

This is an electronic reprint of the original article.

This reprint *may differ* from the original in pagination and typographic detail.

Author(s): Niko Silvan & Sakari Sarkkola

Title: Puustobiomassojen määrä ja hyödyntämismahdollisuudet heikkotuottoisilla mäntyvaltaisilla turvemaan ojitusalueilla

Year: 2022

Version: Published version

Copyright: The Author(s) 2022

Rights: CC BY-SA 4.0

Rights url: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Please cite the original version:

Silvan N., Sarkkola S. (2022) Puustobiomassojen määrä ja hyödyntämismahdollisuudet heikkotuottoisilla mäntyvaltaisilla turvemaan ojitusalueilla. Suo 73(2): 3-14.
<http://www.suo.fi/article/10796>

All material supplied via *Jukuri* is protected by copyright and other intellectual property rights. Duplication or sale, in electronic or print form, of any part of the repository collections is prohibited. Making electronic or print copies of the material is permitted only for your own personal use or for educational purposes. For other purposes, this article may be used in accordance with the publisher's terms. There may be differences between this version and the publisher's version. You are advised to cite the publisher's version.

✚ Puustobiomassojen määrä ja hyödyntämismahdollisuudet heikkotuottoisilla mäntyvaltaisilla turvemaan ojitusalueilla

Biomass utilization potential on low-productive Scots pine (*Pinus sylvestris*) dominated peatlands drained for forestry

Niko Silvan & Sakari Sarkkola

Niko Silvan, Luonnonvarakeskus (Luke), Parkano. Sepänkatu 6, 39700 Parkano. email: niko.silvan@luke.fi; Sakari Sarkkola, Luonnonvarakeskus (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki. email: sakari.sarkkola@luke.fi

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää heikkotuottoisten kitumaan metsäojitettujen soiden biomassapotentiaalia, koska mm. energiaturpeen käytön ennakoimattoman nopea ja raju väheneminen aiheuttaa ainakin lyhyellä aikavälillä merkittäviä paineita puuperäisten polttoaineiden käytön lisäämiselle. Heikkotuottoiset metsäojitetut suot voisivat olla yksi mahdollinen puubiomassareservi. Ojituksen jälkeen näille alun perin avoimille tai vähäpuustoisille soille on syntynyt puustoa, josta usein kuitenkin vain osa on hyödyntämiskelpoista jatkokäyttöön puuraaka-aineena. Energiakäyttöön puu sopisi dimensioidensa puolesta kuitenkin hyvin ja korjuusaantoa lisäisi puun korjaaminen kokopuuna siten, että myös kanto- ja juuristobiomassaa korjattaisiin samalla. Tässä tutkimuksessa selvitettiin heikkotuottoisella turvemaakasvupaikalla kasvavan männikön biomassamääriä Lylynnevan suolla Karviassa. Puut korjattiin kokopuukorjuuna eli kokonaisina runkoina kantoineen ja juurineen. Biomassat määritettiin ositteittain koepuista ja niille laadittiin tilastolliset biomassan ennustemallit. Tarkasteltaviin biomassaositteisiin sisältyvät runkopuubiomassan ohella oksa-, kanto- ja juuribiomassat sekä juurakoiden mukana noussutta suon pintakerroksen kasvibiomassaa, kariketta ja pintaturvetta. Näistä määritettiin biomassaositteiset lämpöarvot. Tulokset suhteutettiin Valtakunnan metsien 11:n inventoinnin (VMI 11) puustotietoaaineistoon. Tulostemme mukaan heikkotuottoisilta metsäojitetuilta soilta voitaisiin korjata runsaat 30 miljoonaa tonnia kokopuubiomassaa, jonka lisäksi kariketta ja ns. juurakkoturvetta saataisiin noin 9 miljoonaa tonnia. Lämpöarvoltaan kokopuubiomassa-juurakkoturveseos on hyvin lähellä mäntyrunkopuusta tehtyä haketta. Vaikka käytetty korjuutapa on suhteellisen voimaperäinen puuston ja maanpinnan käsittely, sillä voidaan olettaa olevan pidemmällä aikavälillä merkittäviä luonnonhoidollisia ja maankäytön kokonaiskestävyyttä parantavia vaikutuksia, mikäli alueen seuraava käyttömuoto perustuu vedenpinnan nostamiseen. Heikkotuottoisille ojitusalueille syntyneen biomassareservin eduksi voidaan katsoa myös se, että sen hyödyntäminen ei kilpaile ainespuun tuotannon kanssa.

Avainsanat: bioenergia, biomassa, pintaturve, juurakko, juuristo, kokopuukorjuu, suometsä

Johdanto

Riippumattomuus tuontienergiasta, energian hinnan tasaaminen, toimitusvarmuuden turvaaminen, haitallisten ilmastovaikutusten vähentäminen ja uusien liiketoimintamahdollisuuksien edistäminen ovat tavoitteita, jotka luovat tarpeen kotimaisen bioenergian käytön lisäämiselle Suomessa. Puuperäisten biomassojen polton lisäksi Suomi on viime vuosikymmeninä turvautunut pitkälti kotimaiseen energiaturpeeseen paikallisessa energiatuotannossaan. Energiaturpeen käyttö on kuitenkin voimakkaasti vähenemässä mihin on vaikuttanut ennen kaikkea päästöoikeuksien hinnan nousu ja osaltaan myös verotuspäätökset. Tämä ennakoitua merkittävästi nopeampi muutos aiheuttaakin ainakin väliaikaisesti merkittäviä paineita lisätä puuperäisen biomassan käyttöä energiantuotannossa. Puunjalostusteollisuuden sivutuotteet (kuori ja puru) hyödynnetään jo nyt täysimääräisesti energiaksi, joten lisää puuta energiantuotantoon on käytännössä mahdollista saada ainoastaan energiantuotantotarkoituksiin kerättyinä metsähakkeena. Metsäpolttoaineiden käytön huomattava lisääminen tullee näin ollen aiheuttamaan haasteita metsäbiomassan riittävyydestä ja ekologisista vaikutuksista lähitulevaisuudessa, etenkin mikäli ainespuuhakkuita lisätään nykyisestä noin 70 miljoonasta vuotuisesta kuutiometristä merkittävästi (Vaahtera ym. 2021). Lähivuosikymmenien siirtymävaiheen voimakkaassa puun kysyntätilanteessa Suomen täytyneekin ottaa huomioon kaikki mahdolliset puubiomassareservit mitä on kestävästi hyödynnettävissä. Turvemaiden metsävarojen energiakäyttöön bioenergiana liittyy kuitenkin ongelmia, kuten esimerkiksi turvemaakasvupaikoilta tulevat nettohiilipäästöt sekä humus- ja ravinnekuormitus alapuolisiin vesistöihin.

Vaikka uudisojitustoiminnassa pyrittiin jo alun perin välttämään heikkotuottoisimpia suokasvupaikkoja, metsäojituksen huippukautena 1960–1970-luvuilla ojitettiin myös sellaisia karuja kitumaan kasvupaikkoja, joiden katsottiin tulevan lannoituksilla metsänkasvatuskelpoiksi (Heikurainen 1960, Huikari ym. 1963, Paavilainen 1979). Tutkimustiedon karttuessa osa karuimista ojitusaluekasvupaikoista on osoittautunut

taloudellisesti metsänkasvatuskelvottomiksi ja suurin osa niistä tulee väistämättä jäämään metsätalouden ulkopuolelle (Penttilä ym. 2010, Laiho ym. 2016) ja ne ennallistuvat vähitellen takaisin suoekosysteemeiksi. Suomessa tällaisia kunnostusojituskelvottomia kitu- tai jopa joutomaaksi määriteltyjä heikkotuottoisia metsäojitusalueita on arviolta noin 778 000 ha (Laiho ym. 2016) ja vaikka niiden tarkka kasvupaikkatyyppijakauma ei ole tiedossa, pääosa heikkotuottoisista kitumaan ojitusalueista on varputurvekankaita (Vatkg I, II) (Kojola ym. 2013). Heikkotuottoisia kasvupaikkoja voi olla kuitenkin myös ravinteikkaammilla kasvupaikkatyypeillä, jos niillä esiintyy voimakasta ravinne-epätasapainoa, jonka korjaaminen on hankalaa ja vaatisi puuston kasvatusaikana toistuvia lannoituksia. Tällaisia ovat erityisesti alun perin märkiä paksuturpeisia suotyyppisiä edustaneet ojitusaluekasvupaikat. Heikkotuottoisuuden raja ei ole yksiselitteinen vaan riippuu paitsi puuston tuotoksesta ja kasvavan puuston määrästä, myös metsänkasvatuksen taloudellisista tavoitteista. Kitu- ja joutomaiden ojitusaluekasvupaikoilla ei kuitenkaan ole metsälain mukaista uudistamisvelvoitetta (Metsälaki 1996/1093), joten se on yksi varteenotettava kriteeri arvioitaessa heikkotuottoisten ojitusalueiden jatkokäyttömahdollisuuksia.

Vaikka heikkotuottoisilla ojitusaluekasvupaikoilla puuston tuotos on liian alhainen kannattavan metsänkasvatuksen harjoittamiseksi, monilla kasvupaikoilla kasvaa kuitenkin runsaastikin pieniläpimittaista puustobiomassaa. Valtakunnan metsien 11. inventoinnin (VMI 11) tulosten perusteella heikkotuottoisilla ojitusaluekasvupaikoilla puuston runkotilavuus on kaikkiaan lähes 37 miljoonaa kuutiometriä (Antti Ihalainen, julkaisematon). Tämän biomassareservin hyödyntämisestä olisi monia etuja: vähäpuustoisille ojitetuille kitumaan soille on haasteellista keksiä mitään muuta taloudellisesti järkevää käyttöä (Juutinen ym. 2020), varsinkaan kun turvetuotanto ei enää ole vaihtoehto. Kitumaan tuotostasolle jääneet karut ojitusalueet sijaitsevat usein laajoissa yhtenäisissä kuvioissa tai liittyvät osaksi laajempaa, kunnostusojituskelpoista suoaluetta, mikä osaltaan helpottaa biomassan korjuun logistiikkaa. Lisäksi turvemaiden pehmeät maat sallivat helpon

juurakoiden ja juurakkoturpeiden noston ilman erikoiskoneita. Puuston poisto kokopuukorjuuna juurakoineen ja juurakkoturpeineen on tehokas ennallistamiskeino, jolla nämä alun perin tyypillisesti puuttomat tai erittäin vähäpuustoiset karut nevat ja rämeet voitaisiin palauttaa lähelle alkuperäisen suoluonnon kaltaista tilaa. Ongelmana näillä kohteilla ovat kuitenkin korjuukertymien pienuus pinta-alayksikköä kohti, pitkät metsäkuljetusmatkat, sekä heikot sulan maan ajan kantavuusolot kasvupaikan kosteudesta ja pienestä kantavuutta parantavasta juuristomäärästä johtuen. Heikkotuottoisten metsäojitusalueiden puuvarantojen käyttöä puoltaa myös se, että se ei vaikuta ainespuun saatavuuteen, vaan voi päinvastoin vähentää painetta energiapuun kysynnän suuntautumisesta käyttöpuuositteisiin.

Yksi keskeisistä heikkotuottoisten ojitusalueiden jatkokäyttömuodoista tulevaisuudessa on kasvupaikan vettäminen ojia tukkimalla tai alueen jättäminen ennallistumaan vähitellen itsestään takaisin luonnontilaisen kaltaiseksi suoekosysteemiksi (Ojanen 2020). Usein karujen soiden ennallistamisessa on tarkoituksenmukaista poistaa haihduttava puusto joko kokonaan tai osittain sekä vesitaloudellisista että maisemallisista syistä alkuperäisestä suotyyypistä riippuen (Aapala ym. 2013). Puuston haihdunnan vähetessä ja kenttä- ja pohjakerroksen valo-olosuhteiden muuttuessa runsaasti kosteutta ja valoa vaativan suokasvilajiston leviämisen edellytykset vastaavasti paranevat. Mikäli runkojen lisäksi korjataan myös kannot, voidaan samassa yhteydessä tukkia olemassa olevaa ojaverkostoa ja näin vähentää hajoavasta biomassasta liikkeelle lähtevien ravinteiden määrää. Kokopuukorjuusta saatavilla energiapuun myyntituloilla voisi mahdollisesti kattaa osa ennallistamisen kustannuksista.

Jotta heikkotuottoisten soiden biomassoja olisi mahdollista hyödyntää, tarvitaan aiempaa tarkempaa tietoa niiden määrästä sekä kuvio- että aluetasolla. VMI-mittausten avulla puustojen alueellisia kokonaismääriä pystytään arvioimaan luotettavasti, mutta eri biomassaositteiden suhteellisista osuuksista ja tiheyksistä on tietoa niukasti. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää metsätaloudellisen hyötykäytön ulkopuolelle jäävien heikkotuottoisten metsäojitusalueiden puustobiomassojen määriä ko-

kopuukorjuuta silmällä pitäen. Tarkasteltaviin biomassoihin sisältyivät runkopuubiomassan ohella oksa-, kanto- ja juuribiomassat sekä myös kokopuukorjuun yhteydessä juurakoiden mukana nousevat määrät suon pintakerroksen kasvubiomassaa, kariketta ja juurakkoturvetta. Viimeksi mainittujen merkityksestä biomassakertymissä on toistaiseksi ollut olemassa lähinnä vain karkeita arvioita. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää: 1) miten paljon puubiomassaa on tyypillisessä heikkotuottoisen ojitusalueen männikössä sekä 2) minkälainen energiareservi heikkotuottoisten metsäojitusalueiden puustot ovat Suomessa sekä biomassan kokonaismäärän että niiden energiasisällön osalta.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimusalue

Tutkimusalue sijaitsi Karvian kunnan Lylynneva-nimisellä ojitetulla suoalueella (62°17.47'N, 22°82.28'E). Lylynnevaa voidaan pitää kasvupaikkansa ja puuston ominaisuuksiensa perusteella tyypillisenä metsänkasvatukseen liian karuna metsäojitusalueena. Alue on ojitettu 1970-luvun alussa. Alueen alkuperäinen suotyyppi on ollut lyhytkorsinevaa (LkN), mutta kuivatussukcession edetessä ojituksen jälkeen kasvupaikan kasvilisuus on muuttunut ja alue voidaan nykyisin luokitella jäkäläturvekankaaksi (Jätkg II) (Laine ym. 2012). Alueen voidaan katsoa edustavan varsin hyvin tyypillistä karua heikkotuottoisen suon ojitusaluetta Etelä- ja Keski-Suomessa, koska suuralueen heikkotuottoisista metsäojitetuista soista suurin osa on joko lyhytkorsineva- tai lyhytkorsirämelähtöisiä jäkälä- tai varputurvekankaita (Laiho ym. 2016). Monien lannoittamattomien karujen jäkäläturvekankaiden tapaan, puuston ojituksen jälkeinen lisäkasvu on tälläkin alueella jäänyt hyvin vähäiseksi. Alueen puuston keskitilavuus oli 35 vuoden kuluttua ojituksesta vain n. 11 m³ ha⁻¹ (taulukko 1).

Taulukko 1. Karvian Lylynnevan koekentältä mitattujen puubiomassakoealojen puustotunnuksia karussa heikko-tuottoisessa rämemännikössä.

Table 1. Stand characteristics measured in the nutrient-poor, drained Scots pine peatland study site in Lylynneva-mire, in Karvia municipality, Central Finland.

Puustotunnus/Tree dimensions	Arvo/Value
Kokonaistilavuus (<i>Stand volume, V</i> , m ³ ha ⁻¹)	11.3
Pohjapinta-ala (<i>Basal area, PPA</i> , m ²)	3.0
Valtapituus (<i>Dominant height, H₁₀₀</i> , m)	7.0
Keskiläpimitta (<i>Mean diameter, DM</i> , cm)	9.3
Runkoluku (<i>Stem number, N</i> , kpl ha ⁻¹)	323

Puuston mittaukset ja korjuutoimenpiteet

Yhteispinta-alaltaan 8000 m²:n koealueelle rajattiin vuoden 2007 kesällä neljä kappaletta pinta-alaltaan 2000 m² kokoista ojaan ulottuvaa koealaa. Koealoilta mitattiin tärkeimmät puu- ja puustotunnukset kaikista puista sekä kerättiin biomassanäytteitä juurineen nostetuista kaato-koepuista.

Koealojen jokaisesta rinnankorkeudeltaan (d1.3, cm) vähintään 3 cm olevasta puusta mitattiin rinnankorkeusläpimitta (d1.3, mm) kahdesta ristikkäisestä suunnasta sekä puun pituus (h, m). Läpimitaltaan alle 3 cm:n puiden katsottiin kuuluvan alueen vähäiseen vaihtuvaan taimiainekseen, joka ei ole hyödyntämiskelpoista, ja niitä ei mitattu. Jokaisesta vähintään seitsemän metrin pituisesta puusta mitattiin lisäksi yläläpimitta kuuden metrin korkeudelta (d6, cm).

Puustomittausten jälkeen koealalla toteutettiin kokopuukorjuu, jossa maanpäällisen runko ja oksabiomassan lisäksi korjattiin myös puiden juurakot sekä niiden mukana irtoavaa pintakasvilisuutta, kariketta ja pintaturvetta, joista jatkossa käytetään nimitystä juurakkoturve. Korjuu toteutettiin metsätraktorilla ilman erikoisvarusteita marraskuussa 2007. Erillistä kaatokonetta ei käytetty. Kokopuukorjuun ja -kuljetuksen yhteydessä maaston kantavuus vaihteli, joten voitiin tehdä myös pienimuotoisia ajokokeita maan ollessa täysin sula sekä hyvin ohuen roudan aikaan (n. 3 cm paksu) käyttäen sekä normaalia metsätraktoria (Ponsse Wisent, 8-pyöräinen, kapasiteetti 12 000 kg) että kevyttä kumitelaista metsätraktoria (Logbear F4000, kapasiteetti 4000 kg).



Kuva 1. Rungon kallistaminen tarttumalla juurenniskasta (kuva: Niko Silvan).

Figure 1. Tilting of the stem by gripping a root collar (photo: Niko Silvan).

Korjuualueen kaikki puut nostettiin kokonaisina juuripaakkuineen. Puun vetäminen kasvualustastaan toteutettiin tarttumalla puuta juurenniskan kohdalta tai sen alapuolelta ajokoneen kouralla ja kallistamalla puu irti maasta (kuva 1). Yhden rungon irrotukseen maasta ja kuormaukseen kului rungon koosta riippuen aikaa 0,5 minuutista kahteen minuuttiin. Pienet puut (d1.3 ≤ 10 cm) korjattiin tarttumalla rungosta noin rinnan korkeudelta kiinni ja nostamalla puu sellaisenaan välittömästi ylös maasta. Puut kuljetettiin juurakoiden koosta riippuen 5–10 rungon erissä varastopaikalle. Ajokertoja kertyi yhteensä yhdeksän kappaletta.

Koepuutanta ja biomassanäytteet

Biomassanäytteiden otto ja -analyysit toteutettiin keväällä 2008. Koealueella oli rinnankorkeusläpimitaltaan yli 3 cm puita yhteensä 258 kpl, joista juurakoineen irti nostettuja kokopuurunkoja (kaikki mäntyjä) oli yhteensä 53 kpl. Biomassanäytepuiksi valittiin korjatuista puista kaikki puut, joissa ei ollut merkittäviä korjuusta aiheutuneita vaurioita. Yhteensä valittuja biomassanäytepuita oli 38 kpl, joista otettiin näytteet seuraavista biomassaositteista: oksat (ml. neulaset), runko, kanto, juurakon mukana nousseet juuret (läpimitta > 3 cm) sekä myös juurakkoon tarttunut juurakkoturve. Jokaisten biomassaositteiden tuorepaino punnittiin maastossa. Punnituksessa

käytettiin kenttäoloihin soveltuvaa, mekaanista punnusvaakaa, tarkkuudeltaan 10 g.

Jokaisesta näytepuun biomassa- ja juurakkoturveositteesta otettiin maastossa 15 eri näytettä tarkempia laboratoriomittauksia varten. Rungosta (tyvi-, keski- ja latvaosa), kannosta ja yli 20 mm paksuista oksan- ja juurenosista sahattiin n. 50 mm paksut näytekiekot sekä kerättiin pienempiä oksia neulasineen läheltä puun latvaosaa astiatilavuudeltaan noin yhden litran verran. Laboratoriossa näytteet pussitettiin ja kuivattiin 105 °C:ssa yhden vuorokauden ajan, minkä jälkeen näytteet punnittiin kuivamassan määrittämiseksi. Juuripaakusta otettiin kaksi tilavuudeltaan yhden litran maanäytettä, joista kumpikin näyte laitettiin omaan pussiinsa. Toisen pussin sisältö käsiteltiin kuivamassan määrittämiseksi samaan tapaan kuin puuaineoksen ositteet, kun taas toisen pussin sisältö analysoitiin pommikalorimetrisellä menetelmällä (Raiko ym. 1995) juuripaakun turveaineoksen lämpöarvon ja maatuneisuusasteen määrittämiseksi. Laboratoriomittaukset tehtiin silloisen Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen toimipaikan laboratoriossa.

Biomassojen laskenta, lämpöarvot, mallintaminen ja yleistäminen

Tässä työssä käytetty koko Suomea koskeva arvio metsänkasvatuskelvottomien ojitettujen soiden puuston tilavuudesta (Antti Ihalainen, julkaisematon) perustuu VMI11-tuloksiin. VMI11:n maastotyöt on toteutettu vuosina 2009–2012.

Koepuiden runkojen tilavuudet laskettiin Laasasenahon (1982) tilavuusyhtälöillä. Mitatuista puubiomassoista laskettiin ositekohtaiset kokonaisbiomassat sekä biomassat puun tilavuusyksikköä kohden. Näistä saatuja ositekohtaisia keskiarvoja käytettiin muutettaessa VMI-aineistosta saadut puumäärät biomassoiksi. Puubiomassojen ja puun dimensioiden (läpimitta ja pituus) välistä riippuvuutta tarkasteltiin tilastollisen mallinnuksen avulla ja malliennusteita verrattiin aikaisempiin Marklundin (1988) ja Repolan ym. (2009) laatimien kivennäismaiden männyn biomassamallien ennusteisiin sen havainnollistamiseksi kuinka paljon suomäntyjen biomassat poikkeavat vastaavan kokoisten kivennäismaalla kasvavista puista. Biomassamallit laadittiin sekä

kokonaisbiomassalle että puun ja juurakkoturpeen kokonaismassalle (kg). Mallinnuksessa päädyttiin pienimmän neliösumman periaatteella estimoitavaan lineaariseen regressiomalliin (OLS). Mallit laadittiin SAS Enterprise Guide 7.15 -ohjelmistolla HPREG-proseduurilla. Malliversioiden väliseen vertailuun ja parhaimman mallin valintaan käytettiin AIC-informaatiokriteeriä. Lopullinen mallirakenne on seuraava:

$$\ln(\text{Biomassa}) = \alpha + \beta_1 \frac{d_{1,3i}}{d_{1,3i} + 4} + \beta_2 \frac{h_i}{h_i + 1} + e_i \quad (1)$$

jossa Biomassa on joko pelkkä puuyksilön kokonaispuubiomassa (juuret + kanto + runkopuu + oksat) tai puuyksilön juurakkoon nostettaessa tarttunut juurakkoturve. Kaavassa α , β_1 ja β_2 ovat estimoitavia parametrejä, $d_{1,3}$ on puuyksilön rinnankorkeusläpimitta (cm) ja h_i on puuyksilön pituus (m). Biomassan ja selittävien muuttujien välisen riippuvuuden linearisoimiseksi läpimitalle ja pituudelle tehty muunnokset noudattelivat Repolan (2009) biomassamalleissa käytettyjä, sillä näillä muunnoksilla mallien ennusteiden harha muodostui pienimmäksi. Kalorimetrianalyyseistä saatuja lämpöarvotuloksia verrattiin Alakangas ym. (2016) biopoltoaineraportissa esitettyihin kokopuuhakkeen (mänty) keskimääräisiin lämpöarvoihin.

Tulokset

Kokopuukorjatun biomassa-aineiston perusteella keskimääräinen puukohtainen kuiva-aineena mitatun puubiomassan (juuret + runko + oksat) määrä oli noin 23 kg (keskivirhe 3,4 kg) ja kunkin korjatun puun juurakon mukana nousi juurakkoturvetta n. 7 kg (keskivirhe 1,05 kg). Korjattua runkopuukuutiometriä kohden kokonaispuubiomassaa saatiin noin 936 kg m⁻³ (±33 kg), josta n. 48 % oli peräisin rungosta. Vastaavasti juurakkoturvemassaa saatiin juurakoiden mukana noin 279 kg (±14,5 kg) kutakin runkopuukuutiometriä kohden (taulukko 2).

VMI11 inventointitietojen mukaan puuta kasvava heikkotuottoisilla metsäojitetuilla turvemilla Suomessa kaikkiaan noin 32 109 000 m³. Tämän tutkimuksen biomassatuloksilla kerrottuna ko-

Taulukko 2. Lylynnevan koealueelta mitattujen koepuiden biomassat (kuivamassat) ositteittain sekä niiden osuudet kokonaisbiomassasta (puu + juurakkoturvet). Juurakkoturpeella tarkoitetaan kokopuukorjuussa puun juuriston mukana nousevaa ja korjattavaa pintakasvillisuuden, karikkeen ja varsinaisen turpeen muodostavaa massaa.

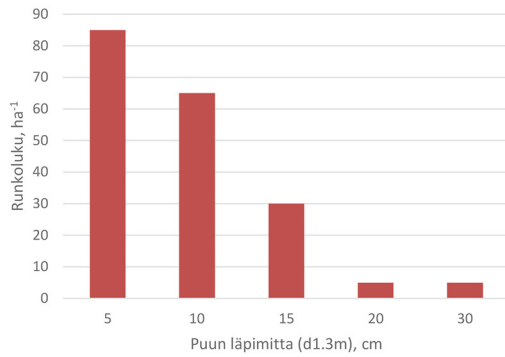
Table 2. The measured biomasses (dry masses) of the sample trees collected from the Lylynneva-mire experimental site as biomass fractions as well as their shares of the total biomass (tree and peat/moss mass bound in the rooting system).

Biomassat Biomasses (kg)	Juuret Roots	Kanto Stump	Runko Stem	Oksat Branches	Tot_puu Tot_tree	Turve Peat	Turve+puu Peat+tree
Keskiarvo/puu (mean/stem)	4.45	3.97	11.28	3.78	23.18	7.03	30.21
keskihajonta (stdv.)	4.50	3.46	10.11	3.73	21.11	6.62	27.61
Keskiarvo/puu m ⁻³ (mean/stem m ⁻³)	178.49	173.36	447.84	142.40	936.39	279.44	1215.83
keskihajonta	63.51	80.71	109.47	54.41	204.16	89.36	267.68
%-kokonaisbiomassasta (% of tot. biomass)	14.68	14.26	36.83	11.71	77.02	22.98	100
% puubiomassasta % (of tree biomass)	19.05	18,50	47,85	15,20	100		

konaispuubiomassa on noin 30,065 milj. tonnia (vaihteluväli noin $\pm 1,06$ milj. tonnia). Kariketta ja juurakkoturvetta tulisi näiden lisäksi korjatun puun mukana noin 8,95 milj. tonnia ($\pm 0,46$ milj. tonnia) olettaen, että puumäärä noudattaa samaa läpimittajakaumaa ja tiheysominaisuuksia kuin tämän tutkimuksen biomassa-aineisto, joka oli käänteisen J-kirjaimen muotoinen ns. laskeva jakauma (kuva 2). Juurakon mukana ylös nousevan juurakkoturpeen määrä kasvoi puun koon kasvaessa ja oli läpimitaltaan yli 10 cm puilla noin neljännes puun ja juurakkoturpeen yhteisestä

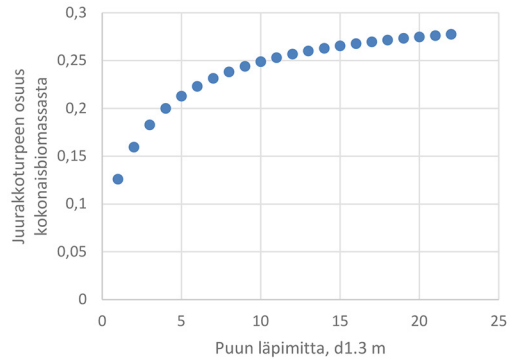
kokonaisbiomassasta. Juurakkoturpeen määrä ei kuitenkaan kasvanut lineaarisesti puun koon kasvaessa vaan sen määrä jäi enimmilläänkin alle kolmannekseen kokonaisbiomassasta (kuva 3).

Biomassan määrä voitiin ennustaa luotettavasti rungon dimensioiden, läpimitan ja pituuden, avulla. Sekä puuyksilökohtaisten biomassamallien että mallien, jossa puubiomassan lisäksi oli mukana juurakoihin tarttunut juurakkoturvet, selitysteet olivat yli 90 % (keskivirhe 0.10) (kuva 4, taulukko 3). Residuaalitarkastelujen perusteella malliennusteissa ei esiintynyt systemaattista har-



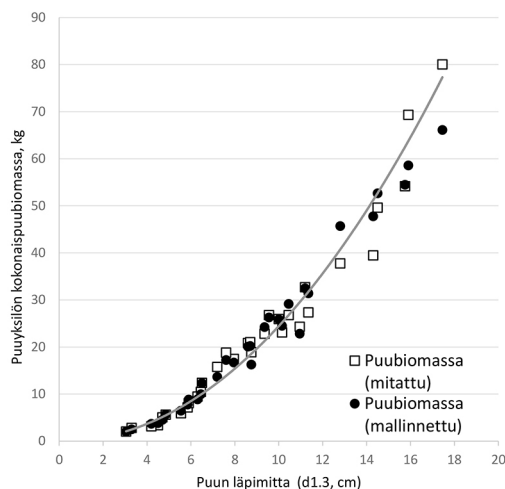
Kuva 2. Lylynnevan heikkotuottoisesta ojitusalueen-
niköstä kerätyn biomassa-aineiston läpimittajakauma
(tasaavin läpimittaluokittain).

Figure 2. The diameter distribution of the biomass
sample trees collected from the study stand in drained
Lylynneva-peatland site. Runkoluku=stem number/ha,
Puun läpimitta=tree diameter at breast height, 1.3 m, cm.



Kuva 3. Kokopuukorjattujen runkojen mukana poistuvan
pintaturpeen määrä suhteessa puun läpimittaan biomassa-
mallien simulointien perusteella.

Figure 3. The amount of peat/moss biomass bound in the
tree roots removed from the site in the whole-tree har-
vesting according to the simulations of the constructed
biomass models.



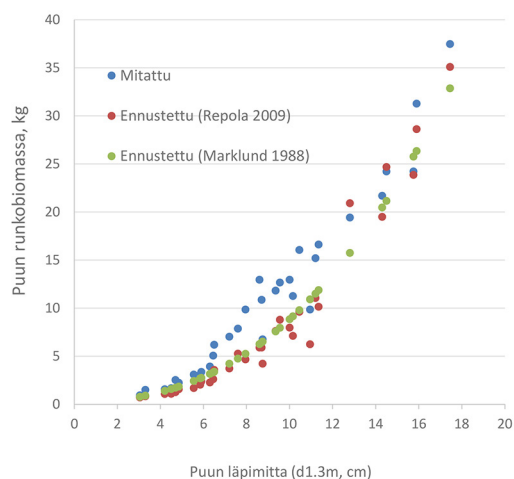
Kuva 4. Mitatut ja laaditulla regressiomallilla (taulukko 2) ennustetut puuyksilökohtaiset kokonaisbiomassat suhteessa puun läpimittaan tutkimusaineiston suomännnyillä. Tasoitusviiva sovitettu ennustettuihin biomassalukuarvoihin.

Figure 4. The measured and predicted (see the models in table 2) tree-wise biomasses as a function of tree diameter (at breast height, 1.3 m) in the studied sample trees of Scots pine. The line is fitted to the predicted biomass values.

Taulukko 3. Regressiomallin parametrit ja parametrin keskivirheet kokonaispuubiomassalle sekä kokonaisbiomassalle (kuivamassat), jossa mukana puun ohella juurakoihin tarttunut karike ja pintaturve eli ns. juurakkoturpe.

Table 3. The parameters and standard mean errors (sem) of the regression models for the whole tree biomass (Puubiomassa) and the sum of tree biomass and the peat/mosses bound in the rooting system (T+Puubiomassa).

Parametri Parameter	Ln(Puubiomassa)	Ln(T+Puubiomassa)
α	-5.997	-5.613
keskivirhe (sem)	0.488	0.481
β_1	7.339	7.634
keskivirhe (sem)	0.426	0.420
β_2	4.686	4.301
keskivirhe (sem)	0.871	0.858
e_i	0.0114	0.0111
r^2	0.988	0.989



Kuva 5. Tutkimusaineiston mitatut sekä Repolan (2009) ja Marklundin (1988) malleilla simuloidut männyn runkobiomassat puun rinnankorkeusläpimitan suhteen.

Figure 5. The measured trunk biomasses and those simulated by models presented by Repola et al. (2009) as a function of tree diameter at breast height (1.3 m) in our data set.

haa (keskim. suhteellinen harha 0.05 %). Vertailu Marklundin (1988) ja Repolan ym. (2009) mallien ennusteisiin osoitti, että aineistomme puuaines oli tiheämpää kuin kivennäismailla kasvaneilla puilla. Nämä erot, jotka näkyivät erityisesti runkobiomassassa, olivat suurimmillaan (noin 20 %) läpimittaluokissa 8–12 cm (kuva 5).

Juuripaakun mukana nousseen karikkeen ja juurakkoturpeen yhteismäärä kasvoi aluksi puun läpimitan kasvaessa, mutta sen suhteellinen osuus kokonaisbiomassasta tasoittui 25 % ja 30 % välille läpimitaltaan yli 10 cm:n paksuisilla puilla (kuva 4).

Vertailuaineiston (Alakangas ym. 2016) mukaan keskimääräisen mäntyhakkeen tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa on 19,51–22,36 MJ kg⁻¹. Tämän tutkimuksen juurakkoturpeen teholliseksi lämpöarvoksi kuiva-aineessa saatiin 18,35–20,62 MJ kg⁻¹ (taulukko 4). Vertailuaineiston ja tämän tutkimuksen turveaineiston lämpöarvot ovat siis hyvin lähellä toisiaan.

Taulukko 4. Pintaturvenäytteiden lämpöarvot (MJ kg^{-1}).
Table 4. The calorific values (MJ kg^{-1}) of the surface peat samples.

Näyte Sample	MJ kg^{-1}
1	20,00
2	18,66
3	20,62
4	18,82
5	17,94
6	18,82
7	19,04
8	19,07
9	19,61
10	19,40
11	19,58
12	18,70
13	18,35
14	18,40
15	19,59
Keskiarvo Mean	19,11
Keskihajonta Standard deviation	0,70

Erityyppisillä ajokoneilla (tavanomainen keskiraskas metsätraktori Ponsse Wisent, 8-pyöräinen, kapasiteetti 12 000 kg ja kevyt metsätraktori Logbear F4000, kapasiteetti 4000 kg) tehdyissä ajokokeissa syntyi hyvin ennustettava huomio heikkotuottoisten metsäojitettujen soiden heikosta kantavuudesta. Tavanomainen metsätraktori ei kyennyt operoimaan sulalla maalla tai heikon roudan (muutama sentti) vallitessa, vaan pyrki juuttumaan jopa ilman kuormaa. Sen sijaan kevyellä metsätraktorilla ei ollut minkäänlaisia etenemisvaikeuksia korjuualueella täydestä kuormasta huolimatta.

Tulosten tarkastelu

Heikkotuottoiselta ojitusalueelta kerätyn aineiston perusteella, suomäntyjen puuaineksen, sisältäen runkopuun lisäksi myös oksat, kannot ja juuret, kokonaisbiomassa on noin kaksinkertainen pelkkään runkopuun biomassa verrattuna. Mikäli puun osien yhteiseen biomassa lisätään vielä kokopuukorjuussa mukana tulevan karikkeen ja juurakkoturpeen massa, runko-ositteen

suhteellinen osuus pienenee entisestään. Tämä kuvastaa paitsi runko-ositteen pientä keskimääräistä kokoa, mutta myös puun rakenteellisia ominaisuuksia, jotka poikkeavat vastaavan kokoisista (nuorista) kivennäismaalla kasvavista puista (Verkasalo ym. 2005). Vaikka pelkän runkopuun korjaaminen bioenergiaksi olisi heikkotuottoisilta metsäojitusalueilta taloudellisesti kannattamatonta pienen runkopuun tilavuuden vuoksi (Kojola ym. 2013), muut biomassaositteet lisäävät selvästi kokopuukorjuussa saatavan biomassan määrää ja parantavat siten myös korjuun taloudellista kannattavuutta. Kokopuukorjuussa jää pois myös aikaa vievä rungon karsinta- ja katkontavaihe. Taloudellisia kannattavuustekijöitä ei tässä tutkimuksessa selvitetty, mutta pienimuotoisten ajokokeiden tulosten perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että sulan maan aikainen korjuu normaallilla metsätraktorikalustolla ei ole mahdollista. Kevyiden tai erikoisleveillä teloilla varustettujen metsätraktorien käyttö tulisi mahdollisesti lisäämään kokopuukorjuun kustannuksia verrattuna tavanomaiseen keskiraskaaseen kalustoon.

Juurakon mukana nousevan karikkeen mukana tulee vääjäämättä jonkin verran myös varsinaiseksi turpeeksi luokiteltavaa massaa, juurakkoturvetta. Tämän ns. vanhan turpeen osuus korjuussa halutaan pitää mahdollisimman pienenä, koska sitä ei lueta samanlaiseksi uusiutuvaksi biomassaksi kuin elävä biomassa tai karike ja sen korjuu pienentää kasvupaikan hiilivarastoa. Koska rämemäntyjen juuristo ulottuu pääosin vain n. 20 cm syvyyteen, juurakkoturvetta kuluu pääosin ojituksen jälkeen turvekerroksen pinnalle syntyneestä heikosti maatuneesta ns. sekundaariturpeesta ja raakahumuksesta (Saari- nen ja Hotanen 2000). Pienen korjuusyvyyden vuoksi vanhan turpeen osuus juurakkoturpeesta on siten oletettavasti hyvin pieni, mutta sitä ei ollut mahdollista tässä tutkimuksessa tarkemmin selvittää. Suon kokonaishiilivaraston kannalta juurakkojen mukana poistuvan turpeen määrää voidaan kuitenkin pitää pinta-alaan suhteutettua vähäisenä.

Juurakkoturvetta soveltunee polttolaitokseen hakkeen joukossa erinomaisesti, sillä sen lämpöarvo vastasi lähes täysin mäntyhakkeen lämpöarvoa (taulukko 2, Alakangas ym. 2016). Tämä johtunee ainakin osittain ns. vanhan turpeen

hyvästä lämpöarvosta. Lisäksi polttolaitokset käyttävät ainakin toistaiseksi muutenkin turvetta ja puuta seospoltossa puun ja turpeen osuuden vaihdellessa huomattavastikin. Puuaineksesta ja juurakkoturpeista muodostuvan sekahakkeen keskimääräistä energiatihelyä (MWh m^{-3}) ei tässä tutkimuksessa selvitetty, joten sitä ei voida suoraan verrata tyypillisen suomalaisen kokopuuhakkeen energiatihelysarvoihin. Koepuille olisi pitänyt suorittaa erillinen haketuskoe ja määrittää saadusta hakkeesta irtotiheys ja kosteusprosentti, joiden avulla yhdessä lämpöarvotulosten kanssa voidaan laskea hakkeen energiatihelys (Alakangas ym. 2016). Puusta ja juurakkoturpeesta muodostuva sekahake on todennäköisesti varsin epätasalaatuista. Koska tässä tutkimuksessa suoritettiin vain yksi korjuukoe, ei tiedetä, paljonko juurakkoturpeen määrä ja laatu voivat vaihdella. Mikäli heikkotuottoisten ojitusalueiden biomassoja alettaisiin laajamittaisemmin hyödyntää, olisi tarpeellista myös selvittää, miten mahdollisesti epätasalaatuinen hake vaikuttaa energiantuotantolaitosten kattilatekniikkaan ja millaisia säätöjä kattiloilta mahdollisesti vaaditaan.

Kokopuukorjuun kustannukset riippunevat käytettävän kaluston koosta ja metsäkuljetusmatkasta sekä etenkin korjuu- ja kuormaustavasta (Kojola ym. 2013). Mikäli myydystä hakkeesta saatu tulo ei riitä kattamaan korjuun kustannuksia, voisi kokopuukorjuu silti toimia taloudellisena porkkanana soiden ennallistamishankkeissa, kun osa ennallistamisen kustannuksista voitaisiin kattaa myydyin bioenergian tuotolla. Jos korjuukelpoisuuden kriteeriksi asetetaan jokin tietty etäisyys kantavasta metsäautotiestä, teknistaloudellisesti käytettävissä oleva pinta-ala pienenee VMI 11:n mukaan arvioidusta potentiaalisesta korjuupinta-alasta. Käytännön saavutettavuusrajan sisäpuolella olevien kohteiden sijainti ja määrä olisi mahdollista selvittää paikkatietoanalyysillä, jossa kaikki heikkotuottoiset metsäojitusalueet sekä niiden läheisyydessä oleva metsätieverkosto yhdistettäisiin. Metsänkasvatuskelvottomista heikkotuottoisista metsäojitusalueista suurin osa, yli 80 %, sijaitsee Pohjois-Suomessa (Laiho ym. 2016), jossa kuljetusmatkat ovat pitkiä ja energiapuulla on ollut niukasti kysyntää.

Tässä tutkimuksessa käytetty kokopuukorjuu, kuten turvemaiden puunkorjuu yleensäkin,

on kantavuusolosuhteiden takia pääsääntöisesti tehtävä talviaikaan, mikä vaikuttaa myös korjuun kannattavuuteen. Toisaalta hyvin paksun roudan tai lumen aikana tässä tutkimuksessa käytetyn tyyppinen kokopuukorjuu ei liene mahdollista johtuen siitä, että puut ovat liian tiukasti kiinni alustassaan. Alustavien julkaisemattomien ajokokeiden perusteella myös kesäaikainen korjuu voisi tietyin edellytyksin olla mahdollista. Kokopuukorjuussa maaperän kantavuutta muutoin lisäävä puiden paksujuuristo nimittäin poistetaan eikä hakkuutähteitä synny, joten kantavuusolosuhteet ovat huonommat kuin tavanomaisessa runkopuun korjuussa.

Tutkimusaineiston analyysi ja vertailut kivennäismailla kasvaneiden mäntyjen biomassaineistojen pohjalta tehtyjen aiempien mallien (Marklund 1988, Repola 2009) tuottamiin ennusteisiin osoittivat, että aiemmat mallit aliarvioivat pieniläpimittaisten suomäntyjen runkobiomassaa. Aineistomme puukohtaiset biomassat suhteessa puun kokoon olivat siten suurempia kuin heidän tausta-aineistossaan. Vaikka erojen syitä ei voitu suoraan todentaa, todennäköisesti erot johtuvat siitä, että mallinnusaineistot perustuvat kivennäismaiden männiköihin, ja että hitaasti karulla kasvupaikalla kasvaneiden suopuiden, varsinkin ennen ojitusta syntyneen puuaineen tiheys on kivennäismaiden männiköitä suurempi (Varhimo ym. 2003). Tämä osaltaan ilmentää tarvetta biomassamallien tausta-aineistojen edustavuuden tarkempaan arviointiin ja luotettavuuden parantamiseen. Tämän tutkimuksen aineistoon sovitettujen mallit olivat harhattomia ja ennustivat hyvin aineistossa esiintyvää vaihtelua. Mallinnusaineiston laajempaa edustavuutta metsänkasvatuskelvottomien ojitusalueiden puustoihin ei ole kuitenkaan mahdollista tarkemmin arvioida ja laadittujen biomassamallien verifiointi edellyttäisi alueellisesti kattavampaa aineistoa. Valtakunnan metsien inventointitulosten perusteella (VMI12) heikkotuottoisten ojitettujen soiden puustojen keskitilavuus oli $n. 17 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, kun se tässä aineistossa oli $n. 11 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ eli jonkin verran keskimääräistä vähäpuustoisempi. Tutkimusmetsikkömme runkolukusarja osoitti muodoltaan erikokoisrakenteisen puuston jakaumaa, joka on tyypillistä karujen soiden puustojen hitaalle suksessiolle (Sarkkola et al. 2008). Vaikka tässä tutkimuksessa

ei ollut mahdollista vertailla heikkotuottoisten soiden VMI-aineiston läpimittajakaumia tämän aineiston jakaumaan, käyttämämme puuston ominaisuudet ja niiden jakauman voidaan katsoa hyvin edustavan heikkotuottoisten suometsien puustoja.

Tutkimus osoitti, että heikkotuottoisilta metsäojitusalueilta olisi kertaluonteisesti korjattavissa merkittäviä kokonaismääriä energiapuuta. Tämä edellyttäisi kuitenkin tässä tutkimuksessa käytetyn kokopuukorjuumenetelmän soveltamista, sillä pelkkää runkopuuta voisi heikkotuottoisilta metsäojitetuilta soilta korjata kaikkiaan vain 11,9 milj. tonnia, ja olettaen että ennallistamisessa osa puustosta jätettäisiin pystyyn, korjattavissa olisi todennäköisesti vain noin 8,0 milj. tonnia (Penttilä ym. 2010). Näiden biomassojen korjuu edustaa sekä kyseisten ojitusalueiden metsätaloudellisen käytön lopettamisvaihetta että valmistavaa toimenpidettä metsätalouden jälkikäyttöön. Vaikka tässä tarkasteltu korjuutapa on luonteeltaan varsin voimaperäinen puuston ja maanpinnan käsittely, sillä voidaan olettaa olevan pidemmällä aikavälillä merkittäviä luonnonhoidollisia ja maankäytön kokonaiskestävyyttä parantavia vaikutuksia, mikäli alueen seuraava käyttömuoto perustuu vedenpinnan nostamiseen. Näitä käyttömuotoja voivat olla ennallistaminen takaisin toiminnalliseksi suoekosysteemiksi tai muu korkeaa vedenpintaa sietävä ja edellyttävä käyttömuoto kuten esimerkiksi rahkasammalen kasvatus. Puun ja juurakkoturpeen biomassojen korjuu voisi toimia ennallistamista tukevana toimenpiteenä ja olla jo sellaisenaan kannatettava toimenpide. Kasvupaikan ennallistumista suoekosysteemiksi edistää myös kokopuukorjuussa tapahtuva ojitusmenetelmässä muuttuneen kuivahkon pintakerroksen osittainen poisto, joka parantaa suokasvillisuuden leviämisedellytyksiä. Lisäksi korjuun yhteydessä voidaan jossain määrin tukkia ojia ilman erillisiä kaivutoimenpiteitä esim. ajamalla pitkin ojalinjoja, mikä osaltaan vähentäisi ennallistamisen kustannuksia. Toimenpiteen jälkeinen vedenpinnan nousu toimenpiteen jälkeen vähentäisi myös turpeen hajoamista. Toisaalta metaanipäästöt ja varsinkin karuilla paksuturpeisilta kohteilta tuleva fosforikuormitus vesistöihin saattavat lisääntyä korjuun jälkeen (Kaila ym. 2014).

Lyhyellä aikavälillä kokopuukorjuulla voisi

olla oma merkittävä osansa etenkin valtion mailla lähimmän kymmenen vuoden sisällä toteutettavassa metsäojitettujen soiden ennallistamisvelvoitteessa (Kojola ym. 2015), jossa kokopuukorjuu mahdollisesti tehostaisi metsäojitetun suon ennallistumisprosessia sekä myös ennallistamisen taloutta. Tästä on kuitenkin tutkittua tietoa hyvin niukasti. Pidemmällä aikavälillä metsäojitettujen soiden kokopuukorjuu tarjoaa tarvittaessa käyttöön melko suuren biomassareservin, jonka hyödyntäminen ei kilpaile ainespuun tuotannon kanssa.

Kirjallisuus

- Aapala, K., Similä, M. & Penttinen, J. 2013. Ojitettujen soiden ennallistamisopas. Metsähallituksen luonnonnsuojelujulkaisuja B 188. 301 s.
- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 258: 1–263. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8419-2>
- Heikurainen, L. 1960. Metsäojitus ja sen perusteet. Werner Söderström Oy. 378 s.
- Huikari, O., Muotiala, S. & Wäre, M. 1963. Ojitusopas. Kirjayhtymä. 257 s.
- Juutinen, A., Ahtikoski, A. & Rämö, J. 2020. Puuntuotannon kannattavuuteen vaikuttavat tekijät jatkuvapeitteisessä metsänkasvatuksessa. Metsätieteen aikakauskirja 2020-10313. <https://doi.org/10.14214/ma.10313>
- Kaila, A., Sarkkola, S., Laurén, A., Ukonmaaho, L., Koivusalo, H., Xiao, L., O'Driscoll, C., Asam, Z., Tervahauta, A. & Nieminen, M. 2014. Phosphorus export from drained Scots pine mires after clear-felling and bioenergy harvesting. *Forest Ecology and Management* 325: 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.025>
- Kojola, S., Niemistö, P., Ihalainen, A., Penttilä, T. & Laiho, R. 2013. Metsätaloudellisesti kannattamattomien ojitetun suon suometsien tunnistaminen ja jatkokäytön arvioimispe-
rusteet. Maa- ja metsätalousministeriölle laaditun selvityksen loppuraportti 10.10.2013. Metsäntutkimuslaitos.
- 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 no D 2.1.2. 52 s. ISBN 978-952-5947-79-3.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 108: 1–74. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0589-9>
- Laiho, R., Tuominen, S., Kojola, S., Penttilä, T., Saarinen, M. & Ihalainen, A. 2016. Heikotuohtoiset ojitetut suometsät – missä ja paljonko niitä on? *Metsätieteen aikakauskirja* 2016-5957. <https://doi.org/10.14214/ma.5957>
- Laine, J., Vasander, H., Hotanen, J.-P., Nousiainen, H., Saarinen, M., Penttilä, T. 2012. Suotyypit ja turvekankaat – opas kasvupaikkojen tunnistamiseen. Helsinki. Metsäkustannus Oy. 160 s.
- Marklund, L. G. 1988. Biomass Functions for Pine, Spruce and Birch in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Survey. Report 45. 73 s.
- Paavilainen, E. 1979. Metsänlannoitusopas. Helsinki. Kirjayhtymä Oy. 112 s.
- Penttilä, T., Ihalainen, A., Kojola, S. & Laine, J. 2010. Metsätalouden ulkopuolelle jäävien karujen soiden pinta-alan ja puustobiomassan alueellinen jakautuminen. Selvitys kansallista suo- ja turvemaiden strategiaa valmistelevalle MMM:n työryhmälle 12.3.2010. http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/suojaturvemaat/5xxtC3ERf/suostrategia_liitteet_korjattu_150411.pdf
- Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J. & Hupa, M. 1995. Poltto ja palaminen. International flame research foundation. Teknillisten tieteiden akatemia. 629 s.
- Rasbash, J., Steele, F., Browne, H. & Goldstein, H. 2015. A user's Guide to MlwiN University of Bristol. 298 s.
- Repola J. 2009. Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. *Silva Fennica* 43(4): 625–647. <https://doi.org/10.14214/sf.184>
- Saarinen, M. & Hotanen, J.-P. 2000. Raakahuimuksen ja kasvillisuuden yhteisvaihtelu Pohjois-Hämeen vanhoilla ojitusalueilla. *Suo* 51(4): 227–242. <http://www.suo.fi/pdf/article9807.pdf>
- Sarkkola, S., Hökkä, H. & Penttilä, T. 2008. Microsite variation and climate result in stand dynamics variation in pristine *Pinus sylvestris* mires: evidence from a stand structure study. *Journal of Vegetation Science* 19(4): 465–474. <https://doi.org/10.3170/2008-8-18386>
- Vaahtera, E., Niinistö, T., Peltola, A., Rätty, M., Sauvula-Seppälä, T., Torvelainen, J., Uotila, E. & Kulju, I. 2021. Metsätilastollinen vuosikirja 2021. Luonnonvarakeskus (Luke). 204 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-325-1>
- Varhimo, A., Penttilä, T., Kojola, S. & Laiho, R. 2003. Quality and yield of pulpwood in drained peatland forests: pulpwood properties of Scots pine in stands of first commercial thinnings. *Silva Fennica* 37(3): 343–357. <https://doi.org/10.14214/sf.494>
- Verkasalo, E., Stöd, R., Heräjärvi, H., Kilpeläinen, H., Lindblad, J. & Wall, T. 2005. Suomensien puuraaka-aineen laatu ja soveltuvuus eri käyttötarkoituksiin. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suomensien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1987-3>

Summary: Biomass utilization potential with whole-tree harvesting on low-productive Scots pine (*Pinus sylvestris*) dominated peatlands drained for forestry

The aim of this study was to estimate the biomass potential of low-productive drained peatland forests in Finland. The study material consists of the measured biomass data from one low productive drained peatland stand at Lyylnneva -mire, in Karvia municipality, Western Finland and a set of tree volume data of the National Forest Inventory (NFI 11, field measurements are carried out in whole country 2009–2013). Based on these datasets, we estimated the total amount of wood and its biomass for the same kind of low-productive sites in the whole country. The biomasses of the collected tree data were determined and calculated using standard methods, and statistical biomass models were developed to assess how the data used relates more generally to pine biomasses. In addition, the trunk biomass, canopy and root biomass were determined from the biomass samples of the biomass sample trees, as well as the surface peat and litter adhered to the root system at whole-tree harvesting. The calorific characteristics of biomass were determined with a view to energy use. According to the results, there are growing totally 37 billion m³ of trunk wood with a total biomass of about 30 M tons of tree biomass and additionally about 9 M tons of surface peat, mosses, and litter on about 800 000 hectares of these sites. The results showed that the amount of biomass on low-productive forestry drained peatlands is more than twofold when harvesting not only stems but also branches, stumps and roots as whole-tree harvesting, including also surface peat pulled out among the roots. One fifth of all biomasses harvested from the site consisted of surface peat. The utilizable biomasses on low-productive forestry drained peatlands are also significant bioenergy reserve. The whole-tree harvesting as a method could be supportive in terms of promoting mire restoration targets too.

Keywords: bioenergy, biomass, surface peat, drainage area, forestry