenkaan tutkimuksessa puuston käsittelytavat eivät vaikuttaneet tilastollisesti merkitsevästi puuston kasvuun ensimmäisen 5 vuoden aikana.

Puuston kasvatusta turvemaidella säätelee merkittävästi sen kannattavuus. Turvemaiden kannattavuuteen vaikuttaa merkittävästi hakkuupoistuma ja korjuun järjestäminen. Tässä tutkimuksessa pienin hakkuupoistuma oli Saariveden alueella, 25 m³/ha (taulukko 1). Energiapuun korjuuta suositellaan alueille, jossa ainespuun määrä on alle 20 m³/ha (Koistinen & Äijälä, 6). Tutkimuksessa mukana olleilla koealueilla kannattavuutta olisi harvennushakkuun yhteydessä voitu lisätä hakkuutähteiden myynnillä. Vertailtaessa hakkuun yhteydessä tapahtunutta hakkuutähteiden poistumaa erilaisilla käsittelytavoilla voidaan todeta, että kokopuukorjuun alueilta poistui noin 12500 – 15500 kg/ha (tuorepaino) hakkuutähteitä enemmän kuin ainespuukorjuun alueilta. Tämä tarkoittaa käytännössä noin 15 – 18 m³/ha. Energiapuun hinnoittelu on kilpailullisista syistä hyvin salattua. Varovaistenkin arvioiden mukaan hakkuutähteiden hintana voisi pitää 1 - 10 €/m³, joka tarkoittaisi noin 15 – 180 € lisätuloa hehtaarille tutkimuksessa mukana olleilla koealueilla.

Viimeisin valtakunnan metsien inventointi (VMI 10) osoittaa suometsien kasvun lisääntyneen. Esimerkiksi Keski-Pohjanmaan suometsissä oli kasvu 1980-luvulla noin 30 m³/ha pienempi kuin kangasmailla, mutta nyt vastaava ero on 4 m³/ha. Suometsät ovat Keski-Pohjanmaan alueella erittäin merkittävässä osassa metsätalouden ja metsien tuotolle lähitulevaisuudessa. Suometsät vastaavat Keski-Pohjanmaalla nyt noin 40 %:a puuston kasvusta ja tilavuudesta. Suometsät ovat vielä nuoria ja hyväkasvuisia, jossa harvennushakkuiden tarve on keskeistä. Viime vuosikymmenten metsänparannuksen vaikutukset Keski-Pohjanmaalla näkyvät selvästi esimerkiksi puuston määrässä. Puuston määrä on kasvanut vuoden 1968 36,3 miljoonasta kuutiosta 73 miljoonaan kuution (Saramäki & Korhonen, 2009).

Suometsien puuston kasvatusta on monella tapaa vaativampaa kuin kivennäismaiden puiden kasvatusta. Etenkin ravinteiden saanti ja vesitalous on hoidettava hyvin kuntoon puuston kasvun turvaamiseksi. Erilaisten metsänkäsittelytapojen vaikutuksista turvemaidella tutkimustietoa ei ole olemassa (Nurmi & Kokko 2001, 42). Sen takia tutkimustietoa tarvitaan erilaisten metsänhoidollisten käsittelytapojen vaikutuksista erityisesti turvemaidelle. Nykyisissä suosituksissa (Hyvän metsänhoidon suositukset, 66) arvioidaan, että energiapuun korjuussa kokopuuna poistuisi useimmiten niin paljon hakkuutähteitä, että hakkuutähteiden minimimäärä ei täyty. Suosituksena onkin että hakkuutähteitä ei turvemaidelta kerätä. Tämä tutkimus osoit-

taa, että kokopuukorjuussa jäi 34 – 47 % hakkuutähteitä siitä määrästä, joka jäi ainespuukorjuussa kaikilla kolmella erillisellä turvemaan koealueella. Tässä tutkimuksessa mukana olleet kolme aluetta Etelä- ja Keski-Pohjanmaalla tarjoaa arvokasta lisätietoa tulevina vuosina turvemaiden metsänkasvatuksesta. Seuraavan 10 – 20 vuoden kuluessa saadaan tarkempaa tietoa siitä, onko hakkuutähteiden keräämisellä ollut vaikutusta turvemaan puuston kasvuun.

5. PÄÄTELMÄT

Metsäteollisuuden muutokset ja kasvava energiapuun kysyntä tuo tulevaisuudessa edelleen muutospainetta koko metsäalan toimintaketjuun. Lisääntyvä puuston määrä tarjoaa myös mahdollisuuksia hyödyntää uusiutuvaa luonnonvaraa yhä enemmän energiahuollon raaka-aineena.

Tämä tutkimus oli erilaisten metsänkäsittelyiden vaikutusten arvioimista turvemail- la. Seurantajakso on tässä tutkimuksessa kuitenkin niin lyhyt, että pidemmälle meneviä johtopäätöksiä on ennen aikaista tehdä. Tämän tutkimuksen pohjalta voi- daan todeta että kokopuukorjuun mukana hakkuutähteitä ja ravinteita lähtee kas- vupaikalta huomattava määrä. Kasvupaikoille jäi kokopuukorjuun alueilla hakkuu- tähteitä 34 – 47 % ja ravinteita 29 – 50 % siitä määrästä, joka jäi ainespuukorjuun alueilla turvemailloilla. On kuitenkin otettava huomioon, että myös käytännön mene- telmin tehdyille kokopuukorjuualueille jäi hyvän metsänhoidon suositusten mukai- nen vähimmäismäärä hakkuutähteitä. Tämä merkitsee sitä, että myös varsin run- saasti ravinteita jäi kokopuukorjuu alueille. Tulokset osoittavat, että kokopuukorjuu ei merkitse kaikkien hakkuutähteiden ja ravinteiden poistumista kasvupaikalta. Eri käsittelyjen vaikutuksia puuston kasvuun ei voida tämän tutkimuksen perusteella vielä tehdä. Erot olivat varsin pieniä Tokolan alueella ensimmäisen 5 vuoden seu- rantajakson aikana sekä neulasnäytteiden ravinteissa että puuston kasvussa. On myös muistettava, että Tokolan alue oli näistä tutkimuskohteista selvästi ravinteik- kain. On tärkeää saada tuloksia myös vähäravinteisimmilta alueilta ennen pidem- mälle meneviä johtopäätöksiä. Saarivesi ja Puukkoaho edustavat paremmin alu- een vähäravinteisia turvemaita ja myös niiltä alueilta on tärkeää saada pidemmän seurantajakson tuloksia. Tämä tutkimus oli vasta alkua pidemmälle tutkimusjaksol- le, joka toivon mukaan vuosien myötä tuo meille lisää tuloksia hakkuutähteiden määrän merkityksestä turvemaiden metsien ravinteiden saatavuudelle sekä sen vaikutuksesta metsän kehitykselle turvemailloilla.

LÄHTEET:

Ahti E., Kaunisto S., Moilanen M. & Murtovaara I. 2005. Suosta metsäksi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947.

Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset. Tutkimusraportti. 2008. [Verkkajulkaisu]. Metsäntutkimuslaitos ja Metsätalouden kehittämiskeskus, Tapio. [Viitattu 15.2.09]. Saatavana: (http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/Energiaseminaari%2020112007/Energiapuun_korjuun_ymparistovaikutukset.pdf)

Heikkilä J. 2007. Turvemaiden puun kasvatus ja korjuu – nykytila ja kehittämistarpeet. Metlan työraportteja 43.

Heinonen, J.1994. Koalojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL käyttöohje. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504.

Hyvän metsänhoidon suositukset, 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus, Tapio.

Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille, 2007. Metsätalouden kehittämiskeskus, Tapio.

Kansallinen metsäohjelma (KMO) 2015. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 3/2008.

Kaunisto S. 1996. Metsäntutkimuspäivä Porissa 1995. Massahakemenetelmä ja ravinnepoistuma rämeen ensiharvennusmänniköissä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 593.

Kioton pöytäkirja. [Verkkosivusto]. Ympäristöministeriö. [Viitattu 28.4.09]. Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1885&lan=fi>

Koistinen A. & Äijälä, O. 2006. Energiapuun korjuu. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.

Maanmittauslaitos 2009. [Verkkopalvelu]. Maanmittauslaitoksen tietopalvelukeskus, Internet-karttapalvelu. [Viitattu 27.4.2009]. Saatavana: Ammattilaisen karttapaikka tietokannasta. Vaatii käyttösovimuksen. Saatavana: <https://www.karttapaikka.fi/karttapaikka/>

Metinfo tilastopalvelu Metla. [Verkkopalvelu]. Metsäntutkimuslaitos. [Viitattu 11.5.09]. Saatavana: <http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/>

Metsikkökokeiden maastotyöohje 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 257.

Metsätilastollinen vuosikirja 2007 Metla, [verkkojulkaisu]. [Viitattu 15.2.09]. Saatavana: http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2007/vsk07_01.pdf

Moilanen M. 1999 - 2003. Puuston ravinnetalouden hoito turvemailla. Metlan hanke 3264. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 28.4.09]. Saatavana: <http://www.metla.fi/hanke/3264/info.htm>

Moilanen M., Piironen M.-L. & Karjalainen J. 1996. Metsäntutkimuspäivä Kajaa-nissa 1995. Turpeen ravinnevarat metsähallituksen vanhoilla ojitusalueilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 598.

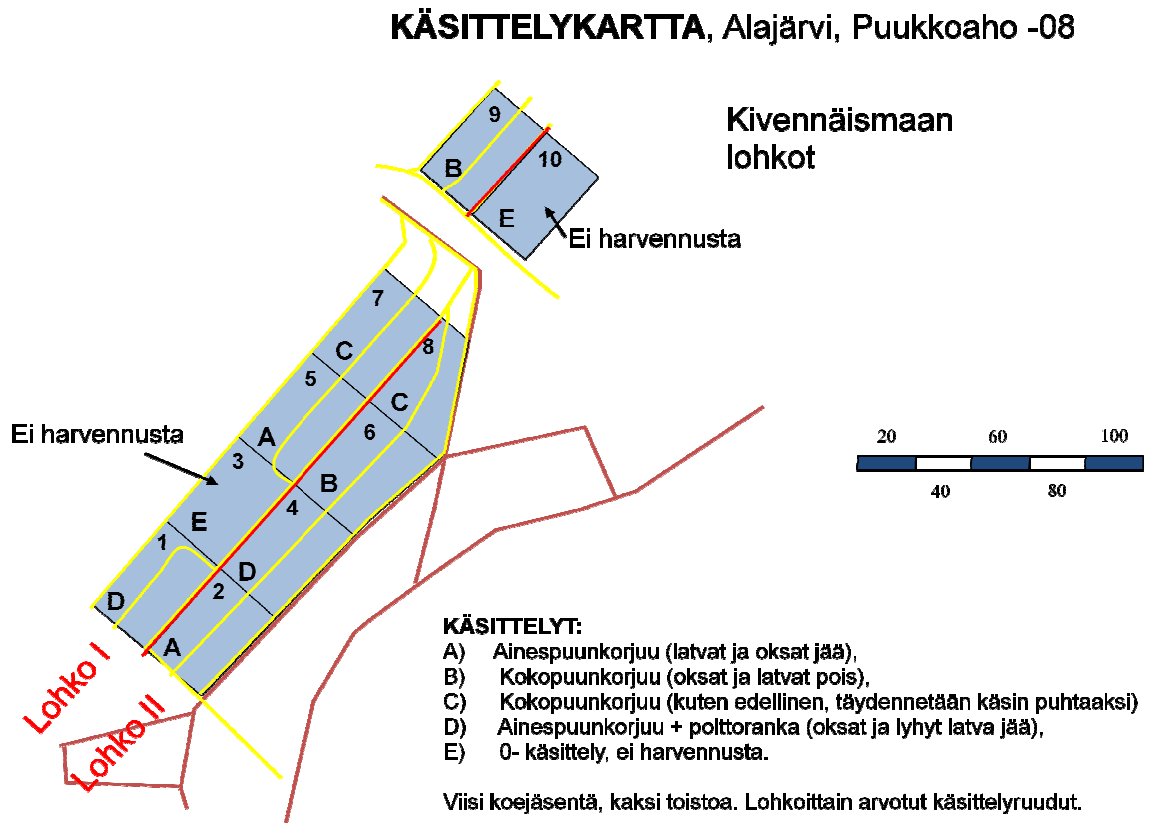
Nurmi, J. & Kokko, A. (toim.) 2001. Julkaisu. Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 816:31–52.

Saramäki J. & Korhonen K.T. 7.9.2009. Metsänparannus tuottaa tulosta. Keski-pohjanmaa lehti.

Tapion taskukirja 24. Uudistettu painos 2002. Metsälehti kustannus, Tapio.

Tilastokeskus 2008. [Verkkopalvelu]. Suomen virallinen tilasto (SVT). [Viitattu 15.2.09]. Saatavana: http://www.stat.fi/til/khki/2007/khki_2007_2008-12-12_tie_001_fi.html

LIITE 1. Puukkoahon käsittelykartta, kivennäismaan lohkot.



LIITE 2. Puukkoahon käsittelykartta, turvemaan lohkot.

