

Harvennusten ajoittaminen ojitetuilla soilla — metsiköittäin vai kunnostusojituksen yhteydessä kerralla kuntoon?

Timing of thinnings in drained peatland stands

Soili Kojola & Timo Penttilä

Soili Kojola, Timo Penttilä, Metsäntutkimuslaitos, Etelä-Suomen alueyksikkö, PL 18, 01301 Vantaa, Puh./Tel. 029 532 2111, Fax: 029 532 2103, email: soili.kojola@metla.fi

Metsäkeskusten kunnostusojitushankkeiden metsikkökuvioista muodostettiin satunnaisesti yhdistäen kolme 35–50 hehtaarin suunnittelualuetta, joiden avulla tarkasteltiin ns. *kerralla kuntoon* -menettelyn mukaisten (kaikki tarpeelliset metsänhoitotoimet yhdellä kerralla koko suoalueelle) ja toisaalta metsänhoitosuosituksia kuvioittain mukailevien metsänkäsittelyjen tuotos- ja talousvaikutuksia. Pääasiassa karuhkoja rämeitä edustavien alueiden puustojen kehitykset simuloitiin kunnostusojituksen ajankohdasta päätehakuuseen saakka. Erityishuomiota kiinnitettiin alueisiin sisältyvien vähäpuustoisten kuvioiden ensiharvennusten voimakkuuteen sekä harvennusten ajoittumiseen suhteessa kunnostusojitukseen. Harvennusten myöhentäminen sekä vähäpuustoisilla että muilla ns. normaalipuustoisilla kuvioilla paransi koko suunnittelualueen pitkän aikavälin taloustulosta jonkin verran, mutta vähäpuustoisten kuvioiden käsittelyajankohdan vaikutus oli selvästi suurempi. Harvennuksia myöhentämällä myös ensiharvennusten ainespuukertymä kasvoi. Jos vähäpuustoiset kuviot kuitenkin harvennettiin kunnostusojitusvaiheessa ja samaan aikaan normaalipuustoisten kuvioiden kanssa, paras tulos saavutettiin suhteellisen voimakkailla harvennuksilla. Vähäpuustoisten kuvioiden jättäminen kokonaan harventamatta johti heikoimpaan aluetason taloustulokseen. Metsänkasvatuksen pidemmän aikavälin kannattavuutta voitaisiin käytännössä parantaa rajaamalla kunnostusojitusalueen vähäpuustoiset kuviot omiksi käsittelylohkoikseen ja siirtämällä niiden harvennukset toteutettaviksi vasta alueen seuraavalla hakkuukierrolla.

Avainsanat: harvennus, kunnostusojitus, metsänhoito, ojitetut suot, simulointi

Johdanto

Ojitusalueiden metsänhoito painottuu nykyisin mäntyvaltaisten nuorten metsien ensiharvennukseen ja kunnostusojitukseen. Kustannustehokkuuden parantamiseksi kunnostusojitukset pyritään mahdollisuuksien mukaan toteuttamaan suurina

hankekokonaisuuksina, metsänomistajien yhteishankkeina (Aarnio 2005), ja ns. *kerralla kuntoon* -menettelyllä, jossa kunnostusojituksen lisäksi toteutetaan kaikki tarpeelliset metsänhoitotoimet yhdellä kerralla koko alueelle (Hyvän metsänhoidon... 2007).

Kunnostusojitusalueen vähäpuustoisimpien kuvioiden metsänhoitotoimien sovittaminen *kerralla kuntoon* -menettelyyn on hankalaa. Kun puustot eivät vielä ole harvennuskypsiä, harvennusten pienet korjuukertymät ja korjattavien runkojen pieni keskikoko heikentävät korjuun kannattavuutta. Kertymien kasvattaminen harvennusvoimakkuutta lisäämällä johtaa puolestaan liian pieneen jäävän puuston määrään. Vaihtoehtona voisi olla pelkän kunnostusojituksen toteuttaminen ja harvennusten siirtäminen ajankohtaan, jossa puustot tiheydeltään yltyvät harvennusmallien suosittelemalle tasolle. Paljon vähäpuustoisia osia sisältävillä korjuulohkoilla harvennuksia voisi siirtää myös seuraavaan, koko alueen käsittävään toimenpidekertaan.

Ojitusalue metsien hoitaminen (taimikonhoito, kunnostusojitus ja harvennukset) lisää yleensä käyttöpuuntuotosta ja metsänkasvatuksen taloudellista kannattavuutta (Kojola ym. 2008, 2012). Mikäli taimikonhoidosta on huolehdittu tai puusto muuten on hyvässä kunnossa, ensiharvennuksiin ei kuitenkaan ole syytä kiirehtiä. Runkoluvultaan vähäpuustoisilla kuvioilla viivästäminen tarkoittaa lähinnä kohteen kehittymistä kannattavaksi korjuukohteeksi. Tiheämmissäkin puustoissa harvennuksen lievän viivästäminen ei ole todettu olevan haitallista kangasmaiden (Hynynen ja Arola 1999, Huuskonen ja Ahtikoski 2005) tai ojitusalueiden (Kojola ym. 2005) puustojen kehitykselle.

Harvennuskertymän suureneminen ja runkojen järetyminen parantavat ensiharvennuksen kannattavuutta (Ylimartimo ym. 2001, Heikkilä 2007). Näin ollen, vaikka aikaiset harvennustulot ovatkin tärkeitä kannattavuuslaskelmissa, hakkuuajankohdan siirtyminen myöhemmäksi ei välttämättä alenna kasvatuksen kokonaiskannattavuutta (Kojola ym. 2012). Kunnostusojitusinvestoinnin kannattavuuden edellytyksenä yleensä on, että kasvatusajalla voidaan tehdä vähintään yksi harvennus (Ahtikoski ym. 2008, Kojola ym. 2012). Kunnostusojitusta ei kuitenkaan välttämättä tarvitse toteuttaa samaan aikaan harvennuksen kanssa, sillä etenkin karuilla ja pohjoisilla ojitusalueilla kunnostusojitus on usein tarpeen jo selvästi ennen harvennusta (Hökkä & Ahti 2003, Ahti ym. 2008, Sarkkola ym. 2010).

Ojitusalue metsien metsänkasvatusvaihtoehtojen kannattavuusvertailut on toistaiseksi tehty pääasiassa metsikkötasolla. Kuvioittaisten tarkastelujen laajentaminen suuremmille alueille on vaikeaa, koska kuvioiden välinen vaihtelu voi olla hyvinkin suurta ja kokonaispinta-alat vaihtelevat niin ikään laajasti. Kustannussäästöistä, jotka saadaan alueiden suurenemisesta ja menetelmien yhtenäistymisestä, on vaikea saada täsmällistä tietoa ja nekin todennäköisesti vaihtelevat tapauskohtaisesti. Tässä tutkimuksessa lähestymistapana on metsänkasvatuksen kuvioittaisten tulosten yhdistäminen aluetason tulokseksi. Suuremmista hankekokonaisuuksista mahdollisesti koituvia etuja työmenetelmien tuottavuudessa tai puukaupassa ei tässä tarkastelussa arvetettu.

Tutkimuksessa vertailtiin kolmella suunnittelualueella *kerralla kuntoon* -menettelyn mukaisten ja kuvioittain metsänhoitosuosituksia mukailevien käsittelyjen tuotos- ja talousvaikutuksia. Tavoitteena oli selvittää millaisia tuotos- ja kannattavuuseroja syntyy puuston kehityksen suhteen eri aikaan toteutettavien harvennusvaihtoehtojen välille. Alueisiin sisältyi myös vähäpuustoisia kuvioita, joilla harvennusajankohdan lisäksi tarkasteltiin erilaisten harvennusvoimakkuuksien vaikutuksia. Tavoitteena oli arvioida, kuinka voimakkaita välittömiä harvennuksia vähäpuustoisilla kohteilla voitaisiin tehdä.

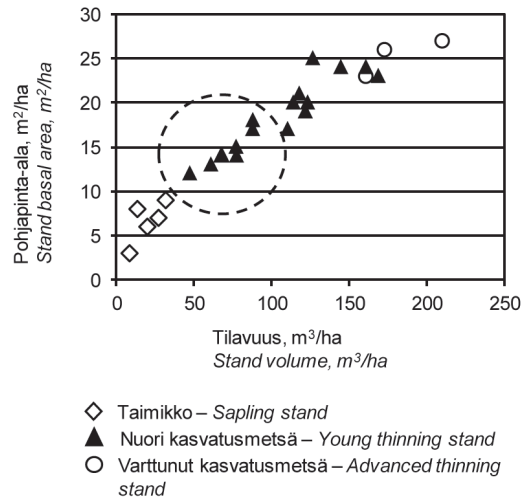
Aineisto ja menetelmät

Metsäkeskusten kunnostusojitushankkeiden kuvioaineistoa saatiin käyttöön Etelä-Pohjanmaalta, Pohjois-Pohjanmaalta ja Pohjois-Karjalasta. Alun perin noin 100 suokuviota käsittävästä aineistosta valittiin mukaan ojitetut suokuviot, joilla kasvupaikan pääryhmä oli räme, pääpuulajina mänty (*Pinus sylvestris* L.) tai hieskoivu (*Betula pubescens* Ehrh.), ja joilla kasvupaikkatyyppi oli mustikka-, puolukka- tai varputurvekangas. Puolukkaturvekankaan jako I- ja II-tyyppeihin tehtiin koivun osuuden perusteella: puhtaat männiköt, joissa oli vain yksittäisiä koivuja sekapuuna luokitettiin Ptkg I -tyypin kasvupaikoiksi, ja metsiköt, joissa esiintyi runsaasti koivua sekapuuna ja alikasvoksena luokitettiin Ptkg II -tyyppiin kuuluviksi. Valitut puustot (74 kuviota) olivat riukuvaiheen taimikoita

ja nuoria tai varttuneita kasvatusmetsiä. Valtaosalla kuvioista ojituksesta oli kulunut 20–30 vuotta. Mukaan valittujen kuvioiden tuli olla karttatarkastelun mukaan kokonaisuudessaan ojitettuja, joten esimerkiksi laajempi kuvio, jonka läpi kulki yksi oja, ei tullut valituksi.

Kuviotietoaineistosta muodostettiin kolme uutta *suunnittelualuetta* siten, että kuviot jaettiin satunnaisesti niiden kesken (taulukko 1). Suunnittelualueet sijoitettiin puuston kehityssimulointeja varten 995 d.d.n ja 1118 d.d.n lämpösumma-alueille. Kukin alue muodostui 24–25 kuvioista, joista kahdeksan nuoren kasvatusmetsän kuviota määriteltiin puuston tiheyden ja tilavuuden perusteella *vähäpuustoiseksi* (kuva 1). Erotukseksi vähäpuustoisista kuvioista muut nuoret kasvatusmetsät sekä taimikot ja varttuneet kasvatusmetsät nimettiin *normaalipuustoiseksi* kuvioiksi.

Puustojen kasvuennusteet tehtiin MOTTI-simulaattorilla, joka on Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetty puuston kehitystä kuvaava ohjelmisto (Matala ym. 2003, Hynynen ym. 2005, Salminen ym. 2005). Se sisältää mallit myös ojitettujen soiden puuston kasvun ja kuoleamisen sekä toimenpiteiden vaikutusten ennustamiseen (mm. Hökkä 1997, Hökkä ym. 1997, Hökkä ym. 2000, Hynynen ym. 2002, Jutras ym. 2003, Hökkä ja Salminen 2006). MOTTI-simulaattorin jakaumamalleilla (Siipilehto ym. 2007) muodostettiin kukin kuvion tiedoista lähtöpuustot simulointeihin



Kuva 1. Esimerkki yhden suunnittelualueen kuvioiden puustoista kehitysluokittain (pohjapinta-ala vs. tilavuus). Vähäpuustoisina tarkastellut kuviot ympäröity katkoviivalla.

Figure 1. Stands presented by development classes in a given model forest. Dashed line depicts the stands examined as low-stocked stands.

(hehtaariohaiset runkolukusarjat). Laskelmat tehtiin pelkkien kasvupaikka- ja puustotunnusten perusteella ottamatta huomioon metsikön käsitteilyhistoriaa, todettuja hoitotarpeita tai ehdotettuja metsänhoitotoimia.

Taulukko 1. Kuviotietoaineistosta muodostetut suunnittelualueet sekä vähäpuustoisten kuvioiden osuus ja niiden keskimääräiset metsikkötunnukset. ALA%= osuus alueen pinta-alasta, Nha = runkoluku / ha, PPA=puuston pohjapinta-ala (m² ha⁻¹), Hdom=puuston valtapituus (m), V=puuston kokonaistilavuus, (m³ ha⁻¹)

Table 1. Site properties of the model forests and the average stand characteristics of low-stocked stands there in. Site types: DsT = Dwarf-shrub site type, VT1, VT2 = Vaccinium vitis-idaea site types 1 and 2, MT2 = Vaccinium myrtillus site type 2; ALA%=the proportion of low stocked stands; Nha=number of trees/ha, PPA= stand basal area (m² ha⁻¹), Hdom=stand dominant height, (m), V= the total stand volume (m³ ha⁻¹).

| Alue ja pinta-ala, ha Area of model forest, ha | Kuvioiden lukumäärä kasvupaikoittain Number of compartments by site type | | | | Vähäpuustoiset kuviot turvemaalla Low-stocked compartments on peatlands | | | | |
|---|---|---------------|----------------|----------------|--|------|------|------|----|
| | Vatkg DsT | Ptkg I VT1 | Ptkg II VT2 | Mtkg II MT2 | ALA% | Nha | PPA | Hdom | V |
| A – 49,0 | 13 | 6 | 3 | 2 | 44 | 1776 | 14,2 | 11,6 | 72 |
| B – 34,8 | 14 | 3 | 6 | 2 | 30 | 1842 | 15,2 | 12,3 | 80 |
| C – 47,6 | 13 | 7 | 4 | 1 | 29 | 1892 | 14,7 | 11,8 | 72 |

Puustokehitys kullakin kuviolla ennustettiin kunnostusajankohdasta eli *kerralla kuntoon*-menettelyn ajankohdasta kasvatustajan loppuun seuraavien käsittelyvaihtoehtojen (kuva 2) mukaisesti:

— Passiivinen vaihtoehto, ei toimenpiteitä ennen päätehakkua (Pass.)

— Kerralla kuntoon vaihtoehdot (KK; kunnostusajitus ja harvennus heti):

* Normaali harvennus, jäävä puusto harvennusmallien mukaan (KKn)

* Voimakas harvennus, jäävä puusto alle harvennusmallirajojen, lakirajan tuntumaan (KKv)

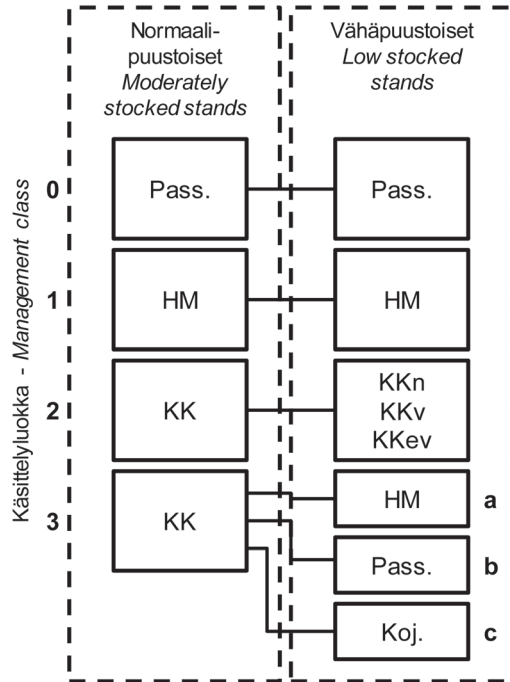
* Erittäin voimakas harvennus, vähäpuustoisilla kuvioilla jäävä puusto alle lakirajan (KKEv)

— Harvennusmallien mukainen vaihtoehto (HM; kunnostusajitus heti, harvennus harvennusmallien osoittamalla ajankohdalla).

Mahdolliset toiset harvennukset toteutettiin vastaavin kriteerein kuin ensimmäiset.

Kussakin käsittelyvaihtoehdossa toimenpiteiden ajankohdat määritettiin kahdella eri tavalla: 1) Harvennukset ja kunnostusajitukset toteutettiin em. käsittelyvaihtoehtojen mukaisesti ja päätehakkuu puuston saavuttaessa alimman, uudistamisen mahdollistavan keskiläpimitan, 2) Harvennusten, kunnostusajitusten ja päätehakkuiden ajankohdat eri kuvioilla yhtenäistettiin siirtämällä ne lähimpiin, tasavälein toteutettaviin toimenpidekertoihin: alueella A 20 vuoden välit ja alueilla B ja C 25 vuoden välit (taulukko 2).

Taloustulokset saatiin diskonttaamalla jokaisen kuvion kasvatustajan nettotulot nykyarvoiksi (NNA, korko 1–3 %) tarkasteluhetkeen, eli kunnostusajitusten ja harvennusten toteuttamisajankohtaan *kerralla kuntoon*-menettelyssä. Simuloidujen hakkuukertymien arvot määritettiin vuosien 2001–2010 keskimääräisillä kantohinnoilla (Metinfo 2011). Kunnostusajituksille käytettiin 240 euron ja taimikonhoidolle 350 euron hehtaarikustannusta, perustuen keskimääräisiin tilastoituihin kustannuksiin (Peltola 2009). Lisäksi pienimpien ensiharvennuskertymien tuloksia korjattiin seuraavasti: kun kertymä oli 10–25 m³ ha⁻¹, hakkuusta ei katsottu saatavan tuloa, ja kun kertymä oli alle 10 m³ ha⁻¹, hakkuusta ei saatu tuloa, vaan laskelmaan lisättiin taimikonhoidon kustannus.



Kuva 2. Kuvioittain simuloituista käsittelyvaihtoehdoista suunnittelualueille kootut käsittelyluokat 0–3. Pass. = ei toimenpiteitä ennen päätehakkua, HM = kunnostusajitus heti, harvennus harvennusmallien osoittamalla ajankohdalla, KK = kerralla kuntoon, kunnostusajitus ja harvennus heti, KKn = jäävä puusto harvennusmallien mukaiseksi (normaali harvennus), KKv = jäävä puusto alle harvennusmallirajojen, lakirajan tuntumaan (voimakas harvennus), KKEv = jäävä puusto alle lakirajan (erittäin voimakas harvennus), Koj. = pelkkä kunnostusajitus. Suunnittelualuetason tarkastelut tehtiin käsittelyluokkien 0 (kaikille pass.), 1 (kaikille HM) ja 2 (kaikille KK) välillä. Vähäpuustoisia kuvioita tarkasteltiin erikseen käsittelyluokissa 2 ja 3.

Figure 2. Simulated management regimes for different types of stands as combined into management classes 0–3. Pass = passive regime, no treatments before final cutting, HM = ditch network maintenance (DNM) without delay, thinning according to guidelines, KK = DNM and thinning without delay, KKn = moderate thinning; retained stand density according to guidelines, KKv = heavy thinning; retained stand density below guidelines, KKEv = very heavy thinning, retained stand density clearly under guidelines. Koj. = ditch network maintenance, no thinnings. Analyses at model area level included management classes 0, 1, and 2. Separate stand-level analyses of low-stocked stands included only management classes 2 and 3.

Kuvioille simuloituista käsittelyvaihtoehdoista muodostettiin suunnittelualueille keskenään vertailtavia käsittelyluokkia (kuva 2). Tarkastelu jakaantui suunnittelualuetason tarkasteluun ja vähäpuustoisten kuvioiden erillistarkasteluun. Aluetason tarkastelussa kaikki kuviot käsiteltiin samalla periaatteella (*kerralla kuntoon* -vaihtoehto, harvennusmallien mukainen HM-vaihtoehto tai passiivinen vaihtoehto) ja kunkin alueen kokonaistulos muodostui siihen kuuluvien kuvioiden tulosten summaksi. Vähäpuustoisten kuvioiden erillistarkastelussa kunkin vähäpuustoisen kuvion tuloksia tarkasteltiin hehtaarikohtaisina.

Aluetason tarkastelussa valittiin vähäpuustoisten kuvioiden *kerralla kuntoon* -harvennuksille sopivin harvennusvoimakkuus kunkin kuvion NNA:n perusteella (käsittelyluokka 2, kuva 2). Tämän lisäksi tehtiin herkkyysoanalyysi harvennusvoimakkuuden vaikutuksesta käyttäen kaikille kuvioille joko normaalia, voimakasta tai erittäin voimakasta harvennusta (KKn, KKv, KKe).

Pinta-alaosuusien herkkyysoanalyysi tehtiin muuttamalla vähäpuustoisten kuvioiden pinta-alaa suhteessa koko suunnittelualan pinta-alaan siten, että löydetäisiin osuus, jonka jälkeen

kaikki alueen toimenpiteet kannattaisi tehdä vähäpuustoisille kuvioille parhaiten soveltuvilla ajankohdilla.

Kolmas herkkyysoanalyysi tehtiin muuttamalla vähäpuustoisten kuvioiden *kerralla kuntoon* -harvennusten hintoja sen perusteella, miten harvennuskertymän koon voi olettaa vaikuttavan korjuukustannuksiin. Hintoja muutettiin siten, että vähäpuustoisten kuvioiden ensiharvennuspuulle käytettiin normaaliharvennuksissa 20 % alempia (kerroin 0,8), voimakkaissa n. 5 % suurempia (1,04) ja erittäin voimakkaissa n. 10 % suurempia (1,08) kantohintoja, kuin tutkimuksen muissa laskelmissa.

Tulokset

Suunnittelualuetaso

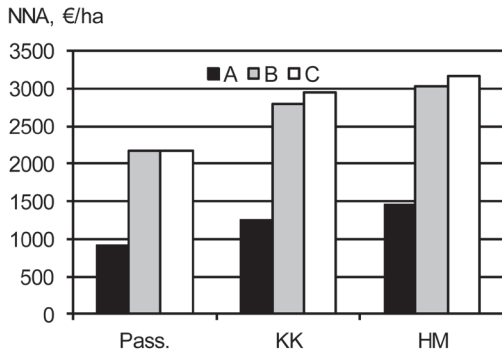
Kun suunnittelualan kaikille kuvioille tehtiin toimenpiteet yhtenäisellä periaatteella, nettotulojen nykyarvot olivat kummassakin harvennuksissa sisältävässä vaihtoehdossa (*kerralla kuntoon* ja HM -vaihtoehdot) suurempia kuin passiivisessa

Taulukko 2. Metsänkäsittelytoimenpiteiden ajoittuminen 20 tai 25 vuoden välein toteutettaville toimenpidekerroille (1 = kunnostusajituksen yhteydessä, 2 = seuraavan hakkuukierron ajankohta jne.). KK = kerralla kuntoon, HM = harvennusmallien mukaan, TH = taimikonhoito, 1H = ensimmäinen harvennus, 2H = toinen harvennus, PH = päätehakkuu.

Table 2. Timing of different treatments according to simulated operation cycles, in relation to ditch network maintenance operations (DNM), in the model forests. KK = all stands in tandem with DNM, HM = timing according to management guidelines, TH = tending of sapling stand, 1H = first thinning, 2H = second thinning, PH = final cutting.

| Metsikkö /menettely Stand / procedure | Toimenpidekerta Serial number of operation cycle | | | |
|--|---|------|----|----|
| | 1 ^a | 2 | 3 | 4 |
| Normaalipuustoiset – Moderately stocked stands | | | | |
| Taimikot, KK Sapling stands | TH | 1H | 2H | PH |
| Nuoret, KK Young thinning stands | 1H | (2H) | PH | |
| Varttuneet, KK Advanced thinning stands | 1H/2H | PH | | |
| Vähäpuustoiset – Low-stocked stands | | | | |
| KK | 1H | (2H) | PH | |
| HM | - | 1H | PH | |

^a Kunnostusajituksen ajankohta – Time of DNM

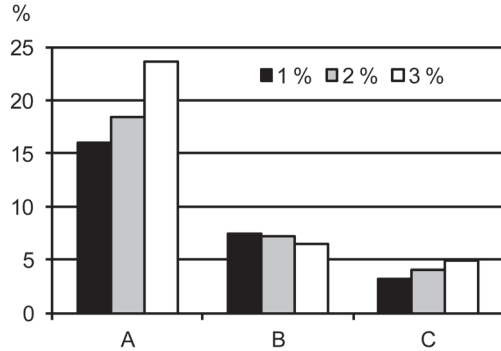


Kuva 3. Toimenpiteiden toteutusajankohtien vaikutus metsänkasvatuksen taloustulokseen (nettotulojen nykyarvo NNA, korko 2 %) suunnittelualueilla A, B ja C. Lyhenteet esitetty kuvan 2 tekstissä.

Figure 3. Financial performance of different management regimes in model areas A, B, and C (NNA = Net present value, discount rate 2%). For abbreviations, see Fig. 2.

metsänkasvatuksessa (kuva 3). Esimerkiksi 2 % korkovaatimuksella *kerralla kuntoon*-menettely lisäsi nettotulojen nykyarvoa 28–36 % (käsittelyluokka 2 vs. 0; kuva 2) ja kuvioittain räätälöidyillä ratkaisuilla 39–58 % verrattuna passiiviseen metsänkasvatukseen (käsittelyluokka 1 vs. 0; kuva 2). Suurin osa *kerralla kuntoon*-vaihtoehtojen ja HM-vaihtoehtojen välisistä eroista muodostui vähäpuustoisten kuvioiden osuudesta suunnittelualueilla.

Kaikkien vähäpuustoisten kuvioiden ensiharvennusten siirtäminen *kerralla kuntoon*-menettelyn ajankohdasta kullekin suunnittelualueelle määriteltyyn seuraavaan toimenpidekertaan lisäsi koko leimikolta saatavaa nettotulojen nykyarvoa kaikilla suunnittelualueilla (käsittelyluokka 3a vs. 2; kuva 2). Esimerkiksi 2 % korkokannalla lisäys oli alueesta riippuen 4–18 % (kuva 4). Suhteellinen hyöty oli suurin alueella A. Ensiharvennusten siirtämisestä saatu hyöty suureni korkovaatimuksen kasvaessa alueilla A ja C, mutta pieneni alueella B. Alueella B vähäpuustoisten kuvioiden keskimääräiset ainespuukertymät olivat *kerralla kuntoon*-harvennuksissa suuremmat kuin muilla alueilla. Vastaavasti alueella B suhteellinen muutos ainespuukertymässä harvennuksia myöhennettäessä oli pienempi kuin alueilla A ja C.



Kuva 4. Vähäpuustoisten kuvioiden ensiharvennusten myöhentämisellä nettotulojen nykyarvoon (korko 1–3 %) saatu hyöty (%) alueilla A, B ja C verrattuna kerralla kuntoon -vaihtoehtoon.

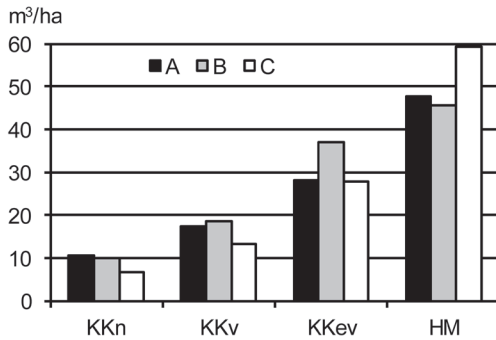
Figure 4. The relative benefit (%), at interest rates of 1–3%, from postponing the first thinnings of low-stocked stands in model areas A, B, and C, as compared to the management regime in which thinnings were applied in tandem with ditch network maintenance operations.

Vaihtoehto, jossa vähäpuustoiset kuviot jätettiin kokonaan käsittelemättä, oli taloustulokseltaan lähes samanarvoinen kuin koko alueen käsittely *kerralla kuntoon*-menettelyllä (NNA:n ero –4,3 % – 1,6 %). Vaihtoehto, jossa vähäpuustoisilla alueen osilla toteutettiin pelkästään kunnostusojitus, johti puolestaan *kerralla kuntoon*-vaihtoehtoa heikompaan tulokseen (NNA 0,5–13 % pienempi).

Mitä suuremmaksi vähäpuustoisten pinta-alaosuus alueella kasvoi, sitä enemmän *kerralla kuntoon*-menettelyllä jäätettiin koko alueen parhaasta mahdollisesta taloustuloksesta. Koska vähäpuustoisten kuvioiden lisäksi myös monilla normaalipuustoisilla kuvioilla hyödyttiin toimenpiteiden myöhentämisestä, ei selkeää raja-arvoa vähäpuustoisten osuudelle voitu määrittää. Vähäpuustoisten kuvioiden osuuden noustessa 100 %:iin *kerralla kuntoon*-toteutuksen tulos jäisi alueella A noin 22 %, alueella B noin 13 % ja alueella C noin 17 % pienemmäksi kuin kuvioille parhaimman ajankohdan ratkaisuisissa.

Vähäpuustoiset kuviot

Vähäpuustoisten kuvioiden puustot olivat tiheydeltään keskimäärin 1840 runkoa/ha; pohjapinta-ala oli 15 m² ha⁻¹, valtipituus 12 m ja tilavuus



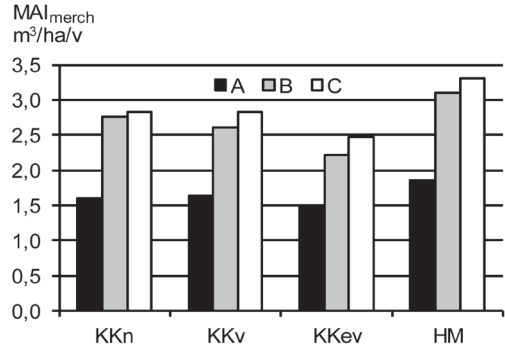
Kuva 5. Vähäpuustoisten kuvioiden ensiharvennusten keskimääräiset ainespuukertymät ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) alueiden A, B ja C eri käsittelyvaihtoehdoissa. Lyhenteet esitetty kuvan 2 tekstissä.

Figure 5. Average removals of merchantable wood ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) in the first thinnings of low-stocked stands in model areas A, B, and C, by management regimes. For abbreviations, see Fig. 2.

$75 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ (taulukko 1). Pohjapinta-alat olivat keskimäärin 30 % pienempiä ja valtapituudet keskimäärin 16 % pienempiä kuin tämän tutkimuksen normaalipuustoisissa nuorissa kasvatusmetsissä. Seuraavissa harvennusvaihtoehtojen vertailuissa käytettiin hehtaarikohtaisia puusto- ja kertymätunnuksia (1 kuvio = 1 ha).

Kun vähäpuustoisten kuvioiden *kerralla kuntoon* -harvennuksissa jäävän puuston määrä pidettiin harvennusmallien suosittelemissa rajoissa (KKn), ainespuukertymä jäi erittäin pieneksi ja joitakin ensiharvennuksia luokiteltiin hehtaarikohtaisen ainespuukertymän perusteella taimikonhoidoksi. Noin puoleen tarkastelluista vähäpuustoisista nuoren kasvatusmetsän lähtötilanteista tuli tehtäväksi vielä toinen harvennus. Voimakkaan harvennuksen (KKv) jälkeen toinen harvennus tarvittiin neljäsosalle vähäpuustoisista metsiköistä, mutta erittäin voimakas harvennus (KKev) jäi kaikilla kuvioilla kasvatusajan ainoaksi.

Kerralla kuntoon -menettelyssä vähäpuustoisilla kuvioilla puuston kokonaistilavuudesta poistettiin normaaliharvennuksissa 20 %, voimakkaissa 34 % ja erittäin voimakkaissa 58 %. Vastaavasti ainespuukertymät olivat keskimäärin $9 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ normaaleissa, $17 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ voimakkaissa



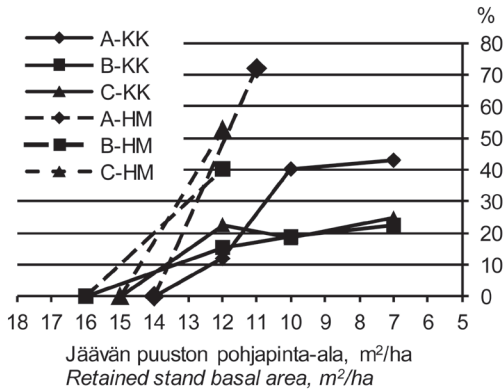
Kuva 6. Vähäpuustoisten kuvioiden keskimääräinen vuotuinen ainespuun tuotos ($\text{MAI}_{\text{merch}}$, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) voimakkuudeltaan ja ajoitukseltaan erilaisten harvennusten seurauksena suunnittelualueilla A, B ja C. Lyhenteet esitetty kuvan 2 tekstissä.

Figure 6. Average annual yield of merchantable wood ($\text{MAI}_{\text{merch}}$, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$), following the first thinnings according to different management regimes in low-stocked stands. For abbreviations, see Fig. 2.

ja $31 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ erittäin voimakkaissa harvennuksissa (kuva 5). Kun harvennukset siirrettiin seuraavaan toimenpidekertaan eli niitä myöhennettiin 20–25 vuodella, hakkuukertymät olivat noin kolminkertaiset.

Vähäpuustoisten kuvioiden harvennusvoimakkuus ja -ajankohta vaikuttivat sekä tuotos- että taloustuloksiin. *Kerralla kuntoon* -menettelyn ajankohdasta päätehakkuuseen ulottuvan ajanjakson keskimääräinen vuotuinen ainespuun tuotos aleni hieman harvennusten voimistuessa (kuva 6). Passiiviseen vaihtoehtoon verrattuna keskimääräiset vuotuiset puuntuotokset olivat normaaliin *kerralla kuntoon* -harvennusten vaihtoehdossa 24 %, voimakkaiden 22 % ja erittäin voimakkaiden 8 % suurempia ja myöhempien HM-harvennusten vaihtoehdossa keskimäärin 43 % suurempia. Nettotulojen nykyarvot (korko 2 %) sen sijaan kasvoivat *kerralla kuntoon* -harvennusten voimistuessa sekä harvennusten myöhentyessä (kuva 7). Suhteellisesti eniten nettotulojen nykyarvot muuttuivat harvennuksen voimistuessa tai myöhentyessä alueella A (kuva 7), joka sijaitsi muita pohjoisempana ja jolla päätehakkuuajankohdat saavutettiin muita alueita hitaammin.

Kun huomioon otettiin korjuukustannusten erot (tässä yhteydessä kantohintaerot), jotka



Kuva 7. Vähäpuustoisten kuvioiden keskimääräinen nettotulojen nykyarvon lisäys (% suhteessa passiiviseen, korko 2 %) voimakkuudeltaan erilaisten kerralla kuntoon-harvennusten (KK) sekä myöhemmän harvennuksen (HM) vaihtoehdoissa suunnittelualueilla A, B ja C.

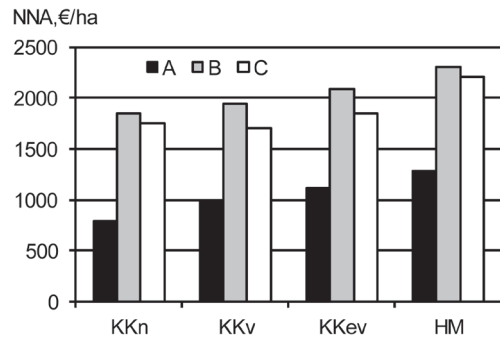
Figure 7. Average benefit in net present value (% when compared to passive regime, discount rate 2 %) from different management regimes of low-stocked stands in model areas A, B, and C. KK = ditch network maintenance (DNM) and thinning without delay, HM = DNM without delay, thinning according to guidelines.

aiheutuivat harvennusvoimakkuuden mukaan vaihtelevista ainespuukertymistä, voimakkaampien harvennusten edullisuus parani *kerralla kuntoon*-harvennuksissa. Kuitenkin vaihtoehto, jossa vähäpuustoisten kohteiden ensiharvennukset siirrettiin myöhemmäksi, säilytti edullisuutensa kaikkiin *kerralla kuntoon*-vaihtoehtoihin nähden kaikilla suunnittelualueilla (kuva 8).

Tarkastelu

Suunnittelualuetason tulokset tukevat aiempaa käsitystä metsänhoidon, etenkin harvennusten merkityksestä metsänkasvatuksen kannattavuuden parantamisessa (Hynynen ja Arola 1999, Huuskonen ja Ahtikoski 2005). Paras tulos saavutettiin, jos kukin kuvio voitaisiin käsitellä sille optimaalisella tavalla (Kojola ym. 2012). Tällainen räätälöinti on kuitenkin harvoin mahdollista.

Tutkimuksen tulokset perustuvat simuloointeihin, jolloin erityisesti vähäpuustoisten metsiköiden kasvuennusteisiin liittyy epävarmuutta, koska niissä sovelletaan malleja niiden



Kuva 8. Suunnittelualueiden A, B ja C vähäpuustoisten kuvioiden nettotulojen nykyarvot (NNA, korko 2 %), joissa on otettu huomioon ainespuukertymän suuruuden vaikutus korjuukustannuksiin. Lyhenteet esitetty kuvan 2 tekstissä.

Figure 8. Net present values (NNA, discount rate 2 %) of the management regimes in low-stocked stands; harvesting costs adjusted according to the volume of harvesting removals. For abbreviations, see Fig. 2.

laadinta-aineiston reuna-alueilla. Verrattaessa simulointituloksia harvennuskokeiden voimakkaasti harvennettujen puustojen mittaustuloksiin todettiin, että simuloituiden pohjapinta-alan kehitykset suhteessa valtapituuksiin noudattelivat varsin hyvin mitattuja puustokehityksiä. Sen sijaan simuloitun tilavuuskehityksen todettiin olevan mitattua hitaampaa. Näin ollen simuloinnit eivät ainakaan yliarvioi puustojen kehitysnopeutta.

Kunnostusojitusalueen systemaattiset *kerralla kuntoon*-käsittelyt johtivat jonkin verran heikompaan taloustulokseen kuin kuviokohtaisesti sopivimmilla ratkaisuilla saavutettiin. Eniten tulosta heikentävät liian aikaiset harvennukset alueen vähäpuustoisilla osilla. Tutkimuksen esimerkialueilla vähäpuustoisten kuvioiden osuus oli noin kolmannes. Mikäli vähäpuustoisten alueiden osuus on suuri, niistä tulisi muodostaa omia toimenpidekokonaisuuksia selvästi myöhemmin harkittaviksi. Kunnostusojitusalueeseen ne voisivat silti sisältyä. Huomattakoon, että vähäpuustoisuudella ei tässä yhteydessä tarkoiteta kasvupaikan karuuden vuoksi metsänkasvatuskelvottomia kuviota.

Siirtämällä vähäpuustoisten kuvioiden harvennuksia myöhemmäksi saavutetaan paitsi suurempi harvennuskertymä myös pienekkö etu

pitkän ajan taloustuloksessa. Puuston rakenne vaikuttaa ensiharvennusten myöhentämisestä saata-vaan hyötyyn siten, että suurin hyöty saavutetaan metsiköissä, joissa myöhentäminen olennaisesti lisää ensiharvennuksen ainespuukertymää.

Ensiharvennuskertymän suurentamisella parannetaan välittömästi puunkorjuutoimenpiteen kannattavuutta. Näin ollen, jos vähäpuustoisetkin kuviot kaikesta huolimatta harvennetaan kunnostusojituksen yhteydessä, on harvennuksen syytä olla suhteellisen voimakas. Tässä tutkimuksessa toimenpideajankohtien vaikutuksia tarkasteltiin vain puuntuotoksen ja hakkuukertymien osalta eikä otettu kantaa siihen, mitkä olisivat *kerralla kuntoon* -menettelyn tuomat hyödyt esimerkiksi suunnittelussa, työnjohdossa ja kaluston siirroissa.

Tulosten mukaan puuston harvennustarve olisi todennäköisesti parempi määrittämisperuste *kerralla kuntoon* -menettelyn toimenpiteiden ajankohdalle kuin kunnostusojitustarve, kuten metsänhoitosuosituksissa on todettukin (Hyvän metsänhoidon... 2007). Metsänkasvatuksen pidemmän aikavälin kannattavuutta voitaisiin myös parantaa rajaamalla kunnostusojitusalueen vähäpuustoiset kuviot omiksi käsittelylohkoikseen ja siirtämällä niiden harvennukset toteutettaviksi vasta alueen seuraavalla hakkuukierrolla, kun puustot ovat selvemmin saavuttaneet harvennuskypsyyden.

Kiitokset

Tutkimus toteutettiin Metsäntutkimuslaitoksen 'Suometsätalouden tutkimusohjelmassa' ja osittain yhteistutkimuksena Metsätalouden kehittämisskeskus Tapion kanssa 'Puuta turvemailta' hankkeessa. Kiitämme aineistoa toimittaneita metsäkeskuksia sekä Timo Makkosta ja Matti Ruotsalaista hyvästä yhteistyöstä. Kiitämme myös Juhani Päivästä ja anonyymiä tarkastajaa käsikirjoitukseen saamistamme rakentavista kommentteista.

Viitteet

- Aarnio, J. 2005. Suometsätalouden kannattavuus yksityismetsissä. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 194–201.
- Ahti, E., Kojola, S., Nieminen, M., Penttilä, T. & Sarkkola, S. 2008. The effect of ditch cleaning and complementary ditching on the development of drained Scots pine-dominated peatland forests in Finland. Teoksessa: Farrel, C. & Feehan, J. (toim.). Proceedings of the 13th International Peat Congress. After Wise Use — The Future of Peatlands. Tullamore, Ireland, 8–13 June 2008. Volume 1, Oral Presentations. International Peat Society. s. 457–459.
- Ahtikoski, A., Kojola, S., Hökkä, H. & Penttilä, T. 2008. Ditch network maintenance in peatland forest as a private investment: short- and long-term effects on financial performance at stand level. *Mires and Peat* (<http://www.mires-and-peat.net/>) (only on-line) 3(3): 1–11.
- Heikkilä, J. 2007. Turvemaiden puun kasvatusta ja korjuu — nykytila ja kehittämistarpeet. *Metlan työraportteja* 43. 29 s. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp043.htm>.
- Huuskonen, S. & Ahtikoski, A. 2005. Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutus kuivahkon kankaan männiköiden tuotokseen ja tuottoon. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2005: 99–115.
- Hynynen, J. & Arola, M. 1999. Ensiharvennusaikankohdan vaikutus hoidetun männikön kehitykseen ja harvennuksen kannattavuuteen. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1999: 5–23.
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H. & Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA system. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 835. 116 s.
- Hynynen, J., Ahtikoski, A., Siitonen, J., Sievänen, R. & Liski, J. 2005. Applying the MOTTI simulator to analyse the effects of alternative management schedules on timber and non-timber production. *Forest Ecology and Management* 207: 5–18.

- Hökkä, H. 1997. Height-diameter curves with random intercepts and slopes for trees growing on drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 97: 63–72.
- Hökkä, H. & Ahti, E. 2003. Detecting drainage effect using the regression between mean ground water table level in peat and estimated local precipitation. Teoksessa: Järvet, A. & Lode, E. (toim.). *Ecohydrological Processes in Northern Wetlands. Selected papers of International Conference & Educational Workshop, Tallinn, Estonia 30 June – 4 July 2003*. Tallinn – Tartu. s. 274–278.
- Hökkä, H. & Salminen, H. 2006. Utilizing information on site hydrology in growth and yield modeling: peatland growth models in the MOTTI stand simulator. Teoksessa: Amatya, D.M. & Nettles, J. (toim.). *Hydrology and Management of Forested Wetlands. Proceedings of the International Conference, April 8–12, 2006, New Bern, North Carolina. ASABE, Michigan, USA*. s. 302–308.
- Hökkä, H., Alenius, V. & Penttilä, T. 1997. Individual-tree basal area growth models for Scots pine, pubescent birch and Norway spruce on drained peatlands in Finland. *Silva Fennica* 31(2): 161–178.
- Hökkä, H., Alenius, V. & Salminen H. 2000. Predicting the need for ditch network maintenance in drained peatland sites in Finland. *Kunnostusojitustarpeen ennustaminen ojitusalueilla. Suo* 51(1): 1–10.
- Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille 2007. *Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus Oy, Helsinki*. 50 s.
- Jutras, S., Hökkä, H., Alenius, V. & Salminen, H. 2003. Modelling mortality of individual trees in drained peatland sites in Finland. *Silva Fennica* 37(2): 235–251.
- Kojola, S., Penttilä, T. & Laiho, R. 2005. First commercial thinnings in peatland pine stands: Effect of timing on fellings and removals. *Baltic Forestry* 11(2): 51–58.
- Kojola, S., Hökkä, H., Laiho, R. & Penttilä, T. 2008. Harvennusten ja kunnostusojitusten vaikutus puuston kasvuun ja tuotokseen ojitetuilla rämeillä — simulointitutkimus. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2008: 75–95.
- Kojola, S., Ahtikoski, A., Hökkä, H. & Penttilä, T. 2012. Profitability of alternative management regimes in Scots pine stands on drained peatlands. *European Journal of Forest Research* 131: 413–426.
- Matala, J., Hynynen, J., Miina, J., Ojansuu, R., Peltola, H., Sievänen, R., Väisänen, H. & Kellomäki, S. 2003. Comparison of a physiological model and a statistical model for prediction of growth and yield in boreal forests. *Ecological Modelling* 161: 95–116.
- Metinfo 2011. *Metsätietopalvelut. Metsäntutkimuslaitos. www-sovellus* (<http://www.metla.fi/metinfo/vmi/>).
- Peltola, A. (toim.) (2009) *Metsätalastollinen vuosikirja 2009 – Skogsstatistisk årsbok – Finnish Statistical Yearbook of Forestry*. SVT Maa-, metsä- ja kalatalous 2009. *Metsäntutkimuslaitos*, 452 s.
- Salminen, H., Lehtonen, M. & Hynynen, J., 2005. Reusing legacy FORTRAN in the MOTTI growth and yield simulator. *Computers and Electronics in Agriculture* 49(1): 103–113.
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Koivusalo, H., Nieminen, M., Ahti, E., Päivänen, J. & Laine, J. 2010. Role of tree stand evapotranspiration in maintaining satisfactory drainage conditions in drained peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 40: 1485–1496.
- Siipilehto, J., Sarkkola, S. & Mehtätalo, L. 2007. Comparing regression estimation techniques when predicting diameter distribution of Scots pine on drained peatlands. *Silva Fennica* 41(2): 333–349.
- Ylimartimo, M., Harstela, P., Korhonen, K.T. & Sirén, M. 2001. *Ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuus ojitetuilla turvemaille. Metsätieteen aikakauskirja* 2/2001: 253–263.

Summary: Timing of thinnings in drained peatland stands

Timber yields and financial performance of divergent management regimes were examined in three model areas, 35–50 ha in size, all calling for urgent ditch network maintenance (DNM). The aim was to explore the possible benefits or disadvantages of applying commercial thinnings in tandem with the DNM operation, as compared to adjusting the thinnings stand-by-stand, according to best-management guidelines. Low-stocked stands were examined separately and with special consideration of thinning intensity. The initial stand properties for the compartments, to be used as input data for simulations, were derived from real management plans in privately-owned forests in central Finland. Stand development was simulated with MOTTI-simulator, from the time point of the planned DNM until regeneration maturity. Postponing thinnings by 20–25 years from the time of DNM operation, in both low-stocked and moderately stocked stands, resulted in a higher long-term financial performance. This was due to more appropriate timing of and larger harvesting removals from thinnings in the low-stocked stands. Should the thinnings of all stands, however, be carried out in tandem with DNM operation then heavy thinnings in the low-stocked stands show better financial performance than light or moderate thinnings. Total rejection of thinnings in low-stocked stands returned the lowest profitability in the long-term. As a recommendation for operational management, the results suggest postponing thinnings in low-stocked stands until they better meet thinning maturity.

Keywords: ditch network maintenance, drained peatlands, silviculture, simulation