



Luonnonvara- ja
biotalous- ja
tutkimus 16/2017

METSÄ 150 – Metsänkasvatuksen keinot lisätä puuntuotantoa kestävästi ja kannattavasti

Jari Hynynen, Saija Huuskonen ja Soili Kojola (toim.)

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 16/2017

METSÄ 150

Metsänkasvatuksen keinot lisätä puun- tuotantoa kestävästi ja kannattavasti

Jari Hynynen, Saija Huuskonen ja Soili Kojola (toim.)

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2017



ISBN: 978-952-326-376-5 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-377-2 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-377-2>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Jari Hynynen, Saija Huuskonen ja Soili Kojola (toim.)

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2017

Julkaisuvuosi: 2017

Kannen kuva: Erkki Oksanen, Luke

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Jari Hynynen, Saija Huuskonen ja Soili Kojola (toim.)

Luonnonvarakeskus (Luke), Viikinkaari 4, 00790 Helsinki
jari.hynynen(at)luke.fi

Puun kysynnän arvioidaan kasvavan merkittävästi jo lähivuosina. Tämä raportti esittelee uusimpaan tutkimustietoon perustuen ne metsänkasvatuksen keinot, joiden avulla voidaan lisätä talousmetsien kasvua ja tehostaa puuntuotantoa kannattavasti ja kestävästi. Lisäksi tarkastellaan metsänkasvatuksen toimenpiteiden vaikutuksia metsän muille käyttömuodoille, mahdollisia ympäristövaikutuksia ja niiden hallintaa, sekä kerrotaan toimenpiteisiin liittyvistä riskeistä ja niiden hallinnasta.

Suomen olosuhteissa metsän kasvatusta on pitkäjänteistä toimintaa ja toimenpiteiden vaikutukset puuston kasvuun tapahtuvat viiveellä. Ainoa nopea keino vastata kasvavaan puun kysyntään on hakkuiden lisääminen, mihin nykyiset runsaat puuvarat antavat hyvät edellytykset. Se miten paljon puusto kasvaa hakkuun jälkeen riippuu metsän käsittelystä.

Varsinaiset kasvua lisäävät toimenpiteet voivat kohdistua joko puustoon tai kasvupaikkaan. Jalostetun siemen- ja taimimateriaalin käyttö ja tehokas metsänviljelyketju nopeuttavat puuston kasvua pitkällä aikavälillä. Nykyisin jalostetulla materiaalilla voidaan saada 10–15 % ja tulevaisuudessa 20–25 % lisäys runkopuun keskituotokseen. Puuston kasvuun voidaan myös vaikuttaa taimikonhoidolla ja harvennushakkuilla säätelemällä puulajisuhteita, puuston tiheyttä ja puiden kokojakaamaa.

Kasvupaikan tuotoskykyä voidaan lisätä maanmuokkauksella, kasvatuselementtien lannoituksilla sekä turvemaiden kunnostusajituksilla. Metsän uudistamisessa maanmuokkaus parantaa puiden siementen itävyyttä ja taimien kasvuolosuhteita. Lannoituksella voidaan lisätä puuston kasvua lisäämällä ravinnettä, jonka niukkuus rajoittaa kasvua. Kivennäismailla typen puute on tavallisin kasvua rajoittava tekijä. Yhdellä lannoituksella voidaan lisätä puuston kasvua 1,5–3 m³ ha⁻¹ vuodessa 6–8 vuoden ajan. Turvemaiden tuhkalannoituksella voidaan lisätä puuston kasvua pitkäkestoisesti 1–3 m³ ha⁻¹ vuodessa 20–30 vuoden ajan. Kunnostusajituksilla säädellään pohjavesipinnan tasoa turvemailla. Vesistövaikutukset huomioon ottaen kunnostusajitukset kannattaa kohdentaa alueille, joilla kuivatuksen parantaminen lisää selkeästi puuston kasvua.

Puubiomassan uusina tuotantomahdollisuuksina raportissa tarkastellaan lyhytkiertoviljelyä, heikkotuottoisia ojitusalueita ja suonpohjia sekä erikoispuulajeja. Lyhytkiertoviljelyllä voidaan tuottaa merkittäviä määriä puubiomassaa pienilläkin pinta-aloilla. Puulajeina voidaan käyttää mm. pajuja, hieskoivua, harmaaleppää sekä hybridihaapaa. Erikoispuulajit, kuten siperianlehtikuusi, visakoivu, tervaleppä ja jalot lehtipuut tuottavat ensisijaisesti arvokasta raaka-ainetta erikoistarkoituksiin.

Suomen metsien terveydentila on pääsääntöisesti hyvä. Vakavimpia tuhonaiheuttajia metsissä ovat juurikäpälä, tuuli ja hirvi, jotka aikaansaavat vuosittain mittavia taloudellisia tappioita. Tuhoriskeihin voidaan vaikuttaa metsänkasvatuksessa tehdyillä valinnoilla. Metsänhoito, hakkuiden oikea ajoittaminen sekä lehtipuiden kasvatusta sekapuuna pienentävät tuhoriskejä. Muuttuva ilmasto voi kasvattaa tuhoriskejä nykyisestä muuttamalla niin puiden kuin tuhonaiheuttajienkin kasvuolosuhteita.

Asiasanat:

puuntuotanto, metsänjalostus, siementuotanto, taimituotanto, metsänviljely, lannoitus, kunnostusajitus, taimikonhoito, harvennushakkuu, lyhytkiertoviljely, tuhot, puulajit

Sisällys

1. Johdanto	6
2. Hyväkasvuisen metsän perustaminen	10
2.1. Metsänjalostus.....	10
2.1.1. Siemenviljelykset siirtävät jalostuksen saavutukset käytäntöön	10
2.1.2. Solukkolisäyksestä uusi mahdollisuus kuuselle.....	12
2.1.3. Uudet menetelmät metsänjalostuksessa.....	12
2.2. Siemen- ja taimituotanto	15
2.2.1. Siemen- ja taimituotannon nykytila	15
2.2.2. Siemeneltä edellytetään korkeaa itävyyttä.....	16
2.2.3. Siemenen tuotannon ja käytön tehokkuutta lisäävä.....	16
2.2.4. Paakkutaimien kasvatustekniikka kaipaa uutta murrosta.....	17
2.2.5. Kemialliselle kasvinsuojelulle etsittävä vaihtoehtoja.....	17
2.2.6. Jalostetun taimimateriaalin kasvatusta ja taimilogistiikka	18
2.3. Puulajin valinta.....	21
2.3.1. Oikea puulaji oikealle paikalle.....	21
2.3.2. Puulajien puuntuotos vaihtelee	22
2.3.3. Riskien hallinta	24
2.4. Uudistamistavan valinta	26
2.4.1. Onnistunut uudistaminen on monen toimenpiteen yhteistulos.....	26
2.4.2. Istutus varmin uudistamistapa viljavilla kasvupaikoilla	26
2.4.3. Koneellisen istutuksen läpimurtoa odotellessa	28
2.4.4. Kohdevalinta kylvön onnistumisen avain.....	28
2.4.5. Muokkauksen jälkeä kehittämällä menestystä metsäkylvöön	29
2.4.6. Luontaisen uudistamisen riskienhallinta.....	31
2.4.7. Pintakasvillisuuden torjunta viljavilla kasvupaikoilla	32
3. Kasvupaikan tuotoskyvyn lisääminen	34
3.1. Maanmuokkaus.....	34
3.1.1. Muokkauksella luodaan taimille hyvät kasvuolosuhteet	34
3.1.2. Muokkausmenetelmä valitaan kohteen ominaisuuksien mukaan.....	36
3.1.3. Maanmuokkauksen ympäristövaikutukset	37
3.2. Lannoitus.....	39
3.2.1. Kivennäismailla lisäkasvua typpilisäyksellä	39
3.2.2. Turvemaiden puustot hyötyvät kivennäisravinteiden lisäyksestä	46
3.3. Kunnostusojitus	51
3.3.1. Kunnostusojitus varmistaa hapelliset olosuhteet puiden juurille.....	51
3.3.2. Kunnostusojitus vain tarvittaessa	51
3.3.3. Kunnostusojituksen kasvuvaihtelu ja kannattavuus.....	51
3.3.4. Ympäristö ja riskit.....	52

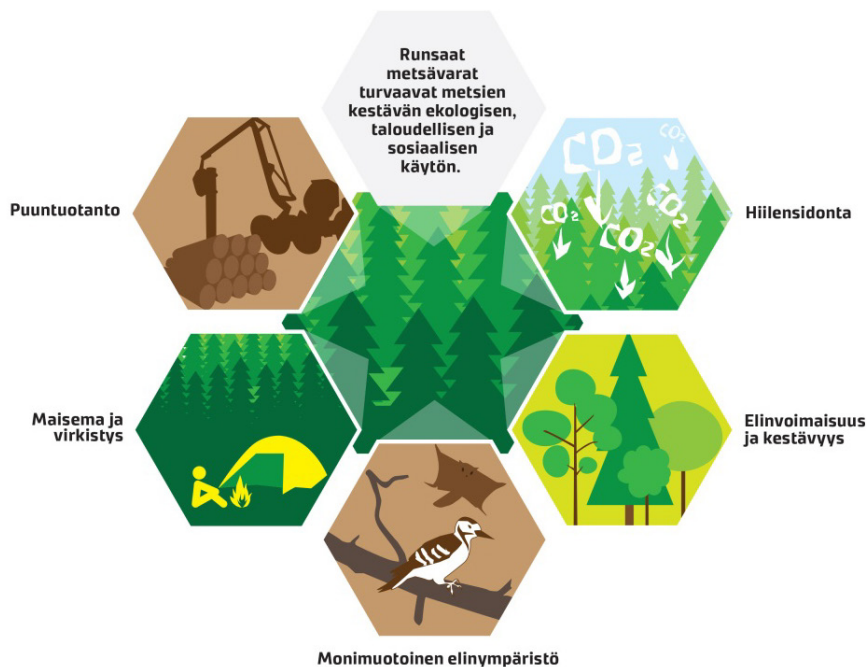
4. Puuston kasvukunnon parantaminen	54
4.1. Taimikonhoito	54
4.1.1. Taimikonhoidolla säädellään puiden kasvutilaa.....	54
4.1.2. Ajoitus keskeisintä kustannustehokkaassa taimikonhoidossa.....	54
4.2. Harvennushakkuut.....	56
4.2.1. Harvennuksilla lisätään ainespuun tuotosta	56
4.2.2. Ajoitus ja voimakkuus vaikuttavat puuston järeytymiseen ja harvennuskertymään.....	58
4.2.3. Harvennus voidaan toteuttaa monella tavalla	58
4.2.4. Puulajin valinta harvennuksessa	59
4.3. Kiertoaika	59
4.4. Riskit ja tutkimustarpeet.....	60
5. Puubiomassan uudet tuotantomahdollisuudet.....	62
5.1. Lyhytkiertoviljely.....	62
5.1.1. Tavoitteet	62
5.1.2. Uusia alueita lyhytkiertoviljelyyn	62
5.1.3. Pajut lyhytkiertoviljelyssä.....	63
5.1.4. Harmaaleppä uusi puulaji lyhytkiertoviljelyyn	64
5.1.5. Hieskoivua lyhyellä kiertoajalla	65
5.1.6. Hybridihaapa lyhytkiertoviljelyssä	66
5.1.7. Mahdollisuudet, riskit ja tutkimustarpeet	67
5.2. Heikkotuottoiset ojitusalueet ja suonpohjat	69
5.3. Erikoispuulajit	71
5.3.1. Taustaa.....	71
5.3.2. Siperianlehtikuusi.....	71
5.3.3. Kontortamänty.....	74
5.3.4. Tervaleppä.....	76
5.3.5. Visakoivu	78
5.3.6. Jalot lehtipuut	80
5.3.7. Hybridihaapa ja muut poppelilajit.....	83
6. Metsänkasvatuksen tuhoriskit	84
6.1. Muuttuva ilmasto.....	84
6.2. Tuuli	84
6.3. Juurikäpä	85
6.4. Hirvet ja myyrät	86
6.5. Kirjanpainaja	86
6.6. Muut tuhonaihuttajat.....	87
6.7. Tutkimustarpeet	88

1. Johdanto

Jari Hynynen

Metsät tuottavat suomalaisille sekä aineellista että aineetonta hyvinvointia. Metsävarojen hyödyntämisen päämääräksi onkin asetettu metsien aktiivinen, taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävä ja monipuolinen käyttö (Kansallinen metsästrategia 2025). Suomen taloudelle metsien merkitys on ollut ja on edelleen elintärkeä, vaikka metsistä saatavat tuotteet ja metsien käsittelyn painopisteet ovatkin aikojen kuluessa vaihdelleet. Viime vuosina metsiin perustuva biotalous on alkanut laajentua merkittävästi. Puuta raaka-aineena ja energiana käyttävän teollisuuden investoinnit kotimaisiin tuotantolaitoksiin ovat pitkästä ajasta merkittävästi lisääntymässä. Kotimaisen puun käyttö on myös kasvamassa. Vuonna 2015 hakkuukertymät olivatkin ennätyskokoiset. On ilmeistä, että kotimaisen puun käyttö tulee lähivuosina vielä lisääntymään nykytasosta, jos kotimaista puuta on kilpailukykyiseen hintaan saatavilla.

Kasvava paine puuntuotannon lisäämiseen on haaste metsien käsittelylle. Kun metsillä on useita käyttömuotoja, on selvää, että monet niistä kilpailevat keskenään eivätkä ole helposti yhteen sovitettavissa. Ristiriitojen välttämiseksi eri käyttömuotojen välillä on metsien puuntuotantoa lisättäessä samalla otettava huomioon mm. metsien riittävä suojelu ja lajiston monimuotoisuuden turvaaminen, lisääntyvien hakkuiden vaikutukset metsien hiilivarastoihin ja hiilensidontaan, metsänkäsittelyn vesistövaikutukset, hakkuiden vaikutukset maisemaan, virkistyskäyttöön sekä muihin aineettomiin palveluihin (Kuva 1). Jotta eri käyttömuotojen yhteensovittaminen onnistuisi käytännössä, on tunnettava erilaisten käsittelyjen vaikutukset metsien eri käyttömuotojen kannalta.

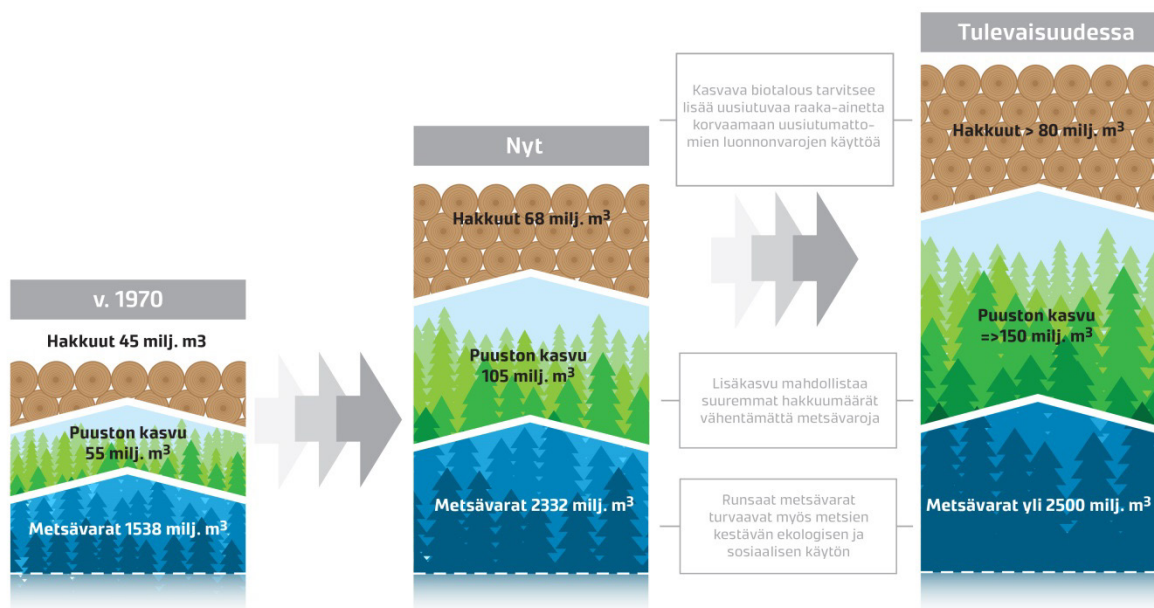


Kuva 1. Metsistä hyvinvointia

Nykyiset metsävarat ja metsien nykytila luovat perustan metsien tuleville käyttömahdollisuuksille ja käytön suunnittelulle. Puuntuotannon lisäämisen näkökulmasta nykytilanne näyttää hyvältä. Metsävarat ja puuston kasvu ovat tasaisesti lisääntyneet jo yli 40 vuoden ajan. Merkittävimmät syyt metsien kasvun lisääntymiseen ovat metsänhoito, vanhojen ja vajaatuottoisten metsien uudistaminen, turvemaiden metsäojitukset, taimikonhoitotyöt ja kasvatusmetsien lannoitukset. Sen lisäksi ilmasto-olosuhteet ovat viime vuosikymmeninä kiihdyttäneet kasvua. Metsien kasvunlisäyksestä 63 % on arvioitu johtuvan metsien käsittelystä ja 37 % ilmastotekijöistä (Henttonen ym. 2017). Tähän saakka ilmastonmuutos on ilmennyt metsissä lähinnä kasvun lisääntymisenä. On kuitenkin oletettavaa, että ympäristönmuutoksen jatkuessa muitakin vaikutuksia tullaan näkemään, esimerkiksi erilaisien metsätuhojen lisääntymisenä. Metsien käsittelyn tulisi edistää metsien elinvoimaisuutta ja siten edesauttaa niiden kykyä sopeutua muuttuvaan ympäristöön sekä parantaa vastustuskykyä mahdollisesti lisääntyviä abioottisia ja bioottisia tuhoja vastaan.

Hakkuukertymät ovat Suomessa olleet vuosikymmeniä kasvua pienempiä ja kestävästä hakkuumahdollisuuksista on hyödynnetty vain osa. Puuntuotannollisen kestävyuden näkökulmasta metsissä riittäisi puuta lisätä hakkuita merkittävästi, vähintään 10–15 miljoonalla kuutiometrillä vuodessa (esim. Hynynen ym. 2016). Taloudellisesta näkökulmasta katsoen ratkaisevaa on se, saadaanko kotimaista puuta markkinoille vastaamaan kasvavaa kysyntää. Silloin kysytään, onko metsänkasvatus ja puuntuotanto taloudellisesti kannattavaa metsänomistajille, saadaanko puuta korjattua metsistä kilpailukykyiseen hintaan, ja onko raaka-aine ominaisuuksiltaan riittävän arvokasta puuta käyttävälle teollisuudelle. Puuntuotannon lisääminen, metsien monimuotoisuuden turvaaminen ja metsien hiilinielun säilyttäminen ovat vaikeimmin yhteen sovitettavia tavoitteita. Monimuotoisuuden säilyttäminen edellyttää sekä riittäviä suojelualueita että talousmetsissä monimuotoisuuden huomioon otavia käsittelyjä.

Suomi on sitoutunut toimenpiteisiin, joiden tavoitteena on ilmastonmuutoksen hillintä. Ilmastovelvoitteiden täyttämiseksi metsien hiilinieluilla on ratkaiseva merkitys. Vaikka hakkuiden lisäämisen välittömänä seurauksena hiilivarastot kiistatta vähenevätkin, pidemmän aikavälin vaikutus riippuu siitä, miten metsiä muuten käsitellään hakkuiden lisääntyessä. Jo yllä todetut metsänhoidon vaikutukset metsien kasvuun viime vuosikymmeninä osoittavat, että puuston kasvua lisäävät käsittelytavat ovat tehokkaita keinoja lisätä hiilinieluja. Metsävarojen hyödyntämisen ilmastovaikutusten suhteen ratkaisevaa on se, miten talteen otettu raaka-aine käytetään: miten paljon sillä korvataan uusiutuvien raaka-aineiden käyttöä ja miten kauan metsäbiomassoista valmistetut tuotteet sitovat hiiltä.

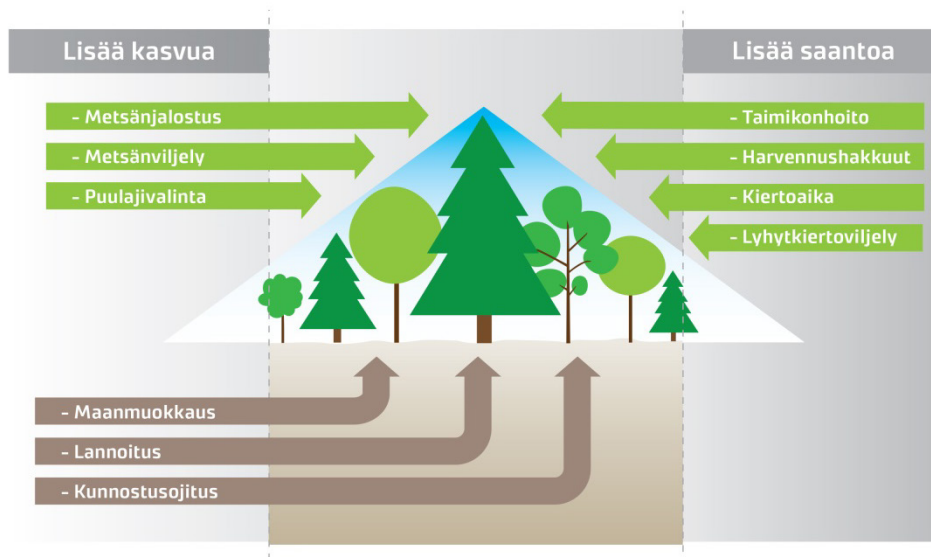


Kuva 2. Lisäkasvulla suuremmat hakkuukertymät.

Yksi harkinnan arvoinen toimintastrategia lisääntyvän puunkäytön yhteensovittamiseksi muiden metsien käyttömuotojen kanssa on tehostaa talousmetsien kasvua metsänkasvatuksen keinoin vähintään lisääntyvän puunkäytön verran. Näin toimimalla on mahdollista tuottaa enemmän raaka-ainetta nykyisellä tai jopa pienemmällä talousmetsien pinta-alalla vähentämättä metsiemme puuston kokonaismäärää ja hiilivarastoja (Kuva 2). Puuston kasvun lisääminen edellyttää sekä jo tunnettujen että myös uusien metsänhoidon menetelmien nykyistä laajempaa käyttöönottoa talousmetsissä. Tehostettu toiminta merkitsee lisäinvestointeja metsänhoitoon ja kustannusten lisääntymistä. Siitä huolimatta harkitusti kohdennetut ja kustannustehokkaat kasvatustoimet ovat metsänomistajalle taloudellisesti kannattavia (esim. Huuskonen ym. 2014).

Suomen oloissa metsien kasvu on hidasta, eikä nopeita lisäyksiä puuntuotannossa ole mahdollista saavuttaa. Hakkuukertymiä voidaan lisätä heti, mutta kasvunlisäys tapahtuu viiveellä. Hakkuita kohdentamalla voidaan metsien kasvunlisäystä kuitenkin nopeuttaa, esimerkiksi uudistamalla jo kasvuaan hidastaneita vanhoja, puustoltaan muuten huonokuntoisia tai harvoja metsiä ja viljelemällä alueet nopeakasvuisilla ja hyvälaatuisilla jalostetuilla taimilla tai siemenillä. Varsinaiset kasvua lisäävät toimenpiteet voivat kohdistua joko puustoon tai kasvupaikkaan. Jalostetun materiaalin käyttö ja tehokas metsänviljely ovat keinoja nopeuttaa puuston kasvua pitkällä aikavälillä. Puuston kasvuun voidaan vaikuttaa myös harvennusten puulajivalinnalla sekä säätelemällä harvennusten voimakkuutta, ajoitusta ja harvennustapaa. Metsämaan tuotoskykyä voidaan puolestaan lisätä maanmuokkauksen, lannoitusten ja turvemaiden kunnostusojitusten avulla (Kuva 3).

Tämä raportti esittelee uusimpaan tutkimustietoon perustuen ne metsänkasvatuksen keinot, joiden avulla voidaan lisätä metsän kasvua ja puuntuotosta. Vaikka tarkastelukulma onkin puuntuotannollinen ja taloudellinen, tarkastellaan eri menetelmien osalta toimenpiteiden vaikutuksia myös metsän muille käyttömuodoille sekä mahdollisia ympäristövaikutuksia ja niiden hallintaa. Lisäksi esitellään toimenpiteisiin liittyviä riskejä ja niiden ennaltaehkäisyä. Raportin tarkoituksena ei ole esittää suosituksia siitä miten tulisi toimia. Metsien käsittelystä päättää viime kädessä metsänomistaja omissa tavoitteidensa mukaisesti metsien tuotantoedellytysten ja toimintaympäristöstä johtuvien rajoitteiden puitteissa. Raportissa esitellään erilaisia metsänkäsittelytapoja ja niiden vaikutuksia metsänkäsittelyä koskevan päätöksenteon tueksi.



Kuva 3. Metsänhoidon keinot lisätä puuntuotantoa.

Lähteet

- Henttonen, H. M., Nöjd, P. & Mäkinen, H. 2017. Environment-induced growth changes in the Finnish forests during 1971-2010 - An analysis based on National Forest Inventory. *Forest Ecology and Management* 386: 22–36.
- Huuskonen, S., Hynynen, J. & Valkonen, S. (toim.) 2014. *Metsänkasvatus - menetelmät ja kannattavuus*. Metsäkustannus Oy, Porvoo. 205 s.
- Hynynen, J., Salminen, H., Ahtikoski, A., Huuskonen, S., Ojansuu, R., Siipilehto, J., Lehtonen, M., & Eerikäinen, K. 2015. Long-term impacts of forest management on biomass supply and forest resource development: a scenario analysis for Finland. *European Journal of Forest Research*. DOI 10.1007/s10342-014-0860-0.
- Kansallinen metsästrategia 2025 - Valtioneuvoston periaatepäätös 12.2.2015. Maa- ja Metsätalousministeriö. 54 s.

2. Hyväkasvuisen metsän perustaminen

Keskeistä

- Metsänjalostuksella aikaansaadut jalostushyödyt realisoituvat vain metsänviljelyn eli istutuksen ja kylvön kautta.
- Hyvälaatuisen ja alkuperältään sopivan siemenen saatavuus on välttämätön ehto sille, että metsiköt voidaan uudistaa metsälain vaatimusten mukaisella, hyvälaatuisella ja alkuperältään sopivalla siemen- tai taimimateriaalilla.
- Kullakin kasvupaikalla kasvatetaan sitä puulajia, joka menestyy parhaiten ja takaa siten korkeimman puuntuotoksen tai muutoin parhaan taloudellisen tuoton.
- Metsänviljely on ketju, joka alkaa metsänjalostuksesta ja päättyy kylvön tai istutuksen sekä taimikonhoidon kautta tuottavaksi metsäksi. Jos joku ketjun vaiheista ei toimi, muidenkaan osien hyödyt eivät realisoidu.

2.1. Metsänjalostus

Matti Haapanen ja Katri Kärkkäinen

2.1.1. Siemenviljelykset siirtävät jalostuksen saavutukset käytäntöön

Metsänviljely luo hyvät edellytykset talousmetsien puuntuotoksen määrän ja laadun nostamiseen jalostuksen avulla. Suomessa on jo 1960-luvulta saakka edistetty korkealaatuisen jalostetun viljelyaineiston käyttöä metsänuudistamisessa pitkäjänteisillä metsänjalostus- ja siemenviljelyohjelmilla (Haapanen ja Mikola 2008, Metsäpuiden... 2011). Etelä-Suomessa taimitarhojen ja metsäkylvöjen siementarve voidaan nykyisin jo suurimmaksi osaksi kattaa jalostetulla siemenellä (Evira 2016). Jalostetun aineiston käyttö ei juurikaan lisää metsänviljelyn kustannuksia metsänomistajalle, ja jalostushyödyt vaikuttavat koko metsän kiertoajan vaatimatta erityisiä lisäpanostuksia.

Metsänjalostuksessa tähdätään korkealaatuisen ainespuun tuotoksen lisäämiseen. Lisäksi jalostuksella parannetaan puiden viljelyvarmuutta, eli erilaisten ympäristön stressitekijöiden sietokykyä, mikä on entistä tärkeämpää ilmastonmuutokseen sopeutumisen kannalta. Jalostusohjelmassa näihin ominaisuuksiin suotuisasti vaikuttavia perintötekijöitä rikastetaan toistuvan valinnan, risteyttämisen ja testauksen avulla (Haapanen ja Mikola 2008). Jalostuksella saavutetut parannukset siirretään käytäntöön suvullisen siemenlisäyksen kautta. Jalostettu siemen tuotetaan siemenviljelyksissä, jotka koostuvat valiopuuyksilöiden, pluspuiden, vartteista eli kasvullisista kopioista. Siementä on tähän asti saatu valtaosin ensimmäisen polven siemenviljelyksistä, jotka perustettiin hyvän ilmiäsuun perusteella luonnosta valittujen pluspuiden vartteilla 1960–70-luvuilla. Nämä vanhenevat viljelykset ovat parhailaan korvautumassa ns. 1,5-polven siemenviljelyksillä, joihin on hyväksytty vanhemmiksi jälkeläiskoikien perusteella parhaat pluspuut. Etelä-Suomessa jo lähes puolet männyn taimitarhakylvöistä tehdään näiltä viljelyksiltä kerätyllä valiosiemennellä.

Puulajeistamme tunnetaan parhaiten männyn eteläsuomalaisen siemenviljelyaineiston jalostushyödyt. Kenttäkokeista saadut tulokset osoittavat huomattavan lisäyksen puuntuotoksessa. Ensimmäisen polven siemenviljelyksiltä kerätty vapaapölytteinen siemen antaa kiertoajan keskituotokseen 10–15 prosentin lisäyksen ja 5–8 vuotta lyhyemmän kiertoajan luonnosta kerättyyn metsikkösiemenen verrattuna. 1,5-polven varttuneilta siemenviljelyksiltä kerätty valiosiemennä antaa keskituotok-

seen noin 20–25 prosentin lisäyksen ja 15 vuotta lyhyemmän kiertoaajan (Kuva 4). Männyllä ja rauduskoivulla kasvunlisäykset yhdistyvät oksikkuuslaadun paranemiseen. Edellä mainitut arviot perustuvat 10–25 vuoden ikäisistä kenttäkokeista saatuihin mittaustuloksiin, joiden avulla kiertoaajan puuntuotosta on ennustettu joko kokeista estimoitujen geneettisten parametrien tai metsänkasvua mallintavien simulointiohjelmien avulla (Hynynen ym. 2005, Ahtikoski ym. 2013, Haapanen ym. 2016).

Männyn toisen polven risteytetyt jälkeläisaineistot varttuvat parhaillaan valintakentillä. Seuraava lisäys jalostushyötyihin on luvassa, kun tämän sukupolven parhaita puuyksilöitä päästään hyödyntämään toisen polven siemenviljelyksissä. Niiden perustaminen on mahdollista aloittaa 2020-luvulla. Toisen polven siemenviljelysten odotettu jalostushyödyn lisäys kiertoaajan puuntuotoksessa on ruotsalaisissa tutkimuksissa arvioitu noin 35 prosentiksi (Rosvall ym. 2001).

Rauduskoivulla jalostus on edennyt osin jo kolmanteen sukupolveen. Koivunjalostuksen tulokset ovat siirtyneet käytäntöön tehokkaasti, sillä kaikki taimitarhakylvöt on jo vuosia tehty siemenviljelys-siemenellä. Koivun jalostettu siemen tuotetaan havupuista poiketen muovihuoneessa. Tällä vältetään avomaasiemenviljelyyn väistämättä kuuluva ulkoisesta taustapölytyksestä johtuva siemenen jalostustason aleneminen. Uusissa siemenviljelyksissä hyödynnetään lisäksi entistä suurempaa osaa perimän vaihtelusta tuottamalla muovin alla uudelleen niitä risteytysperheitä, jotka todennetulta menestymiseltään kuuluvat jälkeläiskokeiden parhaimmiston (Kuva 5). Siemenviljelyyn hyväksytyjen risteytysperheiden kasvuhyödyt ovat näissä nuorissa jälkeläiskokeissa olleet 30 prosentin luokkaa. Parannuksia on saatu myös koivuvanerin laatuun vaikuttavissa oksikkuusominaisuuksissa (Haapanen 2016).



Kuva 4. 1,5-polven valiosiemenviljelyksillä siementä tuottavat jälkeläiskokeissa parhaiten menestyneet kanta-puut. Kuussa männyn nuori valiosiemenviljelys nro 407 Orimattilassa. (Kuva Matti Haapanen)



Kuva 5. Keuruulla sijaitseva rauduskoivun koeviljelys nro 1809/03 on yksi jälkeläiskokeista, joista saatua tietoa käytetään huippuristeytysperheiden siemenen tuottamiseksi uudelleen muovihuonesiemenviljelyn avulla. (Kuva Matti Haapanen)

2.1.2. Solukkolisäyksestä uusi mahdollisuus kuuselle

Kuusen siemenviljelyksiä on perustettu vähemmän kuin männyn, ja hyvät siemensadot ovat toistuneet niillä epäsäännöllisemmin. Kuusen epävarmalle siemenviljelylle on kuitenkin lupaava vaihtoehto: siemenalkioiden monistaminen taimiksi kasvullisen alkiolisäyksen avulla. Menetelmällä voidaan tuottaa pluspuiden risteytyksistä saaduista siemenalkioista periaatteessa rajaton määrä perimältään identtisiä kopioita (Aronen 2011). Kasvullinen lisäys mahdollistaa toisen polven siemenviljelyä vastaavat jalostushyödyt (arviolta 30–40 prosenttia) ja niiden siirtämisen metsänviljelyyn huomattavasti siemenlisäystä nopeammin ja tehokkaammin (Rosvall ja Lundström 2011). Luonnonvarakeskus on parhaillaan kehittämässä kasvullisesta alkiolisäyksestä käytännön vaihtoehtoa kuusen kotimaiseen taimituotantoon. Tämä tärkeä kehitystyö tuottaa ratkaisuja keskeisiin jalostetun aineiston saantia koskeviin ongelmiin. Lisäksi se avaa mahdollisuuksia myös geenitekniikan menetelmien hyödyntämiselle metsäpuilla, sillä käytännössä niiden edellytyksenä on toimivan kasvullisen lisäysmenetelmän olemassaolo.

2.1.3. Uudet menetelmät metsänjalostuksessa

Molekyyli-geeniikka, genomiikka ja biotekniikka ovat nopeasti edistyviä tieteenaloja, jotka ovat tuoneet uusia välineitä myös metsäpuiden jalostukseen. Uusista menetelmistä lupaavin, edellä kuvatun kasvullisen lisäyksen ohella, on genomisen valinta (Meuwissen ym. 2016), jossa perinteiseen jalostusarvosteluun yhdistetään tieto tuhansista arvostelun kohteena olevien yksilöiden DNA-merkeistä (Heffner ym. 2009). Genominen informaatio mahdollistaa jalostusaineiston yksilöiden sukulaisuussuhteiden tarkan määrittämisen sekä jalostushyödyn ja sukulaisuusasteen optimoinnin jalostusvalinnassa. Pitkäikäisillä puilla suurin hyöty genomisesta jalostustiedosta on saatavissa sellaisten ominaisuuksien

(mm. puuaineen laatuominaisuudet) varhaisvalinnassa, joiden perinteinen jalostusarvostelu ei aivan nuorista puuyksilöistä onnistu (Isik 2014). Genominen varhaisvalinta mahdollistaa ainakin teoriassa nykyistä korkeammat jalostushyödyt, koska sitä voidaan soveltaa nykyistä laajempiin valinta-aineistoihin. Menetelmä soveltunee kotimaisista pääpuulajeista parhaiten kuuselle, jonka geneettinen testaus perustuu täsmällisimmän jalostusarvostelun tuottavaan kloonattuun aineistoon. Jalostuskiertoa genominen esivalinta nopeuttaa vain siinä tapauksessa, että genomisen jalostusarvonsa perusteella taimivaiheessa valitut yksilöt voidaan risteyttää nopeasti valinnan jälkeen. Kotimaiset havupuut tulevat kukintaikään vasta 15–20 vuoden iällä, joten genomisen valinnan sisällyttäminen operatiiviseen jalostukseen edellyttää yhtaikaisia panostuksia puiden varhaisen kukittamisen menetelmien tutkimukseen. Genomisen valinnan hyötyjä fenotyyppiseen jalostusarvosteluun nähden on vaikea arvioida, koska ne riippuvat edellä mainittujen pullonkaulojen ratkaisemisesta sekä tavasta, jolla valitut aineistot lisättäisiin metsänviljelyyn. Menetelmän käyttökelpoisuutta arvioitaessa tarvitaan kuitenkin kustannus-hyötyanalyseja.

Genomisen valinnan menetelmien kehittämisen lisäksi metsägenetiikassa tutkitaan intensiivisesti puiden ominaisuuksien geneettistä perustaa: ominaisuuksiin vaikuttavia geenejä, geeniverkkoja ja niiden säätelyä (mm. Immanen ym. 2016, Lim ym. 2016). Tärkeiden geenien tunnistaminen mahdollistaa niiden luontaisen muuntelun hyödyntämisen tai yksittäisten geenien muokkauksen. Metsäpuulla geeninmuokkausta on tähän asti hyödynnetty vain perustutkimuksessa. Tekniikoiden käytäntöön soveltamisen tiellä on yhä monia esteitä, kuten erityisesti se, ettei metsäpuilla ole toistaiseksi tunnistettu selkeitä ja yksinkertaisia geenirakenteita, joita muokkaamalla olisi helposti ja nopeasti saavutettavissa merkittäviä parannuksia taloudellisesti tärkeissä kasvu- ja laatuominaisuuksissa. Näiden ominaisuuksien perinnöllinen säätely on monimutkaista useiden geenien ja ympäristömuuntelun yhdysvaikutusta. Viljelykasveilla on geenitekniikalla saatu hyötyä erityisesti harvojen geenien säätelien tauti- tai tuholaisresistenssien parantamisessa (Schaart ym. 2016). Uudet genomien editointitekniikat, joissa genomiin ei tuoda vierasta toisen lajin materiaalia, ovat yleistymässä nopeasti ja niiden yleinen hyväksyttävyyys voi olla nykyisiä tekniikoita parempi. Joka tapauksessa puiden tärkeiden ominaisuuksien geenien ja geeniverkkojen tunnistaminen mahdollistaa luontaisen muuntelun tehokkaamman hyödyntämisen jalostuksessa esimerkiksi yhdistämällä tärkeiden geenien merkkietovalinta genomiseen jalostukseen kuten eläinjalostuksen puolellakin on esitetty. Genomisen ja kvantitatiivisen tiedon hyödyntäminen yhdessä kasvullisen lisäyksen kanssa mahdollistaa myös täsmäjalostuksen, jonka avulla voidaan tuottaa tasalaatuista puumateriaalia metsäteollisuuden tarpeisiin.

Lähteet

- Ahtikoski, A., Salminen, H., Ojansuu, R., Hynynen, J., Kärkkäinen, K. & Haapanen, M. 2013. Optimizing stand management involving the effect of genetic gain: preliminary results for Scots pine in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 43: 299–305.
- Aronen, T. 2011. Kasvullisen lisäyksen mahdollisuudet havupuiden taimituotannossa. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2011: 54–59.
- Evira 2016. Metsänviljelyn siemen- ja taimituotantotilastot 2015. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <https://www.evira.fi/kasvit/viljely-ja-tuotanto/metsanviljely/tilastot/siemen-ja-taimituotanto/> [viitattu: 26.9.2016]
- Haapanen, M. 2016. Rauduskoivun uudet siemenviljelykset – täsmäjalosteita koivunviljelyyn. Esitys Nordgen-kokouksessa 29.9.2016. [<http://www.nordgen.org/ngdoc/forest/Temadager/2016/Matti%20Haapanen.pdf>]
- Haapanen, M. & Mikola, J. 2008. Metsänjalostus 2050 – Pitkän aikavälin metsänjalostusohjelma. *Metlan työraportteja* 71. 50 s.
- Haapanen, M., Hynynen, J., Ruotsalainen, S., Siipilehto, J. & Kilpeläinen, M. 2016. Realised and projected gains in growth, quality and simulated yield of genetically improved Scots pine in southern Finland. *European Journal of Forest Research* 135: 997–1009. doi:10.1007/s10342-016-0989-0.
- Heffner, EL., Sorrells, ME., & Jannink, JL. 2009. Genomic Selection for Crop Improvement. *Crop Science*: 49: 1–12.

- 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.
- Immanen, J., Nieminen, K., Smolander, O., Kojima, M., Serra, JA., Koskinen, P.,... Bhalerao, RP. & Helariutta, Y. 2016. Cytokinin and Auxin Display Distinct but Interconnected Distribution and Signaling Profiles to Stimulate Cambial Activity. *Current Biology* 26(15): 1990–1997.
- Isik, F. 2014. Genomic selection in forest tree breeding: the concept and an outlook to the future. *New Forests* 45: 379. doi:10.1007/s11056-014-9422-z
- Lim, K.J., Paasela, T., Harju, A., Venäläinen, M., Paulin, L., Auvinen, P., Kärkkäinen, K. & Teeri, TH. 2016. Developmental changes in Scots pine transcriptome during heartwood formation. *Plant Physiology*, pp-01082.
- Metsäpuiden siementarvearviotyöryhmän muistio 2011. MMM Työryhmämuisto 2011:6. 53 s.
- Meuwissen, T., Hayes, B. & Goddard, M. 2016. Genomic selection: A paradigm shift in animal breeding. *Animal Frontiers* 6(1): 6–14. doi:10.2527/af.2016-0002.
- Rosvall, O. & Lundström, A. 2011. Förädlings effekter i Sveriges skogar. [Summary: Effects of planting genetically improved seedlings on forest growth and potential harvest in Sweden.] Redogörelse nr 1, Skogforsk, Uppsala.
- Rosvall, O., Jansson, G., Andersson, B., Ericsson, T., Karlsson, B., Sonesson, J. & Stener, LG. 2001. Genetiska vinster i nuvarande och framtida fröplantager och klonblandningar. Skogforsk arbetsrapport.
- Schaart, JG., van de Wiel, CCM., Lotz, LAP. & Smulders, MJM. 2016. Opportunities for products of new plant breeding techniques. *Trends in Plant Science* 21(5): 438–449.

2.2. Siemen- ja taimituotanto

Jaana Luoranen ja Markku Nygren

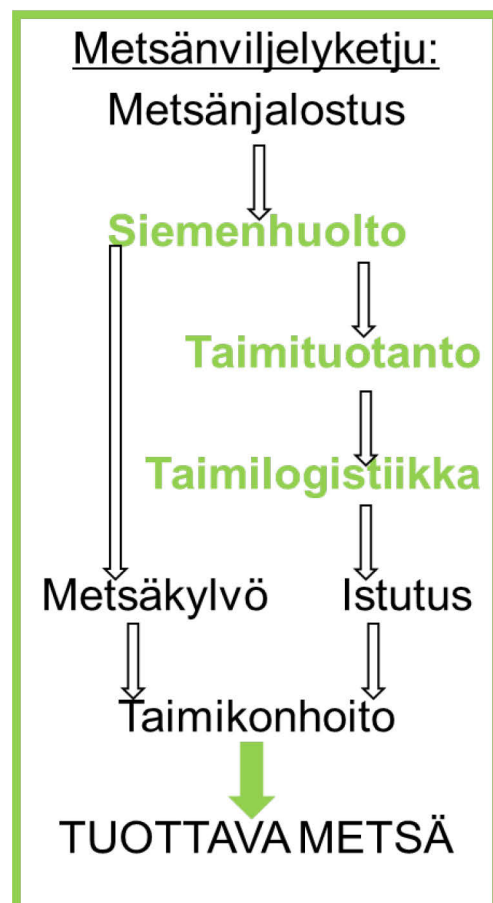
2.2.1. Siemen- ja taimituotannon nykytila

Metsänjalostuksella aikaansaadut jalostushyödyt realisoituvat vain metsänviljelyn eli istutuksen ja kylvön kautta (Kuva 6). Metsänviljely perustuu tällä hetkellä käytännössä kokonaan siemenistä lisäämiseen. Kaikki taloudellisesti merkittävät metsäpuumme uudistetaan siemenlähtöisesti, kylväen taimitarhoilla tai metsäkylvönä suoraan maastoon. Hyvälaatuisen ja alkuperältään sopivan siemenen saatavuus on välttämätön ehto sille, että metsiköt voidaan päätehakkuihin jälkeen uudistaa metsälain vaatimusten mukaisella, hyvälaatuisella ja alkuperältään sopivalla siemen- tai taimimateriaalilla.

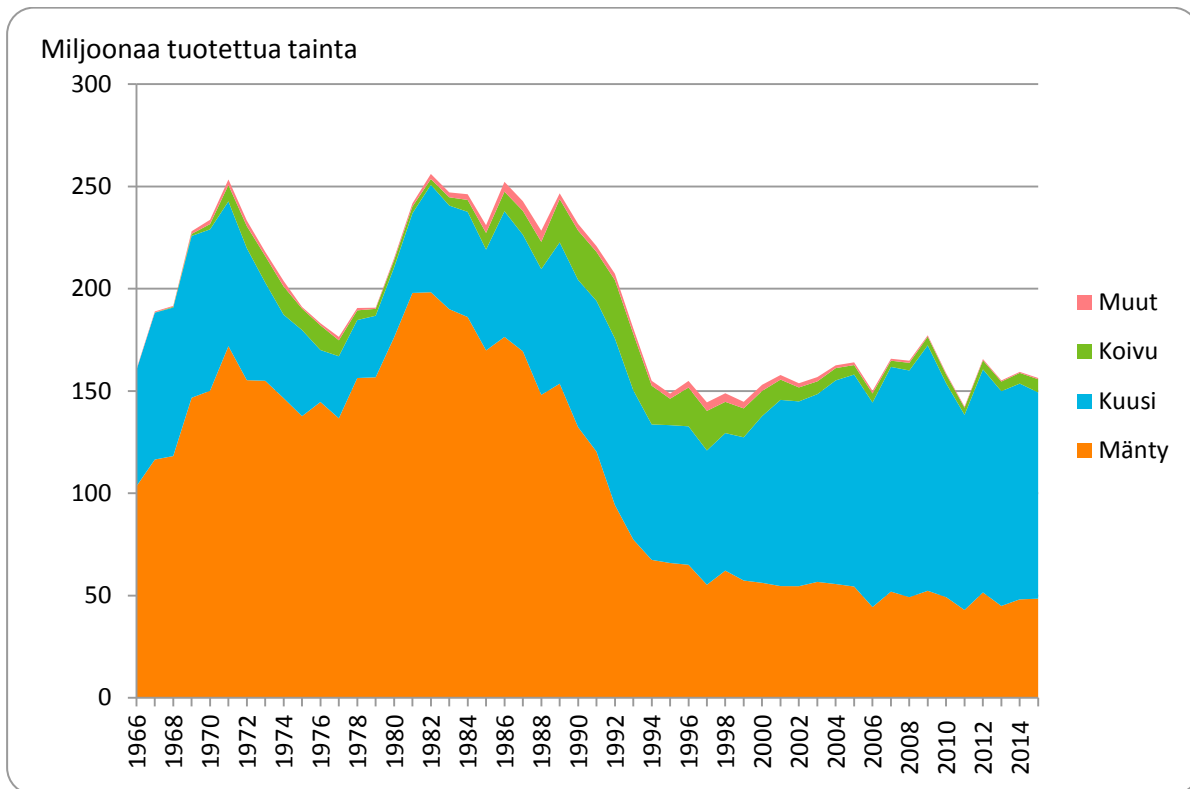
Metsänviljelyihin käytetään sekä jalostamatonta metsikkökeräyksistä saatavaa siementä että jalostettua siemenviljelyssiementä. Metsikkösiemen kerätään talousmetsistä uudistushakkuiden yhteydessä. Jalostettu siemen tuotetaan metsäpuiden siemenviljelyksillä. Metsäkylvöjä tehdään vain männyllä ja kylvöihin käytetään sekä metsikkökeräyssiementä että jalostettua siementä. Taimitarhakylvöihin käytetystä siemenestä noin kolme neljäsosaa on nykyisin jalostettua siementä (Evira 2016). Rauduskoivulla valtaosa siemenestä on alustavasti testattua siemenviljelyssiementä ja muutaman vuoden kuluttua siirrytään testattuun siemenmateriaaliin. Männyllä on käytössä myös 1,5-polven pidemmälle jalostettua testattua siementä. Tällä hetkellä kasvullisesti lisätään vain visakoivuja. Kuusen kasvullisen lisäyksen menetelmiä kehitetään parhaillaan. Myös kasvullisen lisäyksen hyödyntäminen edellyttää toimivaa taimituotantoa alkiomonistuksen jälkeen.

Valtaosa Suomessa tuotetuista metsäpuuntaimista tulee suurilta taimiyhtiöiltä, joilla vuonna 2015 oli yhteensä vajaat 20 taimitarhaa. Pieniä, alle 5 miljoonaa taimia kasvattavia paikallistuottajien taimitarhoja oli hieman yli 20 (Evira 2016). Jatkossa taimituotanto keskittyy suurten taimituottajien osalta yhä suurempiin yksiköihin. Viime vuosien aikana tuotantomäärä on vakiintunut 150 miljoonan taimen tasolle (Kuva 7). Vuonna 2015 metsänviljelyyn toimitetuista taimista 64 % oli kuusen, 31 % männyn ja 4 % koivun taimia (Kuva 7).

Nykyinen metsäpuiden taimituotanto perustuu paakkutaimituotantoon, jossa alkukevällä hyödynnetään lämmitettäviä muovihuoneita (Lilja ym. 2010). Kasvihuonepinta-ala pyritään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti ja yhtä huonetta pyritään käyttämään kasvukauden aikana usean kylvöerän kasvatukseen. Taimierät karaistetaan ulkokasvatuskentillä pakkasvarastointia tai ulkona tapahtuvaa talvivarastointia varten.



Kuva 6. Metsänviljely muodostuu ketjusta, joka alkaa metsänjalostuksesta ja päättyy kylvön tai istutuksen sekä taimikonhoidon kautta tuottavaksi metsäksi. Jos joku ketjun vaiheista ei toimi, muidenkaan osien hyödyt eivät realisoidu.



Kuva 7. Metsänviljelyyn toimitettujen metsäpuun taimien määrät vuosina 1966–2015 Suomessa (Evara 2016).

2.2.2. Siemeneltä edellytetään korkeaa itävyyttä

Siementen tuottamisen ja käsittelyn tulee olla sellaista, että siementen itävyys, elinvoima ja kyky tuottaa elinvoimaisia taimia ovat mahdollisimman hyviä. Nämä ominaisuudet määräytyvät osin siementen kehityksen aikana ja osin niiden myöhemmän käsittelyn seurauksena. Itävyyteen ja orastumiseen vaikuttavia yksittäisiä tekijöitä ovat mm. siementen tuleentuminen, käpyjen varastointi sekä siementen karistus- ja puhdistustekniikat.

Siemenviljelysiemenen käytön yleistyessä metsäpuiden siemenhuollossa on tapahtunut merkittäviä muutoksia. Havupuilla siementen keruuajankohtaa on pyritty aikaistamaan, koska keruu talviolosuhteissa on hankalaa ja riski siementen pakkasvaurioista kasvaa sitä mukaa mitä pidemmälle talvi etenee (Nygren ym. 2016). Rauduskoivulla merkittävin muutos on siementen tuottaminen muovihuoneissa. Samaan aikaan siemenen laadulle asetettavat vaatimukset ovat kohonneet. Taimitarhakylvöissä edellytetään siemenen itävyyden olevan vähintään 95 prosenttia, jotta kylvö voidaan tehdä ns. yksisiemenkylvönä. Myös männyn metsäkylvöissä käytettävältä siemeneltä edellytetään nykyisin korkeaa itävyyttä. Esimerkiksi ruotsalaisessa ”seed-pad” -sovelluksessa, jossa kuhunkin kylvökohtaan kylvetään vain yhden siemenen sisältävä turvekietto, edellytetään 99 prosentin itävyyttä.

2.2.3. Siemenen tuotannon ja käytön tehokkuutta lisättävä

Siementuotannon ja käyttövaatimusten muuttuessa on siemenen tuotanto- ja käsittelyohjeita päivitettävä ja siemenhuollon nykyisiä käytäntöjä tarkistettava. Tavoitteeksi voidaan asettaa tuotetun siemenen määrän lisääminen. Samalla on varmistettava siemenen korkea laatu kaikissa tuotannon vaiheissa. Avaintekijä on siemenen tuotannon ja käytön tehokkuus.

Jalostetun siemenen hehtaarisatoja voidaan nostaa panostamalla olemassa olevien siemenviljelysten hoitoon, vartteiden kukittamiseen ja tuhojen torjuntaan (Helenius ym. 2015). Tämä on erityisen tärkeää kuusen siemenviljelyksillä, koska kuusella on luontaisestikin hyviä siemenvuosia harvoin.

Siementen karistus- ja puhdistusmenetelmiä on kehitettävä sillä tavoin, ettei itämiskelpoista siementä joudu tuotantovaiheessa hukkaan (Himanen ym. 2016). Koivun siemenen tuottaminen muovihuoneissa poikkeaa siinä määrin luonnonolosuhteista, että tämän tekniikan vaikutukset itävyyteen, siemensaantoon ja taimien kehitykseen on syytä perusteellisesti selvittää.

Taimitarha- ja metsäkylvöjen toteutusmenetelmiä on kehitettävä, jotta jalostetusta siemenestä saatava hyöty saadaan tehokkaasti käyttöön. Taimitarhoilla havupuut kylvetään pääsääntöisesti yksisiemenkylvönä, mutta edelleen aika ajoin joudutaan turvautumaan kaksisiemenkylvöön (kaksi siementä per tuotettu taimi). Tämä kaksinkertaistaa siemenkulutuksen ja lisää kustannuksia kylvösten hoidossa (Himanen ja Nygren 2014, 2015). Metsäkylvöissä siemenkulutus on suurta, johtuen nykyisillä muokkausmenetelmillä syntyvästä epäedullisesta kylvöalustasta – yhtä vakiintunutta tainta kohti tarvitaan kymmenen siementä (Nygren ym. 2013, Helenius 2015).

Siemenhuollon ja kylvön tutkimus- ja kehittämistyöllä voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä koko metsänviljelyketjussa. Korkeammat saannot siementen tuottamisessa ja parantunut orastuminen kylvöissä vähentävät tarvittavia siemenviljelypinta-aloja. Samalla tehostuu jalostetun materiaalin käyttö metsänviljelyssä. Tutkimus- ja kehitystyön panostukset siemenhuoltoon maksavat itsensä takaisin lisääntyvänä kasvuna ja puiden parempana laatuna viljelymetsissä.

2.2.4. Paakkutaimien kasvatustekniikka kaipaa uutta murrosta

Investoinnit nykyisenkaltaisiin kovamuoviin kasvatuskennostoihin, kohokasvatukseen, kylvölinjastoihin sekä taimien talvivarastointiin käytettäviin pakkasvarastoihin on tehty viimeisten 20–30 vuoden aikana (Poteri 2010). Verrattuna esimerkiksi Ruotsiin taimien hinnat ovat Suomessa hyvin alhaiset, minkä seurauksena taimitarhojen mahdollisuudet uusiin investointeihin ovat rajalliset. Alaa on vaivannut taimien ylituotanto. Uusia investointeja ja tuotannon tehostamista kuitenkin tarvitaan, jotta taimikysyntään voidaan vastata sekä taimituottajan että metsänomistajan kannalta kilpailukykyisin hinnoin.

Taimitarhoilla on paineita tuotannon tehostamiseen, ja pienempiin taimiin siirtyminen on yksi potentiaalisimmista vaihtoehtoista (Kuva 8). Tämä merkitsee muutoksia kasvatusrutiineihin ja heijastuu myös metsään. Tuotannon tehostamiseen liittyy riskejä, sillä esimerkiksi taimien kasvatustiheyden nostaminen voi lisätä tautien ja tuholaiten, erityisesti sienitautien, riskiä kasvatuksen ja varastoinnin aikana. Myös taimituotannon yksikkökokojen kasvattaminen lisää yhdellä taimitarhalla kasvatettavien taimialkuperien määrää ja maantieteellistä laajuutta, mikä osaltaan kasvattaa kasvinsuojeluun liittyviä riskejä. Taimituotannon keskittyminen lisää taimien kuljetusmatkoja (Rantala 2003), mikä edellyttää taimitoimitusten logistiikan kehittämistä.

2.2.5. Kemialliselle kasvinsuojelulle etsittävä vaihtoehtoja

Metsien sertifiointijärjestelmien ja EU-tason kemikaalilainsäädännön vaatimukset kasvinsuojeluaineiden käytöstä voivat tuoda muutospaineita myös taimituotantoon ja etenkin metsänistutukseen. Taimituotannossa erilaisia kasvinsuojeluaineita on käytetty lähinnä sienitautien torjuntaan (Lilja ym. 2010). Käyttövaatimusten kiristyessä integroitu torjunta tai muut vaihtoehtoiset keinot tulevat yhä tärkeämmiksi. Kaikki eteläsuomalaisiin metsiin menevät havupuuntaimet käsitellään nykyisin taimitarhoilla kemiallisesti tukkimiehentäin tuhojen vähentämiseksi. Hyväksytyjen valmisteiden valikoima pienenee koko ajan, joten kemiallista käsittelyä korvaavia uusia menetelmiä joko taimitarhalla tai metsässä on kehitettävä, sillä tukkimiehentäin on edelleen yksi pahimmista istutustaimia uhkaavista tekijöistä (Saksa 2011).



Kuva 8. Siirtyminen pienempiin paakkuihin ja kohokasvatukseen tehostaa rauduskoivun taimituotantoa ja alentaa taimien varastointi-, kuljetus- ja istutuskustannuksia. (Kuva Jaana Luoranen)

2.2.6. Jalostetun taimimateriaalin kasvatus ja taimilogistiikka

Metsänjalostuksen seurauksena siemenviljelyssiemenestä kasvatetut taimet kasvavat metsikkösiemenistä kasvatettuja taimia paremmin. Tämä on otettava huomioon taimien taimitarhakasvatuksessa. On myös mahdollista, että taimien kasvun paranemisella on vaikutusta taimien alkuvaiheen maastomenestymiseen. Esimerkiksi Ruotsissa taimien kasvatusohjelmia on jouduttu mukauttamaan siemenmateriaalin jalostusasteen kasvaessa, sillä perinteiset metsikkösiemenistä kasvatetuille taimille räätälöidyt kylvöajat ja lannoitusohjelmat eivät välttämättä sovellu sellaisinaan pidemmälle jalostetusta siemenmateriaalista kasvatetuille taimille. Ongelma on erityisesti taimien karaistumisessa kasvukauden lopulla. Nykyisin syysistutuskausi on pidempi kuin aikaisemmin, mikä lisää tarvetta huolelliseen kasvunsäätelyyn erityisesti syyskesällä.

Yhdysvaikutukset erilaisten kasvatustekniikoiden ja muuttuneiden istutusajankohtien kanssa voivat myös tuoda yllätyksiä, sillä esimerkiksi kesäistutuksen ja lyhytpäiväkäsittelyn tiedetään aikais-tavan taimien silmunpuhkeamista (Luoranen ja Rikala 2015). Viime vuosina käyttöön tulleelle testatulle männyn siemenaineistolle onkin kehitettävä uusia kasvatusohjelmia myös Suomessa, jotta perimältään paras metsänviljelymateriaali saadaan käyttöön lisäämättä istutuksiin liittyviä riskejä.

Taimituotanto ja etenkin taimien pakkaus ja kuljetus ovat toimineet pitkälti kevätistutuksen menetelmin. Kevään lepotilaiset taimet kestävät pakkauksissaan kesällä ja syksyllä istutettavia taimia paremmin. Taimien pakkaamiseen käytettävälle pahlilaatikkovarastoinnille pitäisikin löytää kaikkiin istutusajankohtiin sopivia vaihtoehtoja. Digitalisaation ja uusien olosuhdemittaustekniikoiden hyödyntämistä taimilogistiikkaketjussa olisi myös selvitettävä osana ketjun laadunvarmistusta.

Koko istutusketjun kustannustehokkuutta tulisi parantaa. Mätästyksen yleistyttyä maanmuokausmenetelmänä on viimeisten parinkymmenen vuoden aikana voitu siirtyä useimmilla kohteilla

kuusen paljasjuurisista ja kookkaista taimista pienempien ja edullisempien, yksivuotiaiden taimien viljelyyn (Kuva 9). Mätästys mahdollistaa pienten taimien käytön myös koivun viljelyssä. Männylläkin ”minitaimia” viljellään Pohjois-Suomessa ja -Ruotsissa, mutta sitä ei tiedetä kuinka hyvin ne soveltuvat ilmastoltaan kuivempaan Etelä-Suomeen.

Samanaikaisesti puuntuotannon tehostamistavoitteen rinnalla metsurikunta ikääntyy ja työnteijöiden määrä sekä metsänomistajakunnan omatoimisuus vähenevät (Juntunen 2013). Metsänviljelyn koneellistuminen onkin viimeisten viidentoista vuoden aikana yleistynyt, joskin edelleen koneellisen istutuksen osuus metsänistutusten kokonaismäärästä on vain pari prosenttia (Luonnonvarakeskus 2016). Koneellisen istutuksen osuuden kasvattaminen edellyttää menetelmän kannattavuuden parantamista. Ratkaisuna tähän on eri työvaiheiden automatisointi ja lisäksi koneiden käytölle on löydettävä mahdollisimman pitkä vuosityöaika (Hallongren ym. 2014). Taimituotannossa nämä merkitsevät sitä, että taimia on tuotettava koko sulan maan ajan istutuksiin (Luoranen ym. 2005, 2006, Luoranen ja Rikala 2013). Kustannustehokkainta olisi vähentää käsityövaiheiden osuutta sekä taimitarhalla että metsässä. Tämä edellyttää, että jo taimitarhalla taimien kasvatustekniikka integroidaan istutuskoneen taimisyöttömekanismiin. Istutuskauden laajentaminen on teknisesti mahdollista, mutta puiden kasvurytmin vuodenaikaisvaihtelu ja biologiset tekijät asettavat reunaehdot taimien istutusajankohdille, taimityyppien käytölle sekä sille millaisille uudistamiskohteille taimia voidaan istuttaa.

Kaiken kaikkiaan sekä siementuotannossa että metsätaimitarhoilla on tarve kehittää tuotantoa entistä kustannustehokkaampaan suuntaan. Tarvitaan uudenlaisia ratkaisuja niin siemenviljelyksille ja siementen käsittelyyn, taimitarhoille, taimien varastointiin, kuljetukseen kuin kylvöön ja istutukseenkin. Ratkaisuja etsittäessä on huomioitava teknistaloudelliset kysymykset unohtamatta kuitenkin biologian asettamia reunaehtoja.



Kuva 9. Mätästys mahdollistaa aiempaa pienempien taimien käytön kuusen viljelyssä. Pienessä kuvassa vasemmalla on yksivuotias, keskellä ns. 1,5-vuotias ja oikealla kaksivuotias kuusen paakuttaimi. (Kuvat Erkki Oksanen, Luke)

Lähteet

- Evira 2016. Metsänviljelyn siemen- ja taimituotantotilastot 2015. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <https://www.evira.fi/kasvit/viljely-ja-tuotanto/metsanviljely/tilastot/siemen-ja-taimituotanto/> [viitattu: 26.9.2016].
- Helenius, P. 2015. Männyn kylvöalojen maanmuokkaus – uutta menestystarinaa etsimässä. *Taimiuutiset* 3/2015: 17–20.
- Helenius, P., Hagqvist, R. & Ylioja, T. 2015. Kuusen siemenviljelykset kukkimaan. *Taimiuutiset* 3/2015: 13–16.
- Himanen, K. & Nygren, M. 2014. Effects of seed pre-soaking on the emergence and early growth of containerized Norway spruce seedlings. *New Forests* 45(1): 71–82.
- Himanen, K. & Nygren, M. 2015. Seed soak-sorting prior to sowing affects the size and quality of 1.5-year-old containerized *Picea abies* seedlings. *Silva Fennica* 49(3).
- Himanen, K., Helenius, P., Ylioja, T. & Nygren, M. 2016. Intracone variation explains most of the variance in *Picea abies* seed weight: implications for seed sorting. *Canadian Journal of Forest Research* 46: 470–477.
- Juntunen, M.-L. 2013. Metsänhoitoyhdistykset metsänhoidon työpalvelujen tuottajina. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2013: 141–154.
- Lilja, A., Poteri, M., Petäistö, R.-L., Rikala, R., Kurkela, T. & Kasanen, R. 2010. Fungal diseases in forest nurseries in Finland. *Silva Fennica* 44(3): 525–545. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.147>
- Luoranen, J. & Rikala, R. 2013. Field performance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings planted in disc trenched or mounded sites over an extended planting season. *New Forests* 44(2): 147–162.
- Luoranen, J. & Rikala, R. 2015. Post-planting effects of early-season short-day treatment and summer planting on Norway spruce seedlings. *Silva Fennica* 49(1) article id 1300. 9 s. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1300>
- Luoranen, J., Rikala, R., Konttinen, K. & Smolander, H. 2005. Extending the planting period of dormant and growing Norway spruce container seedlings to early summer. *Silva Fennica* 39(4): 481–496.
- Luoranen, J., Rikala, R., Konttinen, K. & Smolander, H. 2006. Summer planting of *Picea abies* container-grown seedlings: Effects of planting date on survival, height growth and root egress. *Forest Ecology and Management* 237(1–3): 534–544.
- Luonnonvarakeskus 2016. Metsänhoito- ja metsänparannustyöt. Suomen virallinen tilasto (SVT). [verkkojulkaisu]. Saatavissa: http://stat.luke.fi/mets%C3%A4nhoito-ja-mets%C3%A4nparannusty%C3%B6t-2015-ennakko_fi [viitattu: 26.9.2016]
- Nygren, M., Ikonen, N. & Helenius, P. 2013. Siementen itäminen ja taimien orastuminen männyn äeskylvössä – tapaustutkimus. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2013: 127–139.
- Nygren, M., Himanen, K. & Ruhanen, H. 2016. Viability and germination of Scots pine seeds after freezing of harvested cones in vitro. *Canadian Journal of Forest Research* 46: 1035–1041
- Poteri, M. 2010. Taimituotantotekniikkaa hiotaan. Osaluku kirjassa: Tasanen, T. (toim.) 2010. Siemenestä taimeksi. Metsäpuiden taimituotannon historia Suomessa. Metsäpuiden taimituotannon historiatoimikunta 2010. 349 s.
- Rantala, J. 2004. Optimizing the supply chain strategy of a multi-unit Finnish nursery company. *Silva Fennica* 38(2): 203–215.
- Saksa, T. 2011. Kuusen istutustaimien menestyminen ja tukkimiehentäin tuhot eri tavoin muokatuilla uudistusaloilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2011: 91–105.

2.3. Puulajin valinta

Anneli Viherä-Aarnio, Markku Saarinen ja Saija Huuskonen

2.3.1. Oikea puulaji oikealle paikalle

Kasvatettavan puulajin valinta on merkittävä päätös, joka vaikuttaa pitkälle tulevaisuuteen – teollisuuden raaka-aineen saantiin, metsänomistajan tuloihin, metsämaisemaan sekä metsän monimuotoisuuteen ja muihin käyttömuotoihin. Tärkein puulajin valintaan vaikuttava tekijä on kasvupaikka, mukaan lukien maantieteellinen sijainti ilmasto-oloineen. Kullakin kasvupaikalla tulisi kasvattaa sitä puulajia, joka kyseisellä paikalla menestyy parhaiten ja takaa siten korkeimman puuntuotoksen tai muutoin parhaan taloudellisen tuoton. Useimmiten valinta tehdään pääpuulajiemme männyn, kuusen ja rauduskoivun välillä. Näiden lisäksi voidaan harkita esimerkiksi lehtikuusen, kontortamännyn, visakoivun, hybridihaavan, tervalepän ja jalojen lehtipuiden kasvatusta. Nämä ns. erikoispuulajit on kuvattu tarkemmin luvussa 5.3.

Pääpuulajeistamme ainoastaan mänty sopii kasvatettavaksi kuivahkoilla ja sitä karummilla kankailla. Mänty tuottaa arvokkaimman puusadon kuivahkoilla kankailla, kun taas viljavammilla kasvupaikoilla männyn ulkoinen laatu, oksikkuus ja runkomuoto, kehittyy heikoksi. Mänty on ainoa puulaji, joka kasvaa myös karuilla rämesoilla sekä niistä ojituksen ja kuivatuksen myötä syntyneillä karuimmilla turvekankailla. Mänty oli pitkään, aina 1990-luvulle saakka, selkeästi eniten viljelty puulaji maassamme, mutta sittemmin männynviljely on vähentynyt (Taulukko 1). Vuonna 2015 metsänviljelyyn tuotettiin runsaat 48 miljoonaa männyntainta, mikä vastaa noin 24 000 hehtaarin viljelypinta-alaa (Evira 2016).

Kuusi on mäntyä vaateliaampi. Sen kasvatukseen soveltuvat tuoreet kankaat ja sitä rehevämmät kivennäismaiden kasvupaikat sekä vastaavat turvekankaat, joilla maaperä on ravinteikasta ja vesitalous kunnossa. Tiiviillä savikoilla ja muilla hienojakoisilla heikosti vettä läpäisevillä mailla kuusi menestyy heikommin. Hallanarvoja maita tulee välttää kuusen viljelyssä. Kuusen viljelymäärät lähtivät jyrkkään nousuun 2000-luvulla, minkä jälkeen siitä on tullut metsänviljelyn ykköspuulaji. Vuonna 2015 metsänviljelyyn tuotettujen kuusentaimien määrä oli noin 100 miljoonaa kappaletta (Evira 2016), mikä vastaa 50 000 hehtaarin viljelypinta-alaa.

Rauduskoivu on kasvupaikkavaatimuksiltaan kuusen kaltainen. Koivun kasvatukseen soveltuvat parhaiten lehtomaiset ja parhaat tuoreet kankaat sekä metsitettävät kivennäismaapellot, joilla maaperä on ravinteikas, ilmava ja hyvin vettä läpäisevä. Lehdoissa ja paksumultaisilla pelloilla koivu kasvaa myös hyvin, mutta runkojen laatu voi olla heikko (Niemistö ym. 2008). Savikoilla ja turvemaidella rauduskoivu ei menesty, lukuun ottamatta ohutturpeisia ja viljavia ruohoturvekankaita. Rauduskoivun viljely keskittyy maan etelä- ja keskiosiin, Pohjois-Suomen poronhoitoalueella koivun viljely ei onnistu ilman aitaamista. Hieskoivu viihtyy kosteilla kasvupaikoilla ja menestyy tiiviimmillä maapohjilla kuin muut puulajimme. Hieskoivua voidaan käyttää turvemaiden, savikoiden ja märkien maiden metsittämiseen. Hieskoivikoita perustetaan, yleensä luontaisesti uudistamalla, turvemaidelle ja vaikeimmin metsitettävälle suopelloille. Rauduskoivun viljely oli huipussaan 1990-luvun alkupuoliskolla, mistä ajoista se väheni nopeasti 2000-luvulle tultaessa. Syynä romahdukseen oli pellonmetsityksen väheneminen ja suuren hirvikannan aiheuttama korkea hirviturhoriski. Aivan viime vuosina on ollut nähtävissä koivun viljelyn hienoista kasvua. Vuonna 2015 rauduskoivun taimia tuotettiin metsänviljelyyn noin 6,4 miljoonaa kappaletta (Evira 2016), mikä vastaa noin 4 000 hehtaarin viljelypinta-alaa.

Taulukko 1. Metsänviljelyn pinta-aloja (ha) Suomessa vuosina 1996, 2000 ja 2014. (Luke tilastotietokanta, 2017)

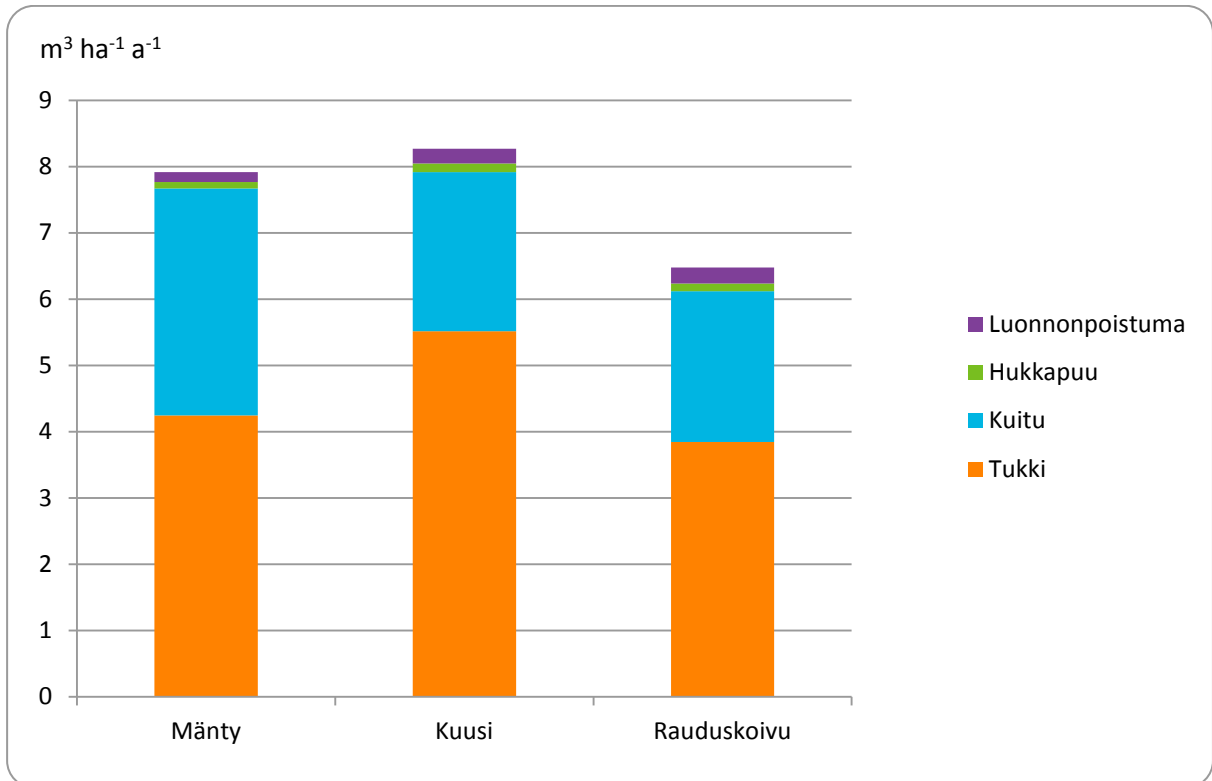
	1996	2000	2014
Kylvö, mänty, ha	32 869	30 989	21 603
Istutus, mänty, ha	30 761	26 779	21 048
Istutus, kuusi, ha	38 339	47 086	52 018
Istutus, koivu, ha	11 693	7 927	2 790

Turvemailla puulajin valintaperiaate – kuusikko kuusikoksi ja männikkö männiköksi – ei uudistettaessa aina toimi. Sopivimman puulajin valintaa vaikeuttaa se, että kasvupaikan tunnistaminen ei ole yksiselitteistä. Viljavimpien rämeiden ojituksesta kehittyneet II-typin mustikkaturvekankaat ovat mänty-hieskoivu-sekametsiä ja niiden tunnistaminen uudistamisvaiheessa kuusen kasvupaikaksi tuottaa ajoittain ongelmia varsinkin, kun ne muistuttavat II-typin puolukkaturvekankaita. Viljavimpien korpikuusikoiden ojitusalueista kehittyneiden I-typin mustikka- ja ruohoturvekankaiden kuusivaltaiset puustot ovat helposti mielletävissä kuusen uudistamisen kohteiksi. Toisaalta karuimmat korvet ja korpirämeet puolestaan kehittyvät puolukkaturvekankaiksi, joissa puulajin vaihto seuraavan puusukupolven männiköksi saattaa olla paikallaan. Kuusi on siitä huolimatta puolukkaturvekankaallakin varteenotettava vaihtoehto erityisesti silloin, kun kyseessä on II-typin puolukkaturvekankailla yleiset kuusialikasvokset. Turvemaiden metsätaloudessa alikasvosten hyödyntämisellä on laajemmin tarkastellen erityisen suuri merkitys.

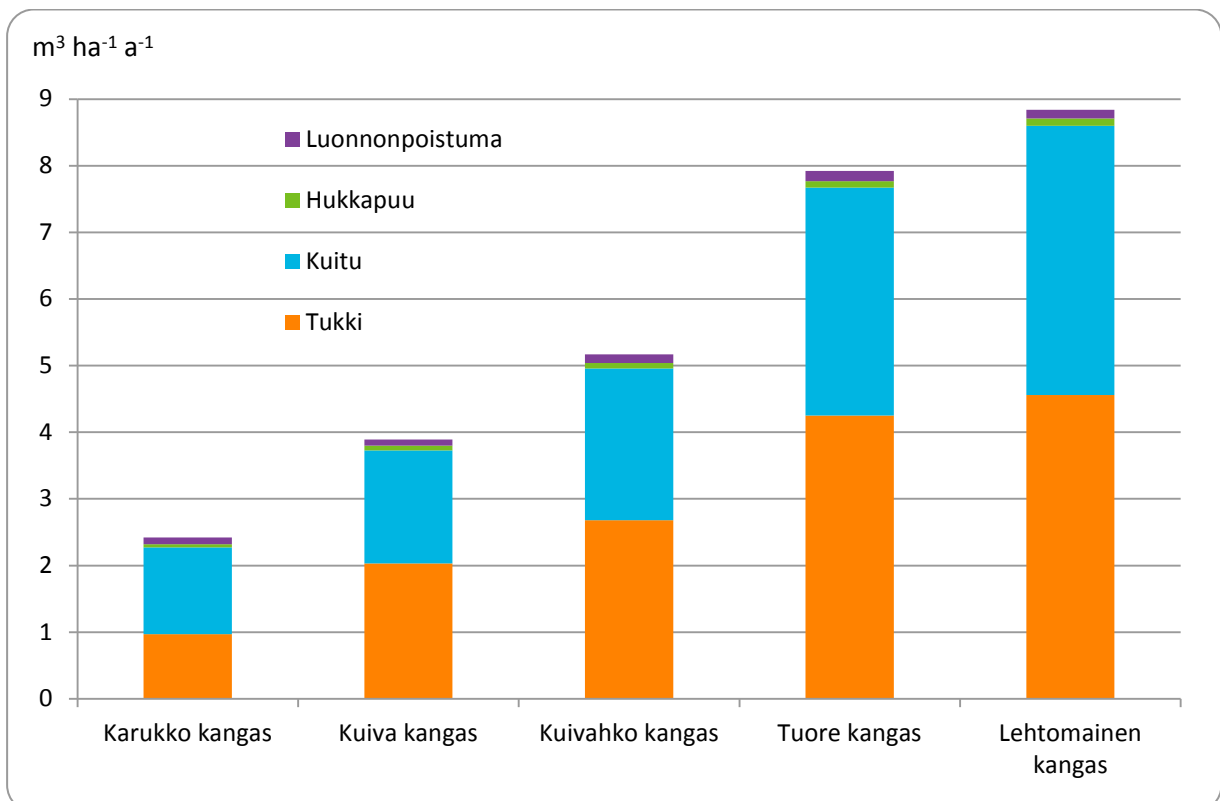
2.3.2. Puulajien puuntuotos vaihtelee

Metsikön kokonaistuotos on kiertoajalla kasvaneiden puiden yhteenlaskettu kokonaistilavuus. Tuotokseen sisältyy elävän puuston lisäksi harvennuspoistuma ja luonnonpoistuma. Eri puulajit tuottavat samanlaisilla kasvupaikoilla kasvaessaan eri määrän puuta. Osa tuotoseroista johtuu puulajien erilaisista kasvatusmenetelmistä. Esimerkiksi viljelty rauduskoivikko istutetaan kuusikkoa harvempaan ja myös harvennetaan voimakkaammin. Tuoreella kankaalla männyn ja kuusen kokonaistuotos on suunnilleen samaa suuruusluokkaa, mutta rauduskoivun tuotos jää pienemmäksi (Kuva 10).

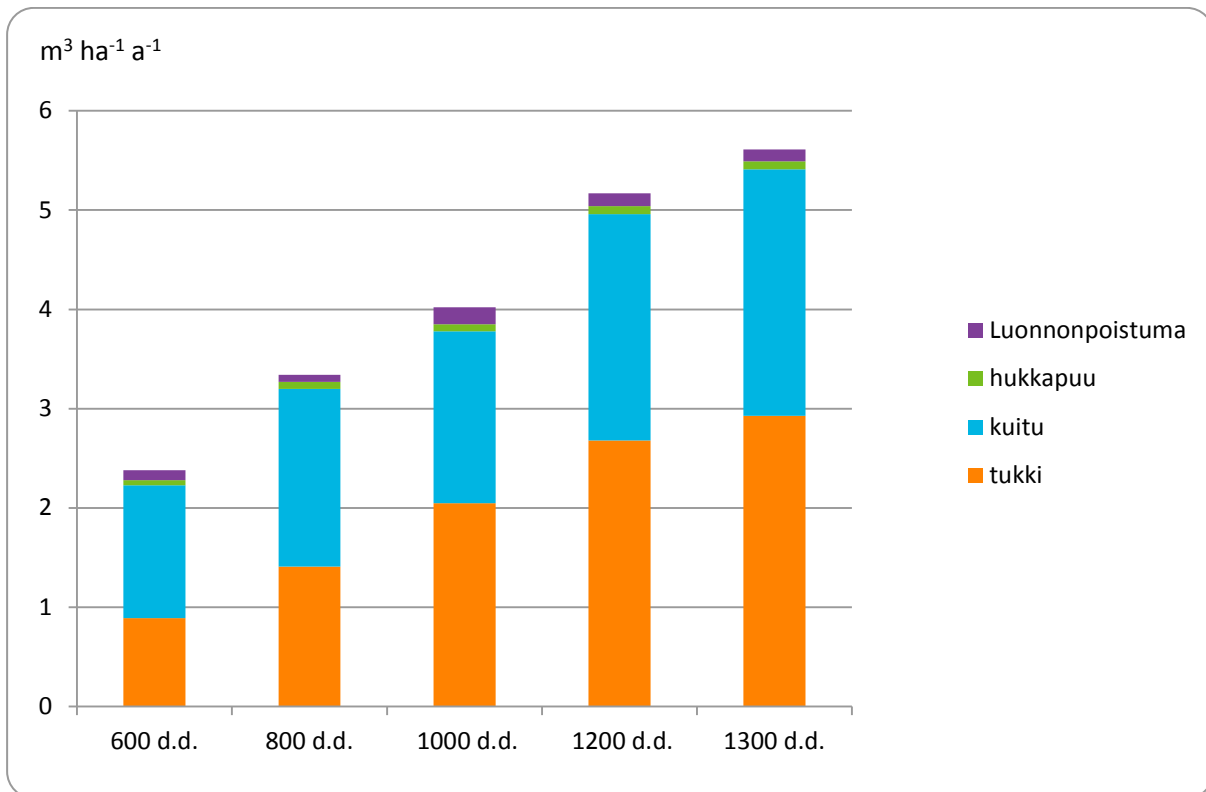
Kunkin puulajin tuotos vaihtelee kasvupaikan viljavuuden ja ilmasto-olosuhteiden mukaan. Esimerkiksi Etelä-Suomessa (lämpösumma 1200 d.d.) on männikön kiertoajan vuotuinen keskituotos tuoreella kankaalla kaksinkertainen verrattuna kuivan kankaan keskituotokseen (Kuva 11). Vastaavasti ilmastoltaan erilaisissa olosuhteissa voi esimerkiksi kuivahkon kankaan männikön kiertoajan keskimääräinen vuotuinen tuotos olla etelässä yli kaksinkertainen pohjoiseen verrattuna (Kuva 12).



Kuva 10. Puulajin vaikutus metsikön kiertoajan keskimääräiseen vuotuisen tuotokseen metsänhoitosuositusten mukaisesti käsitellyssä talousmetsässä tuoreella kankaalla Etelä-Suomessa. Esimerkkilaskelma Luonnonvarakeskuksen Motti-ohjelmistolla.



Kuva 11. Kasvupaikan vaikutus eteläsuomalaisen männikön kiertoajan keskimääräiseen vuotuisen tuotokseen. Esimerkkilaskelma Luonnonvarakeskuksen Motti-ohjelmistolla.



Kuva 12. Kuivahkon kankaan männikön kiertoajan keskimääräinen vuotuinen tuotos maan eri osissa metsänhoitosuosituksen mukaisesti kasvatettuna. Esimerkkilaskelma Luonnonvarakeskuksen Motti-ohjelmistolla.

2.3.3. Riskien hallinta

Ilmastonmuutoksen on ennustettu lisäävän metsien kasvua sekä muuttavan puulajisuhteita ja jopa puulajien levinneisyyttä siten, että lehtipuiden osuus maan eteläosissa kasvaa havupuiden vetäytyessä kohti pohjoista (Kellomäki ja Väisänen 1997, Talkkari 1998). Monet ilmastonmuutokseen liittyvät ilmiöt, kuten lämpeneminen (keväiden aikaistuminen, syksyjen leudontuminen, talvien lämpeneminen, kesien kuumuus), muutokset sadannassa (kesien kuivuus, talviaikaiset sateet, rankkasateet), myrskyjen lisääntyminen sekä lumi- ja routaolojen muutos, voivat kuitenkin olla puille haitallisia jos sinällään ja lisäksi aiheuttaa bioottisia seurannaistuhvoja. Ennusteisiin liittyy lisäksi paljon epävarmuutta etenkin sadannan muutosten osalta. Ilmastonmuutoksen monimutkaisten vaikutusten ennakoiminen puulajivalinnassa on siten vaikeaa, joskin puulajiston monipuolistaminen olisi keino vähentää muutokseen liittyviä riskejä (Müller ym. 2012).

Hälyttäviä esimerkkejä ilmastonmuutoksen vaikutuksesta on nähtävissä erityisesti kuusella, joka on kärsinyt eniten myrskytuhoista sekä kesien kuivuudesta (Mäkinen ym. 2012). Nämä puolestaan ovat olleet alullepanijoita laajoille kirjanpainajatuhoille (Nevalainen ja Pouttu 2016). Myös maanouseman leviämistä edesauttaa talvien lämpeneminen ja lyheneminen, koska riskitön aika puunkorjuulle lyhenee (Piri ym. 2008). Uusista maahamme levittäytyvistä tuholaisista havununna suosii kuusta. Tätä taustaa vasten kuusen viimeaikainen laaja käyttö metsänviljelyssä vaikuttaa riskialttiilta. Mäntyyn muuttuneet olosuhteet ovat vaikuttaneet siten, että mäntypistiäisten tuhovuosien väliajat ovat lyhentyneet ja tuhoja esiintyy useammin ja aiempaa pohjoisempana, koska lämpiminä talvina pistiäisten munakuolleisuus on pienempi. Tähtikudospistiäisen tuhoja on esiintynyt aiempaa enemmän läpäisevillä harjumilla (Nevalainen ja Pouttu 2016), ja havununna on tulevaisuuden uhka myös männyllä. Koivua on pidetty ilmastonmuutoksesta hyötyvänä puulajina, joskin myös sillä on merkkejä siitä, että erilaiset lehtiä syövät tuholaiset, kuten pohjoisessa mittariperhoset (Neuvonen ym. 1998), kirvat tai kesien ruostesieni- ja lehtilaikkutaudit sekä lumi- ja routa-olojen muutokset voivat muodostua ongelmaksi.

Kuivilla kasvupaikoilla männylle vaihtoehtoisena puulajina voitaisiin kasvattaa kontortamäntyä, joka sopii myös rehevämille maille. Se ei kuitenkaan ole kovin hyvä vaihtoehto tulevaisuuden tuho-riskien minimoimiseen, sillä se on mäntyä alttiimpi mäntypistiäisen ja myyrien aiheuttamille tuhoille. Tuoreilla kankailla ja sitä rehevämällä kasvupaikoilla kyseeseen tuleva puulajivalikoima on suurempi. Vaihtoehtoina kuuselle, etenkin juurikäävän vaivaamilla maille, voisivat olla rauduskoivu tai hybridihaapa, joskin suuri hirvituhoriski on rajoittanut niiden viljelyä. Myös siperianlehtikuusi voisi olla vaihtoehto kuuselle, mutta kuusenjuurikäävälle alttiina puulajina se ei ole ratkaisu tyvilahokuusikoiden uudistamiseen. Kaikkein parhaimmilla kivennäismaiden kasvupaikoilla tulee kyseeseen myös jalojen lehtipuiden tai visakoivun kasvatusta. Mainittujen kotimaisten tai ulkomaisten erikoispuulajien käytöllä voidaan osittain korvata pääpuulajejamme, mutta biojalostamoiden suuren mittakaavan raaka-ainetarvetta ne tuskin ratkaisevat. Näiden vaihtoehtoisten puulajien kasvatusta esitellään tarkemmin luvussa 5.3.

Lähteet

- Evira 2016. Metsänviljelyn siemen- ja taimituotantotilastot 2015. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <https://www.evira.fi/kasvit/viljely-ja-tuotanto/metsanviljely/tilastot/siemen-ja-taimituotanto/> [viitattu: 5.12.2016].
- Kellomäki, S. & Väisänen, H. 1997. Modelling the dynamics of the boreal forest ecosystems for climate change studies in the boreal conditions. *Ecological modelling* 97(1,2): 121–140.
- Luonnonvarakeskus 2015. Metsänhoito- ja metsänparannustyöt. Suomen virallinen tilasto (SVT). [verkkojulkaisu]. Saatavissa: http://stat.luke.fi/mets%C3%A4hoito-ja-mets%C3%A4nparannusty%C3%B6t-ty%C3%B6m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4t-2014_fi [viitattu: 5.12.2016].
- Müller, M., Hantula, J., Henttonen, H., Huitu, O., Kaitera, J., Matala, J., Neuvonen, S., Piri, T., Sievänen, R., Viiri, H. & Vuorinen, M. 2012. Metsien terveys. Julkaisussa: Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaa-vuori, E. & Muhonen, T. (toim.). Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metsätutkimuslaitos, Vantaa. *Metlan työraportteja* 240: 197–2014. http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240_2_2.5.pdf
- Mäkinen, H., Nöjd, P., Jyske, T., Mielikäinen, K., Kalliokoski, T., Repo, T. & Lumme, I. 2012. Kuusen kasvu muuttuvassa ilmastossa. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2012: 307–311.
- Neuvonen, S., Virtanen, T. & Nikula, A. 1998. Timberline, insect pests, and minimum winter temperatures; applications of GIS. *Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja* 677: 17–21.
- Nevalainen, S. & Pouttu, A. 2016. Metsätuhot vuonna 2015. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 32/2016. 36 s.
- Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Velling, P., Heräjärvi, H. & Verkasalo, E. (toim.) 2008. Koivun kasvatusta ja käyttöä. Metsäkustannus Oy. Hämeenlinna. 254 s.
- Piri, T., Sirén, M. & Hantula, J. 2008. Kesähakkuiden vaikutukset metsien terveyteen. Metsäsektorin suhdannekatsaus 2008–2009. Erityisartikkelit. s. 56–57.
- Talkkari, A. 1998. The development of forest resources and potential wood yield in Finland under changing climatic conditions. *Forest Ecology and Management* 106(2–3): 97–106.

2.4. Uudistamistavan valinta

Timo Saksa, Pekka Helenius ja Markku Saarinen

2.4.1. Onnistunut uudistaminen on monen toimenpiteen yhteistulos

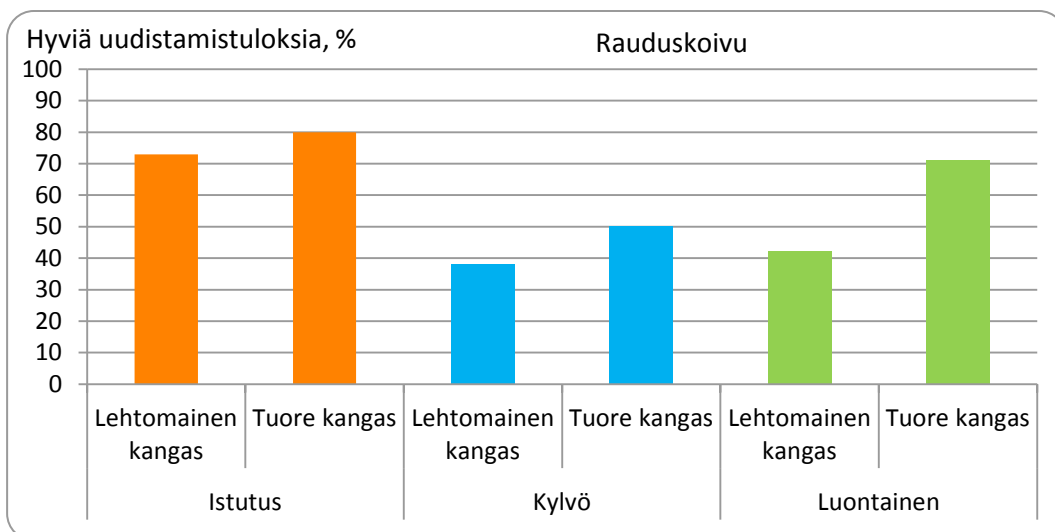
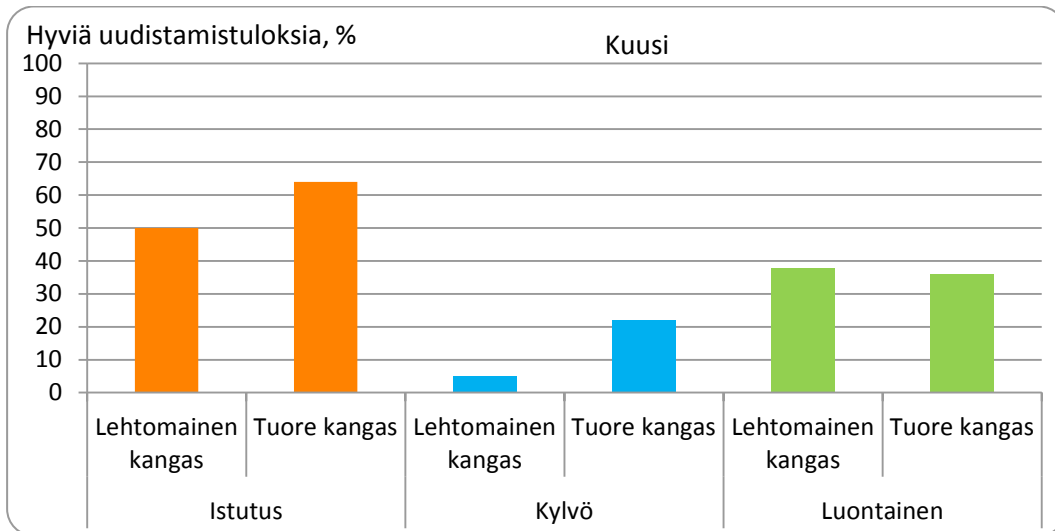
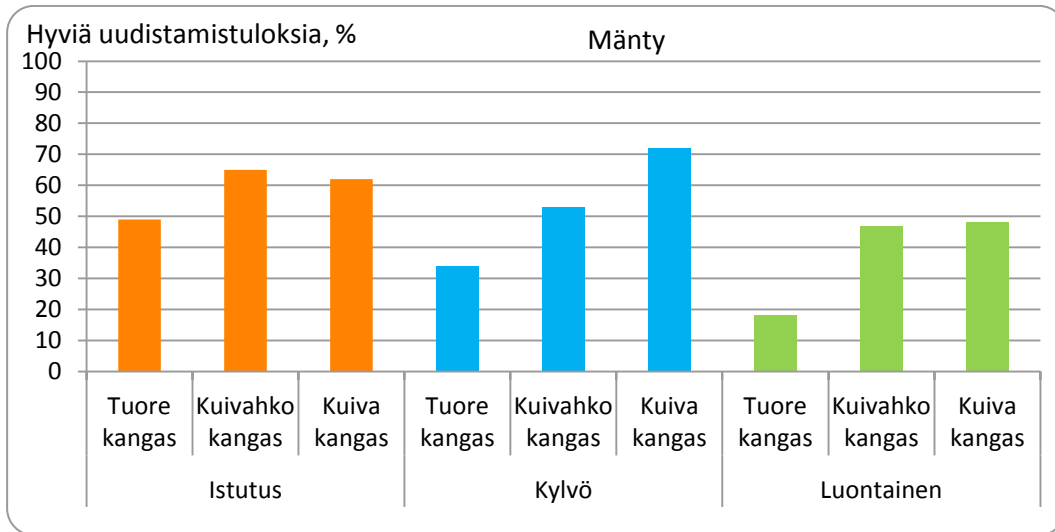
Metsänuudistamismenetelmä ja puulaji valitaan kasvupaikan ja maaperän ominaisuuksien sekä erityisesti luontaisessa uudistamisessa myös aiemman puuston puulajin perusteella (Kuva 13). Uudistamista suunniteltaessa on kiinnitettävä huomiota etenkin kasvupaikan viljavuuteen, maa- tai turvelajiin, vesioloihin, kivisyyteen, maakerrosten paksuuteen sekä paikallisiin tuhoriskeihin (esimerkiksi juurikäpäriski). Nämä tekijät vaikuttavat siihen, mitä puulajeja ja millaisia menetelmiä voidaan käyttää hyvän uudistamistuloksen varmistamiseksi (Luoranen ym. 2012).

Maanmuokkaus, viljely tai luontainen taimettuminen, varhaishoito ja taimikonhoito muodostavat toimenpiteiden sarjan eli uudistamisketjun. Tulevan metsikön tuotokseen, laatuun ja arvoon vaikuttavat kussakin ketjun vaiheessa tehdyt valinnat ja toimenpiteet, toimenpiteiden laatu sekä niiden ajoitus. Kustannustehokkuutta haettaessa on koko ketjun optimointi yksittäisen operaation kustannusten minimointia oleellisempaa.

2.4.2. Istutus varmin uudistamistapa viljavilla kasvupaikoilla

Kasvupaikan viljavuus määrää metsikön puuntuotoskyvyn, mutta sen tehokas hyödyntäminen edellyttää panostuksia uudistamiseen. Esimerkiksi Etelä-Suomen lehtomaisella kankaalla metsikön kasvu on lähes kaksinkertainen kuivahkon kankaan kasvupaikkaan verrattuna, mutta uudistamis- ja taimikonhoitotöiden yksikkökustannuksissa niiden välinen ero jää huomattavasti pienemmäksi. Viljaville kasvupaikoille kannattaakin kohdistaa enemmän resursseja kuin karuille kasvupaikoille. Lisäksi ilman tehokkaita uudistamis- ja metsänhoitotoimenpiteitä vähäarvoinen kilpaileva kasvillisuus hyödyntää viljavien kasvupaikan tuotoskykyä kasvatettavan puuston sijaan ja metsätalouden tuotto jää alhaiseksi.

Yleisperiaatteena on uudistaa viljavat kasvupaikat kivennäismailla kuusta tai rauduskoivua ja turvemaiilla kuusta istuttaen. Vähemmän viljavat ja maalajiltaan karkearakeisemmat kasvupaikat uudistetaan männylle kylväen ja kaikkein karuimmat luontaisesti. Jos uudistettavassa metsässä on jo olemassa käyttökelpoista alikasvosta, kuten usein turvemaiilla ja soistuvilla kivennäismailla, voidaan sitä hyödyntää sekä luontaisesti että viljellen uudistettaessa.



Kuva 13. Kuusella ja rauduskoivulla istutus on viljelyvarmin uudistamismenetelmä. Männyllä voidaan käyttää kylvöä tai luontaista uudistamista kuivahkolla kankaalla ja sitä karummilla kasvupaikoilla (Saksa ja Kankaanhuh-ta 2007).

2.4.3. Koneellisen istutuksen läpimurtoa odotellessa

Istutustyö tehdään pääosin istutusputkella manuaalisesti. Istutustyössä on oleellista parhaiden istutuskohtien valinta uudistusalalla sekä istutussyvyyden säätäminen muokausjäljen mukaan. Muokausjäljessä taimi istutetaan 15–20 cm päähän humuspeitteen reunasta tukkimiehentäin tuhojen minimoimiseksi (Saksa 2011, Luoranen ja Viiri 2012). Mättäisiin taimet istutetaan syvään, jolloin taimen juuristo pääsee mättään sisällä tai alla olevaan ravinteikkaaseen humuskerrokseen.

Koneellinen istutus on toistaiseksi ollut keskimäärin hieman kalliimpaa kuin maanmuokkaus ja manuaalinen istutus erillisinä toimenpiteinä (Taulukko 2). Nykyiset istutuslaitteet ovat pääsääntöisesti kaivinkoneen puomiin liitettyjä lisälaitteita, joilla tehdään samanaikaisesti maanmuokkaus ja istutus (Hallongren ym. 2014). Istutuskoneiden kehitystyön lähiajan tavoitteena on rakentaa toimiva taimien automaattinen syöttölaite, johon taimet voidaan laittaa kuljetusalustassaan ja näin välttää yksittäisten taimien käsittely istutuslaitteella. Taimien automaattisella syötöllä voidaan tutkimusten mukaan lisätä työn tuottavuutta lähes 10 prosenttia (Laine ja Saarinen 2014). Pidemmän aikavälin tavoitteena on kehittää jatkuvatoiminen istutuskone, jolloin maanmuokkaus- ja istutustyöt tehdään koneen kokoajan liikkeessä. Tällöin koneistutuksen tehotuntituotokset nousisivat nykyisestä 150–250 taimen tasosta noin 1000 taimen (Hallongren ym. 2014). Näin suuri tuottavuuden lisäys edellyttää uudenlaista toimintamallia niin taimihuollossa kuin itse istutustyössäkin.

2.4.4. Kohdevalinta kylvön onnistumisen avain

Männyn metsäkylvössä uudistamistulos on korostetun riippuvainen kohdevalinnasta (Kuva 13). Hyvään tulokseen päästään vain verraten karuilla, lajittuneilla mailla (CT, VT-). Viljavammilla mailla (VT+, MT) rouste sen sijaan tuhoaa ison osan sirkkataimista heti ensimmäisenä kylvön jälkeisenä talvena (Kuva 14). Lisäksi eloon jäävien taimien kasvu on hidasta rousteen aiheuttamien juuristovaurioiden takia.

Kylvökohteiden valintaan on kehitetty päätehakkuupuuston tunnuksiin perustuva uusi menetelmä, jota voidaan käyttää tukemaan nykyistä metsätyyppi- ja maalajiluokitusta. Puuston kasvu sekä kylvötulosta alentavan rousteen esiintyminen ovat välillisesti yhteydessä toisiinsa maaperän hienoainesmäärän kautta. Mikäli päätehakkuupuuston valtapituus ylittää 25 metriä tai tilavuus $250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, kohde on todennäköisesti liian viljava männyn kylvöön (Leikas 2016).

Taulukko 2. Metsänuudistamisen ja metsänhoitotöiden työmäärien pinta-alat ja yksikkökustannukset keskimäärin koko maassa vuonna 2015. (Luke, tilastotietokanta 2017)

		Pinta-ala, ha	Yksikkökustannus, € ha ⁻¹
Maanmuokkaus	Laikutus	10 079	339
	Äestys	23 372	199
	Mätästys	65 330	369
Kylvötyö	Käsityönä	4 775	228
	Koneellinen	19 854	227
Istutustyö	Käsityönä	76 871	563
	Koneellinen (sis. maanmuokkauksen)	1 263	902
Taimikon varhaishoito	Käsityönä	33 247	345
	Koneellinen	1 554	572
Taimikonhoito	Käsityönä	103 158	433
	Koneellinen	2 361	566



Kuva 14. Rouste on yleinen tuhonaiheuttaja useimmilla männyn kylvökohteilla. (Kuva Pekka Helenius)

2.4.5. Muokkausjälkeä kehittämällä menestystä metsäkylvöön

Mäntyä on kylvetty koneellisesti kohta 30 vuotta. Peltoviljelyyn tai koneelliseen istutukseen verrattuna männyn konekylvö on siementen kylvöalustalle sijoittumisen ja siementen peittymisen kannalta kuitenkin varsin hallitsematon menetelmä. Nykyisillä muokkaimilla (äkeet ja laikkurit) syntyvä kylvöalusta on yleensä myös liian karkeapiirteinen, rakenteeltaan löyhä ja niukkaravinteinen siementen itämistä ja niistä kehittyvien taimien kehitystä ajatellen (Oleskog ja Sahlen 2000). Näitä puutteita joudutaan kompensoimaan suurella kylvösiemenmäärällä, mikä luonnollisesti kasvattaa kylvön kokonaiskustannusta.

Männyn kylvöön liittyvän tuotekehityksen keskeisenä tavoitteena on ollut parantaa muokkauksessa syntyvän kylvöalustan ominaisuuksia ja siemenen sijoittumista kylvöalustalle. Käsinkylvökokeiden perusteella tiedetään, että siemenen hallittu peittäminen noin sentin syvyyteen kivennäismaahan voi jopa kaksinkertaistaa taimimäärän. Ohut maakerros siementen päällä parantaa niiden vesitaloutta ja suojaa siemensyöjiltä.

Kylvöalustan on myös tarjottava riittävästi ravinteita siemenestä kehittyvälle taimelle. Tämä voidaan varmistaa jättämällä muokkausjälkeen paikoitellen humusta. Humuspinta vähentää myös sadeeroosio- ja roustetuhoja. Toisaalta liian paksu humuskerros haittaa siemenen vedensaahtia, joten kylvöalustan valmistamisessa joudutaan tasapainoilemaan näiden kahden kasvutekijän saatavuuden kanssa.

Käytännössä edellä mainittuihin tavoitteisiin on pyritty vastaamaan sekä parantamalla olemassa olevaa maanmuokkaukustusta (Kuva 15) että kehittämällä kokonaan uutta konekylvöteknologiaa. Viimeksi mainittu perustuu seulakauhojen toimintaperiaatteen hyödyntämiseen siementen hallitussa

peittämisessä. Ensimmäiset maastokokeet kylvöä varten suunnitellulla prototyypikauhalla tehtiin toukokuussa 2016. Kylvömuokkauksen ja kylvön lisäksi kauhalla voi myös laikkumätätä ja kaivaa ojaa (Kuva 16).

Männyn kylvö onnistuu varmimmin touko- ja kesäkuussa. Huhtikuussa maa on vielä liian kylmä siementen itämiselle ja heinäkuussa puolestaan usein jo liian kuiva. Keski- ja Pohjois-Suomessa männyn kylvö voi onnistua myös myöhään syksyllä, lokakuun puolivälistä marraskuuhun. Mikäli siementen talvehtimisolosuhteet ovat hyvät, myöhäisessä syyskylvössä voidaan päästä toisinaan jopa parempiin tuloksiin kuin kevätkylvössä. Suurimpana riskinä syyskylvössä on siementen itäminen jo syksyllä tai jäätyminen talvella.

Onnistuneella kylvökohteen valinnalla, oikealla kylvöajankohdalla, hyvällä siemenhuollolla ja siementen hallittua peittymistä edesauttavan maanmuokkaus- ja kylvötekniikan käytöllä siemenmäärää voidaan vähentää jopa kolmanneksella nykyisestä. Tämä vastaa noin 15 prosentin vähennystä koneellisen kylvön kokonaiskustannuksissa. Pienempi siemenmäärä vähentää myös itämiselle suotuisina kasvukausina ylitaimettumista ja siitä aiheutuvaa taimikon perkaustarvetta.

Pienempi siementarve ja kylvön korvaaminen istutuksella viljavien mäntymaiden (kuivahkon kankaan moreenimaat ja tuoreen kankaan karkeat maat) uudistamisessa antavat mahdollisuuden kasvattaa siemenviljelyssiemenen osuutta metsäkylvössä sille parhaiten sopivilla kohteilla. Alentuneiden kustannusten ja jalostushyödyn realisoitumismahdollisuuden ansiosta metsäkylvön kilpailukyky suhteessa luontaiseen uudistamiseen paranee.



Kuva 15. Männyn kylvöalojen muokkaukseen suunniteltu terä jatkuvatoimisessa laikkurissa. (Kuva Pekka Helenius)



Kuva 16. Metsänuudistamiseen suunnitellussa monitoimikauhassa yhdistyvät ojakauha ja seulakauha. Kauhalla voi laikuttaa, kylvää siemenet, peittää kylvös seulomalla, mätästä ja kaivaa ojaa. (Kuva Pekka Helenius)

2.4.6. Luontaisen uudistamisen riskienhallinta

Luontaisen uudistamisen onnistumisessa kriittisiä tekijöitä ovat uudistamisajankohdan siemensadon määrä ja laatu, siemenen itämisolosuhteet uudistusalalla sekä sääolosuhteet parina ensimmäisenä kasvukautena. Kuusella siemenet kypsyvät yhden kasvukauden aikana ja varisevat kevättalvella tai joskus poikkeuksellisesti jo samana syksynä. Kuusen kävyt ja siemenet ovat alttiita monille hyönteis- ja sienituholaisille, joten hyvinäkin käpyvuosina käyttökelpoinen siemensato voi jäädä alhaiseksi. Kuusen käpytuotannolle on tyypillistä suuri vuosittainen vaihtelu. Tavallisesti kuusella on kymmenessä vuodessa kaksi tai kolme erittäin hyvää käpyvuotta, viisi huonoa vuotta ja muutama keskinkertainen käpysatovuosi. Männyllä kukinnasta siementen tuleentumiseen kuluu kaksi kasvukautta. Männyllä hyviä siemensatoja on Etelä-Suomessa keskimäärin kolme kertaa kymmenessä vuodessa. Männyksen kukkimisen perusteella voidaan ennustaa, milloin on odotettavissa hyvä siemenvuosi ja ajoittaa siemenpuuhakkuu ja maanmuokkaus ennen ennustettua hyvää siemenvuotta. Kuusella hyvän siemenvuoden hyödyntäminen suojuspuu- tai kaistalehakkuussa edellyttää joustavuutta hakkuun ajoituksessa (Saksa ja Nerg 2008). Rauduskoivu kukkii toukokuussa ja siemenet kypsyvät ja varisevat samana vuonna heinä–elokuussa. Kukintavuoden sääolot vaikuttavat voimakkaasti syntyvän siemenen määrään ja laatuun. Etelä-Suomessa rauduskoivulla hyviä siemenvuosia on keskimäärin 2–3 vuoden välein.

Siemensatojen riippuvuutta sääoloista on mallinnettu aiempien vuosien havaintojen pohjalta, jolloin siemensatoennusteita voidaan tehdä mallipohjaisesti ja sen jälkeen tarkentaa niitä maastohavainnoin (Pukkala ym. 2010). Vaikka siemensadon suuruus voidaankin ennustaa melko luotettavasti vuotta aiemmin, aiheuttavat siemenen vaihteleva itämisympäristö sekä itämisen jälkeiset sääolosuh-

teet suurta epätasaisuutta luontaiseen taimettumiseen, johon kasvupaikan pintakasvillisuuden kilpailu myöhemmin vuosina tuo vielä lisää vaihtelua.

Onnistunut luontainen uudistaminen vaatii pitkäjänteisempää suunnittelua kuin kylvö, sillä esimerkiksi siemenpuiden tuulituhoriskin pienentämiseksi jo edeltävä harvennus tulisi tehdä luontaista uudistamista valmistelevana voimakkaampana väljennysshakkuuna, jotta tulevat siemenpuut ehtivät sopeutua muuttuviin tuuliolosuhteisiin. Väljemässä kasvaneet puut tuottavat myös runsaammin siemeniä heti siemenpuuhakkuun jälkeen kuin tiheässä kasvaneet puut.

2.4.7. Pintakasvillisuuden torjunta viljavilla kasvupaikoilla

Taimikon varhaisoidon tavoitteena on turvata edellytykset hyvälle uudistamistulokselle. Varhaisoidolla tarkoitetaan pintakasvillisuuden torjuntaa ja mahdollista täydennysviljelyä uudistamistoimenpiteiden jälkeisinä vuosina. Täydennysviljelyyn turvaudutaan yleensä vain, jos viljelyn tai luontaisen taimettumisen tulos on jäänyt satunnaisen tuhon seurauksena huomattavan aukkoiseksi. Istutus-taimikoiden täydennyksestä tehdyt tutkimukset antavat melko negatiivisen kuvan täydennysistutuksen tuloksista. Kuusen täydennysistutustaimet ovat yleensä menestyneet mäntyä paremmin (Saarenmaa ja Leppälä 1995). Luontaisesti syntyneessä kuusen taimikossa täydennysistutuksella on saatu sitä parempia tuloksia mitä nuorempana taimikko on täydennetty.

Pintakasvillisuuden kilpailua pyritään rajoittamaan nopealla uudistamisketjulla, maanmuokkausjäljen kokoa säätämällä ja taimilajin valinnalla. Kaikkein viljavimmilla kasvupaikoilla pintakasvillisuutta voidaan torjua kemiallisesti herbisideillä tai vähentää pintakasvillisuuden aiheuttamaa haittaa mekaanisesti niittämällä kasvustoa taimen ympäriltä tai estää pintakasvillisuuden kehitystä erilaisilla taimisuojuilla. Kateaineina on kokeiltu mm. haketta, selluloosamassaa sekä erilaisia paperipohjaisia katelevyjä (mm. Siipilehto 2001). Katteilla on saatu kohtuullisen hyviä tuloksia pintakasvillisuuden torjunnassa, mutta joidenkin katteiden käyttö on lisännyt myyrätuhoja. Katteet saattavat eristävän vaikutuksensa vuoksi hidastaa roudan sulamista ja siten altistaa taimia kevätkuivuudelle.

Kaikkein voimakkaimmin heinittyvillä aloilla pintakasvillisuuden kilpailun rajoittamisella parannetaan oleellisesti kasvatettavan puuston kehitystä. Erityisesti pellonmetsitysaloilla pintakasvillisuuden kemiallisella torjunnalla on nostettu metsikön tilavuus 4–6-kertaiseksi ensimmäisen viidentoista vuoden aikana käsittelemättömään verrattuna (Hytönen ja Jylhä 2008, 2011).

Lähteet

- Hallongren, H., Laine, T., Rantala, J., Saarinen, V.-M., Strandström, M., Hämäläinen, J. & Poikela, A. 2014. Competitiveness of mechanized tree planting in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29(2): 144–151.
- Hytönen, J. & Jylhä, P. 2008. Fifteen-year response of weed control intensity and seedling type on Norway spruce survival and growth on arable land. *Silva Fennica* 42(3): 355–368.
- Hytönen, J. & Jylhä, P. 2011. Long-term response of weed control intensity on Scots pine survival, and growth and nutrition on former arable land. *European Journal of Forest Research* 130: 91–98.
- Laine, T., & Saarinen, V.-M. 2014. Comparative study of the Risutec Automatic Plant Container (APC) and Bracke planting devices. *Silva Fennica* 48(3) article id 1161. 16 s.
- Leikas, J. 2016. Männyn kylvökohteiden valinnan tarkentaminen. Opinnäytetyö. Metsätalouden koulutusohjelma. Karelia ammattikorkeakoulu.
- Luoranen, J. & Viiri, H. 2012. Soil preparation reduces pine weevil (*Hylobius abietis* (L.)) damage on both peatland and mineral soil sites one year after planting. *Silva Fennica* 46(1): 151–161.
- Luoranen, J., Saksa, T. & Uotila, K. 2012. Metsänuudistaminen. Metsäkustannus Oy, Hämeenlinna. 150 s.
- Oleskog, G. & Sahlen, K. 2000. Effects of seedbed substrate on moisture conditions and germination of *Pinus sylvestris* seeds in a clearcut. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 225–236.
- Pukkala, T., Hokkanen, T. & Nikkanen, T. 2010. Prediction models for the annual seed crop of Norway spruce and Scots pine in Finland. *Silva Fennica* 44(4): 629–642.

- Saarenmaa, L. & Leppälä, T. 1995. Fill-in seedlings in constituting the stocking of Scots pine stands in northern Finland. *Silva Fennica* 29(2): 141–150.
- Saksa, T. 2011. Kuusen istutustaimien menestyminen ja tukkimiehentäin tuhot eri tavoin muokatuilla uudistusaloilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2011: 91–105.
- Saksa, T. & Kankaanhuhta, V. 2007. Metsänuudistamisen laatu ja keskeisimmät kehittämiskohteet Etelä-Suomessa. Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen yksikkö. 90 s. [Verkkodokumentti].
<http://www.metla.fi/metinfo/taimitieto/julkaisut/metsanuudistaminen.htm>
- Saksa, T. & Nerg, J. 2008. Kuusen istutus, luontainen uudistaminen ja näiden yhdistelmät kuusen uudistamisessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2008: 255–267.
- Siipilehto, J. 2001. Effect of weed control with fibre mulches and herbicides on the initial development of spruce, birch and aspen seedlings on abandoned farmland. *Silva Fennica* 35(4): 403–414.

3. Kasvupaikan tuotoskyvyn lisääminen

Keskeistä

- Maanmuokkaus parantaa puiden siementen itävyyttä ja taimien kasvuolosuhteita. Mätästys nopeuttaa erityisesti kuusen istutustaimien pituuskasvua.
- Kivennäismailla typen puute on tavallisin kasvua rajoittava tekijä. Yhdellä kasvatuslannoituksella voidaan lisätä puuston kasvua $1,5\text{--}3\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ vuodessa 6–8 vuoden ajan.
- Turvemaiden tuhkalannoituksella voidaan lisätä puuston kasvua pitkäkestoisesti $1\text{--}3\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ vuodessa 20–30 vuoden ajan.
- Kunnostusojitukset kannattaa kohdentaa alueille, joilla kuivatuksen parantaminen lisää selkeästi kasvua.

3.1. Maanmuokkaus

Hannu Ilvesniemi, Timo Saksa, Mika Nieminen ja Saija Huuskonen

3.1.1. Muokkauksella luodaan taimille hyvät kasvuolosuhteet

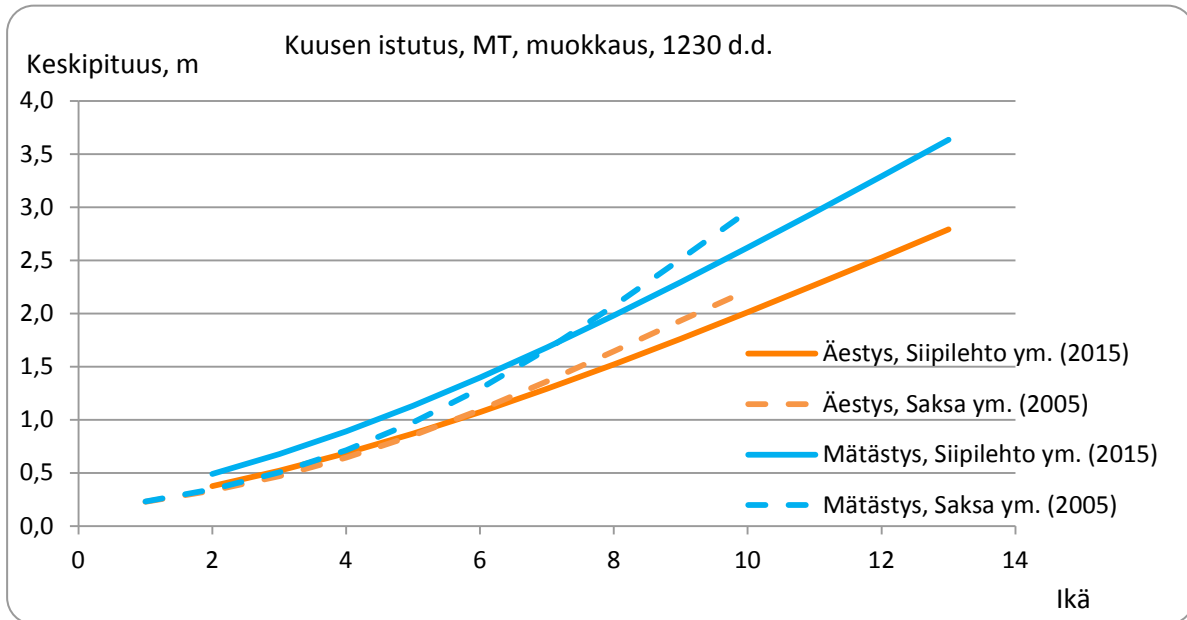
Kivennäismaiden metsissä maan pintaa peittää yleensä yhtenäinen humuskerros. Humuskerros on huono alusta metsäpuiden uudistumiselle, joten kivennäismaan paljastaminen maanmuokkauksella – laikuttamalla, äestämällä, auraamalla tai mätästämällä – on yleensä välttämätöntä hyvän uudistumisloksen varmistamiseksi. Nykyään lähes kaikki kivennäismaiden viljeltävät uudistusalat sekä kaistalehakuulla tai siemenpuuhakuulla uudistettavat luontaisen uudistamisen alat muokataan. Myös turvemaiden uudistusalat on yleensä muokattava, koska kuivatuksen seurauksena rahkasammalten tilalle tullut kivennäismaiden sammalisto ja paksu raakahumuskerros ovat huonoja taimettumisalustoja.

Maanmuokkauksen ensisijainen tavoite on varmistaa viljelyn tai luontaisen metsänuudistamisen onnistuminen niin, että kasvupaikalle syntyy nopeasti tiheä ja tasainen uusi puusukupolvi. Maanmuokkauksen lisäksi uudistamisen onnistuminen riippuu myös viljelyn ja taimikonhoidon onnistumisesta. Maanmuokkauksen ansiosta istutustaimien pituuskehitys on selvästi aiempaa ripeämpää. Eryteisesti kuusen istutustaimien pituuskasvu on nopeutunut eritavoin mätästetyillä uudistusaloilla (Kuva 17) (Saksa ym. 2005, Siipilehto ym. 2015). Nopeutunutta pituuskehitystä selittää mätästykseen lisäksi myös parempi taimimateriaali: nopeasti kasvuun lähtevät paakkutaimet.

Maanmuokkauksella rajoitetaan keskeisintä uudistamisen onnistumiseen vaikuttavaa tekijää: pintakasvillisuuden aiheuttamaa kilpailua valosta ja ravinteista. Maanmuokkauksen ohella pintakasvillisuuteen vaikuttavat mm. hakkuutähteiden korjuu, joka vähentää pintakasvillisuuden käyttöön tulevien ravinteiden määrää ja sen seurauksena edelleen pintakasvillisuuden määrää ja yksittäisten kasvien kokoa, sekä kantojen nosto, joka paljastaa kivennäismaata vähentäen pintakasvillisuuden kilpailua, mutta tarjoaa samalla hyviä kasvupaikkoja luontaisesti syntyville lehtipuulle.

Maanmuokkauksella luodaan uudistettavan puulajin siemenille ja taimille mahdollisimman edulliset itämis- ja kasvuolosuhteet (Kuva 18). Muokkauksessa muodostuvat kohoumat ovat ympäristöään lämpimämpiä, eikä maan huokostila ole niissä kosteillakaan paikoilla veden kyllästämä, jolloin juuret eivät kärsi liikaveden aiheuttamasta hapenpuutteesta. Olosuhteet, jotka ovat suotuisat juurten kasvulle, suosivat myös karikkeen ja maan orgaanisen aineksen nopeaa hajoamista, jolloin ravinteet palautuvat nopeammin kasvillisuuden käyttöön.

Maanmuokkauksella voidaan ehkäistä taimivaiheessa tapahtuvia tukkimiehentäituhoja, koska aikuiset kovakuoriaiset eivät mielellään liiku paljaalla hiekalla. Lisäksi hyvällä maanmuokkauksella voidaan vähentää lamoavan heinän aiheuttamia peittymisestä johtuvia taimikuolemia ja samalla vähentää kosteissa olosuhteissa viihtyvillä versojilla tuhoaville sienille edullisia olosuhteita.



Kuva 17. Maanmuokkauksen vaikutus kuusentaimikon pituuskehitykseen tuoreella kankaalla (MT) Siipilehdon ym. (2015) ja Saksan ym. (2005) tutkimustulosten mukaan.



Kuva 18. Mätäs tarjoaa taimille hyvät kasvuolosuhteet. (Kuva Erkki Oksanen, Luke)

3.1.2. Muokkausmenetelmä valitaan kohteen ominaisuuksien mukaan

Hyvään uudistamistulokseen pääseminen edellyttää oikeanlaista muokkausmenetelmää suhteessa uudistamistapaan ja kasvupaikkaan. Karuilla kasvupaikoilla kevyt, lähinnä humuskerrosta rikkova muokkaus riittää turvaamaan täystiheän taimikon syntymisen. Viljavammilla kasvupaikoilla tarvitaan voimakkaampaa muokkausta nopeakasvuisen pintakasvillisuuden hillitsemiseksi. Turvemailla maanmuokkauksen yhteydessä varmistetaan kasvualustan riittävän kuivatustilan säilyminen sopivalla menetelmällä tai kunnostamalla ojastoa tarvittaessa. Hienojakoisilla hiesu- ja savimailla maapartikkelien pienestä koosta johtuu, että maa liettyy kostuessaan ja kovettuu kuivuessaan. Tällaisilla mailla esiintyy keväisin ja syksyisin myös roustetta. Kumpikin ilmiö hankaloittaa uudistamista ja vaikeuttaa muokkausmenetelmän valintaa.

Muokkauksessa syntyvien käyttökelpoisten viljelykohtien määrä ja laatu asettavat käytännössä rajat viljelytiheydelle ja luovat siten lähtökohdan kasvatettavan puuston tiheydelle. Viljavien sekä kosteiden ja mahdollisesti vesitalouden järjestelyä kaipaavien uudistusalojen maanmuokkauksessa tehdään viljelypisteiksi kohoumia laikku-, käntö-, navero- tai ojitusmätästyksellä. Kohoumiin viljellyt taimet ovat kilpailukykyisiä pintakasvillisuutta vastaan. Karummilla sekä kaikkein kivisimmillä kohteilla maanmuokkaus vaihtuu mätästyksestä laikutukseksi, missä poistetaan uudistumista haittaava humus kivennäismaan pinnalta tai pintakasvillisuus turvemailla. Männyn kylvössä ja luontaisesti uudistettaessa muokkaus tehdään yleensä laikutuksen sijaan äestämällä, jolloin muokausjäljestä tulee enemmän tai vähemmän yhtenäinen (Kuva 19).

Valtaosa mätästyksistä tehdään kaivinkoneeseen yhdistetyillä muokauslaitteilla, jolloin muokaus työ keskeytyy koneen siirron ajaksi. Jatkuvatoimisilla mätästäjillä päästään kohtuullisen hyvään muokausjälkeen vähäkivisillä kohteilla, varsinkin jos hakkuualalta on korjattu hakkuutähteitä (Rantala ym. 2010). Mätästystä edelleen kehitettäessä tavoitellaan jatkuvatoimisia laitteita, joiden muokausjäljen laatua voidaan parantaa esimerkiksi konenäön avulla. Tavoitteena on kuitenkin rikkoa humuspintaa vain sen verran kuin uudistamistuloksen varmistaminen edellyttää, sillä rikottuun maanpintaan taimettuu usein runsaasti lehtipuita.



Kuva 19. Kylvömännikössä taimet ovat sijoittuneet äesvakoon. Uudistusala äestetty ja kylvetty viisi vuotta aiemmin. (Kuva Erkki Oksanen, Luke)

3.1.3. Maanmuokkauksen ympäristövaikutukset

Päätehakkuussa vettä haihduttava ja ravinteita ottava puusto poistetaan, jolloin pintakasvillisuuden määrä ja lajisto muuttuvat voimakkaasti ja hakkuutähteistä ja maaperästä vapautuu ravinteita maaveteen. Typen huuhtoutuminen kivennäismaahan ja edelleen pohjaveteen lisääntyy päätehakkuun jälkeen, vaikkakin määrä on pieni verrattuna typen laskeumaan (Piirainen ym. 2007). Samoin pohjaveden nitraattipitoisuus voi nousta (Kubin 1998, Mannerkoski ym. 2005). Maaveden sisältämä typpi on todennäköisesti peräisin karikkeesta ja kuolleesta pintakasvillisuudesta, sillä hakkuutähteistä ei vapaudu juurikaan typpeä ensimmäisten avohakkuuta seuraavien vuosien aikana (Palviainen ym. 2004). Myös fosforin huuhtoutuma humuskerroksesta kivennäismaahan kasvaa hakkuun jälkeen (Piirainen ym. 2004). Fosforia vapautuu mm. hakkuutähteistä (Palviainen ym. 2004). Koska kivennäismaa pidättää fosforia hyvin, pohjavedessä ei ole havaittu fosforipitoisuuden muutoksia (Mannerkoski ym. 2005).

Maanmuokkaus voimistaa ravinteiden huuhtoutumista sitä enemmän mitä enemmän maanpintaa käsitellään. Maanmuokkaus voi lisätä myös eroosiota. Hakkuiden ja maanmuokkauksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen on voimakkaimmillaan toisena ja kolmantena vuonna toimenpiteen jälkeen, mutta vaikutus voi jatkua jopa yli 10 vuotta.

Ravinteiden ja kiintoaineksen huuhtoutumisessa vesistöihin on vapaasti virtaavalla pintavedellä erityinen merkitys. Maanmuokkauksella voidaan vähentää tai lisätä veden vapaata virtausta uudistusalalta suoraan vesistöihin. Muokkauksen oikealla toteutustavalla ja ajoituksella voidaan pienentää haitallisia ympäristövaikutuksia, sillä nopea taimettuminen ja pintakasvillisuuden elpyminen vähentävät ravinteiden huuhtoutumista. Erityisesti viive päätehakkuun ja maanmuokkauksen välillä voi lisätä typen huuhtoutumia (Piirainen 2007).

Pintavaluntana tapahtuvan ravinteiden huuhtoutumisen vähentämiseksi vesistöjen läheisyyteen jätetään aina suojakaista, jolla maanmuokkausta ei tehdä. Suojakaistalla estetään kiinteän aineksen kulkeutumista vesistöön ja parannetaan myös jonkin verran ravinteiden pidättymistä. Kun maanmuokkauksessa käytetään kasvupaikalle sopivaa ja mahdollisimman vähän maanpintaa rikkovaa muokkausmenetelmää, pienennetään samalla myös eroosio- ja ravinteiden huuhtoutumisriskiä. Muokkausjäljen katkokset sekä jälkien suuntaaminen rinteiden kaltevuutta vastaan vähentävät ravinteiden huuhtoutumisriskiä.

Turvemailla naveromätätys ja ojien kunnostaminen aiheuttavat kiintoainekuormitusta varsinkin silloin, kun ojat ulottuvat turpeenlaiseen kivennäismaahan (Joensuu ym. 1999, Nieminen 2003). Myös mineraalitypen pitoisuudet valumavesissä voivat kasvaa ojituksen ja ojitusmätätystyksen vaikutuksesta. Hakkuun ja maanmuokkauksen vaikutukset kiintoaineen, ravinteiden ja orgaanisen hiilen huuhtoutumiseen ovat ojitetuilla turvemailla moninkertaiset kangasmaihin verrattuna.

Turvemaiden hakkuun, ojituksen ja maanmuokkauksen vesistövaikutusten torjuntaan on kehitetty useita menetelmiä, joista käytetyimpiä käytännön metsätaloudessa ovat laskeutusaltaat ja lietekuopat. Niiden avulla kiintoainekuormitusta pystytään vähentämään kuitenkin keskimäärin vain noin kolmannes (Joensuu ym. 1999). Laskeutusaltaita ja lietekuoppia tehokkaampia menetelmiä, kuten pintavalutuskenttiä (Nieminen ym. 2015) ja virtaamansäätöpatoja (Marttila ja Kløve 2010, Marttila ym. 2010), on käytännön metsätaloudessa toistaiseksi käytetty varsin vähän. Pintavalutuskenttien käytössä ongelmana on, että niitä ei voi perustaa hyvin tasaisille alueilla vaarantamatta ojitusalueen puuston kasvua. Virtaamansäätöpadoit taas ovat verraten uusi menetelmä vesistökuormituksen torjuntaan.

Lähteet

- Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999. The effects of peatland forest ditch maintenance on suspended solids in runoff. *Boreal Environment Research* 4: 343–355.
- Kubin, E. 1998. Leaching of nitrate nitrogen into the groundwater after clearfelling and site preparation. *Boreal Environmental Research* 3: 1–8.
- Luorinen, J., Saksa, T., Finér, L., & Tamminen, P. 2007. Metsämaan muokkausopas. Metsäntutkimuslaitos, Suomenjoen yksikkö. Metsäkustannus Oy. 75 s.
- Mannerkoski, H., Finér, L., Piirainen, S. & Starr, M. 2005. Effects of clear-cutting and site preparation on the level and quality of groundwater in some headwater catchments in eastern Finland. *Forest Ecology and Management* 220: 107–117.
- Marttila, H. & Kløve, B. 2010. Managing runoff, water quality and erosion in peatland forestry by peak runoff control. *Ecological engineering* 36(7): 900–911. doi:10.1016/j.ecoleng.2010.04.002
- Marttila, H., Vuori, K-M., Hökkä, H., Jämsen, J. & Kløve, B. 2010. Framework for designing and applying peak runoff control structures for peatland forestry conditions. *Forest Ecology and Management* 260(8):1262–1273. doi:10.1016/j.foreco.2010.06.032
- Nieminen, M. 2003. Effects of clear-cutting and site preparation on water quality from a drained Scots pine mire in southern Finland. *Boreal Environment Research* 8: 53–59.
- Nieminen, M., Kaila, A., Koskinen, M., Sarkkola, S., Fritze, H., Tuittila, E-S., Nousiainen, H., Koivusalo, H., Laurén, A., Ilvesniemi, H. Vasander, H. & Sallantausta, T. 2015. Natural and Restored Wetland Buffers in Reducing Sediment and Nutrient Export from Forested Catchment: Finnish Experiences. Julkaisussa: Jan Vymazal (toim.). The Role of Natural and Constructed Wetlands in Nutrient Cycling and Retention on the Landscape. Springer, Switzerland. s. 57–72.
- Palviainen, M., Finér, L., Kurka, A.-M., Mannerkoski, H., Piirainen, S. & Starr, M. 2004. Decomposition and nutrient release from logging residues after clear-cutting of mixed boreal forest. *Plant and Soil* 263: 53–67.
- Piirainen, S. 2007. Päätehakuun ja maanmuokkauksen vaikutus metsän vesi- ja ravinnevirtoihin. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2007: 302–306.
- Piirainen, S., Finér, L., Mannerkoski, H. & Starr, M. 2004. Effects of forest clear-cutting on the sulphur, phosphorus and base cations fluxes through podzolic soil horizons. *Biogeochemistry* 69: 405–424.
- Piirainen, S., Finér, L., Mannerkoski, H. & Starr, M. 2007. Carbon, nitrogen and phosphorus leaching after site preparation at a boreal forest clear-cut area. *Forest Ecology and Management* 243: 10–18.
- Rantala, J., Saarinen, V-M. & Hallongren, H. 2010. Quality, productivity and costs of spot mounding after slash and stump removal. *Scandinavian Journal of Forest Research* 25: 507–514.
- Saksa, T., Heiskanen, J., Miina, J., Tuomola, J. & Kolström, T. 2005. Multilevel modelling of height growth in young Norway spruce plantations in southern Finland. *Silva Fennica* 39(1):143–153.
- Siipilehto, J., Valkonen, S. & Päätaalo, M. 2015. Männyn- ja kuusentaimikoiden kehitys erilaisia metsänuudistamisketjuja käytettäessä. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2015: 5–21.

3.2. Lannoitus

3.2.1. Kivennäismailla lisäkasvua typpilisäyksellä

Hannu Ilvesniemi ja Mikko Kukkola

Taustaa

Suomalaiset metsämaat ovat kehittyneet nykyisen kaltaiseksi jääkauden sulamisvaiheen jälkeisenä noin 10 000 vuoden pituisena aikana. Maan pintaosan ollessa suurimman osan vuodesta hapellista paikalle on syntynyt kivennäismaan kasvupaikkoja ja vastaavasti korkean pohjaveden pinnan aiheuttaman hapettomuuden vaivaamille paikoille on syntynyt soita. Kasvualustan kiviaineksen kemiallinen koostumus ja mineraalipartikkelien koko määrittelevät pitkälle kasvupaikan viljavuuden, eli sen kuinka paljon uutta biomassaa kasvupaikalle voi vuosittain syntyä.

Koska kivilajien rakenneosana ei ole juuri lainkaan typpeä (N), koko kasvupaikan typpivarasto on peräisin sadevedestä ja maamikrobien toiminnasta. Melkein kaikki maaperän typpi on sitoutunut maan orgaaniseen ainekseen. Vaikka typpeä on maassa kokonaismääränä paljon, yleensä yli 2 000 kg ha⁻¹, vain pieni osa siitä on kasveille käyttökelpoista (Taulukko 3). Typpi on välttämätön alkuaine puiden elintoimintojen kannalta keskeisten yhdisteiden, kuten klorofyllin ja erilaisten proteiinien rakenneosana. Kasveille käyttökelpoisen typen määrä ohjaa voimakkaasti kasvupaikan kasvillisuuden lajisuhteita ja vuotuista biomassan tuotosta. Monilla kivennäismaan kasvupaikoilla muita kasvun kannalta tärkeitä ravinteita on saatavilla kasvin ravinnetarpeeseen suhteutettuna niin paljon, että niiden puutosta ei esiinny, koska typen alhainen saatavuus rajoittaa kasvua ensimmäisenä (Taulukko 3). Sen sijaan soilla, joilla puuston juuristolla ei ole yhteyttä turpeen alla olevaan kivennäismaahan, myös muiden ravinteiden kuin typen puutosoireet ovat mahdollisia.

Suomessa metsien lannoitus alkoi 1960-luvulla ja oli huipussaan 1970-luvun puolivälissä, jolloin metsiä lannoitettiin lähes 250 000 hehtaaria vuodessa (Kuva 20). Tuohon aikaan metsien vuotuiset hakkuut saattoivat ylittää niiden vuotuisen kasvun. Kestävän metsätalouden toimintaedellytysten säilyttämiseksi perustettiin kansallisia metsänparannusohjelmia, joiden avulla pyrittiin turvaamaan puun saatavuus lisäämällä puuston hehtaarikohtaista kasvua.

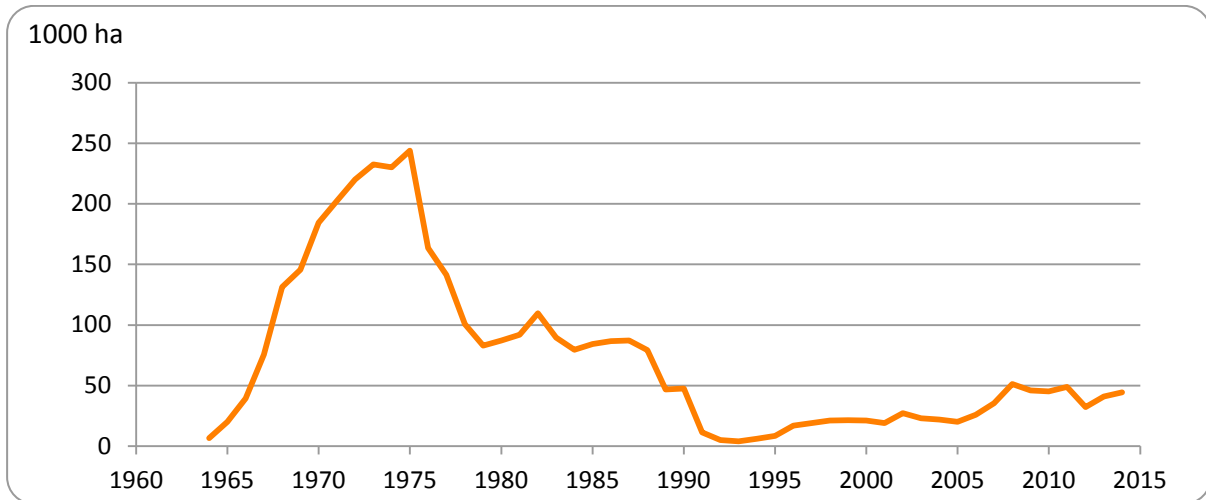
Lannoituksen vaikutus eri puulajeilla, kasvupaikoilla ja ravinteilla

Ravinnelisäykset vaikuttavat siellä missä muut kasvutekijät, ennen kaikkea vesi ja Pohjois-Suomessa maan lämpötila, eivät ole eniten kasvua ja terveyttä rajoittavia. Näin ollen kivennäismaiden parhaita lannoituskohteita ovat kuivahkojen, tuoreiden ja lehtomaisten kankaiden havupuustot. Koivikoissa lannoitus on lisännyt kasvua oleellisesti vähemmän kuin männiköissä ja kuusikoissa.

Lannoitus lisää puiden kasvua paikoilla, joilla ravinteiden saatavuus on alle optimitason ja joilla muut kasvutekijät sallivat puiden tehokkaan ravinteiden oton. Maan vedensitomiskyky ja veden liik-

Taulukko 3. Metsämaan kokonaistypen sekä kasveille käyttökelpoisen fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrät Etelä-Suomessa. Pitoisuudet mitattu humuskerroksesta ja kivennäismaan pintakerroksesta (20 cm) (Mälkönen 2003).

	Lehto	Lehtomainen kangas	Tuore kangas	Kuivahko kangas	Kuiva kangas
	kg ha ⁻¹				
Kokonaistyyppi	2300	2340	1440	1210	980
Fosfori	11	14	16	14	13
Kalium	59	73	62	48	32
Kalsium	680	330	160	120	62
Magnesium	79	52	27	19	10



Kuva 20. Metsänlannoituksen pinta-alat Suomessa vuosina 1964–2014 kangasmailla ja turvemilla yhteensä (Metsätilastollinen vuosikirja 2014, Luke tilastotietokanta).

kuvuus ovat ravinteiden otolle olennaisia tekijöitä. Veden varastoituminen maahan riippuu kivennäismaapartikkelien raakoostumuksesta ja partikkelien pinnalle ja väleihin kertyneen humusaineksen määrästä ja laadusta. Hietaan varastoituu vettä runsaasti ja veden kapillaarinen liikkuvuus on hyvä. Noin 75 prosenttia kangasmetsistä on muodostunut hietaisesta moreenista tai hiedasta, ja vettä heikosti varastoivia somero- ja hiekkamaita on noin 15 prosenttia. Vesitalouden ja maan ilmavuuden kannalta hiesumaat ovat ongelmallisimpia. Ne ovat huonosti vettä läpäiseviä ja kasvualustoina liian tiiviitä ja siten alttiita hapenpuutteelle (Mälkönen 1978).

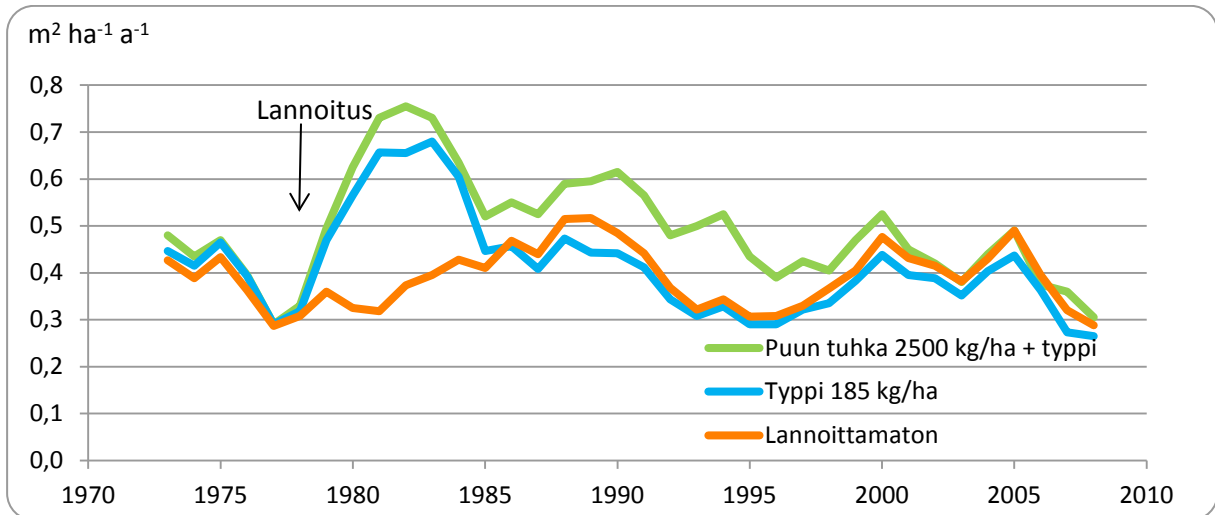
Valtaosalla kangasmetsistä typpi on eniten kasvua rajoittava ravinne. On kuitenkin tavallista, että useita ravinteita sisältävät lannoitteet antavat pelkkää typpilannoitusta paremman kasvuvaihtuksen, vaikka havaitut erot ovat vain harvoin merkittäviä. Typen ohella annetuista ravinteista tärkein on fosfori (P). Fosforin vaikutus on ilmeisempää kuusikoissa kuin männiköissä. Kuusen kasvupaikat ovat männyn kasvupaikkoja viljavampia ja fosforin määrä suhteessa muihin ravinteisiin vastaavasti pienempi. Lisäksi kuusi on ravinteiden käyttäjänä vaativampi kuin mänty.

Typen rinnalla annettavat muut ravinteet voivat lieventää pientä kasvun taantumaa, jota usein nähdään pelkän typpilannoituksen lannoitusvaikutuksen jälkeen, ja jonka mekanismia ovat tarkastelleet Fagerström ja Lohm (1977). Esimerkiksi kuivan kankaan männikössä tuhkan ja urean yhdistelmä lisäsi kasvua enemmän ja pidempään kuin urea yksinään (Kuva 21) (Saarsalmi ym. 2012).

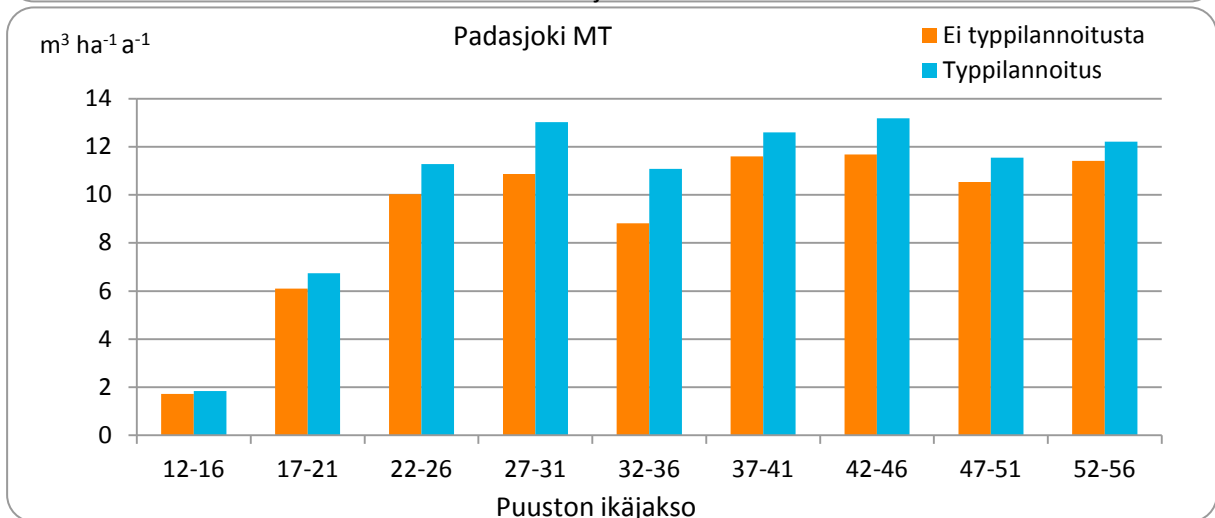
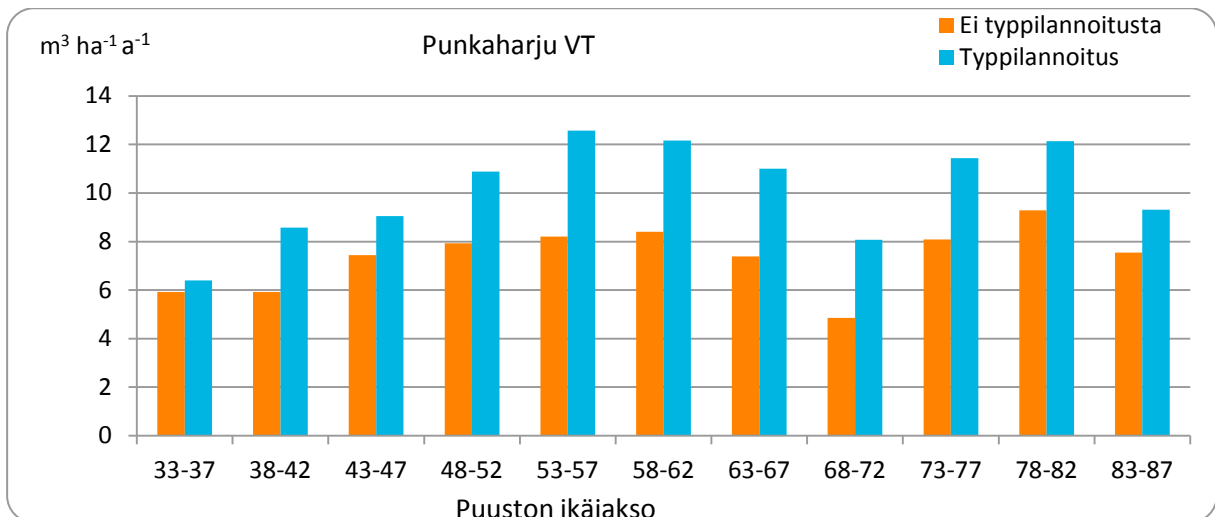
Lannoitettavaksi sopivillakin kohteilla puuston kasvun vaste lannoitukseen vaihtelee paljon. Tämän vaihtelun syitä tulisi analysoida pitkäaikaisten lannoituskoeaineistojen avulla, niin että kasvupaikkakohtaisia lannoitussuosituksia (Taulukko 4) voidaan täsmentää nykyistä tarkemmiksi.

Aikoinaan pelättiin yksipuolisen typpilannoituksen johtavan ravinne-epätasapainoon ja puutosoireisiin. Pitkäaikaisimmilla kokeilla on typpilannoituksia toistettu 5–10 vuoden välein jo kuusi vuosikymmentä, eli lähes kiertoajan verran. Puuston reagointi lisätyyppeen on säilynyt yleensä samantyyppisenä kuin lannoitusten alkuvaiheessa (Kuva 22), ts. alussa typpilisäykseen hyvin reagoi metsikkö on jatkanut hyvää kasvunlisäystä myöhemminkin ja vastaavasti alussa heikosti reagoi metsikkö ei ole myöhemmilläkään lannoituskerroilla lisännyt kasvua alkuvaihetta enempää.

Koemetsiköissä selkein lannoitusten myötä esiin tullut ravinnepuutos on johtunut boorista (B). Varsinkin kalkituilla ja toistuvasti typpilannoitetuilla koealoilla ilmeni kasvuhäiriöitä (Lipas 1990). Boorilannoitus palautti normaalin pituuskehityksen tällaisille puustoille, vaikka typpilannoitusohjelmaa jatkettiin (Lehto ja Mälkönen 1994).



Kuva 21. Vuotuinen pohjapinta-alan kasvu eri lannoituskäsittelyillä kuivan kankaan männikössä (Saarsalmi ym. 2012).



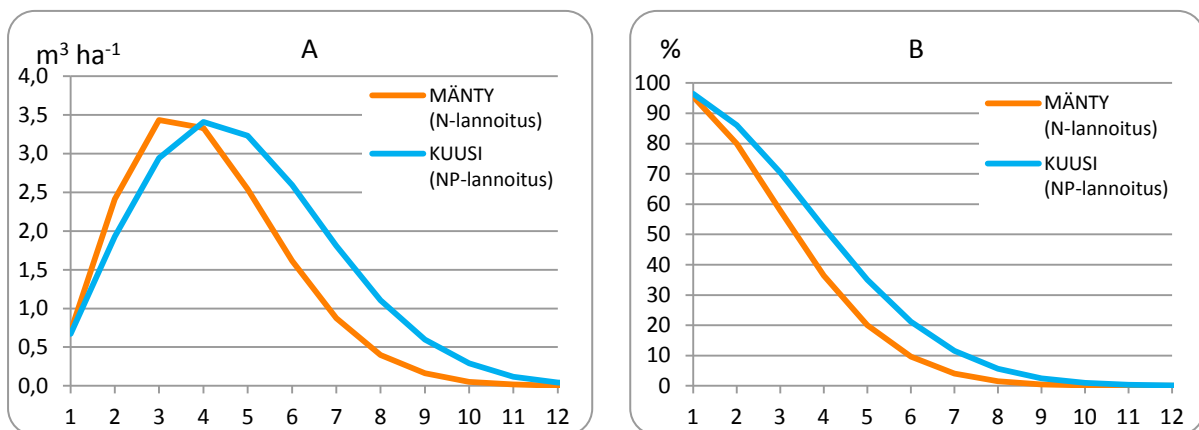
Kuva 22. Esimerkkejä männyn tilavuuskasvusta typpilannoitetuilla ja muilla koelaloilla eri ikäjaksoilla Punkaharjulla (kuivahko kangas, VT) ja Padasjoella (tuore kangas, MT). Lannoitukset on tehty viiden vuoden välein, kunkin kasvujakson alussa. Kolmessa ensimmäisessä lannoituksessa typpimäärä oli 82–92 kg ha⁻¹ ja sen jälkeen 150–180 kg ha⁻¹. Jokainen pylväs on neljän koelalan keskiarvo. Mustikkatyypin metsikössä on kasvu ilman typpilannoitustakin ollut korkea eikä typpi ole lisännyt kasvua yhtä paljon kuin puolukkatyypin metsikössä.

Kangasmailla varsinkin useat peräkkäiset lannoitukset lisäävät puuston määrän lisäksi myös maan orgaanisen aineen määrää (Mälkönen ym. 1990, Saarsalmi ym. 2014). Näin ollen metsien hiilitaseita tarkasteltaessa on huomattava, että hiiltä sitoutuu paitsi lisääntyneeseen puubiomassaan, myös maahan. Lannoituksen avulla aikaansaadun hiilivaraston pysyvyydestä ei ole vielä käsitystä.

Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan ennen päätehakkuuta tehdyt useat lannoitukset eivät ole vaikuttaneet uuden puusukupolven kehitykseen, vaikka orgaanisen aineen määrä onkin lisääntynyt (Johansson ym. 2013). Yhdellä kasvatuslannoituksella voidaan lisätä puuston kasvua 1,5–3 m³ ha⁻¹ vuodessa. Kun typpilannoituksen kasvua lisäävä vaikutus kestää yleensä 6–8 vuotta, vaatii jatkuva merkittävä kasvunlisäys säännöllisin välein toistuvia lannoituksia (Kuva 23).

Tutkimusten mukaan varttuneissa metsissä yksittäisen lannoituksen aikaansaama kasvunlisäys kasvaa annetun typpiannoksen (kg ha⁻¹) mukana suunnilleen suoraviivaisesti 180–240 kiloon asti (Gustavsen ja Lipas 1975, Malm ja Möller 1975). Sen jälkeen typpikiloa kohti laskettu lisätuotos alenee ja suurin kasvunlisäys saadaan 350–450 kilolla (Kukkola ja Saramäki 1983). Nuorissa puustoissa, ennen metsikön sulkeutumista, vastaavat typpimäärät ovat mainittuja pienemmät. Taulukon 4 typpiannossuosituksia voi pitää viitteellisinä ja niistä voidaan tilanteen mukaan poiketa. Esimerkiksi päätehakkuuta lähestyttäessä annokset voivat olla suosituksia suurempia.

Boorilannoitusta on suositeltu Pohjois-Suomen kankaille (Taulukko 4), mutta todettu boorinpuutos tulee korjata sijainnista riippumatta. Peräkkäisissä lannoituksissa voi typpilannoituksen uusia pelkällä typpellä, sillä fosfori ja boori ovat sitä pitkävaikutteisempia.



Kuva 23. Kertalannoituksen aikaansaaman kasvunlisäyksen ajoittuminen eri kasvukausille lannoituksen jälkeen männikössä ja kuusikossa kangasmaalla. Ennusteet on laskettu kasvunlisäysmallilla (Kukkola ja Saramäki 1983), puustojen ikä 50 vuotta, pituusboniteetti 24 ja typpiannos 150 kg ha⁻¹. Kuvassa A on esitetty vuosittainen kasvunlisäys lannoituksen jälkeen ja kuvassa B jäljellä oleva kasvunlisäys kunkin lannoitusta seuraavan kasvukauden jälkeen.

Taulukko 4. Lannoituksen yleisohjeet kangasmailla (Aarnio ym. 2007).

Kasvupaikkatyyppi		Ravinnemäärä, kg ha ⁻¹		
		N	P	B
Lehtomainen kangas	kuusikko Etelä-Suomi	150	20–30	
	kuusikko Pohjois-Suomi	120	20–30	1,0–1,5
Tuore kangas	kuusikko Etelä-Suomi	150	20–30	
	kuusikko Pohjois-Suomi	120	20–30	1,0–1,5
	männikkö Etelä-Suomi	150		
	männikkö Pohjois-Suomi	120		1,0–1,5
Kuivahko kangas	männikkö Etelä-Suomi	150		
	männikkö Pohjois-Suomi	120		1,0–1,5

Tuhkan käyttömahdollisuudet kivennäismailla

Tuhkan parhaat ja ensisijaiset käyttökohteet ovat turvemailla. Kivennäismailla pelkällä tuhalla aikaansaadut kasvunlisäykset ovat pieniä ja tuhkan roolina on ravinnetasapainon turvaaminen. Yhdessä typpilannoituksen kanssa annettuna tuhalla on monia hyötyjä. Tuhkan pää- ja hivenravinteet tasapainottavat ravinnelisäystä, mikä puolestaan parantaa kasvunlisäystä. Typpilannoituksen yhteydessä tehtävän tuhkalannoituksen on myös havaittu joillakin kasvupaikoilla jatkavan positiivista lannoitusvaikutusta selvästi pelkkää typpilannoitusta pidemmälle ajalle (Saarsalmi ym. 2012). Tuhka-typpilannoitus voi varmistaa puuston normaalia kasvua ja kehitystä alueilla, joilla hivenravinteiden puute sitä hidastaa, vaikka näkyviä oireita ei olisikaan. Tuhkalannoituksella voidaan myös ehkäistä tai korjata boorinpuutoksen aiheuttamia kasvuhäiriöitä.

Entistä tarkempi biomassan korjuu metsistä lisää merkittävästi ravinnemenetyksiä ja alentaa kasvua (Helmisaari ym. 2011). Ravinnepuutosoireiden riski kasvaa varsinkin alhaisten boorivarojen alueilla (Tamminen ja Saarsalmi 2004). Tuhkan palauttamisella metsään voidaan varmistaa ravinnetasapainon säilyminen ja luoda hyvä pohja typpilannoituksille. Koska tuhkalannoituksen vaikutus on pitkäaikainen, se voidaan tehdä typpilannoitusta harvemmin ja silloin, kun kuljetus ja levitys nivelyt parhaiten esimerkiksi hakkuiden yhteyteen tai kun tuhkaa ja sen levityskalustoa on edullisesti saatavilla esimerkiksi yhteishankkeissa.

Hivenravinnelannoitukset

Suomalaisen kaskikulttuurin vaikutukset näkyvät metsien hivenravinne-, erityisesti boorinpuutosalueiden sijainnissa. Puutos on yleisempää itäisessä Suomessa, missä metsien käyttöhistoriaan liittyy kaskiviljely ja metsälaidunnus ja missä puusto ennen kuusen viljelyä on ollut lehtipuuvaltaista (Tamminen ja Saarsalmi 2004). Lisäksi nämä alueet ovat etäällä merestä, joka on tärkeä boorin lähde (Wikner 1983). Boorinpuutos aiheuttaa havupuilla pensastavaa kasvua ja puutoksen korjaaminen on välttämätöntä puiden normaalille kasvuille.

Suunnitelluissa kasvatuslannoituskohteissa boorinpuutos on syytä tunnistaa, sillä yksipuolinen typpilannoitus voi pahentaa sitä. Oireet kyseisessä metsikössä tai lähialueilla kannattaa ottaa huomioon. Boorin sisältyminen lannoitteeseen on hyödyllistä myös esimerkiksi nuorten puustojen lannoituksissa ja Pohjois-Suomessa.

Boorinpuutoksen korjaamiseen tarvittavat boorimäärät ovat pieniä, yleensä 1–2,5 kg booria hehtaarille riittää poistamaan puutoksen (Tamminen ja Saarsalmi 2004). Ylisuurista annoksista ei ole hyötyä, sillä lannoituksen jälkeen neulasten booripitoisuus laskee nopeasti pysyen kuitenkin puiden kannalta riittävällä tasolla ainakin 10 vuotta (Möttönen ym. 2003, Rikala 2004).

Lannoituksen kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä

Kivennäismailla ravinteet yleensä riittävät turvaamaan puuston normaalin kehityksen, joten lannoitusta harkitaan yhtenä sijoitusvaihtoehtona muiden joukossa. Lannoituskohteiden huolellinen valinta on suunnittelun lähtökohta, jotta lannoitekiloa kohti saadaan mahdollisimman suuri hyöty. Kasvunlisäyksen määrän ohella lannoituksen kannattavuuteen vaikuttaa olennaisesti se, millaiseen puustoon lisäkasvu kohdistuu ja millä aikataululla se hyödynnetään. Suunnitelmallisessa metsänkasvatuksessa voidaan parhaiten kohdistaa lisäkasvu arvokkaisiin runkoihin ja realisoida investoituja varoja mahdollisimman nopeasti tulevissa hakkuissa. Tässä suhteessa päätehakkuuta edeltävä lannoitus on erityisasemassa, sillä kasvunlisäys kohdistuu tukkipuustoon ja on kokonaisuudessaan korjattavissa päätehakkuussa. Hyviksi osoittautuneilla kohteilla voidaan toistuvilla lannoituksilla myös lyhentää kiertoaikaa ja aikaistaa päätehakkuutuloja.

Osa lannoituskriteerit täyttävistä kohteista reagoi lannoitukseen kuitenkin heikosti tai ei ainaakaan kannattavasti. Koetoinnista ja käytännöstä saatavien havaintojen avulla myös lannoitukseen hyvin reagoivia suuralueita ja ravinnepuutosriskialueita voidaan tunnistaa. Lannoitusvaikutusta tulisi

seurata, jotta mahdolliset jatkoinvestoinnit voidaan kohdistaa tehokkaasti. Lannoituksen toteuttaminen on sitä taloudellisempaa, mitä suurempina kokonaisuuksina se voidaan toteuttaa.

Riskit

Lannoituksella voidaan vähentää riskiä ravinne-epätasapainon aiheuttamista puutosoireista. Toisaalta lannoitus voi vaikuttaa puun ulkoiseen laatuun, esimerkiksi taimikoissa oksaisuus lisääntyy (Tuimala 1988, Uusvaara ja Saukkonen 1997). Riittävästi karsiutuneessa metsikössä ei näin enää tapahdu rungon arvokkaalla tyviosalla. Karsinta yhdessä lannoituksen kanssa nopeuttaa karsittujen oksien kyljestymistä ja lisää oksatonta pintapuuta.

Lisätessään kasvua lannoitus alentaa muodostuvan puuaineen tiheyttä 1–4 % viiden lannoitusta seuraavan vuoden aikana, kun typpiannos on ollut 100 kg ha⁻¹ tasolla (Saikku 1975). Tiheyden alenema on vähäistä verrattuna tilavuuskasvun lisääntymiseen. Suuremmillakaan typpiannoksilla tehtyjen peräkkäisten lannoitusten jälkeen puuaineen tiheys ja trakeidisolujen ominaisuudet eivät muuttuneet haitallisesti (Mäkinen ja Hynynen 2014). Puuaineen ominaisuudet muuttuvat lisäravinteiden vaikutuksesta samaan tapaan kuin muiden kasvutekijöiden säädellessä kasvua.

Lannoitus lisää puuston yhteyttävän neulasmassan määrää suhteessa puiden juuriin. Tästä syystä lannoitetut puustot voivat olla alttiimpia myrsky- ja lumituhoille. Vastaavasti harvennus lisää myrsky- ja lumituhoriskejä (Laiho 1987). Lannoitus ja harvennus on siis hyvä ajoittaa muutaman vuoden päähän toisistaan.

Typpilannoituksen on pelätty aiheuttavan nitraatin huuhtoutumista pohjaveteen. Tämän on todettu olevan kuitenkin vähäistä, sillä metsämaan luontainen happamuus ei suosi nitraatin muodostumista lannoitetyypestä (Jacobson ym. 2005). Lannoituksissa tulee ottaa huomioon suositukset pohjavesialueilla ja vesistöjen lähellä toimittaessa.

On arvioitu, että typpilannoitus voi happamoittaa metsämaata. Pitkään jatkuneet lannoitukset eivät kuitenkaan ole aiheuttaneet merkittäviä maan pH-muutoksia. Sen sijaan maan orgaanisen aineen määrä on lisääntynyt (Mälkönen ym. 1990, Saarsalmi ym. 2014).

Uuden tiedon tarve

Kierrätettävistä lannoitteista erilaiset lannasta ja lietteistä sekä tuhkasta jalostettavat tuotteet tarjoavat mielenkiintoisia tulevaisuuden mahdollisuuksia, mutta edellyttävät säädöspohjaista hyväksyntää. Hyvin tärkeä tutkimuskohde on lannoitukseen hyvin reagoivien kasvupaikkojen tunnistamisen parantaminen. Tähän voidaan päästä maaperäkartojen, topografian (korkeusmallien), kaukokartoituksen, lannoituksista saatujen tulosten ja paikkatietojen yhdistämisen avulla. Myös toistuvien lannoitusten kannattavuuden arviointi olemassa olevien lannoituskoetulosten perusteella tulee toteuttaa nopeasti.

Lähteet

- Aarnio J., Kukkola, M., Moilanen, M. & Saarsalmi, A. 2007. Metsänlannoitus. Julkaisussa: Tapion taskukirja. 25. uudistettu painos. s. 197–206.
- Fagerström, T. & Lohm U. 1977. Growth in Scots Pine (*Pinus silvestris* L.). Mechanism of Response to Nitrogen. *Oecologia* 26: 305–317.
- Gustavsen, H. & Lipas, E. 1975. Lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuus annetusta typpimäärästä. *Folia Forestalia* 246. 20 s.
- Helmisaari, H-S., Holt Hanssen, K., Jacobson, S., Kukkola, M., Luiro, J., Saarsalmi, A., Tamminen, P. & Tveite, B. 2011. Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests- Long-term impact on tree growth. *Forest Ecology and Management* 261(11): 1919–1927.
- Jacobson S., Pettersson, F., Högbom, L. & Sikström, U. 2005. Skogsgödsling – en handledning från Skogforsk. Skogforsk. 53 s.

- Johansson K., Ring E. & Högbom L. 2013. Effects of pre-harvest fertilization and subsequent soil scarification on the growth of planted *Pinus sylvestris* seedlings and ground vegetation after clear-felling. *Silva Fennica* 47(4) article id 1016.
- Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 114. 55 s.
- Laiho, O. 1987. Metsiköiden alttius tuulituhoille Etelä-Suomessa. Summary: Susceptibility of forest stands to windthrow in southern Finland. *Folia Forestalia* 706. 24 s.
- Lehto, T. & Mälkönen, E. 1994. Effects of liming and boron fertilization on boron uptake of *Picea abies*. *Plant and soil* 163(1): 55–64.
- Lipas, E. 1990. Kalkituksen aiheuttama booripuute kangasmaan kuusikossa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 352. 22 s.
- Malm, D. & Möller, G. 1975. Skillnader i volymtillväxtökning efter gödsling med urea resp ammonium-nitrat. Föreningen Skogsträdsförädling. Institutet för skogsförbättring. Årsbok 1974: 46–74.
- Metsätalastollinen vuosikirja 2014. Skogsstatistisk årsbok. Finnish Statistical Yearbook of Forestry. Suomen virallinen tilasto: Maa-, metsä- ja kalatalous. 428 s.
- Mäkinen, H. & Hynynen, J. 2014. Wood density and tracheid properties of Scots pine: responses to repeated fertilization and timing of the first commercial thinning. *Forestry* 87: 437–447.
- Mälkönen, E. 1978. Kasvupaikkatekijät. Julkaisussa: Metsien kasvun kohottamisen rajat. Kansallisosakepankin taloudellinen katsaus B-painos No 27: 4–13.
- Mälkönen, E. (toim.) 2003. Metsämaa ja sen hoito. Metsäntutkimuslaitos. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. 220 s.
- Mälkönen E., Derome J. & Kukkola M. 1990. Effects of nitrogen inputs on forest ecosystems. Estimation based on long-term fertilization experiments. Julkaisussa: Kauppi P., Anttila P. & Kenttämies K. (toim.). Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg. s. 325–349.
- Möttönen, M., Lehto, T., Aphalo, P.J., Kukkola, M. & Mälkönen, E. 2003. Response of mature stands of Norway spruce (*Picea abies*) to boron fertilization. *Forest Ecology and Management* 180: 401–412.
- Rikala, R. (toim.) 2004. Puiden kasvuhäiriöt viljavilla kivennäismailla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 934. 68 s.
- Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M., Moilanen, M. & Saramäki, J. 2012. 30-Year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. *Forest Ecology and Management* 278: 63–70.
- Saarsalmi, A., Tamminen, P. & Kukkola, M. 2014. Effects of long-term fertilisation on soil properties in Scots pine and Norway spruce stands. *Silva Fennica* 48(1) article id 989.
- Saikkula, O. 1975. Typpilannoituksen vaikutuksesta männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheyteen. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 85(5). 24 s.
- Tamminen, P. & Saarsalmi, A. 2004. Viljavien maiden nuorten kuusikoiden neulasten booripitoisuus Etelä-Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 2004(3): 271–283.
- Tuimala, A. 1988. Lannoitus ja puun laatu. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 286:75–95
- Uusvaara, O. & Saukkonen, T. 1997. Kasvatustiheyden ja lannoituksen vaikutus nuorten kylvömänniköiden ulkoiseen laatuun. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 656. 25 s.
- Wikner, B. 1983. Distribution and mobility of boron in forest ecosystems. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 131–141.

3.2.2. Turvemaiden puustot hyötyvät kivennäisravinteiden lisäyksestä

Hannu Hökkä ja Jyrki Hytönen

Taustaa

Vesitalouden hoidon lisäksi turvemaiden metsien kasvatuksen avainkysymys on ravinnetalouden hallinta. Niukkaravinteisimpia ojitusalueita lukuun ottamatta turvemaidella on yleensä puiden kasvulle riittävästi typpeä mutta kivennäisravinteiden (fosfori, kalium) sekä mahdollisesti hivenravinteiden niukkuus voivat rajoittaa puuston kasvua (Moilanen 2005, Moilanen ym. 2010). Ravinnetasetarkastelut ovat osoittaneet, että suometsien puustoon voi kasvatusajalla sitoutua enemmän kaliumia ja booria kuin on turpeen pintakerroksessa (mm. Kaunisto ja Paavilainen 1988, Kaunisto ja Moilanen 1998). Siten suometsissä voidaan perustellusti kantaa huolta tiettyjen ravinteiden riittävydestä (Palviainen ja Finér 2012, Nieminen ym. 2016, Sarkkola ym. 2016). Erityisesti runsastyyppisillä soilla kivennäisravinteiden niukkuus suhteessa typen määrään voi johtaa ravinteiden saannin epätasapainoon ja rajoittaa merkittävästi suopuustojen kasvua. Tyypillisiä ravinne-epätasapainokohteita ovat alun perin vähäpuustoiset, paksuturpeiset ja märät suot. Nämä ovat olleet varsin tavallisia ojituskohdeita. Puusto on reagoinut ojitukseen hyvin, mutta muutaman vuosikymmenen kuluttua kasvu voi taantua tasolle, joka on huomattavasti kasvupaikan potentiaalista tasoa alempi.

Suomen ojitetuista turvemaidista on jopa kaksi miljoonaa hehtaaria luontaisesti typpirikkaita, mutta kalium- ja fosforiköyhiä kasvupaikkoja. Ravinnetilanne voidaan korjata puiden kasvun kannalta tasapainoisemmaksi joko kaupallisella PK-lannoitteella (ei tällä hetkellä saatavilla) tai puun tuhka valmistetulla rakeistetulla tai itsekovetetulla tuhkalannoitteella. Puutuhka sisältää fosforia, kaliumia ja hivenravinteita sekä kalsiumia, mikä vähentää maaperän happamuutta. Tuhkien ravinnepitoisuuksissa ja siten käyttökelpoisuudessa on suuria eroja. Puhtaassa turvetuhkassa on niukasti kaliumia, joten sen käyttö vaatii kaliumin lisäämistä esimerkiksi hidasliukoisen biotiitin muodossa (Hytönen ym. 2016). Puutuhkaa, turvetuhkaa sekä puu- ja turvetuhkan seosta syntyy Suomessa arvioiden mukaan 600 000 tonnia vuodessa. Suometsien tuhkalannoitus on rakeistuslaitosten synnyn myötä muodostunut käytännön toiminnaksi. Vuonna 2000 lannoitettiin tuhalla 1 700 ha kun lannoitusala kymmenen vuotta myöhemmin oli jo noin 10 000 ha. Puutuhkalla voitaisiin lannoittaa suometsiä vuosittain 40 000–50 000 ha ja lisäksi puu- ja turvesekatuhkilla noin 50 000–60 000 ha.

Lannoituksen vaikutus puuston tuotokseen

Lannoituskokeissa PK-lannoituksella tai sitä vastaavalla puutuhkalannoituksella suopuustojen kasvua on voitu lisätä 1,3–9-kertaiseksi 25–50 vuoden ajaksi (Kuva 24) (Moilanen ym. 2002, Moilanen ym. 2004, Hökkä ym. 2012). Mitä runsastyyppisempi suo on ja mitä äärevämpi ravinnetilanne on typen ja muiden ravinteiden osalta, sen suurempi on lannoituksen tuottama absoluuttinen ja suhteellinen lisäkasvu (Moilanen ja Hökkä 2009). Mielenkiintoista on, että PK- ja tuhkalannoitus näyttää lisäävän rämemännikön kasvua suhteellisesti yhtä paljon niin Keski-Suomessa kuin Keski-Lapissakin (Moilanen 2005).

Puuston kokonaistuotos ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) vuonna 2015 eli 68 vuodessa Muhoksen Leppiniemessä	
Vertailu	70
Tuhkaa 8 t ha^{-1}	495 eli 7-kertainen
Tuhkaa 16 t ha^{-1}	665 eli 9,5-kertainen

Niukatyyppisten turvemaiden lannoitus kaupallisilla typpilannoitteilla tuottaa lyhytaikaisen, 5–7 vuotta kestävä kasvureaktion, jonka kokonaisvaikutus on noin $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Hökkä ym. 2012).



Kuva 24. Tuhkalannoituksen vaikutus puuston kehitykseen Muhoksella, missä 8 t ha^{-1} tuhkalannoitus on 64 vuodessa 7-kertaistanut puuntuotoksen lannoittamattomaan nähden. (Kuvat Mikko Moilanen)

Kasvun lisäyksen mahdollisuudet lannoituksella

Suurin vaikutus lannoituksella on typpirikkaiden fosfori- ja kaliumpuutoksesta kärsivien suomänniköiden kasvuun. Lannoitus voisi jopa kaksinkertaistaa näiden kasvupaikkojen vuotuisen puuntuotoksen.

Edellisten lisäksi on olemassa noin 30 000 hehtaaria runsastyyppisiä, ravinnetaloudeltaan epätasapainoisia ja huonotuottoisia soita, joilla puusto on hieskoivua (Kojola ym. 2015). Näiden muuttaminen kasvuisiksi havupuumetsiköiksi edellyttää tuhkalannoitusta.

Fosforin ja kaliumin puuston kasvua lisäävä vaikutus ei rajoitu ainoastaan ravinneepätasapainoisiin typpirikkaisiin soihin. Myös niukkatyyppisillä ojitusalueilla PK- tai tuhkalisäys voi johtaa pitkäaikaiseen $1\text{--}2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ kasvun lisäykseen (Veijalainen 2000, Sikström ym. 2010). Lisäksi tuhkalannoituksella voidaan kannattavasti parantaa ravinnetilaltaan tasapainoisten soiden puuston kasvua vuositasolla $1\text{--}2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ verran 20–30 vuoden ajaksi.

Arvio lannoituksen tuottamasta lisäkasvusta suometsien osalta on esitetty taulukossa 5. Sen mukaan lannoittamalla ojitusalueiden puuston vuotuinen kasvu kohoaisi kaikkiaan 8,0 miljoonaa kuutiometriä. Arviossa on otettu huomioon, että 20–25 prosenttia ojitetusta pinta-alasta jää eri syistä lannoitusten ulkopuolelle.

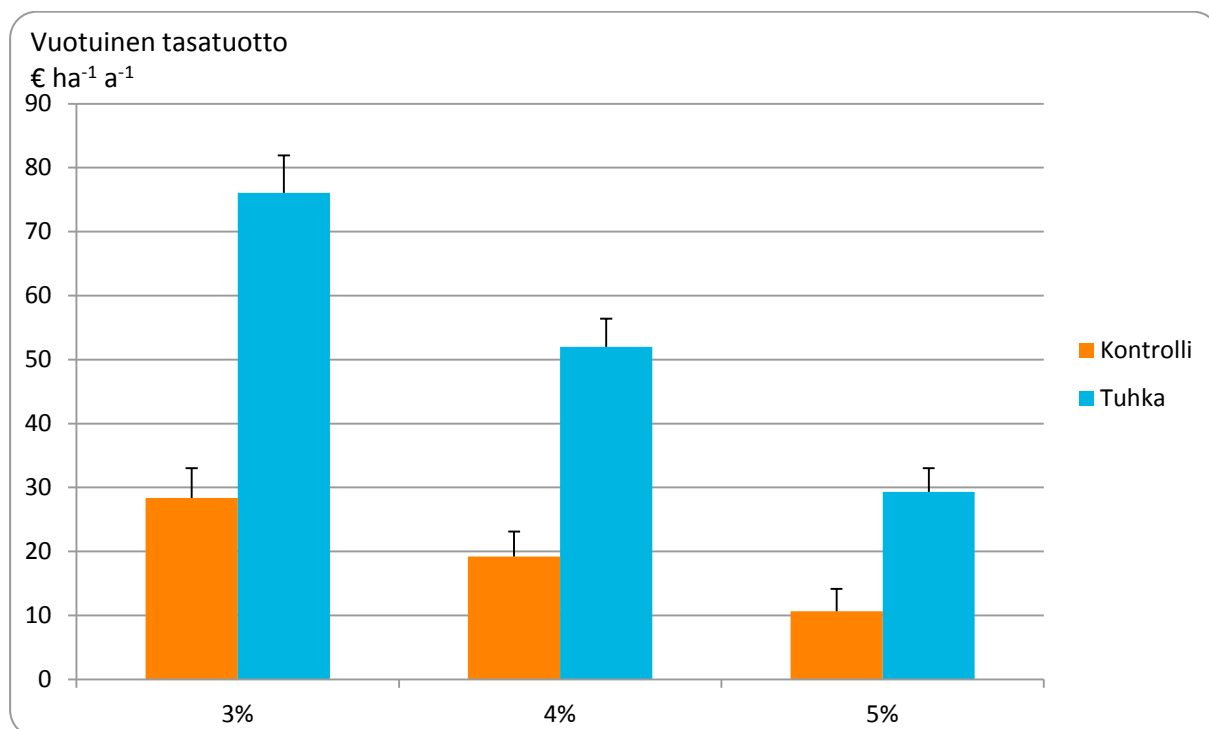
Kannattavuus

Koska PK- ja tuhkalannoituksen kasvureaktio on voimakas ja pitkäaikainen, se on yksi kannattavimpia metsätalouden toimenpiteitä. Ahtikoski ym. (2008) laskivat PK-lannoituksen investoinnin tuotto-

sentin olleen 8–13,8 prosenttia 15 vuoden aikana rämemännikössä Muhoksella. Moilasan ym. (2015) mukaan tuhkalannoitetun turvemaamännikön kasvatuksen kannattavuus on ollut 26 vuodessa kolminkertainen lannoittamattomaan nähden Siikajoella (Kuva 25). Pelkkä typpilannoitus tai typen lisäys PK:n yhteydessä ei useimmiten ole ollut kannattavaa (Moilanen ym. 2015).

Taulukko 5. Arvio turvemaiden tuhkalannoituksen tuottamasta potentiaalisesta lisäkasvusta. Pinta-alat perustuvat julkaisun Hökkä ym. (2002) liitetaulukon 3 kasvupaikkaluokkajakaumaan.

Kasvupaikka	Lannoitettava pinta-ala, Mha	Lisäkasvu, $m^3 ha^{-1} a^{-1}$	Lisäkasvu, $Mm^3 a^{-1}$
Runsastypiset rämeet, PK puute	1,24	3	3,7
Runsastypiset korvet, PK puute	0,75	2	1,5
Runsastypiset rämeet, ei PK puute	0,4	1,5	0,6
Runsastypiset korvet, ei PK puute	0,5	1,5	0,8
Niukkatypiset rämeet, E-Suomi	0,45	2	0,9
Niukkatypiset rämeet, P-Suomi	0,35	1,5	0,5
Kaikkiaan	3,7		8,0



Kuva 25. Männikön kasvatuksen kannattavuus korkokannoilla 3–5 % ojitetulla rämeellä (Siikajoki) ja tuhkalannoituksen vaikutus siihen (Moilanen ym. 2015).

Ympäristö ja riskit

Vaikka tuhkassa on myös raskasmetalleja, tuhkalannoituksella ei ole todettu olevan mainittavia haitallisia ympäristövaikutuksia (Huotari ym. 2015). Korkeimmillakaan tuhkamäärillä raskasmetalleja ei ole löydetty sienistä, marjoista, neulasista, jäkälistä eikä muistakaan ympäristöindikaattoreista enempää kuin vertailualueilla (esim. Moilanen ym. 2002). Tuhkan emäksisyyden vuoksi tuhkan raskasmetallit sitoutuvat turpeeseen. Tuhkan rakeistaminen vähentää useiden ravinteiden liukoisuutta

ja siten edelleen pienentää haitallisten ympäristövaikutusten riskiä. Edes irtotuhkalla ei ole havaittu olevan haitallisia vaikutuksia valumavesien laatuun (Piirainen ym. 2013).

Suometsien ravinnetalouden hoitaminen lannoituksella voi tarjota ratkaisun myös vesitalouden ongelmien hallintaan. Puuston kasvun parantuessa ja neulasmassan kasvaessa lannoituksen jälkeen haihdunta lisääntyy ja pohjaveden pinnan taso alenee (Heikurainen ja Päivänen 1970, Moilanen ym. 2002, Sikström ym. 2010). Tällöin myös kunnostusojitustarve pienenee, ja sitä voidaan siirtää ajassa eteenpäin.

Ravinnetalouden hoidolla saattaa olla myös vähintään tilapäinen positiivinen ilmastovaikutus. Tuhkalannoituksen on todettu vähentävän kasvupaikan hiilidioksidipäästöjä, sillä tuhka on lisännyt puustoon sitoutuvaa hiilen määrää enemmän kuin turpeen hajotuksen tehostuminen on lisännyt maan hiilivuota (Moilanen ym. 2012, Ehrnfors ym. 2010).

Suometsien tuhkalannoitus sopii myös hyvin kiertotalouden periaatteisiin sillä puuston mukana hakkuussa poistuu ravinteita kasvupaikalta. Puun energiakäytön lisääntyessä myös tuhkaa muodostuu yhä enemmän. Kiertotalouden periaatteiden mukaisesti ravinteiden kierrätys on parempi vaihtoehto kuin niiden sijoittaminen kaatopaikoille ja läjitysalueille.

Ongelmat ja epävarmuustekijät

Tuhkan käytön merkittävän lisäämisen suurin ongelma on todennäköisesti levittämisen logistiikka. Suuret käyttömäärät edellyttävät koneellista levitystä ja nykyistä kehittyneempiä jakeluketjuja ja ilmaveityksen lisäämistä. Maalevitystä voidaan tehdä vain talviaikana ja nykyisellään helikopterikalustoa on liian vähän merkittävästi suurempien tuhkamäärien levittämiseen. Rakeistamojen kapasiteetti ja alueellinen jakauma ovat myös riittämättömiä. Lannoitukseen soveltuvan tuhkan määrää voitaisiin lisätä terästävästi turvetuhkaa kaliumilla (Hytönen ym. 2016). Tuhkalannoituksen nykyistä laajempi käyttö edellyttää myös suurempia yksityismaiden hankkeita, mikä vaatii toiminnan organisoitua. Vaikka turvemaiden tuhkalannoituksella voidaankin tehokkaasti lisätä puuston kasvua koko maan tasolla, tulee huomioida em. tekijöistä aiheutuva ajallinen viive lannoitusalaan ja kasvunlisäykseen.

Suurin osa turvemaiden lannoituksen tutkimuksista koskee nuoria kasvatusvaiheen männiköitä. Varttuneempien männiköiden lannoituksista tarvitaan lisää tietoa (kokeita ja mittauksia on, mutta tietoa ei analysoitu). Kuusen ja hieskoivun kasvureaktiosta on paljon vähemmän tietoa kuin männiköistä, mutta molempien puulajien kasvun on todettu PK- ja tuhkalannoituksella lisääntyneen.

Turvemaiden lannoitustarvetta todennäköisesti lisää tulevaisuudessa myös se, että toisen puusukupolven puustoissa voi ilmetä ravinne-epätasapainoa, vaikka ensimmäisessä sukupolvessa ei sitä ole todettukaan (Moilanen ja Issakainen 2011, Sarkkola ym. 2016). Perinteisesti taimikoiden lannoitusta ei ole pidetty taloudellisesti kannattavana, mutta tuhkan pitkän vaikutusajan ja voimakkaan kasvureaktion vuoksi esimerkiksi typpirikkaiden soiden täystiheiden taimikoiden tuhkalannoitus voi hyvinkin olla kannattavaa.

Uuden tiedon tarve

Turvemaiden varttuneiden puustojen lannoitusten vaikutuksista tiedetään vielä vähän, koska valtaosa tutkimuksista koskee nuoria puustoja. Toisaalta myös ravinne-epätasapainoisten taimikoiden lannoituksen kannattavuudesta tarvitaan tietoa. Parhailaan selvitetään sitä, voitaisiinko tuhkalannoitusta käyttää vesitalouden hoidossa kunnostusojituksen sijaan ja siten pienentää kunnostusojitusten aiheuttamia ympäristöhaittoja. Männiköiden reaktio tuhkalannoitukseen tunnetaan melko hyvin, mutta kuusen vasteesta tuhkalannoitukseen tiedetään varsin vähän. Lisätietoa tarvitaan edelleen tuhkalannoituksen vaikutuksesta karuilla soilla. Lisäksi koska suurin osa tuhkatutkimuksista on tehty käyttäen irtotuhkaa, tarvitaan tietoa rakeistetun ja irtotuhkan lannoitusvasteiden vertailusta. Lähes kaikkia näitä kysymyksiä koskevia kenttäkokeita on olemassa, jolloin lisämittauksilla ja aineiston analyysillä voidaan saada tarvittava tieto kohtuullisella vaivalla.

Lähteet

- Ahtikoski, A., Moilanen, M. & Hökkä, H. 2008. Profitability of fertilisation of Scots pine on a drained mire – a case study. Julkaisussa: After wise use – the future of peatlands. Proceedings of the 13th International Peat Congress, 8–13 June 2008, Tullamore, Ireland. International Peat Society, Jyväskylä, Finland. s. 460–462.
- Ehrnfors, M., Sikström, U., Nilsson, M., & Klemedtsson, L. 2010. Effects of wood ash fertilization on forest floor greenhouse gas emissions and tree growth in nutrient poor drained peatland forests. *Science of the Total Environment* 408(29): 4580–4590.
- Heikurainen, L. & Päivänen, J. 1970. The effect of thinning, clear-cutting, and fertilization on the hydrology of peatland drained for forestry. *Acta Forestalia Fennica* 104: 1–23.
- Huotari, N., Tillman-Sutela, E., Moilanen, M. & Laiho, R. 2015. Recycling of ash – for the good of the environment? *Forest Ecology and Management* 348: 226–240.
- Hytönen, J., Aro, L., Issakainen, J. & Moilanen, M. 2016. Peat ash and biotite in fertilization of Scots pine on an afforested cutaway peatland. *Suo* 67 2: 53–66.
- Hökkä, H., Kaunisto, S., Korhonen, K.T., Päivänen, J., Reinikainen, A. & Tomppo, E. 2002. Suomen suomensät 1951–1994. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2002: 201–357.
- Hökkä, H., Repola, J., & Moilanen, M. 2012. Modelling volume growth response of young Scots pine (*Pinus sylvestris*) stands to N, P, and K fertilization in drained peatland sites in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 42(7): 1359–1370. <http://dx.doi.org/10.1139/x2012-086>.
- Kaunisto, S. & Moilanen, M. 1998. Kasvualustan, puuston ja harvennuspoistuman sisältämät ravinnemäärät neljällä vanhalla ojitusalueella. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 3/1998: 393–410.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 145. 39 s.
- Moilanen, M. 2005. Suomensien lannoitus. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M., Murtovaara, I. (toim.): Suosta metsäksi. Suomensien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä kasvatusta ja käyttöä. Tutkimusohjelman loppuraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 134–166.
- Moilanen, M., & Hökkä, H. 2009. PK-lannoituksella aikaansaadun kasvureaktion suuruus riippuu ojitusaluemännikön ravinnetilasta. *Suo* 60(3–4): 111–120.
- Moilanen, M., Silfverberg, K. & Hokkanen, T. 2002. Effects of wood ash on the tree growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: a case study. *Forest Ecology and Management* 171(3): 321–338.
- Moilanen, M., Silfverberg, K., Hökkä, H. & Issakainen, J. 2004. Comparing effects of wood ash and commercial PK fertiliser on the nutrient status and stand growth of Scots pine on drained mires. *Baltic Forestry* 10(2): 2–10.
- Moilanen, M., Saarinen, M. & Silfverberg, K. 2010. Foliar nitrogen, phosphorus and potassium concentrations of Scots pine in drained mires in Finland. *Silva Fennica* 44(4): 583–601.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 2011. Kuusialikasvoksen ravinnetila ja pituuskasvu ylispuuhakkuun ja lannoituksen jälkeen mustikkaturvekankaalla. *Metlan työraportteja* 188. 22 s.
- Moilanen, M., Hytönen, J. Leppälä, M. 2012. The effect of wood ash on soil CO₂ emission and carbon stock of tree stand on a drained peatland – case study. *European Journal of Soil Science* 63(4): 467–475.
- Moilanen, M., Hytönen, J., Hökkä, H. & Ahtikoski, A. 2015. Fertilization increased growth of Scots pine and financial performance of forest management in a drained peatland in Finland. *Silva Fennica* 49(3) article id 1301. 18 s.
- Nieminen, M., Laiho, R., Sarkkola, S. & Penttilä, T. 2016. Whole-tree, stem-only, and stump harvesting impacts on site nutrient capital of a Norway spruce-dominated peatland forest. *European Journal of Forest Research* 135(3): 531–538.
- Palviainen, M., & Finér, L. 2012. Estimation of nutrient removals in stem only and whole-tree harvesting of Scots pine, Norway spruce, and birch stands with generalized nutrient equations. *European Journal of Forest Research* 131(4): 945–964.
- Piirainen, S., Domisch, T., Moilanen, M. & Nieminen, M. 2013. Long-term effects of ash fertilization on runoff water quality from drained peatland forests. *Forest Ecology and Management* 287: 53–66.
- Sarkkola, S., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T.M., Laiho, R., Laurén, A., Finér, L. & Nieminen, M. 2016. Should harvest residues be left on site in peatland forests to decrease the risk of potassium depletion? *Forest Ecology and Management* 374: 136–145.
- Sikström, U., Almqvist, C. & Jansson, G. 2010. Growth of *Pinus sylvestris* after the application of wood ash or P and K fertilizer to a peatland in southern Sweden. *Silva Fennica* 44(3): 411–425.
- Veijalainen, H. 2000. Metsänparannuskokeiden tuloksia Kettulan tilan ojitetuilta soilta. Kettulan retkeily 8.9.2000. Moniste, Metla, Vantaan tutkimuskeskus. 62 s.

3.3. Kunnostusojitus

Hannu Hökkä ja Soili Kojola

3.3.1. Kunnostusojitus varmistaa hapelliset olosuhteet puiden juurille

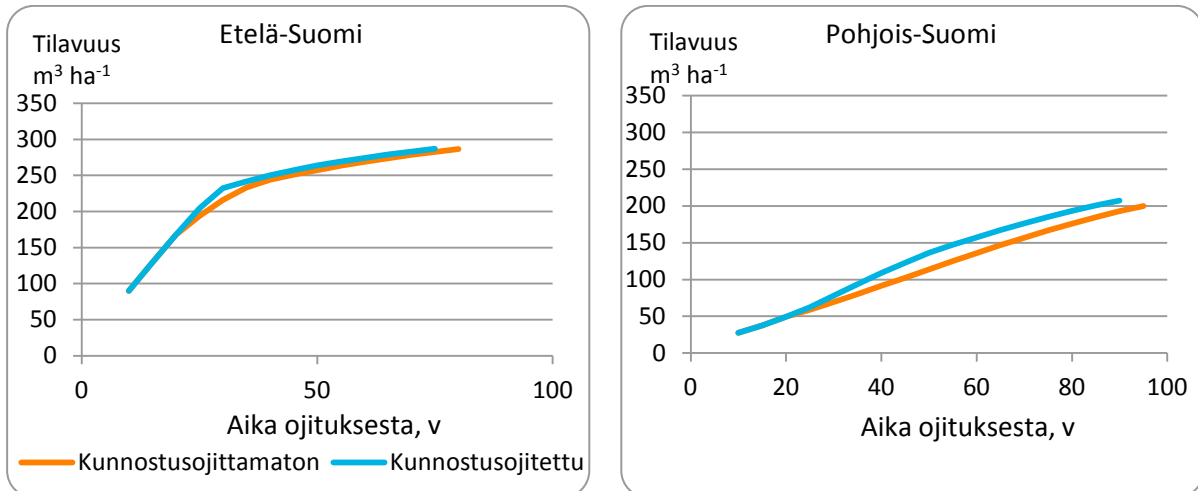
Kunnostusojituksen tavoitteena on parantaa metsäojitetun suon ojaverkoston vedenkuljetuskykyä ja välttää tilanne, jossa pohjavesi nousee niin lähelle maanpintaa ja juuristokerrosta, että se haittaa puiden kasvua. Pääsääntöisesti kunnostusojituksissa perataan vanhoja kuivatusojia, jotka ovat mataloituneet turpeen painumisen, eroosion, liettymisen, kasvillisuuden aiheuttaman umpeenkasvun tai muun syyn takia (Paavilainen ja Päivänen 1995, Ahti ja Päivänen 1997, Sikström ja Hökkä 2016). Kunnostusojituksen yhteydessä voidaan kaivaa myös uusia täydennysojia, mikäli katsotaan, ettei vanhan ojaverkoston kuivatusteho ole riittävä. Ojien kunnostuksessa tavoitellaan alkuperäistä 0,8–0,9 metrin ojasyvyyttä sarkaojissa ja 1,2 metrin syvyyttä valtaojissa (Paavilainen ja Päivänen 1995).

3.3.2. Kunnostusojitus vain tarvittaessa

Ojaverkoston kunnostustarvetta esiintyy yleensä 20–50 vuoden kuluttua edellisestä ojien kaivusta. Jos ojat ovat hyvin huonot, se heijastuu yleensä myös puuston elinvoimaisuudessa. Ojien kunnan perusteella määritettyyn kunnostusojitustarpeeseen vaikuttavat lähinnä alkuperäisestä ojituksesta kulunut aika, pohjoinen sijainti, turvekerroksen paksuus ja maaston kaltevuus (Hökkä ym. 2000). Kunnostustarpeeseen vaikuttaa myös puuston määrä, sillä puusto voi veden käytöllään kompensoida huonokuntoisten ojien puutteellista kuivatustehoa (Sarkkola ym. 2010, Sarkkola ym. 2013). Koska kunnostusojitus on metsänkasvatuksen kustannus, turhia kunnostusojituksia ei kannata tehdä. Tavoitteena on, että ojat kunnostetaan vain kaksi kertaa kiertoajan kuluessa, kerran kasvatuksen aikana ja toisen kerran metsänuudistamisen yhteydessä. Myös vesistöjen kannalta on sitä parempi, mitä vähemmällä kunnostusojituskerroilla selvittää. Viime vuosina Suomessa on toteutettu kunnostusojituksia noin 60 000 hehtaarin pinta-alalla vuosittain (Metsätilastollinen... 2014).

3.3.3. Kunnostusojituksen kasvuvaikutus ja kannattavuus

Kunnostusojituksen tuottama puuston lisäkasvu riippuu ennen kunnostusta vallitsevasta kuivatustilanteesta: jos loppukesän keskimääräinen pohjavesipinnan syvyys saralla on enemmän kuin 35–40 cm, kunnostusojitus tuottaa vain vähäisen kasvunlisän (Sarkkola ym. 2012). Keskimäärin kunnostusojitus lisää puuston kasvua $0,2\text{--}1,5\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$, enemmän pohjoisessa ja paksuturpeisilla soilla kuin etelässä tai ohutturpeisilla soilla (Kuva 26) (Ahti 2005, Hökkä ja Kojola 2003). Taloustarkasteluissa on todettu, että kunnostusojitus on kannattava metsätalouden investointi, joka metsikkötasolla lasketuna tuottaa Pohjois-Suomessa 4–14 prosenttia korkeamman nettohyödyn verrattuna kunnostusojittamattomaan metsänkasvatusvaihtoehtoon (Ahtikoski ym. 2008). Koko maan tasolla kunnostusojitusten on arvioitu lisäävän puuston kasvua 0,2–0,3 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Suomettien kasvatukseen kuuluvat kunnostusojituksen ohella keskeisinä myös harvennukset. Kunnostusojitusten ja harvennusten oikea-aikaisella toteutuksella on arvioitu saavutettavan 0,5–1,5 miljoonan kuutiometrin vuotuinen käyttöpuun kasvu verrattuna tilanteeseen, jossa näitä toimenpiteitä ei lainkaan tehtäisi (Kojola ym. 2004).



Kuva 26. Kunnostusojituksen kasvureaktio kahdessa Ptg II esimerkkimetsikössä Etelä- ja Pohjois-Suomessa (Hökkä ja Kojola 2003).

3.3.4. Ympäristö ja riskit

Kunnostusojituksen merkittävin ympäristövaikutus on kiintoainekuormituksen lisääntyminen usean vuoden ajan kaivun jälkeen (Joensuu ym. 2001, Nieminen ym. 2010). Jos ojat ulottuvat turpeen alla olevaan hienojakoiseen kivennäismaahan, lisää kunnostusojitus merkittävästi myös ravinnekuormitusta (Joensuu ym. 2001). Kuormitusta vähennetään kunnostusojituksen yhteydessä toteutettavilla vesiensuojelutoimilla. Kunnostusojitusmäärien voimakas lisääminen nykytasosta ei suoraan johda vastaavaan lisäykseen puuntuotoksessa ja tuotossa, mutta sen sijaan vesistökuormitus lisääntyy suhteessa ojitettuun pinta-alaan (Hökkä ym. 2016). Keskeistä onkin kunnostusojitusten kohdentaminen oikein sellaisille turvemaille, joilla puuston kasvua voidaan selkeästi oijen kunnostuksella lisätä (Sarkkola ym. 2012). Tämä takaa myös suhteellisesti parhaan taloudellisen tuloksen (Hökkä ym. 2016).

Lähteet

- Ahti, E. 2005. Kunnostusojitus. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi – suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 114–120.
- Ahti, E. & Päivänen, J. 1997. Response of stand growth and water table level to maintenance of ditch networks within forest drainage areas. Julkaisussa: Trettin, C., Jurgensen, M., Grigal, D., Gale, M. & Jeglum, J. (toim.). Northern Forested Wetlands: *Ecology and Management*. CRC Press, Lewis Publishers. s. 449–457.
- 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* 3(3): 1–11.
- Hökkä, H. & Kojola, S. 2003. Suometsien kunnostusojitus – kasvureaktion tutkiminen ja kuvaus Julkaisussa: Jortikka, S., Varmola, M. and Tapaninen, S. (toim.). Soilla ja kankailla – Metsien hoitoa ja kasvatusta Pohjois-Suomessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 903: 13–20.
- Hökkä, H., Alenius, V., & Salminen, H. 2000. Kunnostusojitustarpeen ennustaminen ojitusalueilla. *Suo* 51(1): 1–10.
- Hökkä, H., Salminen, H., Ahtikoski, A., Kojola, S., Launiainen, S. & Lehtonen, M. 2016. Long-term impact of ditch network maintenance on timber production, profitability and environmental loads at regional level in Finland – a simulation study. *Forestry* 2016: 1–13. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw045>
- Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 2001. Long-term effects of maintaining ditch networks on runoff water quality. *Suo* 52(1): 17–28.

- Kojola, S., Ahti, E., Hökkä, H. & Penttilä, T. 2004. Asiantuntijaselvitys alueellisten metsäohjelmien kunnostusojj-
tustavoitteiden tarkentamista varten. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus. 16 s.
- Metsätalastollinen vuosikirja 2014. Skogsstatistisk årsbok. Finnish Statistical Yearbook of Forestry. Suomen viral-
linen tilasto: Maa-, metsä- ja kalatalous. 428 s.
- Nieminen, M., Ahti, E., Koivusalo, H., Mattsson, T., Sarkkola, S. & Laurén, A. 2010. Export of suspended solids
and dissolved elements from peatland areas after ditch network maintenance in south-central Finland. *Silva
Fennica* 44(1): 39–49.
- Paavilainen, E. & Päivänen, J. (1995). Peatland forestry – Ecology and principles. *Ecological Studies* 111: 1–248.
- 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.
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Ahti, E., Koivusalo, H. & Nieminen, M. 2012. Depth of water table prior to ditch network
maintenance is a key factor for tree growth response. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27: 649–
658. doi:10.1080/02827581.2012.689004
- Sarkkola, S., Nieminen, M., Koivusalo, H., Laurén, A., Ahti, E., Launiainen, S., Nikinmaa, E., Marttila, H., Laine, J.
& Hökkä, H. 2013. Domination of growing-season evapotranspiration over runoff makes ditch network
maintenance in mature peatland forests questionable. *Mires and Peat* 11(2): 1–11.
- Sikström, U. & Hökkä, H. 2016. Interactions between soil water conditions and forest stands in boreal forests with
implications for ditch network maintenance. *Silva Fennica* 50(1) article id 1416. 29 s.

4. Puuston kasvukunnon parantaminen

Saija Huuskonen, Soili Kojola, Jari Hynynen, Timo Saksa ja Anssi Ahtikoski

Keskeistä

- Taimikonhoito varmistaa taimien alkukehitystä, keskittää kasvua valittuun puulajiin ja parantaa puutavaran tulevaa laatua.
- Harvennushakkuut vähentävät puidenvälistä kilpailua, suuntaavat kasvupaikan puuntuotoskyvyn parhaisiin puuyksilöihin, lisäävät taloudellisesti arvokkaan puun tuotosta ja tuottavat hakkuutuloja.
- Päätehakkuun ajankohta määritellään useimmiten taloudellisin perustein ottaen huomioon mm. puuston laatu, järeys ja elinvoimaisuus.

4.1. Taimikonhoito

4.1.1. Taimikonhoidolla säädellään puiden kasvutilaa

Metsän uudistamisen jälkeen puuston kasvukunnosta huolehditaan varhaisperkauksella ja taimikonhoidolla. Varhaisperkauksessa varmistetaan kasvatettavien taimien esteetön kehittyminen poistamalla kehitystä haittaavat ja heikkolaatuiset vesat ja taimet. Varsinainen taimikonhoito on kasvupaikasta ja puulajista riippuen joko ei-toivotun puulajin vähentämistä kasvatettavan puuston hyväksi ja/tai kasvatettavan puulajin tiheyden säätelyä. Varsinkin rehevillä kasvupaikoilla taimikko on hoidettava useammin kuin kerran. Suhteellisen työlään ja kalliin toimenpiteen vaikutukset puuston kasvuun ja metsänkasvatuksen kannattavuuteen ovat kuitenkin kiistattomia.

Luontaisesti syntyneissä ja hoitamattomissa taimikoissa puuston hehtaarikohtainen tiheys voi nousta useisiin kymmeniin tuhansiin runkoihin. Vaikka kilpailun seurauksena osa taimista kuolee, kymmenmetrisessä taimikossa voi olla vielä jopa 10 000 runkoa hehtaarilla. Tiheässä kasvavat puut jäävät ohuiksi ja niiden latvukset supistuvat. Taimikossa on myös suuri puulajikirjo ja nopeakasvuiset lehtipuut pääsevät helposti vallitsevaan asemaan. Tällaisessa metsikössä saavutetaan suurin vuotuinen kokonaistuotos ja biomassatuotos. Sen sijaan järeän ainespuun tuotoksen edellytykset ovat heikot.

Metsikkö pysyy elinvoimaisena ja hyväkasvuisena, kun kullakin kasvupaikalla kasvatetaan sille parhaiten soveltuvia puulajeja. Yleensä vähäisen lehtipuusekoituksen ylläpito havupuustoissa on hyväksi monessakin mielessä – metsikön elinvoimaisuuden, maisema-arvojen, riistan elinolosuhteiden ja luonnon monimuotoisuuden kannalta.

Taimikonhoidossa kasvatettava puusto harvennetaan sellaiseen tiheyteen, että kaikki jäljelle jäävät puut järeytyvät ainespuun mittoihin ensiharvennukseen mennessä. Tavallisimmin männiköt harvennetaan noin 2 000–2 200, kuusikot 1 800–2 000 ja rauduskoivikot 1 600 runkoon hehtaarilla.

4.1.2. Ajoitus keskeisintä kustannustehokkaassa taimikonhoidossa

Taimikonhoidon ajoituksessa tasapainoillaan puuston elinvoimaisuuden säilyttämisen ja taimikonhoidon kustannusten välillä. Aikaisin tehty taimikonhoito on nopeaa ja edullista, mutta riski luontaisesti syntyneiden lehtipuiden uudelleen vesomiselle ja tarve toiselle taimikonhoitokerralle kasvavat. Toimenpiteiden ajoitus vaikuttaa keskeisesti kustannuksiin. Jo vuoden viivästyminen aiheuttaa varhaisperkaukseen lähes 10 prosentin kustannusten nousun (Uotila ym. 2014). Kaksivaiheisen taimi-

konhoidon (varhaisperkaus + taimikonhoito) kokonaiskustannukset ovat samaa suuruusluokkaa kuin yhden myöhässä tehdyn taimikonhoidon, mutta ajoissa hoitamalla saavutetaan paljon parempi taimikon kasvukunto ja elinvoimaisuus (Saksa ym. 2016, Saksa ja Miina 2010). Kaksivaiheinen taimikonhoito on usein tarpeen viljavien kasvupaikkojen havupuutaimikoissa. Karumilla mailla, joilla lehtipuun haitallinen kilpailu on vähäisempää, yksi taimikonhoitokerta yleensä riittää (Miina ja Saksa 2013). Myös lehtipuutaimikoissa selvittää yleensä yhdellä hoitokerralla.

Taimikonhoidon oikeaan ajoitukseen vaikuttavat metsänuudistamisessa tehdyt valinnat. Vaikka kasvupaikka ja puulaji olisivat samat, eri tavoin uudistetut tai eri menetelmillä muokatut kohteet voivat edellyttää erilaista taimikonhoito-ohjelmaa. Kohteiden tunnistamisessa ja luokittelemisessa voidaan käyttää nykyään saatavilla olevaa paikkaan sidottua kasvupaikkatietoa, esimerkiksi kosteusindeksistä ja maalajista, mikä avaa uusia mahdollisuuksia taimikonhoidon kustannustehokkuuden parantamiseen.

Kustannustehokkaassa taimikonhoito-ohjelmassa tehdään varhaisperkaus riittävän aikaisin (3–7 vuoden kuluttua uudistamisesta) jolloin varsinaista taimikonhoitoakin (taimikon harvennus) voidaan nopean puuston kehityksen ansioista aikaistaa (5–10 vuoden päähän varhaisperkauksesta). Hyväksyisessä taimikossa latvusto sulkeutuu nopeasti harvennuksen jälkeen ja näin minimoituu myös ennakkoraivauksen tarve ensiharvennusvaiheessa.

Taimikonhoidon ajoituksella ja voimakkuudella voidaan männiköissä vaikuttaa puiden oksaisuuteen ja oksien paksuuteen. Riittävä kasvatustiheys männiköissä (vähintään 2 200 runkoa hehtaarilla) estää oksien liiallista paksuuntumista ja riittävän myöhäinen taimikonhoito (5–7 metrin pituusvaihe) edesauttaa oksien kuolemista rungon alaosista, tyvitukin alueelta (Varmola ja Salminen 2004, Huuskonen ym. 2014). Aikaisin tehty taimikonhoito kiihdyttää myös puuston kasvua ja lisää ensiharvennuksen ainespuukertymää. Toisaalta, jos tavoitteena on kasvattaa korkealaatuista raaka-ainetta sahateollisuuden raaka-aineeksi, myöhäinen ja lievä taimikonhoito varmistaa puiden paremman ulkoisen laadun (Vuokila 1972, Huuskonen ja Hynynen 2006).

Taimikonhoidon kustannustehokkuutta haetaan myös koneellistamisratkaisuilla (Hämäläinen ym. 2013). Koneellisen taimikonhoidon osuus on vielä kuitenkin vain noin prosentin luokkaa koko taimikonhoitoalasta. Nykyiset taimikonhoitolaitteet ovat pääosin teknisesti hyvin toimivia, mutta koneellisen taimikonhoidon kustannus on vielä pääsääntöisesti raivaussahatyötä kalliimpaa. Kaikkein vaikeimmissa kohteissa koneellisen taimikonhoidon kustannukset ovat samaa tasoa tai alemmat kuin raivaussahatyössä. Koneellisesti on myös mahdollista toteuttaa taimikonhoito kitkemällä lehtipuut juurineen kasvatettavan taimen ympäriltä. Konekitkennän kustannukset ovat vertailukelpoiset kaksivaiheiseen manuaaliseen taimikonhoito-ohjelmaan silloin, kun se riittää ainoaksi taimikonhoito toimenpiteeksi. Näin on arvioitu tapahtuvan 70–80 prosentilla kitkentäkohteista (Kukkonen 2011).

Erityisesti koneellisessa taimikonhoidossa voidaan mekaanisesti lehtipuun katkaiseviin perkauslaitteisiin yhdistää kantovesojen kasvun estävän purppuranahakka (*Chondrostereum purpureum*) sieniliuoksen levittäminen. Purppuranahakan on todettu kenttäkokeissa vähentävän tehokkaasti lehtipuukantojen vesomista, jolloin taimikonhoitokertoja voidaan vähentää. Menetelmän metsänhoidollisen tehokkuuden testaus on kuitenkin vasta alussa (Hamberg ja Hantula 2016, Hamberg ym. 2014).

4.2. Harvennushakkuut

4.2.1. Harvennuksilla lisätään ainespuun tuotosta

Metsänkasvatukselle on tyypillistä, että puuston laadun ja kasvun kannalta tärkeimmät panostukset on tehtävä jo metsän nuoruusvaiheessa. Ensiharvennuksella turvataan ennen kaikkea puuston tulevaa kehitystä, mutta metsänkasvatuksen kannattavuuden parantamiseksi on tärkeää, että ensiharvennuksesta saadaan myös tuloja ja toimenpide on metsänomistajalle kannattava (Kuva 27). Myöhempien harvennusten pääpaino on hakkuutuloissa ja puuston järeyttämisessä.

Harvennuksessa vähennetään puiden välistä kilpailua kasvutilasta ja valitaan ne puut, joita kasvatetaan seuraavaan harvennukseen tai aina päätehakkuuseen asti. Meillä harvennukset tehdään valtaosin ns. valikoivina harvennuksina (vrt. systemaattinen), joissa poistettavien ja kasvatettavien puiden valinta tehdään puukohtaisesti. Tasaikäisinä kasvatettavien metsien harvennuksissa kasvaamaan jätetään elinvoimaisimmat ja rungoltaan hyvälaatuiset puut, kun taas kilpailussa hävinneet tai häviämässä olevat sekä mahdolliset sairaat ja vioittuneet puut poistetaan. Tällöin koko metsikön terveydentila kohenee ja kasvu keskittyy metsikön taloudellisesti arvokkaimpiin puihin. Hyvä esimerkki metsikön laadun parantamisesta on turvemaiden männiköiden yksittäisten, ennen ojitusta syntyneiden ja kuivatukseen huonosti reagoineiden puiden poistaminen muuten alaharvennuksena toteutetussa hakkuussa. Harvennushakkuissa yksittäisten puiden laatukehitykseen ei enää voida juurikaan vaikuttaa. Sen sijaan oksien karsiutuminen lisääntyy hakkuutyön yhteydessä sekä harvennuksen jälkeen muuttuneiden tuuli- ja lumiolosuhteiden myötä.

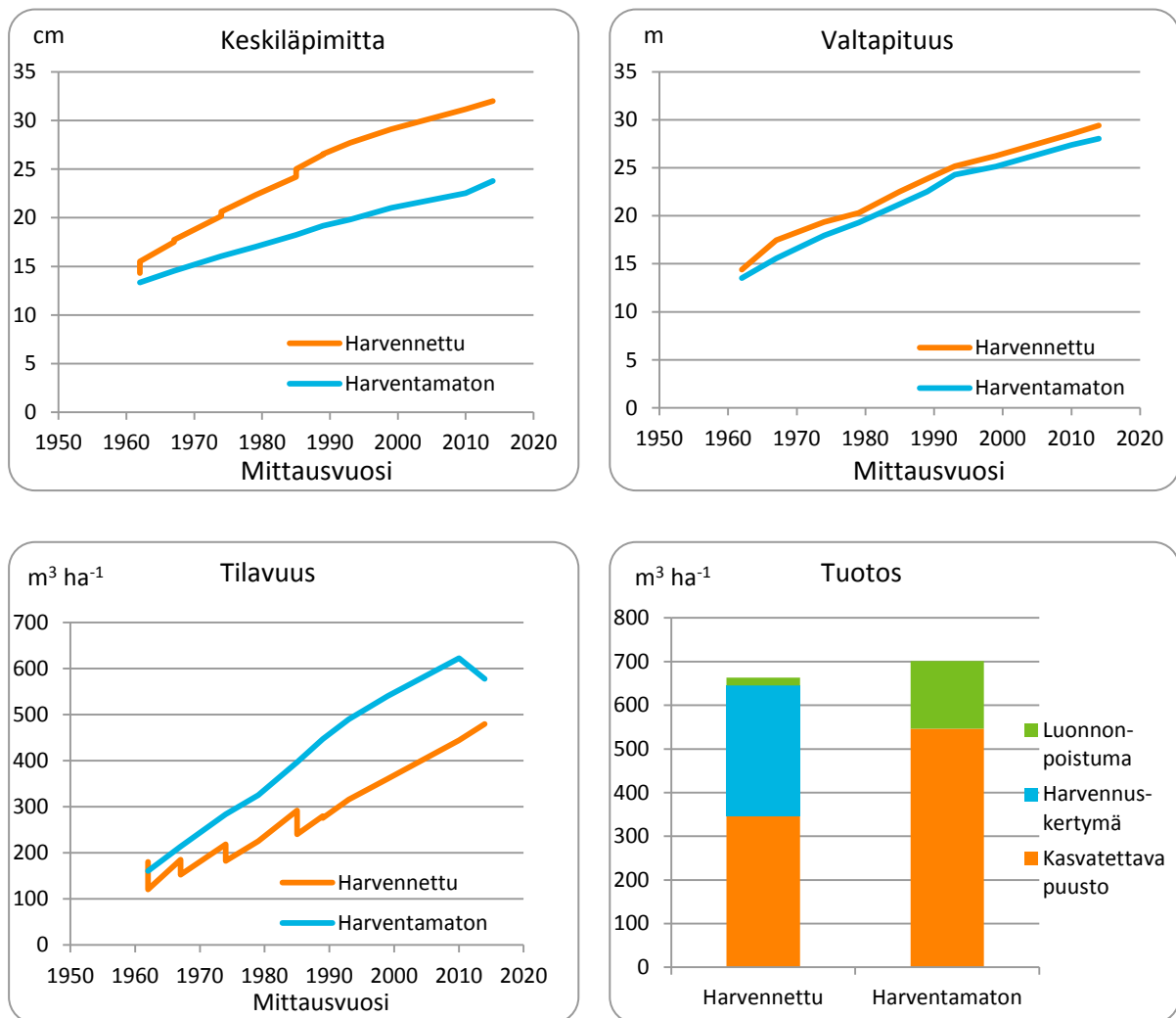
Harvennuksen jälkeen kasvamaan jääneet puut reagoivat parantuneisiin kasvuolosuhteisiin lisäämällä kasvua (Assman 1970, Hökkä ym. 1997, Mäkinen ja Isomäki 2004a, 2004b). Suurin kasvunlisäys tapahtuu puiden läpimitan kasvussa. Pituuskasvun reaktio on pienempi, ja metsikön suurimpien puiden pituuskasvuun alaharvennus ei vaikuta lainkaan.

Se miten paljon harvennuksilla voidaan lisätä puiden kasvua, riippuu metsikön kehitysvaiheesta, harvennusta edeltävästä puuston tiheydestä (kilpailun määrästä) sekä puiden kyvystä hyödyntää vapautunutta kasvutilaa (harvennusreaktio). Parhaiten muuttuneisiin olosuhteisiin reagoivat nopean kasvun vaiheessa olevat nuoret kasvatusmetsät. Metsikössä kasvua lisäävät eniten puiden välisessä kilpailussa parhaiten menestyneet elinvoimaisimmat valtapuut. Myös vallitussa kasvuasemassa olevat lisävaltapuut ja välipuut lisäävät kasvuaan, sillä ne ovat riittävän elinvoimaisia reagoidakseen ja niiden kasvuolosuhteet yleensä parantuvat harvennuksessa eniten. Nuoret rehevän kasvupaikan kuuset reagoivat yleensä nopeasti ja voimakkaasti harvennukseen, samoin elinvoimainen, hyvälatuksinen rauduskoivikko. Hieskoivu reagoi harvennukseen heikommin kuin rauduskoivu. Myös mänty reagoi voimakkaasti harvennukseen, joskin kuusta hitaammin. Harvennuksen oikea ajoittaminen on tärkeää hyvän kasvureaktion saavuttamiseksi. Turvemilla puut reagoivat harvennuksen lisäksi usein myös samanaikaiseen kunnostusojitukseen kasvuaan parantamalla.

Harvennukset nopeuttavat puiden järeytymistä ja siten lisäävät järeän ainespuun tuotosta, vaikka puuston kokonaistuotos ei lisäänykään (Kuva 28). Suurin kokonaistuotos saavutetaan harventamattomassa metsässä, jolloin suuri puiden lukumäärä johtaa suurempaan kokonaistuotokseen, vaikka yksittäiset puut kasvavatkin hitaammin. Mikäli metsänkasvatuksen perinteisen tavoitteen, kuitu- ja tukkipuun kasvatuksen, sijaan halutaankin tuottaa biomassaa (esimerkiksi hieskoivun kasvatusta energiapuuksi) voi tiheämpänä kasvattaminen jopa kokonaan ilman harvennuksia olla kannattavampi vaihtoehto (esim. Jylhä ym. 2015). Järeän ainespuun tuottamisessa harvennusten merkitys on keskeinen.



Kuva 27. Ensiharvennus on nuoren metsän ensimmäinen kasvatushakuu, josta saadaan myyntikelpoista puuta. Hakuukertymä on lähes kokonaan kuitupuuta.



Kuva 28. Suurin tuotos saavutetaan harventamattomassa metsikössä, mutta harvennushakkuilla lisätään käytettävän puuston määrää (käyttöpuuntuotos). Harvennushakkuut alentavat kasvatettavan puuston tilavuutta mutta lisäävät puuston järeytymistä (keskiläpimitan kehitys). Puuston valtapituuskehitykseen harvennushakkuilla ei juuri ole vaikutusta. Esimerkki on 52 vuotta seuratulta kokeelta (Nynäs1, koealat 2 ja 3). Tuotoskuvauksessa tilanne viimeisimmässä mittauksessa, metsikön iän ollessa 92 vuotta.

4.2.2. Ajoitus ja voimakkuus vaikuttavat puuston järeytymiseen ja harvennuskertymään

Metsässä puut kilpailevat keskenään valosta, vedestä ja ravinteista. Kilpailussa häviölle jäävän puun yhteyttämisestä huolehtiva elävä latvus supistuu ja puun kasvu alkaa hidastua. Voimakkaan kilpailun seurauksena heikommat puut lopulta kuolevat. Puiden kasvun edellytyksenä on latvuston ja juuriston riittävä kasvutila, joka turvaa niiden elinvoimaisuuden.

Harvennuksen ajoituksen ja harvennusvoimakkuuden avulla säädellään puuston määrää niin, että kasvupaikan puuntuotoskyky on mahdollisimman tehokkaasti käytössä ja suunnattuna halutunlaisen ainespuun tuottamiseen. Harvennushakkuista saatavat hakkuutulot parantavat oleellisesti myös metsänkasvatuksen kannattavuutta. Toteuttamalla harvennukset ajoissa turvataan puuston nopea järeytyminen ja suuri tukkipuutuotos sekä lyhennetään kiertoaikaa. Sopivin kasvatustiheys vaihtelee puulajin, puuston kehitysvaiheen, kasvupaikan viljavuuden sekä maantieteellisen sijainnin mukaan. Rehevällä kasvupaikalla puustoa voidaan kasvattaa tiheämmässä kuin karulla maalla, ja nuorempaa puustoa tiheämmässä kuin vanhempaa. Kasvatushakkuille laaditut harvennusmallit ovat apuvälineitä harvennusten toteutuksessa.

Voimakkaat harvennukset lisäävät hakkuukertymää ja parantavat harvennuksen kannattavuutta, mutta vaarana on, että kasvamaan jää liian vähäinen puustopääoma. Voimakas harvennus alentaa kokonaiskasvua erityisesti männyllä ja hieskoivulla, joilla puustopääoman alentaminen kolmanneksella johtaa 10–15 prosentin kasvutappioon seuraavan 20 vuoden aikana (Mäkinen ja Isomäki 2004a, Niemistö 2013). Sen sijaan kuusi ja rauduskoivu kestävät voimakkaamman harvennuksen ilman merkittäviä tuotostappioita. 40 prosentin vähennys pohjapinta-alasta johtaa kuusikossa 10 prosentin ja rauduskoivikossa 15 prosentin kasvutappioon (Mäkinen ja Isomäki 2004b, Niemistö 1997).

Hakkuukertymää on mahdollista lisätä myös hakkuuta viivästämillä ilman, että jäljelle jäävän puuston määrää tarvitsee alentaa liikaa. Hoidetussa männikössä ensiharvennuksen viivästäminen 10–15 vuodella, tai 12 metrin valtapituusvaiheesta 16 metrin valtapituuteen, kaksinkertaistaa ensiharvennuksen ainespuukertymän (Hynynen ja Arola 1999, Huuskonen ja Ahtikoski 2005). Myöskään turvemailla ensiharvennuksen lievän viivästäminen ei ole todettu aiheuttavan kasvutappioita vaikka yleensä samalla viivästyy myös kunnostusojitus (Kojola ym. 2008), sen sijaan etua saadaan kertymän suurenemisesta ja harvennuskertojen vähenemisestä heikosti kantavilla suopohjilla. Ensiharvennuksen viivästäminen edellyttää, että taimikonhoidosta on huolehdittu ajallaan. Ensiharvennuksen ajoituksessa on kiinnitettävä huomiota latvuksiin ja puuston elinvoimaisuuteen, sillä liiallinen viivästäminen kasvattaa tuhoriskiä ja hidastaa harvennusreaktiota.

Myöhempien harvennushakkuiden ajoitus on joustavampaa, sillä ensiharvennuksen jälkeen puuston tiheys ei niin helposti kasva liian suureksi. Toisaalta varttuneissa metsiköissä harvennuksen viivästyessä puiden toipuminen ja reagointi harvennukseen hidastuu.

4.2.3. Harvennus voidaan toteuttaa monella tavalla

Harvennushakkuussa lopullinen jäävän puuston tiheys ja rakenne määräytyy poistamalla puita eri latvuserroksista sen mukaan millainen harvennustapa on valittu. Yleisimmät harvennustavat ovat alaharvennus, yläharvennus, ja laatuharvennus. Harvennustavasta riippumatta hakkuussa poistetaan metsikön kilpailussa jälkeen jääneet pienimmät puut sekä heikkolaatuiset ja sairaat puut. Alaharvennus on yleisin harvennustapa, joka soveltuu sekä hoidettujen että hoitamattomien metsiköiden harvennustavaksi. Alaharvennuksessa poistetaan ensisijaisesti alimpien latvuserrosten puita ja tavoitteena on keskittää kasvu päävaltapuihin ja parhaisiin lisävaltapuihin ja nopeuttaa niiden järeytymistä. Harvennuskertymä jää muita harvennustapoja pienemmäksi, mutta vastaavasti seuraavissa harvennuksissa ja päätehakuissa kertymä on järeämpää tai päätehakuuta voidaan aikaistaa.

Yläharvennuksessa poistetaan sekä pää- että lisävaltapuita. Yläharvennuksen tavoitteena on välittömien hakkuutulosten kasvattaminen ja se soveltuu hoidettujen, puustoltaan tasaisten ja elinvoimaisten männiköiden ja kuusikoiden toisen ja kolmannen harvennuksen harvennustavaksi. Ylähar-

vennuksessa poistetaan osa metsikön suurimmista puista, jolloin hakkuukertymä ja kertymän tukiosuus tulevat suuremmiksi ja harvennuksen taloudellinen kannattavuus merkittävästi paremmaksi kuin vastaavan ajankohdan alaharvennuksessa. Yläharvennuksessa jätetään kasvamaan valtapuiden sijaan elinvoimaisia ja hyvälaatuisia lisävaltapuita. Toteutus vaatii huolellisuutta, sillä liian voimakas harvennus aiheuttaa helposti kasvutappioita, erityisesti männiköissä (Mäkinen ja Isomäki 2004ab). Yläharvennus johtaa joko kiertoajan pidentymiseen 10–15 vuodella tai päätehakkuupuuston pienempään järeyteen verrattuna alaharvennettuun metsikköön (Mielikäinen ja Valkonen 1991).

4.2.4. Puulajin valinta harvennuksessa

Kuivahkolla kankaalla ja sitä karummilla kasvupaikoilla mänty on käytännössä ainoa kasvatuskelpoinen puulaji, koska kuusi ja lehtipuut eivät niillä menesty. Sen sijaan ojitusalueilla karummillakin turvemaiden sekatyypeillä hieskoivu muodostaa luontaista sekoitusta havupuustoon. Runsasravinteisillä kasvupaikoilla metsiköt kehittyvät helposti sekametsiksi. Lehtipuiden kasvattaminen havupuiden seassa edellyttää kuitenkin sitä, että puulajien erilaiset kasvurytmit ja niiden tarvitsema kasvutila otetaan huomioon kasvatettavien puiden valinnassa. Nuorena nopeakasvuiset lehtipuut kasvavat helposti havupuita pidemmiksi ja haittaavat niiden kehitystä. Lievä rauduskoivusekoitus kuusikossa parantaa metsikön tuotosta verrattuna puhtaaseen yhden puulajin kuusikkoon, mutta noustessaan yli 30 prosentin lehtipuusekoitus alkaa alentaa tuotosta ja kannattavuutta (Mielikäinen ja Valkonen 1995). Mänty-koivusekametsässä taas paras taloudellinen tulos saavutetaan kun koivun osuus on alle 20 prosenttia (Mielikäinen 1980, Hynynen ym. 2011).

4.3. Kiertoaika

Tasaikäinen metsä kasvaa nopeimmin kehityskaarensa alkupuoliskolla. Vähitellen, puulajista ja kasvupaikasta riippuen, kasvu tasaantuu ja kulminoituu puiden biologisen iän karttuessa. Päätös uudistamisajankohdasta voi olla perusteltavissa monin tavoin. Metsänhoitosuosituksen ajankohdat kertovat keskimääräisen, taloudellisestikin kannattavan ajankohdan. Metsänomistajan omien tavoitteiden, maisema-, virkistys- ja monimuotoisuusarvojen lisäksi metsän kunto ja elinvoimaisuus ovat keskeisiä tekijöitä.

Talousmetsässä uudistuskypsyys määritellään useimmiten taloudellisin perustein, jolloin puusto pätehdakataan silloin kun metsän uudistaminen on kannattavampaa kuin puuston edelleen kasvataminen. Taloudellisesta näkökulmasta metsikkö saavuttaa uudistuskypsyyden yleensä biologista kasvun taantumista aikaisemmin. Tämä riippuu metsänomistajan tuottovaatimuksesta: mitä korkeampi tuottovaatimus (laskentakorkokanta), sitä aikaisemmin metsikkö kannattaa uudistaa. Rauduskoivikoissa Etelä-Suomessa voidaan saavuttaa uudistamiskypsyys jo vajaassa 50 vuodessa, kun taas karulla kasvupaikalla Pohjois-Suomessa männikön kiertoaika voi olla reilusti yli 100 vuotta. Ojitetuilla turvemailla ikä on huono indikaattori kuvaamaan metsikön tilaa, sillä useimmiten puustossa on sekä ennen ojitusta että sen jälkeen syntyneitä puita. Siksi puuston järeyden sopii turvemailla paremmin uudistamiskypsyyden arviointiin kuin ikä. Turvemaapuustojen vaihteleva puustorakenne, runkojen laatu ja pienehkö tukkiosuus johtavat useimmiten kivennäismaita jonkin verran varhaisempiin päätehakkuisiin.

Puuston hakkuuarvossa tapahtuu hyppäyksiä puiden järeytyessä kuitupuukokoisista rungoista tukkipuun mitat täyttäväksi. Tähän arvokasvuun voi vaikuttaa myös runkojen järeyden mukaan porrastettu hinta, ns. runkohinnoittelu. Metsikön vuotuisen arvokasvun suhdetta puuston sen hetkiseen arvoon, eli suhteellista arvokasvua, käytetään yhdessä metsänomistajan asettaman tuottovaatimuksen kanssa päätehakkuun taloudellisesti kannattavan ajankohdan määrittämiseen.

Elinvoimainen ja hyvälaatuinen puusto, lähiaikoina ylittyvät arvokynnykset sekä järeälle puulle maksettava parempi hinta puoltavat kiertoajan pidentämistä. Useimmiten kiertoajalle tällöin lisätään yksi harvennus. Varttuneen puuston reagointi harvennukseseen on kuitenkin hitaampaa ja vähäisem-

pää kuin nuoremman, joten harvennuksella ei saavuteta enää vastaavaa kasvunlisäystä kuin aikaisemmissa harvennuksissa. Kiertoajan pidentäminen lisää tuhoriskejä jonkin verran, männiköissä vähemmän kuin kuusikoissa. Koivikot ovat lyhytikäisempiä ja altistuvat laholle ikääntyessään, joten niille kiertoajan pidentämistä ei juurikaan suositella.

Mikäli järeyks ei vaikuta tukkipuun hintaan, ei päätehakkuuta yleensä kannata viivyttää. Vaikka puuston vuotuinen kasvu hoidetussa metsässä säilyy suhteellisen vakaana pitkään, niin pidentyneen kiertoajan vaikutusta kannattavuuteen on, korkokannasta riippuen, vaikea kattaa. Yleisesti ottaen suurempi korkovaade johtaa lyhyempiin kiertoaikoihin.

Heikkolaatuisen puuston kasvattamista ei kannata pidentää. Esimerkiksi turvemaiden ensimmäisen ojituksen jälkeisen puusukupolven joukossa on huonokuntoisia ja huonosti kasvavia puustoja, jotka kannattaa päätehakata viivyttämättä ja muuttaa metsiköt kasvuisiksi taimikoiksi. Niiden uudistaminen muuttaa ikä- ja kokorakenteeltaan vaihtelevat metsät tasaikäisemmiksi ja tasarakenteisemmiksi, jolloin toisen puusukupolven voi odottaa tuottavan ensimmäistä enemmän, mikäli kasvupaikan ravinne- tai vesitalous ei rajoita puuston kasvua. Turvemaiden tarkkaan mietittävä, millaisin menetelmin uudistaminen kannattaa toteuttaa, sillä kaikkein karuimmilla kasvupaikoilla on alueita, joilla uuden metsän perustaminen ei ole lainkaan kannattavaa (ks. luku 5.2).

4.4. Riskit ja tutkimustarpeet

Kuusikoiden ja männiköiden kasvatuksen merkittävin riski on juurikäpää. Riski juurikäävän leviämiseen kasvaa aina kun metsikköön syntyy tuoreita kantopintoja ja korjuuvaurioita. Juurikäävän itiöt saattavat kannot ja juuriyhteyksien myötä käpää leviää lahottamaan pystypuustoa. Riskin pienentämiseksi harvennushakkuut tulisi tehdä mahdollisuuksien mukaan talvisaikaan ja kesäaikaisissa hakkuissa tehdä juurikäävän torjunta. Torjuntaa suositellaan niin harvennushakkuissa kuin päätehakkuussakin. Harvennuskertojen vähentäminen vähentää myös juurikäävän leviämismahdollisuuksia.

Voimakkaiden harvennusten seurauksena metsikön tuuliolosuhteet muuttuvat voimakkaasti ja heti harvennuksen jälkeen puut ovat alttiina tuuli- ja lumituhoille. Harvennuksen jälkeen puut vahvistavat ensin juuristoa ja latvustoa ja sen jälkeen lisäävät tyven paksuuskasvua, jolloin puiden vastustuskyky kovalle tuulelle ja lumikuormalle kasvaa. Turvemaiden harvennukset vähentävät haihduttavan puuston määrää. Liian suuri poistuma voi huonokuntoisen ojituksen alueilla aiheuttaa pohjaveden pinnan nousua ja puiden kasvun hidastumista. Riittävän puustopääoman säilyttäminen harvennusten oikealla ajoituksella ja voimakkuudella vähentää kunnostusojitusten tarvetta.

Hoitamattomissa ja yli-ikäisissä metsissä puiden elinvoimaisuus on heikentynyt ja niillä on alentunut vastustuskyky taudeille. Hoitamattomat metsät ovatkin alttiita niin sieni- kuin hyönteistuhouillekin.

Puuston kasvukunnon ylläpitämistä ja parantamista metsänhoitotoimenpitein on tutkittu Suomessa paljon. Tutkimukset ovat perustuneet vahvasti maastokokeisiin ja niiltä mitattuihin tietoihin. Luonteenomaista puuston kasvututkimukselle on, että tarkastelujaksot ovat vuosikymmeniä pitkät. Tutkimusta tarvittaisiin kuitenkin lisää mm. nuorten kuusikoiden metsänhoidosta, jossa kehittyneet uudistamismenetelmät ja jalostettu taimimateriaali ovat johtaneet aiempaa nopeampaan taimikoiden alkukehitykseen. Nyt tulisi selvittää taimikonhoidon ja ensiharvennuksen käsittelysuositukset tällaisiin hoidettuihin nopeakasvuisiin viljelymetsiin. Turvemaiden metsänkasvatuksen suurimpia tutkimustavoitteita on toisen puusukupolven taimikoiden syntymisen ja alkukehityksen sekä varttuneen puuston kasvun ja tuotoksen mallintaminen. Ongelmana on vanhojen ojitusaluiden tulevan puuntuotoskyvyn arvioiminen, koska kaikki tähänastiset laskelmat perustuvat ensimmäisen ojituksen jälkeisen puusukupolven kasvu- ja tuotosmalleihin. Lisäksi tutkimusta tarvittaisiin ravinnetalouden korjaustoimenpiteiden oikeaksi ajoittamiseksi.

Lähteet

- Assmann, E. 1970. The Principles of Forest Yield Study – Studies in the Organic Production. Structure. Increment and Yield of Forest Stands. Pergamon Press. 506 s.
- Hamberg, L. & Hantula, J. 2016. The efficacy of six elite isolates of the fungus *Chondrostereum purpureum* against the sprouting of European aspen. *Journal of Environmental Management* 171: 217–224.
- Hamberg, L., Malmivaara-Lämsä, M., Löfström, I. & Hantula, J. 2014. Effects of a biocontrol agent *Chondrostereum purpureum* on sprouting of *Sorbus aucuparia* and *Populus tremula* after four growing seasons. *Bio Control* 59(1): 125–137.
- Huuskonen, S. & Ahtikoski, A. 2005. Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutus kuivahkon kankaan männiköiden tuotokseen ja tuottoon. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2005: 99–115.
- Huuskonen, S. & Hynynen, J. 2006. Timing and intensity of precommercial thinning and their effects on the first commercial thinning in Scots pine stands. *Silva Fennica* 40(4): 645–662.
- Huuskonen, S., Hakala, S., Mäkinen, H., Hynynen, J. & Varmola, M. 2014. Factors influencing the branchiness of young Scots pine trees. *Forestry* 87: 257–265.
- Hynynen, J. & Arola, M. 1999. Ensiharvennuksajankohdan vaikutus hoidetun männikön kehitykseen ja harvennuksen kannattavuuteen. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1999: 5–23.
- Hynynen, J., Repola, J. & Mielikäinen, K. 2011. The effects of species mixture on the growth and yield of mid-rotation mixed stands of Scots pine and silver birch. *Forest Ecology and Management* 262 (7): 1174–1183.
- Hämäläinen, J., Strandström, M., Saarinen, V-M., Hynynen, J., Saksa, T. & Hyyti, H. 2013. Koneellisen taimikonhoidon kustannustehokkuuden parantaminen. *Metsätehon raportti* 228: 27 s.
- 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.
- Jylhä, P., Hytönen, J. & Ahtikoski, A. 2015. Profitability of short-rotation biomass production on mixed downy birch stands on cut-away peatlands in northern Finland. *Biomass and Bioenergy* 75 : 272–281.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.02.027>
- 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.
- Kukkonen, M. 2011. Varhaisperkauksen onnistuminen arviointi ja tulevan perkaustarpeen ennustaminen koneellisesti kitketyissä kuusen (*Picea abies*) taimikoissa. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, metsätieteen pro gradu -tutkielma. 57 s. http://epublications.uef.fi/pub/urn_nbn_fi_uef-20110051/urn_nbn_fi_uef-20110051.pdf
- Mielikäinen, K. & Valkonen, S. 1991. Harvennustavan vaikutus varttuneen metsikön tuotokseen ja tuottoihin Etelä-Suomessa. *Folia Forestalia* 776: 3–22.
- Mielikäinen, K. & Valkonen, S. 1995. Kaksijaksoisen kuusi-koivu sekametsän kasvu. *Folia Forestalia* 2/1995: 81–97.
- Miina, J. & Saksa, T. 2013. Perkauksen vaikutus männyn kylvö- ja luontaisen taimikon kehitykseen ja taimikonhoidon ajanmenekkiin. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2013: 33–44.
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. 2004a. Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland. *Forest Ecology and Management*. 201: 311–325.
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. 2004b. Thinning intensity and growth of Norway spruce stands in Finland. *Forestry* 77(4): 349–364.
- Niemistö, P. 2013. Effect of growing density on biomass and stem volume growth of downy birch stands on peatland in Western and Northern Finland. *Silva Fennica* 47(4) article id 1002. 24 s.
- Niemistö, P. 1997. Ensiharvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutus istutetun rauduskoivikon kasvuun ja tuotokseen. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/1997: 439–454.
- Saksa, T. & Miina, J. 2010. Perkaustavan ja -ajankohdan vaikutus männyn istutustaimikon kehitykseen Etelä-Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2010: 115–127.
- Saksa, T., Miina, J. & Uotila, K. 2016. Taimikonhoito – tavoitteet, menetelmät ja kustannukset. Metsäkustannus Oy. 128 s.
- Uotila, K., Saksa, T., Rantala, J. & Kiljunen, N. 2014. Labour consumption models applied to motor-manual precommercial thinning in Finland. *Silva Fennica* 48(2). article id 982 14 s.
- Varmola, M. & Salminen, H. 2004. Timing and intensity of precommercial thinning in *Pinus sylvestris* stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19: 142–151.
- Vuokila, Y. 1972. Taimiston käsittely puuntuotannolliselta kannalta. *Folia Forestalia* 141. 37 s.

5. Puubiomassan uudet tuotantomahdollisuudet

Keskeistä

- Lyhytkiertoviljelyllä voidaan tuottaa merkittäviä määriä puubiomassaa pienilläkin pinta-aloilla. Puulajeina voidaan käyttää mm. pajuja, hieskoivua, harmaaleppää sekä hybridihaapaa.
- Heikkotuottoisista ojitusalueista osalla biomassan tuotosta voidaan lisätä uudistamalla ja lannoittamalla. Puustobiomassaa voidaan tuottaa myös turvetuotannosta vapautuvilla suonpohjilla.
- Erikoispuulajit, kuten siperianlehtikuusi, kontortamänty, visakoivu, tervaleppä, hybridihaapa ja jalot lehtipuut tuottavat ensisijaisesti arvokasta raaka-ainetta erikoistarkoituksiin, mutta tarvittaessa osalla niistä on potentiaalia myös biomassan tuotantoon.

5.1. Lyhytkiertoviljely

Jyrki Hytönen, Anneli Viherä-Aarnio, Egbert Beuker ja Paula Jylhä

5.1.1. Tavoitteet

Puiden lyhytkiertoviljelyllä tavoitellaan korkeaa puubiomassan tuotosta energiaksi tai muuhun käyttöön kasvattamalla nopeakasvuisia, vesoista uudistuvia lehtipuulajeja lyhyin kiertoajoin tiheissä kasvatusasunnoissa ja käyttäen voimaperäisiä, pitkälle koneellistettuja viljely-, kasvatus- ja korjuumenetelmiä.

Lyhytkiertoviljelyyn sopivilta puulajeilta edellytetään kasvitautien ja tuholaisien kestävyttä sekä sopeutumista vaihteleviin ilmasto-olosuhteisiin. Suomessa lyhytkiertoviljelyyn soveltuvat erityisesti pajut, hieskoivu, harmaaleppä sekä haapa ja hybridihaapa tai muut poppelilajit. Nämä puulajit eroavat toisistaan huomattavasti kiertoajan, kasvupaikkavaatimusten, uudistamis-, kasvatus- ja korjuumenetelmien sekä tuotetun biomassan ominaisuuksien ja käyttökohteiden suhteen.

5.1.2. Uusia alueita lyhytkiertoviljelyyn

Lyhytkiertoviljelyyn soveltuvia kasvupaikkoja on runsaasti, mutta tarkkaa arviota pinta-aloista ei ole. Raaka-ainepotentiaalia voitaisiin lisätä valjastamalla esimerkiksi turvetuotannosta vapautuvia suonpohjia, epäonnistuneita pellonmetsitysaloja, ravinne-epätasapainosta kärsiviä suometsiä sekä metsäautoteiden reunoja puubiomassan intensiivituotantoon. Turvetuotannosta vapautuvista suonpohjista (nyt 40 000 ha ja 44 000 ha lisää vuoteen 2020 mennessä) suuri osa voisi soveltua puubiomassan tuotantoon (Kuva 29). Peltojen metsityksistä (yhteensä yli 250 000 ha) osa on epäonnistunut ja niitä voitaisiin siirtää lyhytkiertoviljelyyn. Myös viljelemättä jääneitä, luontaisesti metsittyviä peltoheittoja on runsaasti. Biomassan tuotantoon sopisi myös osa ravinne-epätasapainosta, erityisesti kaliumin niukkuudesta kärsivistä soista, joita on arvioitu olevan yli 500 000 ha. Lisäksi osalla metsäautoteiden (350 000 km) reunoista ja voimajohtolinjojen alla olevista maista (yhteensä noin 50 000 ha) voitaisiin tuottaa biomassaa lyhyin kiertoajoin. Ravinteikkailla ojitetuilla soilla voitaisiin kasvattaa lyhyellä kiertoajalla hieskoivua ja kangasmailla harmaaleppää ja hybridihaapaa. Esimerkiksi maatalousmaat ja turvetuotannosta vapautuneet suonpohjat soveltuvat pajuksen intensiivikasvatukseen, sillä pistokkai-

den istutus ja sadonkorjuu tehdään koneilla, jotka vaativat tasaisen ja kivettömän alustan. Muun muassa Ruotsissa pajuviiljelmiä on perustettu pääasiassa maatalousmaille.

5.1.3. Pajut lyhytkiertoviljelyssä

Pajujen hyvä juurtuminen pistokkaista mahdollistaa helpon viljelymateriaalin monistuksen, kloonatun jalostetun materiaalin käytön ja viljelyn koneellistamisen. Pajut kestävät hyvin toistuvia sadonkorjuita tuottaen korjuun jälkeen runsaasti kantovesoja. Pajujen kiertoaika on lyhyt, 3–5 vuotta, ja viljelmän tuotantoaikana pidetään yleensä 20–25 vuotta. Viljelyn ja kasvatuksen tekniikka ja menetelmät tunnetaan jo varsin hyvin, joten pajuviiljely voitaisiin aloittaa laajemmassa mittakaavassa myös Suomessa.

Pajujen lyhytkiertoviljelyä tutkittiin aktiivisesti Suomessa 1980–90-lukujen energiametsäohjelmien aikana (esim. Hytönen 1996). Ruotsissa 1980-luvulla alkanut tutkimus- ja jalostustyö jatkuu edelleen, ja maassa on jo kaupallista pajuntuotantoa. Pajuviiljelmää on Suomessa vielä hyvin vähän (noin 100 ha) verrattuna Ruotsiin (10 600 ha), Tanskaan (5 500 ha) ja moniin muihin maihin (Heino ja Hytönen 2016). Suomessa viljelyalan laajentamisen esteenä on heikon kannattavuuden lisäksi ilmastomme sopivien kestävien ja riittävän tuottoisien pajulajikkeiden puute. Ruotsalaisten lajikkeiden soveltuvuus on epävarmaa jo Keski-Suomen ilmasto-olosuhteissa. Viljelyala näyttäisi Suomessa kuitenkin kasvavan.

Pajuviiljelmien biomassatuotos voi olla hyvin korkea. Suomessakin on raportoitu yli 13 kuivamassatonta vuosituotoksia hehtaarilla, Ruotsissa vielä huomattavasti korkeampia lukuja. Käytännön viljelmillä tuotostaso on kuitenkin ollut huomattavasti heikompi kuin intensiivisesti hoidetuilla koeviljelmillä (Mola-Yudego ym. 2015). Ruotsissa käytännön pajuviiljelmien (2082 viljelmää) vuotuinen biomassatuotos oli ensimmäisen kiertoajan jälkeen 4,2–4,5 kuiva-ainetonna hehtaarilla (Mola-Yudego ja Aronsson 2008), mikä olisi mallilaskelmien mukaan saavutettavissa Suomessakin jo ensimmäisenä kiertoaikana (Mola-Yudego ym. 2016). Tuotosta ja viljelyvarmuutta voidaan lisätä kehittämällä Suomen ilmastoon soveltuvia pajulajikkeita, mihin on aiemmin pyritty risteyttämällä kotimaisia kestäviä ja ulkomaisia nopeakasvuisia klooneja (Viherä-Aarnio 1988, 1989, 1991, Viherä-Aarnio ja Saarsalmi 1994).



Kuva 29. Energiapajua suonpohjalla Haapavedellä. (Kuva Olli Reinikainen)

5.1.4. Harmaaleppä uusi puulaji lyhytkiertoviljelyyn

Harmaaleppä on nopeakasvuinen pioneeripuulaji ja yksi mielenkiintoisimmista biomassantuotantoon soveltuvista puulajeista (Kuva 30). Leppää pidetään maabiologisesti arvokkaana puulajina typensidontakykynsä ansiosta. Harmaalepikoiden on arvioitu sitovan typpeä vuosittain 42–150 kg ha⁻¹. Leppä uudistuu hyvin kanto- ja juurivesojen avulla ja kasvaa nopeasti nuorella iällä, mutta erityisesti sen typpiomavaraisuus ja vähäinen alttius nisäkästuhoilille ovat etuja muihin lyhytkiertopuulajeihin verrattuna. Luontaisesti syntyneiden yli 10-vuotiaiden harmaalepikoiden lehdetön keskimääräinen vuotuisen biomassatuotos on samantasoinen kuin tiheissä hieskoivikoissa (noin 3–4 t ha⁻¹ a⁻¹) (Hytönen ja Saarsalmi 2015a,b). Harmaalepän jalostuksella on arvioitu päästävän keskimäärin jopa 6–7 t ha⁻¹ a⁻¹ biomassantuotokseen 25 vuoden kiertoaikana (Rytter ja Rytter 2016). Lepän optimaalista kiertoaikaa ei tarkoin tunneta, mutta se lienee noin 15–20 vuotta. Pienpuun korjuumenetelmien kehittymisen myötä harmaalepän hyödyntämismahdollisuudet ovat parantuneet. Harmaalepän kasvatusta, kasvatuksen kannattavuutta, biomassan tuotosta, ja ravinteiden käyttöä sekä pelloilla että suonpohjilla pitäisikin tutkia lisää. Suomeen tulisi perustaa pilottiviljelmiä, joilla testattaisiin harmaaleppää biomassantuotannossa.



Kuva 30. Harmaaleppävesakkoa Juuassa. (Kuva Seppo Vihanta)

5.1.5. Hieskoivua lyhyellä kiertoajalla

Hieskoivun biomassakasvatusta on tutkittu erityisesti turvetuotannosta vapautuneilla suonpohjilla yhteistyönä turvetuottajien kanssa. Tiheä hieskoivikko saadaan aikaan edullisesti tuhkalannoitetulle suonpohjalle joko kylvämällä tai antamalla maan koivuttua luontaisesti (Hytönen ym. 2016). Suonpohjilla (tuhka)lannoitus tai maanmuokkaus on yleensä välttämätön. Nykyisin suonpohjille jätetään vain ohut kerros jäännösturvetta, joten koivut saavat myöhemmin kivennäisravinteita pohjamaasta. Siksi jatkolannoitusta ei todennäköisesti tarvita. Luontaisesti suonpohjille syntyneistä hieskoivikoista on mitattu 3–4 tonnin keskimääräisiä vuotuisia biomassatuotoksia, kun metsiköiden ikä on ollut yli 15 vuotta (Hytönen ym. 2014, Jylhä ym. 2015). Tuotostaso on samaa luokkaa Ruotsissa kaupallisilla pajuviiljelmillä mitattujen tuotosten kanssa (Mola-Yudego ym. 2015), mutta tuotantopanokset ovat huomattavasti pienemmät.

Korjuukustannukset ovat tärkein biomassan lyhytkiertotuotannon kannattavuuteen vaikuttava tekijä. Tiheä nuorehko koivikko voidaan korjata kustannustehokkaasti avohakkuulla esimerkiksi jatkuvatoinimisella keräilykaatolaitteella (Jylhä ja Bergström 2016). Avohakkuun jälkeen koivikot näyttävät uudistuvan hyvin kantovesoista, ja vesojen alkukehitys on ollut huomattavasti nopeampaa kuin siemensyntyisillä taimilla (Hytönen ym. 2016). Tuhkalannoitus on lisännyt vesojen kasvua jopa 50 prosentilla (Hytönen ja Aro 2012). Toistuvan vesauudistumisen onnistumisesta ja siihen liittyvistä riskeistä tiedetään kuitenkin vielä vähän.

Energiabiomassan tuotanto lyhyellä kiertoajalla suonpohjilla voi olla nykyisellä metsähakkeen hintatasolla kannattavaa ilman tukia jopa Pohjois-Suomessa (Jylhä ym. 2015). Kiertoaika vaikuttaa kuitenkin merkittävästi kannattavuuteen. Näyttää siltä, että kiertoajan tulisi olla vähintään 20 vuotta. Tällöin puusto on järeytynyt ja hakkuukertymä kasvanut niin, että puunkorjuu voidaan tehdä kustannustehokkaasti. Suometsissä hieskoivikoiden harvennusvaste on yleensä heikko (Niemistö 2013). Hieskoivun massakasvatus onkin joustava tuotantomuoto, sillä päätös korjuuajankohdasta ja korjuutavasta voidaan tehdä markkinatilanteen sekä kuitu- ja energiapuun hintasuhteiden mukaan.

Koivun lyhytkiertoviljelyllä voitaisiin lisätä biomassan tuotantoa huomattavasti (Kuva 31). Esimerkiksi turvetuotannosta vapautuvilla suonpohjilla voitaisiin tuottaa 20 vuoden kuluttua 140 000 kuiva-ainetonna (noin 300 000 m³) biomassaa vuodessa (koivulle 2 000 ha⁻¹a⁻¹, tuotos 3,5 t ha⁻¹a⁻¹, kiertoaika 20 vuotta). Mikäli 20 %:lla metsäautoteiden reunoista (5 m kaistale) kasvatettaisiin luontaisesti syntyvää puustoa, biomassaa voisi kertyä noin 122 500 kuivatonna (noin 260 000 m³) vuodessa. Lisäksi hieskoivun lyhytkiertoviljelyyn sopivia kasvupaikkoja voisivat olla epäonnistuneet turvepeltojen metsitykset ja pitkään viljelystä pois olleet peltoheidot. Biomassan tuotantoa voitaisiin tehostaa myös siirtymällä lyhytkiertoviljelyyn osassa Suomen koivuvaltaisista suometsistä, joita on yhteensä noin 570 000 hehtaaria.

Vaikka hieskoivun lyhytkiertoviljely vaikuttaa lupaavalta biomassan tuotantomenetelmältä, ennen sen laajamittaista käyttöönottoa tarvitaan kuitenkin lisää tietoa mm. koivutiheiköiden puunkorjuumenetelmistä, kannattavuudesta, koivun toistuvasta vesottamisesta ja vesojen kasvusta verrattuna siemensyntyisiin puihin. Perustettaessa ensimmäinen sukupolvi kylvämällä voidaan todennäköisesti lisätä tuotosta jalostetun aineiston tai jonkin verran eteläisempää siemenalkuperää olevan aineiston käytöllä (Viherä-Aarnio 2009). Koeviljelmillä tulisikin testata eri siemenalkuperien menestymistä ja tuotosta etenkin pohjoisilla alueilla.



Kuva 31. Luontaisesti syntynyt hieskoivutiheikkö Limingan Hirvinevalla. (Kuva Jorma Issakainen)

5.1.6. Hybridihaapa lyhytkiertoviljelyssä

Hybridihaapa (*Populus x wettsteinii*) on kotimaisen haavan ja amerikanhaavan nopeakasvuinen keinollinen lajiristeytymä. Hybridihaapaviljelmät perustetaan nykyisin hyvin menestyneistä risteytysperheistä valituilla mikrolisätyillä kloonitaimilla (Hynynen ym. 2002), mutta monistaminen voidaan tehdä myös edullisemmalla juuripistokasmenetelmällä (Konttinen 2005, Stenvall 2006). Hybridihaavan taimia istutetaan yleensä noin 1 200 tainta hehtaarille, ja puustoa kasvatetaan noin 20 vuotta ilman harvennuksia. Toinen ja mahdollisesti seuraavatkin sukupolvet saadaan syntymään vesoista, sillä kaadon jälkeen hybridihaapa tuottaa kymmeniä tuhansia juurivesoja hehtaarille (McCarthy ja Rytter 2015).

Hybridihaapa menestyy parhaiten rehevillä metsämailla ja entisillä pelloilla, joissa pH on korkea ja vesitalous kunnossa. Ilmastotekijät voivat rajoittaa hybridihaavan viljelyä, koska viljelyyn monistetun aineisto on usein taustaltaan melko eteläistä. Hybridihaapa on myös hyvin altis nisäkästuhaille, joten viljelmät on aidattava hirviltä sekä suojattava myyriä ja jäniksiä vastaan, mikä lisää kustannuksia ja heikentää viljelyn kannattavuutta. Aiemmat käytännön viljelykset epäonnistuivat usein huonon kasvupaikan, puutteellisen alkuhoidon, viljelyaineiston väärän alkuperän tai nisäkästuhojen vuoksi (Viherä-Aarnio 1999).

Ensimmäisen sukupolven hybridihaapaviljelmän tuotos voi olla parhaimmillaan yli $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ kasvatettaessa valittua kloonitaimia hyvällä kasvupaikalla (Beuker 2016). Juurivesoista kasvatettavan toisen sukupolven hybridihaavikon tuotos voi olla tätäkin suurempi, mutta toistaiseksi aiheesta on vain vähän tutkimustietoa (Kuva 32). Hybridihaavan lisäksi myös muut poppelilajit (esimerkiksi jättipoppele, *P. trichocarpa*) voisivat Suomessakin soveltua lyhytkiertoviljelyyn, sillä niistä on saatu koeviljelmillä hyviä tuloksia. Lisäksi poppelien monistus on helpompaa kuin hybridihaavan.



Kuva 32. Vuoden ikäinen hybridihaapavesakko Vilppulassa. (Kuva Aimo Jokela)

5.1.7. Mahdollisuudet, riskit ja tutkimustarpeet

Lyhytkiertoviljelyllä voitaisiin tuottaa merkittäviä määriä puubiomassaa pienilläkin pinta-aloilla intensiivisillä kasvatusmenetelmillä. Menetelmään voi yhdistyä kierrätysravinteiden käyttö (esimerkiksi tuhkat ja lietteet) ja vaikkapa vesien puhdistus ja haihdutus. Ruotsissa ja Keski-Euroopassa energiapajujen tuotanto on jo siirtynyt käytännön mittakaavaan. Kiinnostus hieman pidempien kiertoaikojen käyttöön eri puulajien lyhytkiertoviljelyssä on lisääntynyt. Nykyistä pidemmällä kiertoajoilla saadaan suurempia puita ja enemmän biomassaa pinta-alayksikköä kohti, mikä alentaa korjuukustannuksia. Puulajien tuotosta ja ominaisuuksia on mahdollista parantaa jalostuksella. Viljelyaineiston valinnalla ja kasvatusmenetelmiä (istutustiheys, lannoitus, kiertoaika) vaihtelemalla voidaan säädellä biomassan laatua, kuten kuoren tai uuteaineiden määrää ja siten tuottaa eri tarkoituksia varten nopeasti raaka-ainetta. Lyhytkiertoviljelmien merkittävimmät epäonnistumisen riskit liittyvät ilmasto-olosuhteisiin ja biotisiin tuhoihin (tuholaiset, kasvitaudit), alkuperien ja kasvupaikkojen valintaan sekä alkuvaiheen hoidon laiminlyöntiin.

Lyhytkiertoviljelmien kasvatus- ja korjuuketjuissa sekä kannattavuudessa on vielä merkittäviä tietotarpeita. Keskeisiä aiheita ovat viljelyaineiston valinta ja jalostus, viljelmien perustaminen (etenkin vesauudistaminen), kasvatuksen riskit, tuotannon energiatehokkuus, kustannukset ja kannattavuus. Erilaisia käyttötarpeita silmällä pitäen tarvitaan lisää tietoa myös mahdollisuuksista vaikuttaa biomassan ominaisuuksiin viljelyaineiston valinnalla ja muuntelemalla esimerkiksi kasvatustiheyttä ja kiertoaikaa. Nämä tekijät vaikuttavat myös lyhytkiertoviljelyn kannattavuuteen.

Lähteet

Paju

- Heino, E. & Hytönen, J. 2016. Pajunviljelyn pinta-ala Suomessa vuonna 2015. Summary: Willow cultivation area in Finland 2015. *Sorbifolia* 47(1): 12–15.
- Hytönen, J. 1996. Biomass production and nutrition of short-rotation plantations. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 586. Väitöskirja. 61 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1494-4>
- Mola-Yudego, B. & Aronsson P. 2008. Yield models for commercial willow plantations in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 32: 829–837.
- Mola-Yudego, B., Rahlf, J., Astrup, R. & Dimitriou, I. 2016. Spatial yield estimates of fast-growing willow plantations for energy based on climatic variables in northern Europe. *Global Change Biology. Bioenergy*. 13 s. doi: 10.1111/gcbb.12332
- Mola-Yudego, B., Díaz-Yáñez, O. & Dimitriou, I. 2015. How Much Yield Should We Expect from Fast-Growing Plantations for Energy? Divergences between experiments and commercial willow plantations. *Bioenergy Research* 8: 1769–1777. DOI 10.1007/s12155-015-9630-
- Viherä-Aarnio, A. 1988. Willow breeding in the Finnish Forest Research Institute. Julkaisussa: International Energy Agency, Proceedings from Willow Breeding Symposium Uppsala, August 31 – September 1, 1987. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Genetics, Research Notes 41: 35–39.
- Viherä-Aarnio, A. 1989. Pajut jalostuksen kohteena. Metsäntutkimuspäivä Tuusulassa 1989. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 328: 77–86. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1051-5>
- Viherä-Aarnio, A. 1991. Overview of willow (*Salix* spp. L.) breeding in Finland. Julkaisussa: Breeding of broad-leaved trees and micropropagation of forest trees. Proceedings of the Meeting of the Nordic Group for Tree Breeding in Finland. *Metsänjalostussäätiön tiedonantoja* 1: 81–88.
- Viherä-Aarnio, A. & Saarsalmi, A. Growth and nutrition of willow clones. *Silva Fennica* 28(3): 177–188.

Hieskoivu

- Hytönen, J., Ahtikoski, A., Aro, L. & Jylhä, P. 2016. Short-rotation downy birch for energy on cutaway peatlands: cultivation, harvesting and financial performance. *Suo* 67(1): 13–17.
- Hytönen, J. & Aro, L. 2012. Biomass and nutrition of naturally regenerated and coppiced birch on cutaway peatland during 37 years. *Silva Fennica* 46(3): 377–394.
- Hytönen, J., Aro, L., Beuker, E., Niemistö, P., Nurmi, J. & Saarsalmi, A. 2014. Hieskoivu, haapa ja leppä energiapuuna: kasvatusta, korjuuta ja ominaisuuksia. *Metlan työraportteja* 289: 47–63.
- Jylhä, P. & Bergström, D. 2016. Productivity of harvesting dense birch stands for bioenergy. *Biomass and Bioenergy* 88: 142–151.
- Jylhä, P., Hytönen, J. & Ahtikoski, A. 2015. Profitability of short-rotation biomass production on downy birch stands on cut-away peatlands in northern Finland. *Biomass and Bioenergy* 75: 272–281.
- Niemistö, P. 2013. Effect of growing density on biomass and stem volume growth of downy birch stands on peatland in Western and Northern Finland. *Silva Fennica* 47(4): 1–24.
- Viherä-Aarnio, A. 2009. Effects of seed origin latitude on the timing of height growth cessation and field performance of silver birch. *Dissertationes Forestales* 87. Väitöskirja. 57 s.

Harmaaleppä

- Hytönen, J. & Saarsalmi A. 2015a. Biomass production of coppiced grey alder and the effect of fertilization. *Silva Fennica* 49(1). Article id 1260. 16 s.
- Hytönen, J. & Saarsalmi, A. 2015b. Harmaaleppä energiapuuna. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2015: 153–164.
- Rytter, L. & Rytter, R-M. 2016. Growth and carbon capture of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) under north European conditions – Estimates based on reported research. *Forest Ecology and Management* 373: 56–65.

Hybridahaapa

- Beuker, E., Viherä-Aarnio, A. & Hynynen, J. 2016. Growth potential of first generation hybrid aspen plantations in southern Finland. Julkaisussa: "Poplars and other fast-growing trees – renewable resources for future green economics. International Poplar Commission 25th session, Berlin, Germany, 13-16 September 2016. Abstracts of submitted papers and posters. s. 118.

- Hynynen, J., Viherä-Aarnio, A. & Kasanen, R. 2002. Nuorten haapaviljelmien alkukehitys. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2002: 89–98.
- Konttinen, K. (toim.). 2005. Hybridihaavan taimien kasvatusta juuripistokkaista. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 938. 53 s.
- McCarthy, R. & Rytter, L. 2015. Productivity and thinning effects in hybrid aspen root sucker stands. *Forest Ecology and Management* 354: 215–223.
- Stenvall, N. 2006. Multiplication of hybrid aspen (*Populus tremula* x *P. tremuloides* michx.) from cuttings. *Dissertationes Forestalis* 33. 33 s + liitteet.
- Viherä-Aarnio, A. 1999. Hybridihaapa – 40 vuoden takaa uudeksi viljelypuuksi. Julkaisussa: Hynynen, J. & Viherä-Aarnio, A. (toim.). Haapa – monimuotoisuutta metsään ja metätalouteen. Vantaan tutkimuskeskuksen tutkimuspäivä Tammissaarella 12.11.1998. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 725: 13–23.

5.2. Heikkotuottoiset ojitusalueet ja suonpohjat

Raija Laiho, Lasse Aro ja Soili Kojola

On arvioitu, että 0,5–1 miljoonaa hehtaaria ojitetuista suometsistä on liian heikkotuottoisia kannattavaan puuntuotantoon (Kojola ym. 2015, Laiho ym. 2016). Suurin osa tästä alasta on Pohjois-Pohjanmaalla, Kainuussa ja eteläisessä Lapissa. Heikkotuottoisuuteen voi olla useita syitä. Tyypillisin syy on puiden käytettävissä olevan tyyppien niukkuudesta johtuva heikko tai olematon puuston kasvu. Tyyppien niukkuudesta johtuvaa heikkotuottoisuutta on erityisesti varpu- ja jäkäläturvekankailla Pohjois-Suomessa (Moilanen ym. 2010). VMI11-tulosten mukaan kaksi kolmasosaa kaikista heikkotuottoisista ojitusalueista on varpu- (54 %) tai jäkäläturvekankaita (12 %). Niiden saattaminen tuottavaksi metsämaaksi edellyttäisi maassa olevan tyyppien määrän lisäämistä. Typpilannoitus lisää puuston kasvua näillä kohteilla, mutta sen vaikutusaika on niin lyhyt, ettei se ole nykytilanteessa taloudellisesti järkevää (Moilanen 2005). Periaatteessa maahan voitaisiin myös lisätä jotakin orgaanista, paljon tyyppiä sisältävää ainesta samalla varmistuen, että myös muita välttämättömiä ravinteita on maassa tai lisättävässä aineksessa riittävästi. Orgaanisten jättemateriaalien käyttöä metsänlannoitteena rajoittavat lannoitevalmisteita koskevat säädökset.

Kasvupaikkatyyppien perusteella arvioituna noin kolmasosalla heikkotuottoisista ojitusalueista, eli karkeasti 160 000–330 000 hehtaaria, heikkotuottoisuus johtuu jostakin muusta kuin tyyppien niukkuudesta. Syynä voi olla jokin tuho, tehoton kuivatus tai, erityisesti alun perin hyvin märillä ja vähäpuustoisilla soilla, kivennäsravinteiden (lähinnä fosforin ja kaliumin) niukkuus (Kaunisto ja Tukeyva 1984, Moilanen ym. 2010). Tällaiset alueet olisi mahdollista saada puuta tuottaviksi metsänuudistamistoimilla ja/tai PK- tai tuhkalannoituksella (Kaunisto ja Tukeyva 1984). Poikkeuksena ovat kuitenkin alueet, joilla kuivatusta ei ole teknisesti mahdollista saada riittäväksi puuston kasvuunlähtöä varten esimerkiksi maaston vähäisen kaltevuuden tai kallioesteiden vuoksi.

Tällä hetkellä turpeennostosta vapautuneita suonpohjia on noin 40 000 hehtaaria, ja lähivuosina niiden pinta-alan arvioidaan kaksinkertaistuvan. Metsitys on ollut yleisin jälkikäyttömuoto 1990-luvulta lähtien. Metsitettyjen suonpohjien kokonaispinta-alaa ei kuitenkaan tiedetä. Suonpohjat ovat metsänkasvatuksen näkökulmasta hyvin kirjava joukko kasvupaikkoja, joiden puuntuotospotentiaali riippuu jäljellä olevan turpeen määrästä ja laadusta sekä pohjamaan (kivennäismaan) laadusta (Aro ym. 1997). Koko kiertoajan kattavaa tietoa puuntuotoksesta ja kannattavista metsänkasvatusketjuista suonpohjilla ei vielä ole, sillä vanhimpien koealueiden puustot ovat alle 55-vuotiaita, ja suurin osa koealueista on vapautunut turpeen korjuusta vasta 25–30 vuotta sitten. On kuitenkin jo selvää, että metsänkasvatukselle on eduksi, jos turvetta jätetään jäljelle mahdollisimman vähän, 15–30 cm, ja se sekoitetaan pohjamaan (Aro ym. 1997). Tuhkalannoitus on lisännyt puuston kasvua lupaavasti: taimikoissa pituuskasvu on kaksinkertaistunut (3–5 m → 5–9 m 15 vuodessa, Aro ja Kaunisto 1998) ja koivutiheiköissä biomassaa on kertynyt 21 vuodessa 33 tonnia hehtaarille enemmän kuin ilman lannoitusta (62 → 95 t ha⁻¹, Hytönen ja Aro 2012). Hienojakoisilla pohjamailla ei välttämättä tarvita edes

tuhkaa puuston kasvun ylläpitoon (Aro ym. 1997). Paksumpi turvekerros edellyttää aina (tuhka)lannoitusta, jotta suonpohjan metsittäminen onnistuu ja puuston kasvu on tyydyttävää (keskikasvu $6,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ 51 vuoden aikana, Aro ym. 2016). Tällaisilla kohteilla tarvitaan todennäköisesti toistuvia lannoituksia, ja myös toiminnasta aiheutuva vesistökuormitus voi muodostua suuremmaksi kuin ohutturpeisilla alueilla. Suonpohjat voisivat olla otollisia alueita biomassan lyhytkiertokasvatukseen, koska ne ovat kulkukelpoisia monenlaisille kalustoille, ja niillä on helppoa toteuttaa tehokas maanmuokkaus sekä tarvittavat lannoitukset. Biomassan tuotospotentiaali suonpohjilla voi olla 3,4–4,3 Mg ha⁻¹ vuodessa (Hytönen ja Aro 2012).

Lähteet

- Aro, L. & Kaunisto, S. 1998. Nutrition and development of 7–17-year-old Scots pine and silver birch plantations in cutaway peatlands. Julkaisussa: Malterer, T., Johnson, K. & Stewart, J. (toim.). Peatland Restoration and Reclamation. Techniques and Regulatory Considerations. Proceedings of the 1998 International Peat Symposium, Duluth, Minnesota USA. 109–114.
- Aro, L., Hotanen, J.-P. & Nousiainen, H. 2016. Suonpohjan viljavuuden arviointi turveanalyysin, kasvillisuuskuvausten ja puuston kasvun perusteella. *Suo* 67: 7–10.
- Aro, L., Kaunisto, S. & Saarinen, M. 1997. Suonpohjien metsitys. Hankeraportti 1986–1995. Summary: Afforestation of peat cutaway areas. Project report in 1986–1995. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 634. 51 s.
- Hytönen, J. & Aro, L. 2012. Biomass and nutrition of naturally regenerated and coppiced birch on cutaway peatland during 37 years. *Silva Fennica* 46: 377–394.
- Kaunisto, S. & Tuveva, J. 1984. Kalilannoituksen tarve avosoille perustetuissa riukuvaiheen männiköissä. *Folia Forestalia* 585. 40 s.
- Kojola, S., Niemistö, P., Salminen, H., Lehtonen, M., Ihalainen, A., Kiljunen, N., Soikkeli, P. & Laiho, R. 2015. Synthesis report on utilization of peatland forests for biomass production. *Cleen Oy Research report D 2.1.2*. 52 s. ISBN 978-952-5947-79-3
- Laiho, R., Tuominen, S., Kojola, S., Penttilä, T., Saarinen, M. & Ihalainen, A. 2016. Heikkotuottoiset ojitetut suometsät – missä ja paljonko niitä on? *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2016: 73–93.
- Moilanen, M. 2005. Suometsien lannoitus. Julkaisussa: Ahti E., Kaunisto S., Moilanen M. & Murtovaara I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 134–166.
- Moilanen, M., Saarinen, M. & Silfverberg, K. 2010. Foliar nitrogen, phosphorus and potassium concentrations of Scots pine in drained mires in Finland. *Silva Fennica* 44(4) article id 129. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.129>

5.3. Erikoispuulajit

5.3.1. Taustaa

Anneli Viherä-Aarnio

Pääpuulajiemme männyn, kuusen ja koivun vaihtoehtoina voidaan harkita kasvatettavaksi ns. erikoispuulajeja. Tärkeimmät erikoispuumme, jotka tässä yhteydessä esitellään tarkemmin, ovat siperianlehtikuusi, kontortamänty, visakoivu, tervaleppä, hybridihaapa sekä jalot lehtipuut. Erikoispuiden kasvatuksen tavoitteena on useimmiten, maisemallisten näkökohtien ohella, raaka-aineen tuottaminen erikoistarkoituksiin, mistä syystä niiden kohdalla joudutaan ottamaan huomioon myös puuaineen erilaisuudesta johtuvat markkinointikysymykset. Erikoispuulajit ovat usein kasvupaikan suhteen vaateliaampia kuin pääpuulajit, ja hyvään lopputulokseen pääsemiseksi niiden kasvatuksessa tarvitaan erityisosaamista. Erikoispuulajien puuaineen ominaisuudet eroavat siinä määrin pääpuulajien ominaisuuksista, ettei niillä yleensä voida korvata pääpuulajien käyttöä. Näin ollen ne eivät ole varsinaisen ratkaisu biojalostamoiden suuren mittakaavan raaka-ainetarpeeseen, mutta ne voivat tuottaa arvokasta raaka-ainetta muun muassa huonekalu- ja rakennuspuusepänteollisuudelle. Lisäksi niiden kasvatusta monipuolistaa metsämaisemaa ja lisää metsien biologista monimuotoisuutta. Mikäli kuitenkin halutaan voimaperäisesti lisätä biomassan tuotantoa, erikoispuulajeista löytyy potentiaalia siihenkin.

5.3.2. Siperianlehtikuusi

Jaakko Napola ja Teijo Nikkanen

Siperianlehtikuusi (*Larix sibirica* Ledeb.) on eniten viljelty vierasperäinen puulaji maassamme. Se on nopeakasvuinen ja viljelyvarma puulaji, jonka kasvatukseen ei sisälly suuria riskejä eteläisessä ja keskisessä Suomessa. Lainsäädännössä ja metsäsertifioinnissa siperianlehtikuusi rinnastetaan kotimaisiin puulajeihin.

Lehtikuusi sopii parhaiten lehtomaisille ja keskimääräistä paremmille tuoreille kankailla, erityisesti hikeville rinnemaille (Rantala ja Anttila 2004). Tiiviit savimaat ja soistuneet kasvupaikat eivät sovi lehtikuuselle. Siperianlehtikuusi kykenee kokonaistuotoksessa kilpailemaan Etelä-Suomen lehtomaisilla kasvupaikoilla kuusen ja koivun kanssa, ja se jatkaa hyvää kasvuaan vanhemmalle iälle kuin pääpuulajimme (Vuokila 1960). Lehtikuuselle on ominaista nopea ja voimakas järeytyminen. Mikään muu puulaji Suomessa ei tuota niin järeitä puuyksiköitä kiertoajan kuluessa kuin lehtikuusi (Gustavsen 1993). Ensimmäiset tukit hyvillä maapohjilla saadaan jo 20–25 vuoden iässä (Reinikainen 1997).

Suomessa on kasvatettu kokeiluluontoisesti myös muita lehtikuusilajeja, kuten euroopanlehtikuusta (*Larix decidua* Mill.) ja Itä-Siperiasta kotoisin olevaa dahurianlehtikuusta (*Larix gmelinii* Rupr.) sekä eri lehtikuusilajien välisiä risteymiä. Euroopanlehtikuusen kasvunopeus on samaa tasoa kuin siperianlehtikuusella. Molemmat lajit ovat parhaissa Metsäntutkimuslaitoksen viljelmissä Etelä-Suomessa saavuttaneet 70 vuoden iässä 36 metrin valtapituuden (Silander ym. 2000). Laadultaan ja kestävyydeltään euroopanlehtikuusi ei kuitenkaan ole siperianlehtikuusen veroinen. Dahurianlehtikuusi on kasvanut taimivaiheessa hyvin, ja sillä on ollut nisäkätuhoja vähemmän kuin siperianlehtikuusella (Lukkarinen ym. 2010). Eräät hybridilehtikuuset ovat osoittautuneet nopeakasvuiseksi: esimerkiksi euroopan- ja siperianlehtikuusen (*Larix decidua* x *sibirica*) hybridijälkeläistö on Punkaharjulla tuottanut 62 vuoden iässä 582 m³ ha⁻¹ (Silander ym. 2000). Risteymäsiementä on tuotettu pieniä määriä erityisessä kahden lehtikuusilajin siemenviljelyksessä (Nikkanen 1993).

Lehtikuusikko perustetaan tavallisesti istuttamalla. Taimikasvatukseen käytettävä siperianlehtikuusen siemen tuotetaan kotimaisilla siemenviljelyksillä (Lepistö ja Napola, 2005). Lehtikuusen taimien varhaiskehitys on nopeaa istutuksen jälkeen, joten rehevä pintakasvillisuus ei yleensä ehdi haitata

niitä siinä määrin kuin esimerkiksi kuusen taimia. Lehtikuusen valontarve on suuri. Metsikkö on harvennettava ajoissa, jotta latvukset eivät supistu liikaa. Ensiharvennus on tehtävä nopeakasvuimmisissa metsiköissä jo noin 20 vuoden iässä (Reinikainen 1997).

Lehtikuusikot perustetaan yleensä puhtaina yhden puulajin metsikköinä. Pieniläpimittaisella harvennuspuulla ei näillä näkymin ole menekkiä, mikä heikentää lehtikuusen kasvatuksen kannattavuutta. Sekametsikön perustaminen onkin harkinnanarvoinen vaihtoehto (Reinikainen 1997). Tällöin lehtikuusia istutetaan 400–600 kappaletta hehtaarille ja lisäksi istutetaan sekapuuksi koivua tai kuusta. Lehtikuusisekametsiköiden kasvatuksesta on kuitenkin toistaiseksi vähän kokemuksia Suomessa, joten tätä vaihtoehtoa ei voi varauksetta suositella.

Lehtikuusikoissa on syytä pyrkiä hyvälaatuisen tukkipuuston kasvatukseen. Pystykarsinta on usein välttämätön, kun halutaan tuottaa laatupuuta, sillä lehtikuusen alaoksat kuolevat varhain, mutta karsiutuvat toisinaan huonosti. Lehtikuusi soveltuu teknisten ominaisuuksiensa puolesta hyvin rakennusmateriaaliksi ja puusepänpuuksi, sillä sen puuaine on tiheää, kovaa ja lujaa. Sen sydänpuuta pidetään suunnilleen yhtä lahonkestävänä kuin männyn sydänpuuta (Venäläinen ym. 2001). Sydänpuun osuus on kuitenkin lehtikuusella suurempi kuin männyllä. Lehtikuusi sopii erityisen hyvin kohteisiin, joissa halutaan välttää kyllästysaineita (Tuimala 1993). Suomessa lehtikuusella on eniten kysyntää maa- ja vesirakennuspuuksi.

Lehtikuusi on ulkomaiseksi puulajiksi varsin kestävä erilaisia tuhoja vastaan. Toisin kuin ikivihreät havupuumme se kestää talvimyrskyjä melko hyvin eikä sen latvukseen kerry suuria lumikuormia. Hirvien syöntivaurioista lehtikuusi toipuu yleensä paremmin kuin mänty. Lehtikuusella on kuitenkin muutamia merkittäviä tuhoniheuttajia. Lehtikuusikoro, joka vaivaa etupäässä euroopanlehtikuusia, voi tarttua myös siperianlehtikuuseen, jos kasvupaikka on liian kostea. Lehtikuusi ei ole ratkaisu tyvilahokuusikoiden uudistamiseen, sillä kuusenjuurikäpää (*Heterobasidion parviporum*) pystyy sairastuttamaan myös lehtikuusen. Hyönteisistä vahingollisin lehtikuusen tuholainen on pikkuhavukirva (*Adelges laricis*) (Siitonen 1993). Havukirvat kuivattavat versoja ja voivat aiheuttaa suurta kuolleisuutta. Kirvatuhoja pidetään merkittävänä osasyynä lehtikuusen heikkoon menestykseen monin paikoin Pohjois-Suomessa (Ruotsalainen 1993, Viherä-Aarnio 1993).

Suomessa lehtikuusta kasvaa uusimpien valtakunnan metsien inventoinnin (VMI11) tietojen mukaan noin 34 000 hehtaarilla (Ihalainen 2016). Valtaosa on nuoria alle 40-vuotiaita viljelmiä, ja sitä vanhempia lehtikuusia löytyy 4 000 hehtaarilta. Lehtikuusen viljelyn pääpaino oli 1980-luvulla Pohjois-Suomessa, 1990-luvulta lähtien se on ollut Etelä- ja Keski-Suomessa.

Vanhin lehtikuusiviljelmä ja samalla Suomen vanhin viljelymetsä istutettiin Kiteelle vuosina 1842–1845, joskin jo sata vuotta aikaisemmin oli Karjalan Kannakselle perustettu myöhemmin laajalti tunnetuksi tullut Raivolan (Lintulan) lehtikuusimetsä (Redko ja Mälkönen 2001). Raivolasta kerättyä siementä alettiin käyttää siperianlehtikuusen viljelyssä Suomessa 1870-luvulta lähtien, aluksi lähinnä kruununpuistoissa, kuten Evolla ja Punkaharjulla (Kuva 33). Näihin puistoihin istutettiin samoihin aikoihin myös euroopanlehtikuusta. Suomen pisin puu onkin vuonna 1880 perustetussa euroopanlehtikuusikossa Punkaharjulla kasvava 47-metrinen puu. Vielä tätä suurempi, 51-metrinen siperianlehtikuusi kasvaa Raivolan lehtikuusimetsässä.



Kuva 33. Siperianlehtikuusia Punkaharjulla vuonna 1877 istutetussa Montellin lehtikuusikossa. (Kuva Teijo Nikkanen)

Lähteet

- Gustavsen, H. 1993. Siperianlehtikuusen kasvu ja tuotos. Julkaisussa: Moilanen, M. ja Murtovaara, I. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1992. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 464: 60–70.
- Ihalainen, A. 2016. Lehtikuusen viljelypinta-alat Suomessa. Luonnonvarakeskus. Sähköpostiviesti 26.10.2016
- Lepistö, M. ja Napola, J. 2005. Siperianlehtikuusi – viljely, käyttö ja jalostus. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2005: 186–193.
- Lukkarinen, A.J., Ruotsalainen, S., Nikkanen, T. & Peltola, H. 2010. Survival, height growth and damages of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) and Dahurian (*Larix gmelinii* Rupr.) larch provenances in field trials located in southern and northern Finland. *Silva Fennica* 44(5): 727–747.
<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf44/sf445727.pdf>
- Nikkanen, T. 1993. Risteymäsiementä kahden lehtikuusilajin siemenviljelykseltä. Julkaisussa: Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1992. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 464: 36–44.
- Rantala, S. & Anttila, T. 2004. Lehtikuusen kasvatus ja käyttö. Pihlaja-sarja nro 6. Metsälehti Kustannus. 110 s.
- Redko, G. & Mälkönen, E. 2001. Lintulan lehtikuusimetsä. Metsäntutkimuslaitos. 91 s.
- Reinikainen, J. (toim.) 1997. Lehtikuusi ja muut ulkomaiset havupuut. Metsälehti Kustannus. 172 s.
- Ruotsalainen, S. 1993. Päätelmiä lehtikuusihybridien kasvusta Torniojokilaaksossa. Julkaisussa: Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1992. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 464: 54–59.
- Siitonen, J. 1993. Lehtikuusen hyönteistuholaiset Suomessa. Julkaisussa: Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1992. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 464: 71–78.
- Silander, V., Lehtonen, J. & Nikkanen, T. 2000. Ulkomaisten havupuulajien menestyminen Etelä-Suomessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 787. 127 s.
- Tuimala, A. 1993. Lehtikuusipuun ominaisuudet ja käyttö. Julkaisussa: Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1992. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 464: 79–90.
- Venäläinen, M., Harju, A., Nikkanen, T., Paajanen, M., Velling, P. & Viitanen, H. 2001. Genetic variation in the decay resistance of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) wood. *Holzforschung* 55(1): 1–6.
- Vuokila, Y. 1960. Siperialaisten lehtikuusikoiden kehityksestä ja merkityksestä maamme metsätaloudessa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 52(5). 111 s.
- Viherä-Aarnio, A. 1993. Lehtikuusen provenienssikokeet Pohjois-Suomessa. Julkaisussa: Moilanen, M. ja Murtovaara, I. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1992. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 464: 9–19.

5.3.3. Kontortamänty

Seppo Ruotsalainen

Kontortamänty (*Pinus contorta* var. *latifolia*) on pohjoisamerikkalainen puulaji, jolla on havupuista suurin puuntuotoskyky valtaosalla Suomen metsämaasta. Sekä suomalaisten että ruotsalaisten tutkimusten mukaan sen tuotos on noin kolmanneksen kotimaista mäntyämme suurempi (Elfving ja Norgren 1993, Varmola ym. 2000). Sitä on viljelty Suomessa 1900-luvun alkupuolelta saakka ja parina ajanjaksona sillä on ollut pientä metsätaloudellistakin merkitystä (Kuva 34). Se on lehtikuusen jälkeen Suomen eniten viljelty vieraspuulaji, vaikka sen nykyinen viljelymäärä onkin aivan minimaalinen. Runkotilavuudella mitattuna kontortamänty on kuitenkin maamme merkittävin vieraspuulaji, sillä VMI10 tulosten mukaan sitä on metsissämme 1,1 miljoonaa kuutiometriä, eli enemmän kuin kaikkia muita vieraita puulajeja yhteensä (Korhonen ym. 2013). Ruotsissa sitä on viljelty 1970-luvulta alkaen yhteensä yli 600 000 hehtaaria ja sen viljelyä pidetään tehokkaimpana ja taloudellisesti kannattavimpana metsien puuntuotosta lisäävänä keinona (Rosvall ym. 2004, Simonsen ym. 2008).

Kontortamänty on erityisesti nuorella iällä nopeakasvuinen puulaji, joka on monien tuhojen suhteen mäntyä kestävämpi. Sen tuhonkestävyys johtuu osittain juuri nopeakasvuisuudesta – se on lyhyemmän aikaa alttiina monille lähellä maanpintaa vaaniville tuhoille (von Segebaden 1992). Se kasvaa kotimaisia puulajejamme paremmin sekä karuilla että rehevämmillä mailla, mutta turvemaille ja hienojakoiselle kivennäismaille se ei kuitenkaan sovellu suuren latvuksensa ja mäntyä pinnalliseman juuristonsa vuoksi, mikä altistaa sen myrskytuhoille. Kontortamänty on altis myyrätuhoille, joten heinittyvillä alueilla sitä ei kannata viljellä, vaikka se toipuu yllättävän hyvin pahankin näköisistä tuhoista.

Kontortamännyn viljelyssä on alkujaan tähdätty lähinnä kuitupuun tuottamiseen, mihin se mäntyä muistuttavien, osin jopa sitä parempien kuituominaisuuksiensa vuoksi hyvin soveltuukin (Hakkila ja Panhelainen 1970). Se ei kuitenkaan eroa sahatavaran laadussakaan merkittävästi vastaavissa oloissa viljellystä männystä (Persson 1993). Koska kontortamännyn puuaine muistuttaa laatuominaisuuksiltaan mäntyä, sitä voidaan käyttää sellun valmistuksessa sekapuuna tämän kanssa. Tällöin ei tule ongelmia vähäisestä viljelystä johtuvan pienen raaka-ainepohjan kanssa, kuten voi käydä puuaineeltaan poikkeavampien vieraiden puulajien kohdalla.

Sytä viime vuosien vähäiseen kontortamännyn viljelyyn ovat metsänomistajien epävarmuus sen käyttökelpoisuudesta sekä metsien sertifiointin asettamat rajoitukset vierasperäisten puulajien viljelylle, eivät niinkään lajin biologiset tai metsänhoidolliset ongelmat. Huolimatta FSC-sertifiointista, Ruotsissa viljellään edelleen kontortaa yli 5 000 hehtaaria vuodessa (Skogsstatistisk årsbok 2014). Ruotsissa on Suomea vastaavissa olosuhteissa tehty määrätietoista kontortan jalostustyötä, jonka tuloksena siellä on myös useita tuotantoiässä olevia siemenviljelyksiä (Rosvall ym. 1998). Meille sopivaa jalostettua viljelyaineistoa olisi siis helposti saatavilla, jos kontortamännyn käyttöä haluttaisiin Suomessa lisätä.



Kuva 34. Kontortamäntyviljelmä Punkaharjulla. Puut on istutettu vuonna 1937 neljävuotiailla taimilla ja kuvattu vuonna 2010. (Kuva Teijo Nikkanen)

Kylvön käyttö kontortamännyn viljelyssä on yleistynyt Ruotsissa viime vuosina. Se tarjoaa mahdollisuuden parempaan puutavaran oksalaatuun. Alustavien kokemusten mukaan kontortamäntyä voidaan kylvää kohtuullisen hyvin tuloksin läpi kasvukauden (Hyppönen ja Winsa 2014). Kasvattamista sekapuuna männyn seassa olisi myös syytä tutkia tarkemmin (Ruotsalainen 2004). Tällä tavoin voitaisiin hyödyntää kontortan nopea alkukehitys ja samalla parantaa loppusadon muodostavien mäntyjen laatua kilpailun avulla.

Lähteet

- Elfving, B. & Norgren, O. 1993. Volume yield superiority of lodgepole pine compared to Scots pine in Sweden. Julkaisussa: Lindgren, D. (toim.). Proceedings of "Pinus contorta – from untamed forest to domesticated crop". Meeting of IUFRO WP 2.02.06 and Frans Kempe Symposium, Umeå, August 24–28, 1992. Department of Forest Genetics and Plant Physiology, Swedish University of Agricultural Sciences, Report 11: 69–80.
- Hakkila, P. & Panhelainen, A. 1970. On the wood properties of Pinus contorta in Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 73(1). 43 s.
- Hyppönen, M. & Winsa, H. 2014. Lapissa mäntyä voidaan kylvää muulloinkin kuin keväällä. *Taimiutiset* 3/2014: 18–20.
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Viiri, H., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J.-P., Mäkelä, H., Nevalainen, S. & Pitkänen, J. 2013. Suomen metsät 2004–2008 ja niiden kehitys 1921–2008. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2013: 269–608.
- Persson, A. 1993. Wood properties of Pinus contorta. Julkaisussa: Lindgren, D. (toim.). Proceedings of "Pinus contorta – from untamed forest to domesticated crop". Meeting of IUFRO WP 2.02.06 and Frans Kempe Symposium, Umeå, August 24–28, 1992. Department of Forest Genetics and Plant Physiology, Swedish University of Agricultural Sciences, Report 11: 38–59.

- Rosvall, O., Andersson, B. & Ericsson, T. 1998. Beslutsunderlag för val av skogsodlingsmaterial i Norra Sverige med trädslagsvisa guider. Skogforsk, Redogörelse 1/1998. 66 s.
- Rosvall, O., Jacobsson, S., Karlsson, B. & Lundström, A. 2004. Ökad produktion – trots ökad naturvård? I: Skogforsk, Redogörelse 1/2004: 23–38.
- Ruotsalainen, S. 2004. Kontorta – vain viljelyn vähyys virhe? *UPM-Metsä* 1/2004, s. 46.
- Simonsen, R., Rosvall, O. & Gong, P. 2008. Lönsamhet för produktionshöjande skogsskötselåtgärder hos Holmen Skog AB, Redogörelse Nr 2/2008. 35 s.
- Skogsstatistisk årsbok 2014. Skogsstyrelsen. ISBN 978-91-87535-05-5. 368 s.
<http://www.skogsstyrelsen.se/Myndigheten/Statistik/Skogsstatistisk-Arsbok/Skogsstatistiska-arsbocker/>. [viitattu 11.10.2016]
- Varmola, M., Salminen, H., Rikala, R. & Kerkelä, M. 2000. Survival and early development of lodgepole pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 410–423.
- von Segebaden, G. 1992. Contortatallen i Sverige – en lägesrapport. Skogsstyrelsen. ISBN 91-576-4604-X. 226 s.

5.3.4. Tervaleppä

Jaakko Napola

Tervaleppä (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) on nopeakasvuinen ja arvokkaaksi tukkipuuksi kasvava kosteiden ja viljavien kasvupaikkojen puulaji (Kuva 35). Tervaleppä menestyy parhaiten ravinteikkailla, multavilla mailla, joissa on tarjolla liikkuvaa vettä juuristolle. Ihanteellisia kasvupaikkoja ovat kosteat lehdot, rehevät korvet, puronvarret sekä norojen ja lähteiden ympäristöt. Tervaleppää tapaa myös järvien ja meren rannoilta sekä kohosoiden vetisistä reunaosista (Kujala 1924).

Tervaleppää kasvaa eniten maamme lounais- ja eteläosissa (Louna ja Valkonen 1995). Ahvenanmaalla sen osuus puuston tilavuudesta on lähes kuusi prosenttia ja etelärannikolla runsaat kaksi prosenttia (Korhonen ym. 2013). Verrattain yhtenäisen levinneisyysalueen pohjoisraja kulkee mutkitellen Pohjois-Karjalasta Oulun seudulle (Kujala 1924).

Nykyisten tervaleppävarojen hyödyntämistä rajoittaa se, että ne keskittyvät luonnon monimuotoisuuden kannalta tärkeille avainbiotoopeille, rantavyöhykkeille sekä suojelualueille, joissa hakkuut ovat kokonaan kiellettyjä tai vain varovaiset hakkuut ovat sallittuja (Louna ja Valkonen 1995, Napola 2004).

Viljeltynä tervaleppää voidaan kasvattaa runsasravinteisilla ja kosteilla metsämailla ja pelloilla sekä tulvamailla. Tervaleppä menestyy hyvin myös viljavalla turvemaalla (Valkonen ym. 1995). Tulvaa tervaleppä sietää paremmin kuin muut puulajimme. Hallatuhoja voi esiintyä erityisen hallanaroilla paikoilla (Schalin ja Seppälä 1964).

Tervaleppää voidaan uudistaa luontaisesti tyvivesoista (Napola 2003). Siemenistä uudistuminen edellyttää onnistuakseen maanpinnan paljastamista. Tervaleppä viljellään istuttamalla. Istutustiheys on 1 600–2 000 tainta hehtaarille. Taimien suojaaminen nisäkkäitä vastaan ei yleensä ole tarpeen. Tervaleppän pituuskasvu on nuorena suunnilleen yhtä nopeaa kuin koivun (Valkonen ja Rantala 1995, Uusvaara 1997).

Ensiharvennus voidaan tehdä melko voimakkaana. Jatkossa harvennetaan usein, mutta lievästi. Voimakkaat harvennukset johtaisivat laatua heikentävien vesioksien eli runkovesojen syntymiseen (Valkonen ym. 1995). Tukkipuuksi kasvatettavan tervaleppän päätehakkuikea on 50–70 vuotta. Tätä vanhemmissa metsiköissä lahoviat alkavat yleistyä.

Hyönteisistä merkittävin tervaleppän tuholainen on idänlehtikuoriainen (*Agelastica alni*), joka suurina joukkoina esiintyessään voi syödä kokonaisia metsiköitä paljaiksi lehdistä. Kuoriaisten torjunta ei kuitenkaan ole tarpeen, sillä puut toipuvat lehtien menetyksestä.

Tervaleppää on istutettu 2010-luvulla Elintarviketurvallisuusviraston (Evira) keräämien tietojen mukaan keskimäärin noin 40 000 tainta vuodessa. Siemenet taimikasvatukseen on kerätty tähän asti erityisistä siemenkeräysmetsiköistä tai muista hyviksi todetuista metsiköistä.

Vuosina 2006 ja 2008 perustettiin kolme tervaleppän siemenviljelyä, yksi Etelä-Suomea, yksi keskistä Suomea sekä yksi erityisesti etelä- ja lounaisrannikkoa ja Ahvenanmaata varten (Napola

2009). Keskisen Suomen siemenviljelyksen käyttöalue ulottuu Oulun seudulle asti. Siemenviljelykset ovat tuottaneet vasta pieniä määriä siementä, mutta sitä mukaa kuin siemensadot kasvavat, todennäköisesti myös tervalepän metsänviljelyalat alkavat kasvaa.

Puuaineeltaan kauniin punertava tervaleppä on arvostettu huonekalu- ja puusepänteollisuuden raaka-aine. Leppäpaneelia käytetään sisustuksessa ja myös saunanlauteiksi leppä on suosittu materiaali (Verkasalo 2002). Suuri osa Suomessa käytettävästä tervaleppäpuutavarasta tuodaan ulkomailta, lähinnä Baltian maista (Napola 2003, Anttila suull. 2016).



Kuva 35. Tervaleppä kasvaa sopivilla kasvupaikoilla arvokkaaksi tukkipuuksi. Kuvassa tervalepän pluspuu E3261 Hämeenlinnassa. (Kuva Markku Ahlqvist)

Lähteet

- Anttila, K. Tervaleppäpuutavaran tuonti. Suomen Tervaleppä Oy. Suullinen tieto. 13.10.2016.
- Korhonen, K. T., Ihalainen, A., Viiri, H., Heikkinen, J., Henttonen, H. M., Hotanen, J.-P., Mäkelä, H., Nevalainen, S. & Pitkänen, J. 2013. Suomen metsät 2004–2008 ja niiden kehitys 1921–2008. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2013: 269–608.
- Kujala, V. 1924. Tervaleppä (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) Suomessa. *Metsätieteellisen koelaitoksen julkaisuja* 7: 1–269.
- Louna, T. ja Valkonen, S. 1995. Kotimaisen raaka-aineen asema lehtipuiden teollisessa käytössä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 553. 38 s.
- Napola, J. 2003. Tervalepän jalostukseen panostetaan Baltian maissa. *Sorbifolia* 34(1): 28–32.
- Napola, J. 2004. Maailman pohjoisin jalopuu. *Metsäntutkimus* 1/2004: 10–11.
- Napola, J. 2009. Tervalepän siementä siemenviljelyksiltä 2010-luvulla. *Taimiuutiset* 1: 8–10.
- Schalin, I. ja Seppälä, K. 1964. Tervalepän istutuksen onnistumisesta. *Suo* 15(3): 45–50.
- Uusvaara, O. 1996. Erikoispuiden laatuksivastuskokeet. Koejärjestelyt ja alkuvaiheiden tuloksia. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 621. 28 s.
- Valkonen, S. ja Rantala, S. 1995. Jalot lehtipuut ja tervaleppä peltojen metsityksessä. Julkaisussa Hytönen, Jyrki & Polet Keijo. (toim.). Peltojen metsitysmenetelmät. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 581: 36–52.
- Valkonen, S., Rantala, S. ja Sipilä, A. 1995. Jalojen lehtipuiden ja tervalepän viljely ja kasvattaminen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 575. 112 s.
- Verkasalo, E. 2002. Resources and utilisation of birch, aspen and alder. Julkaisussa: Hynynen, J. & Sanaslahti, A. (toim.). Management and utilization of broadleaved tree species in Nordic and Baltic countries. Birch, aspen and alder. Finnish Forest Research Institute. *Research Papers* 847: 7–18.

5.3.5. Visakoivu

Anneli Viherä-Aarnio ja Risto Hagqvist

Visakoivu (*Betula pendula* var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti) on rauduskoivun erikoismuoto, jonka puuainees on erityisen koristeellista ja arvokasta. Visautuminen johtuu periytyvästä vallitsevasta mutaatiosta. Visan puuaineelle tyypillisiä ovat ruskeat juovat ja täplät, jotka johtuvat ruskeiden solujen syntymisestä puun sisään. Visakoivun kasvutapa voi vaihdella yksi- ja suorarunkoisesta pikkupuusta voimakkaasti haarovaan pensaaseen. Rungon ulkoisten tuntomerkkien perusteella on nimetty erilaisia visatyyppisiä: paukura-, kaula-, rengas- ja juomuvisa (Saarnio 1976). Arvokkaimpia ovat suorarunkoiset ja sorvikelpoiset, puumaiset paukuravisat, joiden puuaineessa on runsas kuviointi.

Visakoivu menestyy parhaiten Etelä- ja Keski-Suomessa. Soveliaimpia visakoivun kasvupaikkoja ovat viljavat metsämaat (lehdot, OMT, MT) ja parhaat peltomaat (hieta- ja multamaat). Turvemaat, tasaiset hiesu- ja savimaat sekä veden vaivaamat maat eivät sovellu visakoivun kasvatukseen. Hirvituhoille alttiita alueita tulee ehdottomasti välttää (Hagqvist ja Mikkola 2008).

Visakoivun viljely alkoi lisääntyä 1980-luvun lopulta lähtien, ja huippu saavutettiin vuonna 1998, jolloin viljelyyn tuotettiin 856 000 tainta (vastaa 600 hehtaaria). Vuoden 1984 jälkeen viljeltyjä visakoivikoita kasvaa maassamme nykyisin noin 6 400 hehtaaria. Vuosina 2011–2015 visakoivua on viljelty noin 100 hehtaaria vuodessa (Leinonen 2016).

Visakoivun viljelyssä käytetään nykyisin joko siemenviljelyssiemenestä kasvatettuja tai mikrolisäyksellä kloonattuja taimia. Kloonatut puut ovat kaikki emopuidensa kaltaisia visoja, kun taas siemenviljelysalkuperällä noin 60–70 prosenttia taimista visautuu. Siementaimia istutetaan yleensä 1 600 tainta hehtaarille, joskin tuhoalttiille alueille suositellaan jopa 2 500 tainta hehtaarille. Pelkkiä kloonitaimia käytettäessä riittää 400–800 tainta hehtaarille, jolloin kloonivisataimien seassa voidaan kasvattaa myös siementaimivisoja tai esimerkiksi joulukuusia (Hagqvist ja Mikkola 2008). Mikrolisättyjen visakoiden osuus on noin 40 prosenttia tähän mennessä istutetusta pinta-alasta.

Visakoivikon perustaminen, alkuvaiheen hoito ja harventaminen vaativat erityistä huolellisuutta. Jo taimivaiheessa aloitetaan visarunkojen pystykarsinta, jonka tavoitteena on pitää puu yksirunkoisena ja lisätä kaikkein arvokkaimman rungonosan eli sorvaukseen kelpaavan oksattoman tyvitukin tuotosta (Niemistö ym. 2008). Erityisen tärkeää on poistaa oikea-aikaisilla harvennuksilla visakoivua nopeakasvuisemmat tavalliset rauduskoivut. Ensiharvennus tehdään noin 10–12 vuotta metsikön perustamisen jälkeen. Kloonitaimilla perustetuilla viljelyksillä ensiharvennus voidaan tehdä myöhemmin. Toistuvilla harvennuksilla poistetaan jatkossakin huonolaatuisia pensasmaisia sekä visautumattomia ja sairaita puita. Päätehakkuu tehdään noin 40–50 vuoden iässä.

Visapuu on arvokkainta puuta maassamme ja sitä myydään tuoreena kiloittain (Kuva 36). Sorvaukelpoisen runkovisan hinta on keskimäärin 4 € kg⁻¹ (noin 3 700 € m⁻³) ja vähempiarvoisen oksavisan 0,50 € kg⁻¹ (465 € m⁻³) tienoilla. Alustavien laskelmien mukaan visakoivun kasvatusta on nykyisillä visapuun hinnoilla noin kymmenen kertaa kannattavampaa kuin tavallisten metsäpuiden kasvatusta ja investointien sisäinen korko on 5–8,3 prosenttia tapauksen erityispiirteistä riippuen (Jylhä ja Hagqvist 2017).

Lähes kaikki tarjolle tuleva järeä visa myydään nykyisin Saksaan, missä se sorvataan viiluiksi. Viilua käytetään ympäri maailman arvokkuutta vaativien kohteiden pinnoittamiseen ja sisustamiseen (hotellit, laivat, veneet, autot, toimistot, julkiset rakennukset jne.). Kotimaassa suurimpia visan käyttäjiä ovat erilaisten koriste- ja käyttöesineiden tekijät.

Seuraavien kymmenen vuoden aikana tulee maassamme ensimmäisen kerran päätehakkuuikään suuri määrä visakoivikoita. Jo sitä ennen niistä saadaan järeää harvennusvisaa teollisuuden käyttöön. Uusien käyttökohteiden ja markkinoiden löytäminen sekä harvennuksista että päätehakkuista saatavalle visapuulle on merkittävä lähivuosien haaste. Visapuun teknisiä erityisominaisuuksia ja sopivia käyttökohteita tulee tarkemmin tutkia. Visatuotteiden menestyksellä myynti edellyttää myös korkeatasoisia design-tuotteita ja nykyistä tarkempaa markkinoiden tuntemusta. Visakoivu tulee brän-

dätä erityisesti korkealaatuisten tuotteiden markkinoille, jolloin tuotteista saadaan maksimaalinen taloudellinen hyöty niin puutuoteteollisuudelle kuin puun kasvattajallekin.

Visakoivun varaan voidaan kehittää uutta innovatiivista ja lisäarvoa tuovaa PK-teollisuutta, koska visapuun tarjonta tulee olemaan tästä lähtien tasaista ja jatkuvaa ja koska teollisuus tulee saamaan sitä käyttöönsä nykyistä selvästi edullisempaan hintaan. Tämä suosituin suomalainen erikoispuu muodostaa maamme PK-puutuoteteollisuudelle uuden merkittävän resurssin, jota muiden maiden teollisuudella ei ole käytössään. Visautuminen moninkertaistaa puuaineen arvon, ja se luo PK-puutuoteteollisuudelle mahdollisuuden nostaa tuotantonsa jalostusastetta ja arvoa.



Kuva 36. Punkaharjulle vuonna 1937 istutetusta visakoivuviljelmästä myytiin vuonna 2013 visaa 10 000 kg keskihintaan 2 € kg⁻¹ (1–5 € kg⁻¹). (Kuva Teijo Nikkanen)

Lähteet

- Hagqvist, R. & Mikkola, A. 2008. Visakoivun kasvatus ja käyttö. Metsäkustannus Oy. Hämeenlinna. 168 s.
- Jylhä, A.-P. & Hagqvist, R. 2017. Visakoivun kasvatuksen kannattavuus. Käsikirjoitus.
- Leinonen, H. Visakoivun taimien vuosittaiset tuotantomäärät. Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. Sähköpostiviesti 10.11.2016.
- Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Velling, P., Heräjärvi, H. & Verkasalo, E. (toim.) 2008. Koivun kasvatus ja käyttö. Metsäkustannus Oy. Hämeenlinna. 254 s.
- Saarnio, R. 1976. Viljeltyjen visakoivikoiden laatu ja kehitys Etelä-Suomessa. Summary: The quality and development of cultivated curly birch (*Betula verrucosa* f. *carelica* Sok) stands in southern Finland. *Folia Forestalia* 263. 28 s.

5.3.6. Jalot lehtipuut

Teijo Nikkanen

Jalot lehtipuut on yhteisnimitys muutamille lehtipuulle, jotka ovat yleisiä Keski-Euroopan lehtimetsävyöhykkeellä, mutta jotka Pohjois-Euroopassa, levinneisyytensä äärirajoilla ovat luonnonvaraisina harvinaisia ja kasvavat vain parhailla kasvupaikoilla. Kasvitieteellisesti jalot lehtipuut eivät muodosta yhtenäistä ryhmää, mutta ne muistuttavat toisiaan ekologisilta ja metsänhoidollisilta ominaisuuksiltaan (Kiuru 2008, Valkonen ym. 1995).

Jaloja lehtipuita Suomessa ovat tammi (*Quercus robur*), saarni (*Fraxinus excelsior*), vaahtera (*Acer platanoides*), metsälehmus (*Tilia cordata*) sekä kynä- ja vuorijalava (*Ulmus laevis*, *U. glabra*). Ne muodostavat metsiköitä vain Etelä-Suomen parhailla kasvupaikoilla, mutta niitä tavataan puuryhminä tai yksittäispuina karummillakin kasvupaikoilla ja joitakin lajeja Keski-Suomessa saakka. Istutettuna puisto- ja pihapuina jalot lehtipuut ovat suosittuja ja menestyvät monin paikoin selvästi luontaisen levinneisyysalueidensa pohjoispuolella (Valkonen ym. 1995).

Jalojen lehtipuiden harvinaisuus on osittain ihmisen aikaan saamaa. Niiden kasvupaikat, rehevät lehdot on aikojen kuluessa raivattu pelloiksi. Lisäksi jaloja lehtipuita on verotettu niiden arvokkaan puuaineen vuoksi. Nykyään jaloja lehtipuita suojellaan ja niiden harvinaistumista ehkäistään monenlaisilla rauhoitus- ja suojelutoimenpiteillä. Viljelyllä voidaan jalojen lehtipuiden osuutta metsissämme haluttaessa lisätä.

Seuraavassa on esitelty puulajeittain Suomessa esiintyvät jalot lehtipuut.

Tammi esiintyy Suomessa luonnonvaraisena eteläisellä rannikkoalueella Rauman ja Porvoon välisellä alueella. Tammen levinneisyyden pohjoisrajaa pidetään yleisesti boreaalisen havumetsävyöhykkeen ja hemiboreaalisen sekametsävyöhykkeen rajana – puhutaan ns. tammivyöhykkeestä. Tammella on jaloista lehtipuistamme väljimmät kasvupaikkavaatimukset. Turvemaidella se ei kuitenkaan menesty. Parhailla kasvupaikoilla Lounais-Suomessa tammi muodostaa pieniä luonnonvaraisia metsiköitä. Istutettuna ja viljelykarkulaisena se menestyy selvästi luontaista levinneisyysaluettaan pohjoisempaan (Kuva 37).

Tammi on menneinä aikoina ollut merkittävä laivojen rakennuspuu. Sillä on ollut merkitystä jopa strategisena raaka-aineena. Nykyään tammaa käytetään sen kovan ja tumman puuaineksen takia huonekalu- ja parkettipuuna. Tammi on myös tärkeä puistopuu, jota istutetaan paljon Keski-Suomea myöten. Avoimella paikalla tammesta voi tulla hyvin kookas, leveälatvuksinen puu. Tammi on myös hyvin pitkäikäinen puu. Se voi saavuttaa usean sadan vuoden iän.

Saarnen luontaisen levinneisyyden pohjoisraja on tammaa pohjoisempaan, mutta myös se on lähinnä etelärannikon puu. Sisämaassa saarnesiintymät ovat pienialaisia lehtokorpia. Kasvupaikan suhteen saarni on lehtipuistamme kaikkein vaateliain. Se tarvitsee kunnolla kasvaakseen kalkkipitoista, runsasravinteista maata ja runsaasti kosteutta. Hyvällä kasvupaikalla saarni kasvaa nuorena nopeasti. Saarnen puuaines on erittäin lujaa, sitkeää ja kulutusta kestävä. Siksi se on arvokasta moniin käyttötarkoituksiin, mm. huonekaluteollisuuteen.

Vaahtera kasvaa luontaisena Etelä-Suomessa suunnilleen Porin ja Savonlinnan korkeudelle asti. Se viihtyy kaikenlaisilla lehtomaisilla mailla. Märkyyttä tai kylmää, jäykkää savimaata se ei siedä. Vaahtera on levinnyt Etelä-Suomessa monin paikoin pihoista ympäröiviin metsiin eikä luontaisten esiintymien erottaminen viljelykarkulaisista ole aina helppoa. Tehokkaan uudistumisensa takia vaahtera on viime vuosina yleistynyt.

Vaahteran puuaines on monien hyvien ominaisuuksiensa takia haluttua niin huonekaluteollisuuteen kuin taidepuusepänteollisuuden mitä moninaisimpiin käyttökohteisiin. Vaahtera on myös suosittu piha- ja puistopuu ja siitä on jalostettu viherrakentamisen tarpeisiin monia koristepuulajikkeita.

Metsälehmus eli niinipuu on luontaiselta levinneisyydeltään jaloista lehtipuista kaikkein pohjoisin ja runsaslukuisin. Sitä tavataan paikoin vielä Jyväskylä-Kuopio-Joensuu -linjan pohjoispuolellakin.

Metsälehmus viihtyy lehdoissa ja lehtomaisilla kankailla, mutta ei kuulu kaikkein vaateliaimpiin lajeihin. Metsälehmus sietää varsinkin taimena hyvin varjoa. Se kestää myös talvipakkasia ja kevähhalloja.

Metsälehmus kasvaa taimena suhteellisen hitaasti, mutta kasvu voi jatkua pitkään ja siitä voi tulla suotuisissa oloissa hyvinkin kookas puu. Lehmus on tammen jälkeen pitkäikäisin lehtipuumme ja voi elää 200–300-vuotiaaksi, parhaassa tapauksessa pitempäänkin.

Metsälehmus on aikaisemmin ollut paljon nykyistä yleisempi (Kuva 38). Aikanaan kuusi on levittäytyessään syrjäyttänyt monin paikoin lehmuksen. Myöhemmin lehmusta on kaadettu runsaasti siitä saatavan niinen takia. Lehmuksen puuaines on vaaleaa ja pehmeää ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi veistoksiin ja taulujen kehyksiin.

Vuorijalava kasvaa luontaisena Etelä-Suomessa hyvin harvinaisena, pieninä ja hajanaisina esiintyminä. Se viihtyy tuoreissa, runsasravinteisissa kallionalus- ja puronvarsimetsissä. Vuorijalava on kalkinsuosija. Luonnonvaraisina kasvavat vuorijalavat on rauhoitettu. Vuorijalava voi kasvaa hyvin suurikokoiseksi puuksi.

Vuorijalavan puuaines on sitkeää, kestävä ja sietää kuivuttuaan hyvin kosteutta. Sitä käytetään huonekaluteollisuudessa erityisesti viiluna. Vuorijalava on istutettuna melko yleinen piha- ja puistopuu Keski-Suomea myöten. Siitä on jalostettu runsaasti erilaisia koristepeulajikkeita. Aasiasta Eurooppaan levinnyt hollanninjalavatauti ei ole Suomessa aiheuttanut tuhoja.

Kynäjalavaa tavataan luonnonvaraisena Kokemäenjoen vesistön rannoilla ja Lohjanjärven ranta-lehdoissa. Sen levinneisyysalue on suppeampi kuin vuorijalavan, mutta luonnonvaraisia, puun mitoissa olevia yksilöitä arvioidaan molemmista lajeista löytyvän suunnilleen yhtä paljon, noin 2 000 puuta. Kynäjalava, kuten vuorijalavakin on kalkinsuosija. Kynäjalava on nykyisin vähän käytetty ja huonosti tunnettu jalopuu. Kynäjalava on piha- ja puistopuuna vuorijalavaa harvinaisempi.

Jaloilla lehtipuilla ei ole merkittävää asemaa Suomen metsätaloudessa. Niillä on kuitenkin suuri merkitys metsien biologisen monimuotoisuuden lisääjinä ja maiseman monipuolistajina. Monet jalot lehtipuut ovat pitkäikäisiä ja voivat sopivalla paikalla kasvaa suuriin mittoihin. Yksittäispuina jalot lehtipuut ovat usein maamerkkejä ja maiseman elävöittäjiä.

Jalot lehtipuut eivät ole tulevaisuudessakaan, vaikka ilmasto kuinka lämpenisi, ratkaisu suuren mittakaavan raaka-ainetarpeeseen, mutta ne voivat tuottaa arvokasta raaka-ainetta erityistarkoitukseen, muun muassa huonekalu- ja rakennuspuusepänteollisuuteen.



Kuva 37. Tammen menestymistä on selvitetty viljelykokein. Jukka Lehtonen ja Veikko Silander (eläkkeellä Metlasta) tarkastamassa tammen koeviljelmää Lapinjärvellä vuonna 2015. (Kuva Teijo Nikkanen)



Kuva 38. Lehmuksen geenireservimetsikkö Punkaharjulla Puruveden Niinisaassa. (Kuva Teijo Nikkanen)

Lähteet

- Kiuru, H. 2008. Jalopuumetsät – perustaminen ja hoito. Metsäkustannus. 159 s.
Valkonen, S., Rantala, S. & Sipilä, A. 1995. Jalojen lehtipuiden ja tervalepän viljely ja kasvattaminen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 575. 112 s.

5.3.7. Hybridihaapa ja muut poppelilajit

Egbert Beuker ja Anneli Viherä-Aarnio

Paitsi lyhytkiertoviljelyyn (ks. kappale 5.1.6), nopeakasvuinen hybridihaapa sopii kasvatettavaksi pidemmällä kiertoajalla tukkipuiksi asti. Hybridihaapaa kasvatettiin Suomessa 1950-luvulla tulitikuteollisuudelle viulutettavaksi (Viherä-Aarnio 1999). Haavalla on kuitenkin monipuolisia käyttömahdollisuuksia sekä mekaanisessa puunjalostuksessa (Verkasalo 1999) että paperin raaka-aineena (Rana 1999). Hybridihaapa voisi olla vaihtoehtoinen puulaji kuuselle maannouseman vaivaamilla mailla.

Hybridihaavan kasvatuksen onnistumisen edellytykset ja riskit (etenkin nisäkästuhot) ovat pitkällä kiertoajalla samat kuin lyhytkiertoviljelyksissä. Pidemmän kiertoajan kasvatuksessa on lisäksi otettava huomioon myös runkovikojen aiheuttajat, kuten pakkashalkeamat, sienitaudit (*Neofabraea populi*, *Hypoxylon mammatum*) (Kurkela 1999) sekä rungon lahottajat (Hallaksela 1999).

Muut poppelilajit ja -hybridit, kuten jättipoppeli (*Populus trichocarpa*), voisivat olla vaihtoehto hybridihaavalle myös tukkipuun kasvatuksessa. Jättipoppelista on jo saatu lupaavia kokemuksia Etelä-Suomessa, samoin kuin Ruotsissa.

Poppelien kasvullinen lisäys oksapistokkailla on helpompaa ja halvempaa kuin haavan monistus, ja jotkut poppelilajit saattavat olla haapaa vähemmän alttiita taudeille ja nisäkästuhoilille. Käytettävissä olevat poppelilajit ovat peräisin Keski-Euroopasta tai Pohjois-Amerikasta, mistä syystä niiden sopivuus Suomen ilmasto-oloihin on tutkittava tarkkaan ennen kuin voidaan suositella niiden laajempaa viljelyä maassamme.

Ruotsissa, Baltian maissa ja jopa Islannissa hybridihaavan ja poppelin viljelyllä on jo merkittävä rooli metsätaloudessa, ja näissä maissa on myös käynnissä sen edellyttämät laajat tutkimus- ja kehittämisprojektit (Tullus ym. 2012, Mc Carthy 2016). Myös Suomessa hybridihaavan ja poppeliin mahdollisuuksia tulisi hyödyntää.

Lähteet

- Hallaksela, A-M. 1999. Lahoisuus haavikossa. Julkaisussa: Hynynen, J. & Viherä-Aarnio, A. (toim.). Haapa – monimuotoisuutta metsään ja metsätalouteen. Vantaan tutkimuskeskuksen tutkimuspäivä Tammisaaressa 12.11.1998. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 725: 49–56.
- Kurkela, T. 1999. Haapa uhkana ja uhattuna. Julkaisussa: Hynynen, J. & Viherä-Aarnio, A. (toim.). Haapa – monimuotoisuutta metsään ja metsätalouteen. Vantaan tutkimuskeskuksen tutkimuspäivä Tammisaaressa 12.11.1998. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 725: 41–48.
- Mc Carthy, R. 2016. Establishment and early management of *Populus* species in Southern Sweden. Doctoral Thesis, *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae* 52, 69 s.
- Tullus, A., Rytter, L., Tullus, T., Weih, M. & Tullus, H. 2012. Short-rotation forestry with hybrid aspen (*Populus tremula* L. x *P. tremuloides* Michx.) in Northern Europe. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27: 10–29.
- Viherä-Aarnio, A. 1999. Hybridihaapa – 40 vuoden takaa uudeksi viljelypuuksi. Julkaisussa: Hynynen, J. & Viherä-Aarnio, A. (toim.). Haapa – monimuotoisuutta metsään ja metsätalouteen. Vantaan tutkimuskeskuksen tutkimuspäivä Tammisaaressa 12.11.1998. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 725: 13–23.

6. Metsänkasvatuksen tuhoriskit

Juha Honkaniemi

Keskeistä

- Suomen metsien terveydentila on pääsääntöisesti hyvä. Kuitenkin muun muassa juurikäpää, tuuli ja hirvi aiheuttavat vuosittain mittavia taloudellisia tappioita ja huomattavaa vahinkoa metsänkasvatukselle.
- Tuhoriskeihin voidaan vaikuttaa metsänkasvatuksessa tehdyillä valinnoilla. Tehokas metsänhoito, hakkuiden oikea ajoittaminen sekä sekametsä rakenteen ylläpitäminen pienentävät tuhoriskejä.
- Merkittävimmän riskin metsänkasvatukselle aiheuttaa muuttuva ilmasto vaikuttaen puiden kasvuolosuhteisiin ja välillisesti myös tuhoriskeihin.

6.1. Muuttuva ilmasto

Suomen metsien terveydentila on pääsääntöisesti hyvä. Suuria, metsiköitä täydellisesti vahingoittavia tuhoja esiintyy hyvin vähän (VMI11). Kuitenkin muun muassa juurikäpää, tuuli ja hirvi aiheuttavat vuosittain mittavia taloudellisia tappioita ja huomattavaa vahinkoa metsänkasvatukselle. Yksittäisten puiden kuolemat ja erilaiset häiriöt kuuluvat metsikködynamiikkaan, mutta laajemman mittakaavan tapahtumissa on kyse metsätuhoista. Laajamittaisiin tuhoihin tulisi suhtautua ennaltaehkäisevästi ja niiden toteutuessa reagoida aktiivisesti. Metsänkasvatuksen riskien hallinnassa on tärkeintä tunnistaa erilaisten kohteiden riskit ennakkoon ja suunnitella toiminta niiden mukaisesti.

Merkittävimmän riskin metsien kasvatukselle aiheuttaa muuttuva ilmasto, jonka vuoksi puulajien nykyiset kasvuolosuhteet muuttuvat. Puulajeistamme kuusen on ennustettu kärsivän eniten suotuisan elinalueen merkittävästä muuttumisesta (Kellomäki ja Väisänen 1997, Kellomäki ym. 2008). Suorien kasvuvaikutusten lisäksi ilmastonmuutos vaikuttaa metsätuhoriskeihin ja sitä kautta metsänkasvatukseen. Nykyisten ilmastoennusteiden mukaan monet metsiin kohdistuvat tuhoriskit kasvavat tulevaisuudessa, joten metsänkasvatuksen riskienhallinnan merkitys lisääntyy entisestään (Subramanian ym. 2015, Thom ja Seidl 2016). Tuhoriskeihin voidaan vaikuttaa metsänkasvatuksessa tehdyillä valinnoilla. Intensiivisessä metsänkasvatuksessa erilaisia vaihtoehtoja tuleekin vertailla tarkoin ja ottaa riskienhallinnan suunnittelu aktiiviseksi osaksi metsäsuunnittelua.

6.2. Tuuli

Tuuli aiheuttaa merkittävimmät metsätuhot Suomessa ja muodostaa siten suurimman yksittäisen riskin metsätaloudelle (VMI11). Vuoden 2000 jälkeen eri myrskyissä on tuhoutunut puustoa yli 24 miljoonaa kuutiometriä (Zubizarreta-Gerendiain ym. 2017). Määrä on kuitenkin vielä pieni verrattuna esimerkiksi Ruotsissa vuonna 2005 riehuneeseen Gudrun-myrskyyn, jonka seurauksena yli 75 miljoonaa kuutiometriä metsää vaurioitui ja kaatui.

Tuulituhoriskiin vaikuttavat monet metsikkökohtaiset muuttujat. Erityisesti hakkualueiden vie-reiset varttuneet metsiköt sekä vastikään harvennetut metsiköt ovat alttiita tuulituholle (Suvanto ym. 2016). Puulajeista kuusi on herkin tuulituholle matalan juuristonsa takia. Lisäksi juurikäävän saastuttamat metsiköt ovat riskialttiita lahon heikentäessä puiden ankkurointia maahan (mm. Oliva ym. 2008). Intensiivinen metsänkäsittely voi lisätä tuulituhoja, kun viivästyneiden harvennusten ja päätehakkuiden määrä lisääntyy, jolloin enemmän metsää altistuu tuulelle. Toisaalta, intensiivisem-

män kasvatuksen myötä puiden runkomuoto muuttuu tyvekkäämmäksi ja siten niiden alttius tuulituhoille pienenee (Peltola ym. 1999).

Ilmastonmuutoksen on ennustettu lisäävän tuulituhota Suomessa (Peltola ym. 2010). Sadannan kasvu, routa-ajan lyhentymisen ja jopa roudan puuttuminen kokonaan heikentävät merkittävästi puiden ankkurointia maahan, jolloin puita kaatuu aiempaa pienemmillä tuulennopeuksilla (Gregow ym. 2011). Sen sijaan tuulioloihin tai myrskyjen esiintymistiheyteen ilmastonmuutoksen ei ole ennustettu vaikuttavan. Tuulituhot kasvattavat myös seurannaistuhojen riskiä. Esimerkiksi kirjanpainajat (*Ips typographus*) voivat käyttää tuulituhopuita lisääntymisessään. Tuulituhoriski voidaan vaikuttaa merkittävästi metsäsuunnittelulla sekä hyvällä ja oikea-aikaisella metsänhoidolla (Heinonen ym. 2011).

6.3. Juurikäpä

Juurikäpä on merkittävin sienitauti metsissämme aiheuttaen kuusella maannousemaa ja männyllä tyvitervastautia. Sieni lahottaa puiden juuristoa ja kuusella lisäksi sekä sydän- että mantopuuta rungossa. Männyn lahonkestävään sydänpuuhun sieni ei pysty ja siksi sieni usein aiheuttaakin männyn kuoleamisen lahottaessaan mantopuuta puun tyvellä. Suomessa tavataan kahta juurikäpälajia, männynjuurikäpää (*Heterobasidion annosum*), joka tartuttaa sekä mäntyä, kuusta että useita lehtipuulajeja, sekä kuusenjuurikäpää (*Heterobasidion parviporum*), jota tavataan lähinnä vain kuusella. Juurikäävän on arvioitu aiheuttavan Suomessa vuosittain yli 50 miljoonan euron tappiot pelkästään lahosta johtuvina puutavaralajisiirtyminä (Kuva 39). Näiden lisäksi juurikäpä aiheuttaa kuolleisuutta ja kasvutappioita sekä altistaa metsiköitä seurannaisvaikutuksille, kuten tuulelle, heikentäen puiden juuristoa ja ankkurointia maahan.

Juurikäpä leviää terveisiin metsiköihin itiöinä, jotka lähtevät kasvuun tuoreilla kantopinnoilla. Metsikön sisällä juurikäpä pystyy leviämään puusta ja puusukupolvesta toiseen rihmaston avulla juuristoyhteyksien kautta (Piri 2003a). Juurikäpä hyötyy muuttuvasta ilmastosta, sillä sen itiötuotanto ja rihmaston kasvu lisääntyvät lämpenevässä ilmastossa (Müller ym. 2014). Juurikäpää voidaan torjua käsittelemällä kannot joko biologisella tai kemiallisella torjunta-aineella hakkuiden yhteydessä. Tämä ei kuitenkaan vähennä metsikössä jo ennestään olevien tartuntojen aiheuttamaa riskiä. Uusia menetelmiä, joiden avulla juurikäävän kasvullista leviämistä voitaisiin hidastaa tai jopa ehkäistä kokonaan, kuten juurikäävän virustorjuntaa, kehitetään jatkuvasti (Hyder ym. 2013).

Juurikäpä hyötyy intensiivisestä metsänkasvatuksesta. Lisääntyvä kantopinta-ala lisää itiötartuntojen riskiä, ja hakkuita tehdään runsaasti myös kasvukauden aikana itiötartuntariskin ollessa suurimmillaan. Lisäksi juurikäävän rihmasto etenee huomattavasti nopeammin kannon ja kuolleen puun juuristossa verrattuna elävään puuhun. Näin ollen harvennushakkuut lisäävät juurikäpätuhota, vaikka itiötartunnan riski olisikin pieni (Piri ja Korhonen, 2008). Toisaalta, intensiivinen metsänkasvatus lyhentää kiertoaikoja ja siten juurikäävän aiheuttamat tuhot kussakin puusukupolvessa saattavat pienentyä. Jatkossa tulisikin tutkia juurikäpätuhota erilaisissa metsänkasvatusketjuissa sekä kenttäkokeilla että simulaatiomalleilla.



Kuva 39. Juurikäpä on lahottanut kuuset. Puun arvokkain osa, tyvitukki, on päätynyt energiapuuksi. (Kuva Juha Honkaniemi)

6.4. Hirvet ja myyrät

Nisäkkäistä hirvi ja myyrä aiheuttavat merkittävimmät taloudelliset vahingot metsissämme (VM111). Niiden aiheuttamat tuhot ajoittuvat taimikkovaiheeseen, ja alueelliset vahingot voivat olla mittavia (Huitu ym. 2009, Nevalainen ym. 2016). Kesällä hirvi syö pääasiassa lehtipuita, mutta talvella myös mänty on merkittävä osa ravintoa. Hirvien aiheuttamat tuhot keskittyvät varttuneisiin, noin kymmenvuotiaisiin taimikoihin, joissa hirvet aiheuttavat runkovaurioita katkomalla taimien latvoja. Myyrät aiheuttavat tuhoa kaikilla pääpuulajeilla. Niiden aiheuttamat tuhot keskittyvät yleensä nuoriin taimikoihin.

Sekä hirvi- että myyrätuhoja voidaan ehkäistä karkotteiden avulla sekä suojaamalla yksittäisiä puita. Hirvituhoja voidaan lisäksi pyrkiä ehkäisemään aitaamalla metsiköitä. Lisäksi metsästyksellä on suuri rooli hirvikannan säätelyssä ja hirvituhojen torjunnassa, sillä hirvi on taloudellisesti arvokkain riistavaramme. Kaatolupamaksuilla kerätyistä varoista korvataan vuosittain hirvien aiheuttamia tuhoja. Metsänhoidolla on suora vaikutus hirvi- ja myyrätuhoihin, sillä niiden ravinnon määrä riippuu taimikoiden määrästä, niiden hoidosta sekä puulajisuhteista (mm. Nevalainen ym. 2016). Monilla alueilla korkea hirviturhoriski on johtanut siihen, että metsän uudistamisessa suositaan kuusta männyn ja koivun sijaan. Näin ollen myös monia juurikäävän vaivaamia metsiköitä uudistetaan uudelleen kuuselle, vaikka puulajin vaihdosta edes yhden kiertoajan ajaksi olisi monessa tapauksessa hyötyä juurikääpäthuhojen torjunnassa (Piri 2003b). Hirvituhot kuitenkin estävät monin paikoin laadukkaiden koivikoiden perustamisen. Tulevaisuudessa olisi tärkeää pystyä mallintamaan näitä tuhoja yhdessä, arvioida tuhojen taloudellista merkitystä ja ratkaista kuusen kasvatuksen jatkamisen kannattavuus juurikäävän saastuttamisessa metsiköissä.

6.5. Kirjanpainaja

Kirjanpainaja (*Ips typographus*) aiheuttaa tällä hetkellä merkittävimmän hyönteistuhoriskin kuusivaltaisille metsille. Lämpimät kesät, pitkät kasvukaudet ja leudot talvet edesauttavat kirjanpainajakantojen kehitystä. Suomessa kirjanpainaja tekee yleensä yhden sukupolven vuodessa, vaikkakin 2010 raportoitiin ensimmäisen kerran kahdesta sukupolvesta saman kesän aikana (Pouttu ja Annila 2010). Erityisen riskialttiita ovat metsänreunojen tuulenkaadot sekä esimerkiksi kuivuudesta tai juurikääpäinfektioista heikentyneet puut. Kirjanpainajatuhot perustuvat hyönteisten joukkovoimaan, jonka avulla ne voittavat puun vastustuskyvyn ja pystyvät lisääntymään siinä. Pienikin kirjanpainajakanta pystyy voittamaan heikentyneen puun, kuten tuulenkaadon, vastustuskyvyn (Mulock ja Christiansen 1986). Epidemian kehittyessä ja kannan kasvaessa kirjanpainajat pystyvät hyökkäämään myös terveisiin ja elinvoimaisiin puihin (Kuva 40). 2010-luvulla kirjanpainajatuhot ovat lisääntyneet suotuisten olosuhteiden myötä (Neuvonen ym. 2016). Niin vakavaa epidemiaa kuin Keski-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa ei kuitenkaan ole vielä Suomessa syntynyt. Intensiivinen metsänkasvatus voi vaikuttaa kirjanpainajatuhoihin niin positiivisesti kuin negatiivisestikin. Kirjanpainajat hyötyvät paahteisista metsänreunoista, joita syntyy hakkuiden yhteydessä (Peltonen 1999). Lisääntyvät juurikääpä- ja myrskytuhot voivat myös lisätä kirjanpainajatuhojen riskiä. Toisaalta oikea-aikaisten harvennusten ja uudistushakkuiden myötä puut ovat elinvoimaisia ja hyväkasvuisia, jolloin niiden vastustuskyky tuhoja vastaan on hyvä (Mulock ja Christiansen 1986).



Kuva 40. Kirjanpainaaja on aiheuttanut kuusten pystyynkuolemisen. (Kuva Juha Honkaniemi)

6.6. Muut tuhonaiheuttajat

Muita merkittäviä metsänkasvatuksen tuhonaiheuttajia ovat muun muassa tukkimiehentäi, versosurma sekä lumi. Tukkimiehentäi syö laikkumaisia jälkiä pienten taimien runkoon. Kannan ollessa paikallisesti suuri tukkimiehentäi voi tuhota jopa koko taimikon muutamassa yössä. Tukkimiehentäitä torjutaan käsittelemällä istutettavat taimet jo taimitarhalla. Myös maanmuokkauksella torjutaan tukkimiehentäitä. Tukkimiehentäin aiheuttamat vahingot metsänkasvatukselle ovat pieniä, vaikkakin paikallisesti merkittäviä. Versosurma on epidemian syntyessä pahimpia männyn neulastuhojen aiheuttajia. Viimeisin laajamittainen epidemia Suomessa oli 1980-luvulla. Versosurmaa aiheuttava surmakkasieni (*Gremmeniella abietina*) ja sen kehittyminen epideemiselle tasolle on hyvin riippuvainen suotuisista sääoloista (Uotila 1988).

Lumi aiheuttaa merkittävää vahinkoa taimikoissa ja nuorissa kasvatusmetsissä aiheuttaen puiden taipumista ja latvojen katkeamista. Lumituhot voivat ilmastonmuutoksen myötä lisääntyä, jos talviaikainen sadanta lisääntyy ja märän lumen kuorma kasvaa merkittävästi (Gregow ym. 2011). Intensiivinen metsänkasvatus voi hetkellisesti lisätä vakavia lumituhoja, jos myöhästyneitä taimikonhoitoja ja harvennuksia tehdään liian voimakkaina.

Tulokas- ja vieraslajit muodostavat yhden tuhonaiheuttajien ryhmän koostuen pääosin hyönteisistä ja sienitaudeista. Suurimman riskin metsille muodostavat tänne levitessään pohjoisamerikkalaiset eliöt, joilla ei ole yhteistä kehityshistoriaa kotoisten puulajiemme kanssa. Aasialaisten sienitautien ja hyönteisten riski kotoperäisille puulajeillemme taas on verrattain pieni (Müller ym. 2016). Eri mättylajit ovat levinneet laajalle ja niillä esiintyy runsaasti erilaisia hyönteisiä ja sienitauteja. Vieraslajiris-

kien osalta mänty onkin puulajeistamme alttein. Männyn tuholaisista erityisen riskin muodostavat muun muassa läntinen pahkaruoste (*Endocronartium harknessii*), männyn ruskoneulaskariste (*Mycosphaerella dearnessii*) ja mäntyankeroinen (*Bursaphelenchus xylophilus*). Koivulle vieraslajiriskin muodostaa muun muassa ensimmäisen kerran Suomessa 2015 tavattu aasianrunkojäärä (*Anoplophora glabripennis*), joka aiheutti mittavat torjuntatoimet esiintymän ympäristössä. Jalojen lehtipuiden kasvatukselle riskin muodostavat muun muassa saarnensurma (*Chalara fraxinea*), hollanninjalavatauti (*Ophiostoma ulmi* ja *Ophiostoma novo-ulmi*) sekä saarnenjalosoukko (*Agrilus planipennis*). Kansainvälinen kauppa (puutavara, puiset pakkausmateriaalit, kasvimateriaali) on merkittävin väylä vieraslajien leviämislle.

6.7. Tutkimustarpeet

Metsänhoitoon ja metsien kasvatukseen kohdistuu monenlaisia tuhoriskejä. Riskejä on kuitenkin mahdollista arvioida ja niihin voidaan varautua. Metsänhoidon valinnoilla riskeihin voidaan vaikuttaa välillisesti. Tehokas metsänhoito, hakkuiden oikea ajoittaminen sekä sekametsärakenteen ylläpitäminen pienentävät metsänkasvatuksen tuhoriskejä. Esimerkiksi puulajin vaihdolla voidaan vähentää juurikäpäriskiä. Metsiköiden välistä pituusvaihtelua tasaamalla voidaan vähentää tuulituhoriskiä maisematasolla (Heinonen ym. 2011). Riskien arvioinnin suurin haaste on tuhoriskien yhtäaikainen arviointi toisistaan riippuvina tekijöinä. Tuhonaiheuttajilla on runsaasti erilaisia yhdysvaikutuksia, joten niitä ei voida eristää toisistaan. Tuhoriskeihin liittyviä tutkimustarpeita ovat muun muassa useiden tuhoriskien yhtäaikainen arviointi niiden yhdysvaikutusten selvittämiseksi, eri tuhojen taloudellisen merkityksen vertailu, vieras- ja tulokaslajiuhkien riskiarviointi sekä mahdollisten tuhojen kvantitatiivinen analysointi. Lisäksi tuhoriskien ja metsänkasvatuksen välistä suhdetta tulisi tutkia niin maastokokein kuin simulaatiomallienkin avulla. On erityisen tärkeää arvioida, voidaanko tuhoriskejä hallita metsänhoidon keinoin ja selvittää miten tuhoriskien hallinta saadaan aktiiviseksi osaksi metsänhoitoa ja metsäsuunnittelua.

Lähteet

- Gregow, H., Peltola, H., Laapas, M., Saku, S. & Venäläinen, A. 2011. Combined occurrence of wind, snow loading and soil frost with implications for risks to forestry in Finland under the current and changing climatic conditions. *Silva Fennica* 45(1): 35–54. doi:10.14214/sf.30
- Heinonen, T., Pukkala, T., Ikonen, V.-P., Peltola, H., Gregow, H. & Venäläinen, A. 2011. Consideration of strong winds, their directional distribution and snow loading in wind risk assessment related to landscape level forest planning. *Forest Ecology and Management* 261: 710–719.
- Huitu, O., Kiljunen, N., Korpimäki, E., Koskela, E., Mappes, T., Pietiäinen, H., Pöysä, H. & Henttonen, H. 2009. Density-dependent vole damage in silviculture and associated economic losses at a nationwide scale. *Forest Ecology and Management* 258: 1219–1224. doi:10.1016/j.foreco.2009.06.013
- Hyder, R., Pennanen, T., Hamberg, L., Vainio, E.J., Piri, T. & Hantula, J. 2013. Two viruses of *Heterobasidion* confer beneficial, cryptic or detrimental effects to their hosts in different situations. *Fungal Ecology* 6: 387–396. doi:10.1016/j.funeco.2013.05.005
- Kellomäki, S. & Väisänen, H. 1997. Modelling the dynamics of the boreal forest ecosystems for climate change studies in the boreal conditions. *Ecological Modelling* 97(1,2): 121–140.
- Kellomäki, S., Peltola, H., Nuutinen, T., Korhonen, K.T. & Strandman, H. 2008. Sensitivity of managed boreal forests in Finland to climate change, with implications for adaptive management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences* 363: 2341–2351. doi:10.1098/rstb.2007.2204
- Mulock, P. & Christiansen, E. 1986. The threshold of successful attack by *Ips typographus* on *Picea abies*: A field experiment. *Forest Ecology and Management* 14: 125–132. doi:10.1016/0378-1127(86)90097-6
- Müller, M.M., Sievänen, R., Beuker, E., Meesenburg, H., Kuuskeri, J., Hamberg, L. & Korhonen, K. 2014. Predicting the activity of *Heterobasidion parviporum* on Norway spruce in warming climate from its respiration rate at different temperatures. *Forest Pathology* 44: 325–336. doi:10.1111/efp.12104

- Müller, M.M., Hamberg, L. & Hantula, J. 2016. The susceptibility of European tree species to invasive Asian pathogens: a literature based analysis. *Biological Invasions* 18: 2841–2851. doi:10.1007/s10530-016-1174-6
- Neuvonen, S., Tikkanen, O.-P. & Viiri, H. 2016. Neljä vuotta kansallista kirjanpajaseurantaa: feromoniseurannan tulokset 2015 ja muita havaintoja. Julkaisussa: Nevalainen, S. & Pouttu, A. (toim.), *Metsätuhot Vuonna 2015*. 36 s.
- Nevalainen, S., Matala, J., Korhonen, K., Ihalainen, A., & Nikula, A. 2016. Moose damage in National Forest Inventories (1986–2008) in Finland. *Silva Fennica* 50(2) article id 1410. doi:10.14214/sf.1410
- Oliva, J., Samils, N., Johansson, U., Bendz-Hellgren, M. & Stenlid, J. 2008. Urea treatment reduced *Heterobasidion annosum* sl root rot in *Picea abies* after 15 years. *Forest Ecology and Management* 255: 2876–2882. doi:10.1016/j.foreco.2008.01.063
- Peltola, H., Kellomäki, S., Väisänen, H., & Ikonen, V.-P. 1999. A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch. *Canadian Journal of Forest Research* 29(6): 647–661. doi:10.1139/cjfr-29-6-647.
- Peltola, H., Ikonen, V.-P., Gregow, H., Strandman, H., Kilpeläinen, A., Venäläinen, A., & Kellomäki, S., 2010. Impacts of climate change on timber production and regional risks of wind-induced damage to forests in Finland. *Forest Ecology and Management* 260: 833–845. doi:10.1016/j.foreco.2010.06.001
- Peltonen, M. 1999. Bark beetles at forest edges: Effects on species occurrence. Väitöskirja. Julkaisuja/Reports 26. Soveltavan eläintieteen laitos. 34 s.
- Piri, T. 2003a. Early development of root rot in young Norway spruce planted on sites infected by *Heterobasidion* in southern Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 604–611. doi:10.1139/x02-200
- Piri, T. 2003b. Silvicultural control of *Heterobasidion* root rot in Norway spruce forests in southern Finland. Väitöskirja. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 898. 64 s.
- Piri, T. & Korhonen, K., 2008. The effect of winter thinning on the spread of *Heterobasidion parviporum* in Norway spruce stands. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 2589–2595. doi:10.1139/X08-103
- Pouttu, A. & Annala, E. 2010. Kirjanpajajalla kaksi sukupolvea kesällä 2010. *Metsätieteen Aikakauskirja* 4/2010: 521–523.
- Subramanian, N., Bergh, J., Johansson, U., Nilsson, U. & Sallnäs, O. 2015. Adaptation of Forest Management Regimes in Southern Sweden to Increased Risks Associated with Climate Change. *Forests* 7: 8. doi:10.3390/f7010008
- Suvanto, S., Henttonen, H.M., Nöjd, P. & Mäkinen, H. 2016. Forest susceptibility to storm damage is affected by similar factors regardless of storm type: Comparison of thunder storms and autumn extra-tropical cyclones in Finland. *Forest Ecology and Management* 381: 17–28.
- Thom, D. & Seidl, R. 2016. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biological Reviews* 91: 760–781. doi:10.1111/brv.12193
- Uotila, A. 1988. The effect of climatic factors on the occurrence of *Scleroderris* canker. *Folia Forestalia* 721. 23 s.
- Zubizarreta-Gerendiain, A., Pukkala, T. & Peltola, H. 2016. Effects of wind damage on the optimal management of boreal forests under the current and changing climatic conditions. *Canadian Journal of Forest Research* 47: 246–256. dx.doi.org/10.1139/cjfr-2016-0226



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000