

Metsähakkeen alueellinen korjuupotentiaali ja käyttö vuonna 2020

Perttu Anttila, Mikko Nivala, Juha Laitila, Martti Flyktman,
Olli Salminen ja Jani Nivala

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute
-sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten
luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja
kokouskoosteita yms.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

PL 18
01301 Vantaa
puh. 029 532 2111
faksi 029 532 2103
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
PL 18
01301 Vantaa
puh. 029 532 2111
faksi 029 532 2103
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Anttila, Perttu, Nivala, Mikko, Laitila, Juha, Flyktman, Martti, Salminen, Olli & Nivala, Jani			
Nimeke Metsähakkeen alueellinen korjuupotentiaali ja käyttö vuonna 2020			
Vuosi 2014	Sivumäärä 55	ISBN ISBN 978-951-40-2504-4	ISSN 1795-150X
Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Itä-Suomen alueyksikkö / ForestEnergy2020 / 3562 Biomassavarojen arviointimenetelmät ja saatavuus			
Hyväksynyt Antti Asikainen, professori, 14.11.2014			
Tiivistelmä <p>Metsähakkeella on seuraavien vuosien aikana suuri merkitys uusiutuvan energian käytön lisäämisessä. Aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että valtakunnan tasolla metsähakkeen korjuupotentiaali on riittävä kansallisten käyttötavoitteiden saavuttamiseksi. Käyttöpaikat eivät kuitenkaan välttämättä sijaitse alueilla, joilla potentiaali on suurin. Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida alueellisesti 1) metsähakkeen teknistä korjuupotentiaalia uudistushakkuilta, 2) metsähakkeen käyttöä lämpö- ja voimalaitoksissa vuosina 2015 ja 2020 sekä 3) potentiaalini ja käytön välistä erotusta eli ns. metsähaketasetta. Taselaskennassa hyödynnettiin latvusmassa- ja kantopotentiaalien lisäksi aiemmassa tutkimuksessa laskettuja pienpuupotentiaaleja.</p> <p>Uudistushakkuiden latvus- ja kantobiomassapotentiaalien laskenta perustui kahteen eri hakkuumahdollisuusarvioon: Suurimman kestävän aines- ja energiapuun hakkuukertymän laskelmaan (<i>SK</i>) ja Toteutuneen hakkuukertymän ja uudistushakkuupinta-alan laskelmaan (<i>TH</i>). Metsähakkeen toteutunut käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa vuonna 2012 saatiin tilastoista. Laitoskohtaiset käyttömäärät vuosina 2015 ja 2020 arvioitiin olettaen, että käytölle asetettu valtakunnallinen 13,5 milj. m³:n tavoite saavutetaan. Jokaiselle laitokselle määritettiin hankinta-alue käyttömäärän perusteella ja lopulta metsähaketase laskettiin vähentämällä jakeittain ja vuosittain käyttö potentiaalista.</p> <p>Latvusmassan tekninen korjuupotentiaali on 6,6 milj. m³, jos ainespuun kertymä puulajeittain ja uudistushakkuupinta-ala säilyvät vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla (laskelma <i>TH</i>). Vastaava potentiaali kannoille on 7,1 milj. m³. Jos taas ainespuun hakkuut nousisivat suurimmalle kestävälle tasolle, olisi latvusmassan potentiaali peräti 11,6 milj. m³ ja kantojen 12,0 milj. m³ (laskelma <i>SK</i>).</p> <p>Nykyisillä ainespuun hakkuumäärillä metsähakkeesta uhkaa tulla paikoin pula, mikäli käyttötavoitteet vuodelle 2020 halutaan saavuttaa kotimaisilla raaka-aineilla. Suurin käyttö suhteessa latvusmassan, kantojen ja pienpuun korjuumahdollisuuksiin on etelärannikolla sekä Perämeren rannikolla. Suurimmat käyttämättömät metsähakepotentiaalit taas sijaitsevat Keski- ja Itä-Suomessa sekä Kainuussa, joten kuljetusmatkat tulevat pitenemään. Tämän vuoksi mahdollisuuksia pitkien matkojen kuljetuskustannusten alentamiseen ja meno-paluukuljetusten hyödyntämiseen tulee edelleen tutkia. Myös kannoissa on suuri lisäyspotentiaali, jos hankintakustannuksia saadaan alennettua ja laatua parannettua. Näissä laskelmissa pienpuun potentiaaliin ei ole laskettu kuitupuun hankintakohteita, mutta jo nyt merkittävä osa energiaksi käytettävästä runkopuusta on kuitupuun mitta- ja laatuvaatimukset täyttävää. Tällaisen puun poltto on järkevää, kun teolliset käyttöpisteet ovat kaukana, kysyntä huono ja laatu teollisuuskäyttöön heikkoa.</p>			
Asiasanat bioenergia, metsäenergia, energiapuu			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp313.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Perttu Anttila, Metsäntutkimuslaitos, PL 68, 80101 Joensuu. Sähköposti perttu.anttila@metla.fi			
Muita tietoja Tutkimus toteutettiin Metlan ja VTT:n yhteistyönä osana ForestEnergy2020-tutkimusohjelmaa.			
Taitto: Anne Siika/Metla			

Sisältö

1 Johdanto	5
1.1 Metsähakkeen käyttötavoitteet ja nykykäyttö	5
1.2 Aines- ja energiapuun korjuumahdollisuuksien arviointi.....	5
1.2 Tutkimuksen tavoitteet.....	6
2 Aineisto ja menetelmät	7
2.1 Metsähakepotentiaalit	7
2.1.1 Nuorten metsien pienpuu	7
2.1.2 Päätehakkuiden latvus- ja kantobiomassa	8
2.2 Metsähakkeen käyttö	10
2.2.1 Toteutunut käyttö vuonna 2012	10
2.2.2 Arvioitu käyttö vuosina 2015 ja 2020	11
2.2.3 Laitosten hankinta-alueiden määrittäminen	12
2.3 Metsähaketase	13
3 Tulokset	16
3.1 Metsähakepotentiaali	16
3.2 Arvioitu käyttö vuosina 2015 ja 2020.....	18
3.3 Metsähaketase	18
4 Tulosten tarkastelu	21
5 Johtopäätökset	24
Kirjallisuus	24
Liite	27

1 Johdanto

1.1 Metsähakkeen käyttötavoitteet ja nykykäyttö

Suomi on sitoutunut osana EU:n ilmastopolitiikkaa kasvattamaan uusiutuvien energialähteiden osuutta loppukulutuksessa nykyisestä noin 28,5 %:sta 38 %:iin vuoteen 2020 mennessä (Pitkän aikavälin ilmasto ja energiastrategia 2008). Puupohjaisella energialla, etenkin metsähakkeella on seuraavien vuosien aikana suuri rooli uusiutuvan energian käytön lisäämisessä. Metsähaketta valmistetaan nuorten metsien harvennusten pienpuusta, uudistusalojen latvusmassasta (oksat, ainespuurunkojen latvakappaleet ja muu hylkypuu), uudistusalojen kannoista ja juurista sekä ainespuun hakkuissa kertyvästä yllähosta runkopuusta. Puunjalostusteollisuuden sivutuotteet (kuori ja puru) hyödynnetään jo nyt täysimääräisesti, joten lisää puuta energiantuotantoon on käytännössä mahdollista saada ainoastaan metsähakkeena, mikäli teollisuuden puunkäyttö ei kasva.

Suomen kansallisen uusiutuvan energian toimintasuunnitelman (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010) sekä energia- ja ilmastostrategian (Kansallinen energia- ja ilmastostrategia... 2013) tavoitteiden mukaan metsähakkeen käyttö yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä erillisessä lämmöntuotannossa on 13,5 milj. m³ vuoteen 2020 mennessä. Tämä vastaa 25 TWh:n primäärienergiankulutusta. Tavoitteena on myös kasvattaa metsähakkeen käyttöä liikenteen biopolttoaineiden tuotannossa merkittävästi, kun liikennebiopolttoaineiden kokonaistuotantotavoite on 7 TWh vuonna 2020 (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010).

Puupolttoaineita käytettiin vuonna 2013 yhteensä 92 TWh, josta metsähaketta oli 8,7 milj. m³ (n. 17,4 TWh) (Torvelainen ym. 2014). Metsähakkeen osuus puupolttoaineiden käytöstä oli siis 19 %. Energian kokonaiskulutukseksi vuonna 2013 on arvioitu 376 TWh, joten metsähakkeen osuus kokonaiskulutuksesta oli viitisen prosenttia. Metsähakkeen käytöstä valtaosa, 8,0 milj. m³, kului lämpö- ja voimalaitoksissa ja arviolta 0,7 milj. m³ maatilojen ja kiinteistöjen lämmityksessä. Metsähakkeen käyttötilastojen mukaan käyttöpaikkoja vuonna 2013 oli n. 880, minkä ohella haketta käytetään lukuisissa pienissä lämpökeskuksissa. Lisäksi uusia puuta polttoaineenaan käyttäviä laitoksia on suunnitteilla tai rakenteilla. Lämpö- ja voimalaitoksilla metsähakkeen raaka-aineesta pienpuuta (ranka, kokopuu, kuitupuu) oli 3,6 milj. m³, latvusmassaa 2,8 milj. m³, kantoja ja juurakoita 1,2 milj. m³ ja järeää runkopuuta 0,5 milj. m³. Yhteensä runkopuuta käytettiin energiantuotantoon lämpö- ja voimalaitoksilla yli 4 milj. m³. Verrattuna vuoteen 2012 (Ylitalo 2013) metsähakkeen kokonaiskäyttö kasvoi 0,4 milj. m³. Vuonna 2014 metsähakkeen käytön ennakoidaan pysyvän edellisvuoden tasolla (Routa & Ikonen 2014).

1.2 Aines- ja energiapuun korjuumahdollisuuksien arviointi

Metsähakepotentiaalın arvioinnin lähtökohta on metsäbiomassan teoreettinen enimmäispotentiaali (Hakkila 2004). Teoreettiseen potentiaaliin kuuluvat mm. metsänhoidollisilta harvennuksilta kertyvä puubiomassa ja ainespuun korjuun yhteydessä metsään jäävä hukkarunkopuu, latvusmassa sekä kanto- ja juuripuu. Teoreettiseen potentiaaliin voidaan lukea myös hakkuusäästö, eli metsien vuotuisen kasvun ja poistuman erotus. Teoreettinen enimmäispotentiaali ei kuitenkaan ole kokonaan saatavissa käytön piiriin, vaan saatavuutta rajoittavat lukuisat tekniset, taloudelliset, ekologiset ja sosiaaliset tekijät, joiden vaikutus on arvioitava kukin erikseen (Hakkila 2004). Tällaisia rajoitteita ovat mm. materiaalin korjuutekninen talteensaanto palstalla, varastointihävikki, raaka-aineen laatuvaatimukset (kokopuuta/rankaa), työmaan vähimmäiskoko ja -hehtaarikertymä, metsänomistajien myyntihalukkuus, metsänhoito-ohjeet ja korjuusuositukset, joilla pyritään

vähentämään korjuun haitallisia vaikutuksia metsän kasvuun ja ympäristöön, sekä metsähakkeen hintakilpailukyky muihin polttoaineisiin verrattuna (Hakkila 2004).

2000-luvulla on tehty lukuisia arvioita Suomen metsähakevaroista olemassa olevien puustotietojen ja biomassayhtälöiden ja -kertoimien avulla (Malinen ym. 2001, Ranta 2002, Hakkila 2004, Ranta 2005, Ranta ym. 2007, Helynen ym. 2007, Maidell ym. 2008, Kärkkäinen ym. 2008, Laitila ym. 2008, Kärhä ym. 2010, Anttila ym. 2013a). Yleensä tehdyt arviot ovat perustuneet valtakunnan metsien inventointitietoihin (esim. Hakkila 1992, Laitila ym. 2004, Heikkilä ym. 2005), mutta määriä on arvioitu myös metsäyhtiöiden leimikkotietojen pohjalta (Asikainen ym. 2001, Ranta 2002) ja hakkuutilastojen pohjalta (Hynynen 2001). Potentiaaleja on arvioitu myös metsäsuunnitelmien alueellisten yhdistelmien sekä valtion ja metsäyhtiöiden hakkuu- ja hoitosuunnitelmien avulla (Leiviskä ym. 1993). Tulevaisuuden potentiaaleja on arvioitu metsätalouden skenaariolaskelmia varten kehitetyllä MELA-ohjelmistolla (esim. Mielikäinen ym. 1995, Malinen ja Pesonen 1996, Keskimölo ja Malinen 1997, Härkönen 2014). Teknisten ja taloudellisten rajoitteiden vaikutusta energiapuukertymiin on tarkasteltu myös metsäsuunnitelman kuvioaineistoa hyödyntävällä menetelmällä (Pasanen ym. 1997).

MELA-hakkuulaskelmiin pohjautuvan arvion mukaan suurin kestävä ainespuun hakkuumahdollisuus on lähes 73 milj. m³ vuodessa ja energiapuun hakkuumahdollisuus 21 milj. m³ vuodessa (Härkönen 2014). Energiapuusta 7,8 milj. m³ olisi oksia ja lehtiä, 6 milj. m³ kantoja ja juuria sekä 7,2 milj. m³ runkopuuta. Energiapuuhun lasketusta runkopuusta 5,8 milj. m³ on mitoiltaan ainespuukokoista (Härkönen 2014). Pöyryn ja Metsätehon selvityksessä (Kärhä ym. 2010) arviot vuoden 2020 metsähakepotentiaalista tehtiin myös MELA-laskennan hakkuuskenaarioiden avulla. Perusskenaariossa kotimaan markkinahakkuiden tasoksi oletettiin 56,6 milj. m³ ja Maksimiskenaariossa 67,9 milj. m³. Perusskenaariossa metsähakkeen teoreettinen korjuupotentiaali oli 105 TWh, teknis-ekologinen 43 TWh ja teknis-taloudellinen 27 TWh. Maksimiskenaariossa vastaavat potentiaalit olivat 115 TWh, 48 TWh ja 29 TWh. Metsähakelajeittain jaoteltuna teknis-taloudellinen korjuupotentiaali oli Perusskenaariossa pienpuulla 7,4 TWh, latvusmassalla 10,3 TWh ja kannoilla 9,2 TWh. Maksimiskenaariossa teknis-taloudellinen korjuupotentiaali oli pienpuulla 6,4 TWh, latvusmassalla 12,8 TWh ja kannoilla 10,1 TWh vuodessa.

Anttila ym. (2013a) laskivat VMI-koealatietoihin pohjautuen pienpuun vuotuiseksi korjuupotentiaaliksi 6,2–10,4 milj. m³ vuodessa korjuutavasta riippuen. Latvusmassan potentiaaliksi arvioitiin 4,0–6,6 milj. m³ ja kuusen kantojen 1,5–2,5 milj. m³ riippuen ainespuun hakkuutasoista. Tutkimuksessa tilastoidut kunnittaiset tukkipuun hakkuumäärät muunnettiin aiemmissa tutkimuksissa saaduilla kertoimilla latvusmassa- ja kantopotentiaaleiksi (vrt. Helynen ym. 2007, Laitila ym. 2008). Tämän lähestymistavan ongelmana on kuitenkin, että rajoitutaan vain toteutuneisiin hakkuutasoihin. Myöskään alueellisia eroja uudistushakkuiden tukkipuun suhteellisessa kertymässä maan eri osien välillä ei otettu huomioon.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida alueellisesti 1) metsähakkeen teknistä korjuupotentiaalia uudistushakkuilta, 2) metsähakkeen käyttöä lämpö- ja voimalaitoksissa vuosina 2015 ja 2020 sekä 3) potentiaalin ja käytön välistä erotusta eli ns. metsähaketasetta. Taselaskennassa hyödynnettiin latvusmassa- ja kantopotentiaalien lisäksi aiemmassa tutkimuksessa laskettuja pienpuupotentiaaleja. Taseet laskettiin kiintokuutiometreinä (m³). Metla vastasi potentiaalien ja taseiden laskennasta ja VTT tulevien käyttömäärien arvioinnista.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Metsähakepotentiaalit

2.1.1 Nuorten metsien pienpuu

Pienpuupotentiaalien tulokset perustuvat Anttilan ym. (2013a) raporttiin. Laskennan yleiskuvaus ja tulokset esitetään selvyyden vuoksi myös tässä. Pienpuupotentiaalit perustuvat valtakunnan metsien kymmenennen inventoinnin (VMI10) koealatietoihin (Korhonen ym. 2012). Koealat on mitattu vuosina 2004–2008, ja kattavat koko maan pois lukien Ylä-Lapin.

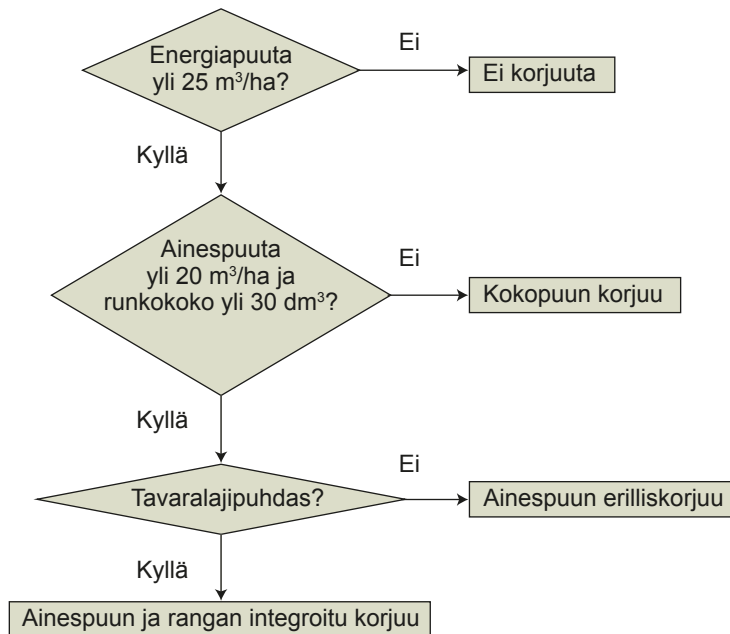
Pienpuulle laskettiin potentiaalit kuntakohtaisesti kolmella vaihtoehtoisella korjuumenetelmällä (taulukko 1). Kaikissa vaihtoehdoissa energiapuun minimikertymän koealalla tuli olla vähintään 25 m³/ha. Puhtaissa energiapuuvaihtoehdoissa (vaihtoehdot *Ranka* ja *Kokopuu*) ainespuun kertymälle asetettiin enimmäisrajaksi 45 m³/ha, jonka ylittävät koealat katsottiin ainespuukohteiksi. Nimensä mukaisesti vaihtoehdossa *Ranka* laskettiin runkopuun korjuupotentiaali ja vaihtoehdossa *Kokopuu* kertymään laskettiin mukaan runkopuun ohella myös elävät oksat.

Aines- ja energiapuun integroituun korjuuseen soveltuviksi taas katsottiin puhtaat havupuun- ja koivukoealat, joilla pääpuulajin ainespuun kertymä oli suurempi kuin 20 m³/ha, kertymän keskirunkokoko suurempi kuin 30 dm³ ja energiajakeen kertymä suurempi kuin 25 m³/ha (vaihtoehto *Integroitu*, kuva 1). Energiajake oletettiin korjattavaksi rankana, koska ainespuu korjataan karsittuna ja energiapuu korjataan samalla kalustolla. Tavaralajipuhtaaksi koeala luettiin, mikäli havupuiden tai koivun ainespuukertymä oli yli 80 % koealan ainespuukertymästä. Jos ainespuun kertymä oli pienempi tai yhtä suuri kuin 20 m³/ha, kohde oletettiin korjattavaksi energiakäyttöön kokopuuna.

Kaikissa vaihtoehdoissa runkopuun ja elävän latvuksen tekniseksi talteensaannoksi oletettiin 100 %. Kokopuukorjuussa kuolleiden oksien sen sijaan oletettiin varisevan korjuun ja kuljetuksen aikana.

Taulukko 1. Pienpuupotentiaalien laskentavaihtoehdot.

Vaihtoehto	Energiapuuta (m ³ /ha)	Ainespuuta (m ³ /ha)	Integroidun korjuun kohteen vaatimukset
Ranka	> 25	<= 45	–
Kokopuu	> 25	<= 45	–
Integroitu	> 25	–	tavaralajipuhdas, ainespuu>20 m ³ /ha, runko>30 dm ³



Kuva 1. Integroidun korjuun kohteen valinta.

2.1.2 Päätehakkuiden latvus- ja kantobiomassa

Uudistushakkuilta kertyvän latvus- ja kantobiomassan potentiaalit riippuvat uudistushakkuiden määrästä, joka puolestaan riippuu puunjalostusteollisuuden kotimaisen puun tarpeesta. Uudistushakkuiden määrän vaihtelun vaikutus latvus- ja kantopotentiaaleihin on aiemmin huomioitu sitomalla potentiaalit kunnittaisiin tukkipuun hakkuutilastoihin (Helynen ym. 2007, Laitila ym. 2008, Anttila ym. 2013a). Tässä lähestymistavassa on kuitenkin kaksi ongelmaa: Ensinnäkin hakkuutasojen osalta rajoitetaan vain toteutuneiden hakkuuiden tasolle, eikä suurinta kestäväää hakkuutasoa vastaavaa potentiaalia voida laskea. Toiseksi tukkipuun hakkuutilastoihin pohjautuva latvusmassan ja kantopuun potentiaalien arviointi toimii kohtuullisen hyvin Etelä- ja Keski-Suomen alueella, jossa päätehakkuiden puukertymästä tukin osuus on luokkaa 90 %. Pohjanmaalla ja Pohjois-Suomessa tukkitilastoihin perustuva arviointimenetelmä antaa systemaattisesti aliarvioita latvusmassan ja kantojen todellisesta korjuupotentiaalista, koska päätehakkuiden tukkiprosentti on selvästi pienempi kuin Etelä- ja Keski-Suomessa.

Näiden ongelmien välttämiseksi laadittiin MELA-hakkuulaskelmiin pohjautuvat kuntakohtaiset arviot uudistushakkuiden latvus- ja kantobiomassapotentiaaleista. MELA-hakkuulaskelmat perustuivat Metlan Metinfon hakkuumahdollisuusarvioiden hakupalvelun (<http://www.metla.fi/metinfo/mela/>) tuloksiin, jotka on laskettu MELA-ohjelmiston vuoden 2012 päivitetyllä julkistusversiolla (Redsven ym. 2013). Hakkuumahdollisuusarviot perustuivat vuosien 2008–2012 aikana mitattuihin valtakunnan metsien inventoinnin maastokoealoihin (<http://www.metla.fi/metinfo/vmi/>). MELA-ohjelmistossa metsien kehitystä ohjaavat puiden kasvuun, kuolemiseen ja uusiin puiden syntymiseen liittyvät luonnonprosessimallit (esim. Hynynen ym. 2002) sekä simuloitavat toimenpiteet (ks. tarkemmin Redsven ym. 2013). MELA2012-julkistusversiosta poiketen puun pohjapinta-alan kasvumallit on kalibroitu VMI10- ja VMI11-kasvunmittausten perusteella. Metsien käsittely perustui vuoden 2006 metsänhoitosuositukseen (Hyvän metsänhoidon... 2006), turvemaiden metsänhoidon suositukseen (Ruotsalainen 2007), Pohjois-Suomen metsänhoitosuositukseen (Keskimölö ym. 2007) ja energiapuun korjuun ja kasvatuksen suositukseen (Äijälä ym.

2010). Suositusten mukaisesti harvennusvaihtoehdot tuotettiin, kun runkoluku tai pohjapinta-ala ylitti harvennusrajan ja uudistushakkuuvaihtoehdot simuloitiin, kun puusto saavutti suositusten mukaiset läpimittaan tai ikään perustuvat ohjeet. Sovelletuissa hakkuulaskelmissa simulointikausi oli 50 vuotta, joka jakautui viiteen kymmenvuotiskauteen. Hakkuut toteutettiin kymmenvuotiskausten puolivälissä, minkä vuoksi ohjeiden tasoa alennettiin 5–10 %. Näin hakattavaksi tulivat myös kohteet, jotka täyttivät suositukset vasta 10-vuotiskauden jälkimmäisellä puoliskolla.

Kunkin metsäkeskuksen alueelle suurin puuntuotannollisesti ja taloudellisesti jatkuvasti hakattavissa oleva puumäärä on laskettu maksimoimalla nettotulojen nykyarvoa neljän prosentin laskentakorolla siten, että kausittaiset nettotulot ja aines- ja energiapuun hakkuukertymät pysyvät vähintään edellisen kymmenvuotiskauden tasolla, tukkipuukertymä säilyy koko laskelma-ajan vähintään ensimmäisen kauden tasolla, ja puuston tuottoarvo neljän prosentin korkokannalla laskettuna on laskelma-ajan lopussa vähintään alkuhetken tasolla (laskelma *SK*). Laskelmassa ei rajoitettu kasvun ja poistuman suhdetta, metsien ikäluokkarakennetta tai uudistushakkuuden määrää eikä kestävyyttä edellytetty puulajeittain. Toteutuneet hakkuut (*TH*) -laskelmassa ainespuun kertymä puulajeittain ja uudistushakkuupinta-ala säilyivät vuoteen 2050 asti vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla. Ainespuukertymä sisälsi markkinahakkuiden tukki- ja kuitukertymän sekä piensahojen sahaaman puun. Laskelmassa ei käytetty rajoitteina läpimittaluokkia tai kasvu- paikkoja, mutta kertymille sallittiin $\pm 0,5$ %:n vaihtelu toteutuneeseen tasoon verrattuna.

SK-laskelma tuottaa suoraan arvion energiapuun taloudellisista korjuumahdollisuuksista. Nämä riippuvat kuitenkin mm. käyttöpistehinnasta. *TH*-laskelmassa puolestaan on oletettu metsäkeskusten alueilla vuosina 2009–2012 keskimäärin toteutuneet käyttömäärät. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa latvus- ja kantobiomassan tekninen korjuupotentiaali laskettiin seuraavasti: Laskelmista *TH* ja *SK* poimittiin hakkuupoistuman biomassat avohakkuilta runkopuulle, oksille ja kannoille. Mukaan luettiin korjuuohjeiden mukaisesti vain kuivahkot kankaat ja niitä viljavammat kivennäismaat sekä vastaavat turvemaat (Äijälä ym. 2010). Latvusmassan poistuma arvioitiin lisäämällä oksabiomassaan runkopuun hukkaosuus (taulukko 2).

Latvus- ja kantobiomassa muunnettiin kiintotilavuudeksi jakamalla kunkin jakeen biomassa vastaavalla kuivatuoretiheydellä (taulukko 3). Lopulta tekninen korjuupotentiaali saatiin vähentämällä edellisestä palstalle suositusten mukaan jätettävä osuus (taulukko 4). Metsäkeskustason potentiaalit jaettiin edelleen kunnille niiden uudistuskypsien metsien pinta-alaosuuden mukaan (MetINFO 2014).

Taulukko 2. Runkohukkapuun osuus päätehakuissa (%). Lähde: Antti Ihalainen, Metla.

Puulaji	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi
Mänty	1,6	1,9
Kuusi	2,5	5,0
Lehtipuu	10,4	14,5

Taulukko 3. Laskennassa käytetyt kuivatuoretiheydet.

Jae	t/m ³	Lähde
Latvusmassa, mänty (neulasineen)	0,395	Hakkila ym. (1978), Alakangas (2000) taulukko 17 mukaan
Latvusmassa, kuusi (neulasineen)	0,425	Hakkila ym. (1978), Alakangas (2000) taulukko 17 mukaan
Latvusmassa, koivu (lehdettä)	0,5	Hakkila ym. (1978), Alakangas (2000) taulukko 17 mukaan
Kannot ja juuret, mänty	0,45	Kytö ym. (1983), Alakangas (2000) taulukko 16 mukaan
Kannot ja juuret, kuusi	0,41	Kytö ym. (1983), Alakangas (2000) taulukko 16 mukaan
Kannot ja juuret, koivu	0,51	Kytö ym. (1983), Alakangas (2000) taulukko 16 mukaan

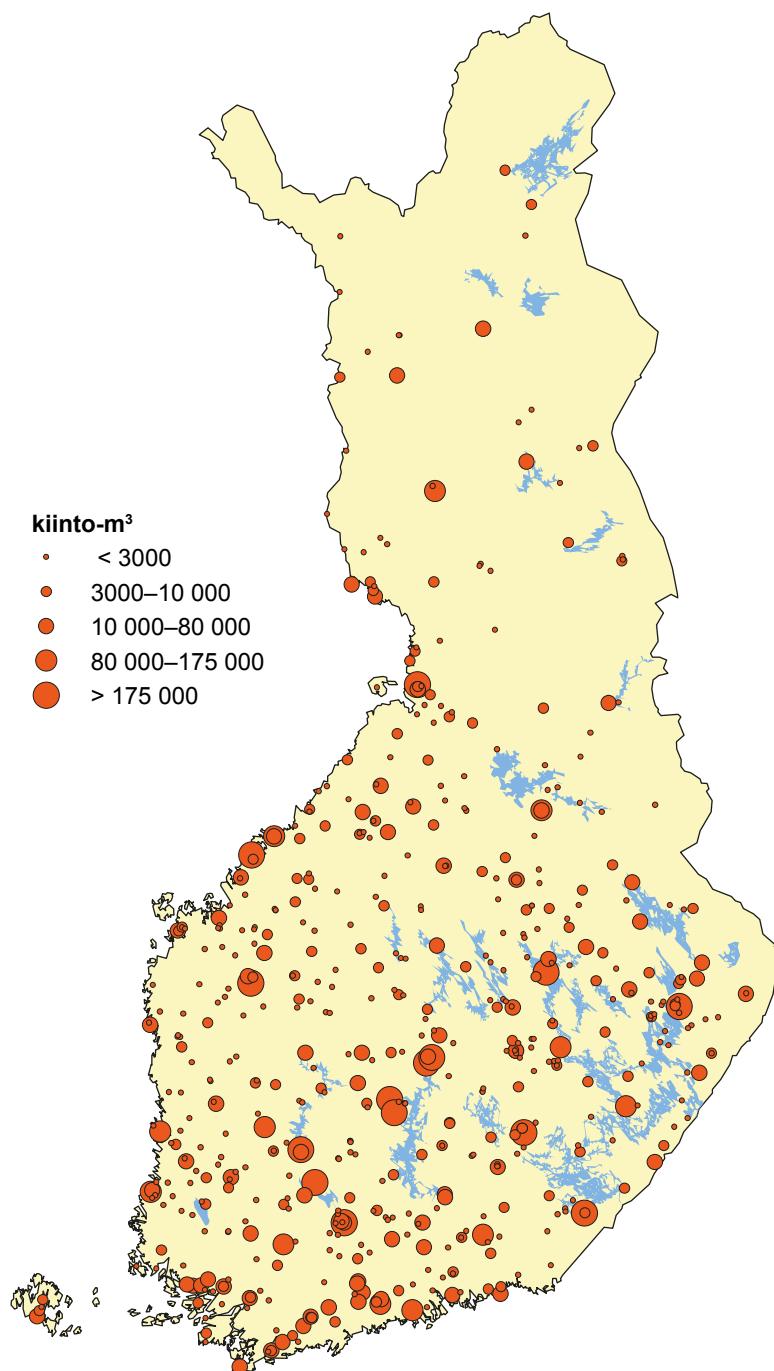
Taulukko 4. Energiapuun korjuussa suositusten mukaan talteen otettavan biomassan osuus.

Latvusmassa	%	Lähde
Latvusmassa, mänty	70	Äijälä ym. (2010)
Latvusmassa, kuusi	70	Äijälä ym. (2010)
Latvusmassa, lehtipuu	70	Äijälä ym. (2010)
Kannot ja juuret, mänty	82	Muinonen ym. (2013), Anttila ym. (2013b)
Kannot ja juuret, kuusi	84	Muinonen ym. (2013), Anttila ym. (2013b)
Kannot ja juuret, lehtipuu	0	

2.2 Metsähakkeen käyttö

2.2.1 Toteutunut käyttö vuonna 2012

Metla tilastoi lämpö- ja voimalaitosten kiinteiden puupolttoaineiden käyttöä. Vuonna 2012 metsähakkeen käyttöpaikkoja oli n. 860, ja niiden yhteenlaskettu käyttömäärä oli 7,6 miljoonaa kiintokuutiometriä (Ylitalo 2013). Tuonnin osuus metsähakkeen käytöstä oli 400 000 m³. Valtaosa laitoksista oli käyttömäärältään pieniä (kuva 2). Yli 100 000 m³ metsähaketta käyttäneitä laitoksia oli vain 21 kappaletta, mutta niiden osuus kokonaiskäytöstä oli yli puolet.



Kuva 2. Vuonna 2012 metsähaketta käyttäneet lämpö- ja voimalaitokset käyttömäärän mukaan luokiteltuna.

2.2.2 Arvioitu käyttö vuosina 2015 ja 2020

VTT on runsaan kolmenkymmenen vuoden ajan kerännyt eri hankkeissa tietoja Suomen lämpö- ja voimalaitoksista omaan laitostietokantaansa. Laitoskanta kattaa tällä hetkellä noin 400 lämpö- ja voimalaitoksen perustiedot: polttotekniikka, kattilan teho, rakennus- / saneerausvuosi ja käytetyt polttoaineet. Rekisterin perusteella arvioitiin voimalaitosten uusimis- ja saneeraustarpeet. Muiden, pienempien laitosten metsähakkeen käytön oletettiin pysyvän vuoden 2012 tasolla.

Metsähakkeen laitoskohtaiset käyttömäärät vuosina 2015 ja 2020 arvioitiin olettaen, että käytölle asetettu valtakunnallinen 13,5 milj. m³:n tavoite saavutetaan. Käyttömäärät arvioitiin primäärienergian kulutuksena ja muunnettiin kiintokuutiometreiksi kertoimella 2 MWh/m³. Metsähakkeen raaka-aineiden suhteiden oletettiin pysyvän samoina kuin vuonna 2012 (Ylitalo 2013). Tuontihakkeen osuuden kokonaiskäyttömäärästä oletettiin pysyvän suunnilleen samana kuin 2012. Siten määrän oletettiin kasvavan tasaisesti vuoden 2012 400 000 m³:stä vuoden 2020 600 000 m³:iin.

Eri laitosten metsähakkeen käytön arvioinnissa lähtökohtana pidettiin sitä, että käyttö lisääntyy maltillisesti, jollei ole kyseessä uusi laitos. Perustana tälle on myös, että metsähakkeen tuottaminen vaatii tarvittavat resurssit. Uusissa suurissa kohteissa metsäpolttoaineen osuus vaihtelee tyypillisesti välillä 60–80 %, mutta pienimmät laitokset käyttävät ainoastaan haketta. Täydentävinä polttoaineina suurissa laitoksissa käytetään jrsinturvetta tai kivihiiltä. Voimalaitosten uusiutuminen on melko hidasta. Voimalaitosten käyttöaika on tyypillisesti useita kymmeniä vuosia, joten suuria muutoksia polttoaineiden käytössä voidaan saada aikaan vain uusia yksiköitä rakennettaessa.

Käyttöarviossa vuodelle 2015 otettiin huomioon vuoden 2014 aikana valmistuvat tai saneeratut voimalat. Lämpöyrittäjäkohteita tulee edelleen lisää, mutta suurin merkitys on edelleen suurilla CHP-voimaloilla.

Vuoden 2020 hakkeen käyttö arvioitiin siten, että metsähakkeen käytön kasvun ohella energiaturpeen käyttö on tasolla 16 TWh. Samalla oletettiin, että metsähakkeella tuotetun lauhdesähkön määrä pienenee olennaisesti uusimman ydinvoimalan valmistumisen myötä. Vuoteen 2020 mennessä metsähakkeen tavoitteen saavuttaminen edellyttää usean suuren uuden haketta käyttävän voimalan käyttöönoton. Esimerkiksi Helsingin seudulla metsähakkeen käytön oletettiin nousevan kolmeen terawattituntiin.

2.2.3 Laitosten hankinta-alueiden määrittäminen

Laitosten käyttömäärät ja sijainti siirrettiin paikkatietojärjestelmään, jonka avulla määritettiin metsähakkeen hankinta-alue laitoskohtaisesti. Tutkimuksessa käytetty käyttöpaikkojen hankinta-alue pohjautui Metlassa aiemmin tehtyyn kyselytutkimukseen (Kurki ym. 2012). Laitokset jaettiin metsähakkeen käyttömäärän mukaan viiteen luokkaan, ja kullekin luokalle määritettiin pisin kuljetusmatka metsähakkeen hankinnassa (taulukko 5).

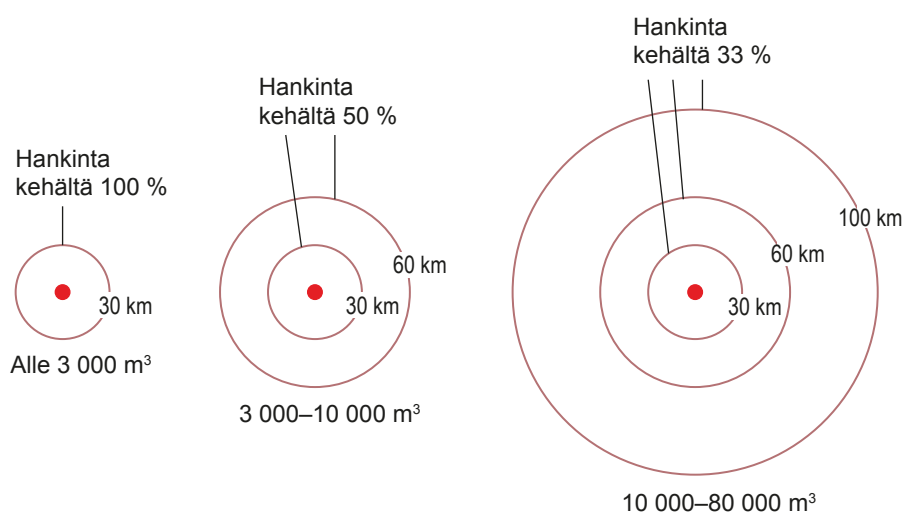
Taulukko 5. Laskennassa käytetyt laitosten hankinta-alueiden säteet käyttömäärän mukaan.

Hankinta-alueen säde, km	Käyttömäärä, m ³
30	≤ 3 000
60	≤ 10 000
100	≤ 80 000
150	≤ 175 000
200	> 175 000

Hankinta-alueen määrittämisessä huomioitiin myös se, että laitokset pyrkivät hankkimaan raaka-aineensa mahdollisimman läheltä. Tämä toteutettiin laskennassa siten, että laitosten ympärille muodostettiin taulukon 5 hankintasäteiden mukaisesti hankintaympyröitä, joilta jokaiselta laitos hankkii saman verran raaka-ainetta. Säteen kasvaessa myös ympyrän pinta-ala kasvaa, joten suhteessa pinta-alaan sisemmiltä ympyröiltä hankitaan enemmän raaka-ainetta. Pienimpien laitosten oletettiin siten hankkivan raaka-aineensa yhden ympyrän sisältä, ja laitokseen kasvaessa ympyröiden määrä kasvoi siten, että suurimmilla laitoksilla ympyröitä oli viisi (kuva 3). Laskennassa oletettiin hankintasäteen enimmäispituuden olevan 200 kilometriä.

Käyttömäärät jaettiin eri raaka-aineille (pienpuu, latvusmassa, kannot) laitosten ilmoittamien prosenttijakaumien avulla. Laitoksille, joilta kyseinen jakauma puuttui (49 kappaletta), käytettiin suurimpien laitosten osalta aiempia käyttötilastoja ja pienempien osalta pienten laitosten käyttöjakaumien keskiarvoja. Suunnitteilla oleville laitoksille käyttöjakauma arvioitiin vastaavan tyyppisen ja kokoisen laitoksen jakauman perusteella tai ennakkoinformaatioon perustuen.

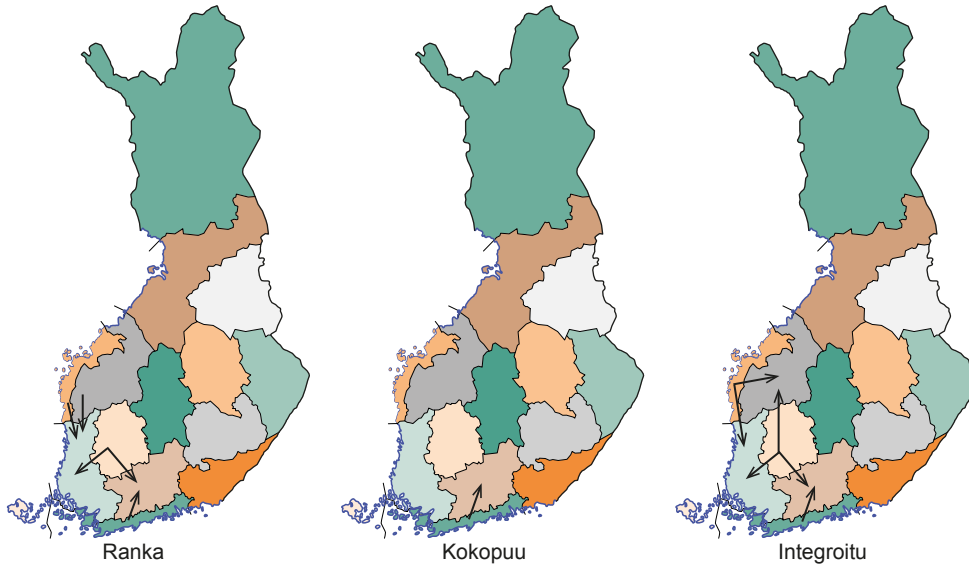
Laitosten hankkiman metsähakkeen oletettiin tulevan puuntuotannon metsämaalta. Puuntuotannon metsämaaksi laskettiin tässä tutkimuksessa alueet, jotka CORINE Land Cover 2005 -luokituksen mukaan olivat sulkeutuneita metsiä tai harvapuustoisia alueita, ja jotka eivät sijainneet suojelualueilla tai kuuluneet Natura 2000 -verkostoon. Mikäli kahden tai useamman laitoksen hankintaympyrät leikkasivat, laskettiin laitosten hankintamäärät päällekkäisellä hankinta-alueella yhteen.



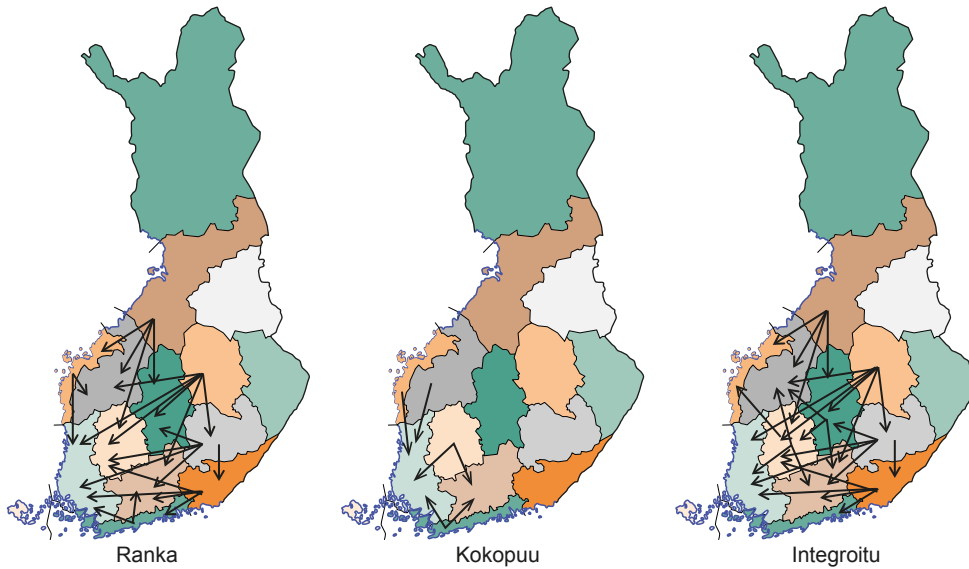
Kuva 3. Hankintamäärän jakaantuminen hankinta-alueen sisällä.

2.3 Metsähaketase

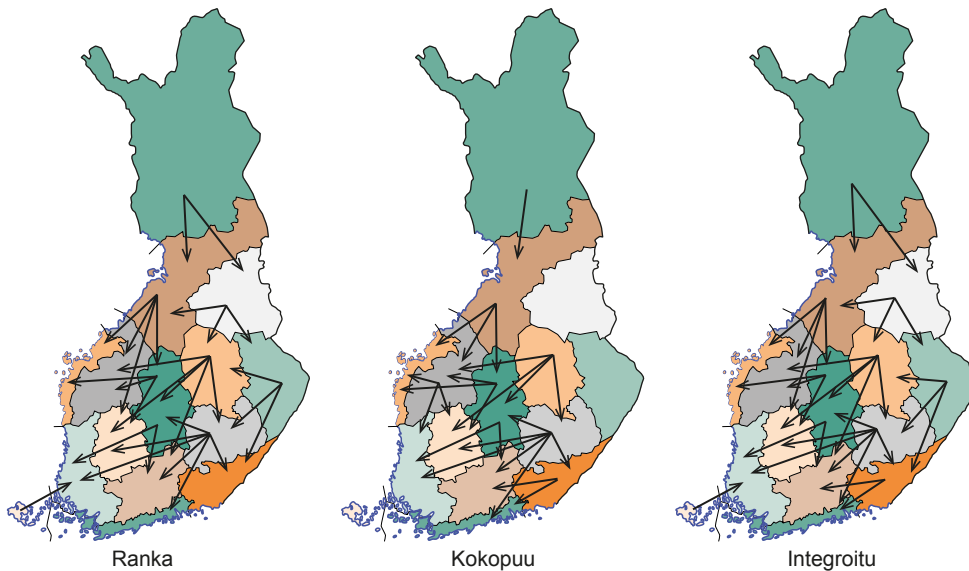
Metsähakkeen alueellisen potentiaalin ja lämpö- ja voimalaitosten metsähakkeen käytön erotus eli ns. vapaa potentiaali esitettiin teemakarttoina. Alueilla, joilla erotus muodostui negatiiviseksi, kasvatettiin hankinta-aluetta metsäkeskuksen sisällä, kunnes erotus oli nolla. Jos metsäkeskuksen alueella ei ollut riittävästi potentiaalia, haettiin vapaa potentiaali lähimmästä metsäkeskuksesta, jossa oli vielä käyttämätöntä potentiaalia (kuvat 4-10).



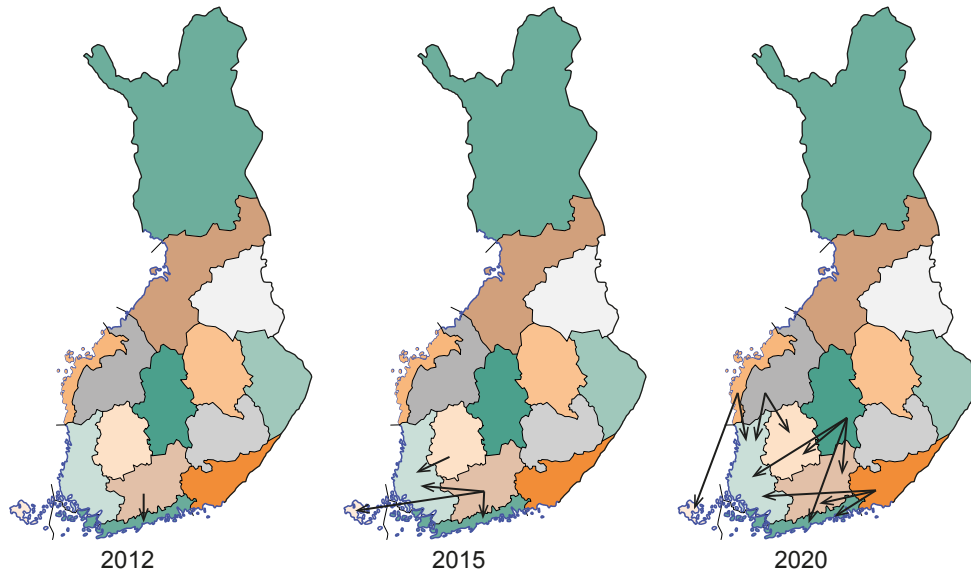
Kuva 4. Vapaan pienpuupotentiaalin siirrot metsäkeskuksittain 2012.



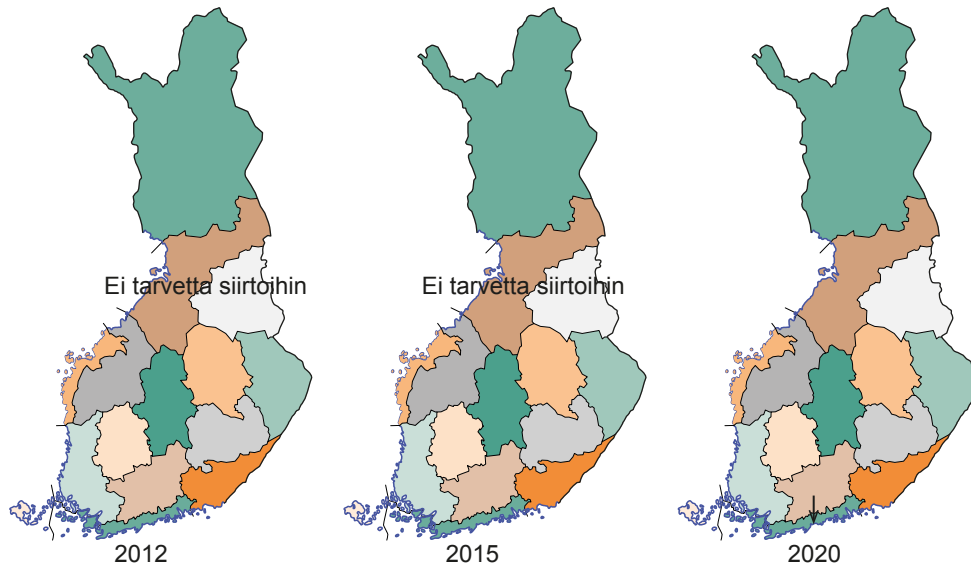
Kuva 5. Vapaan pienpuupotentiaalin siirrot metsäkeskuksittain 2015.



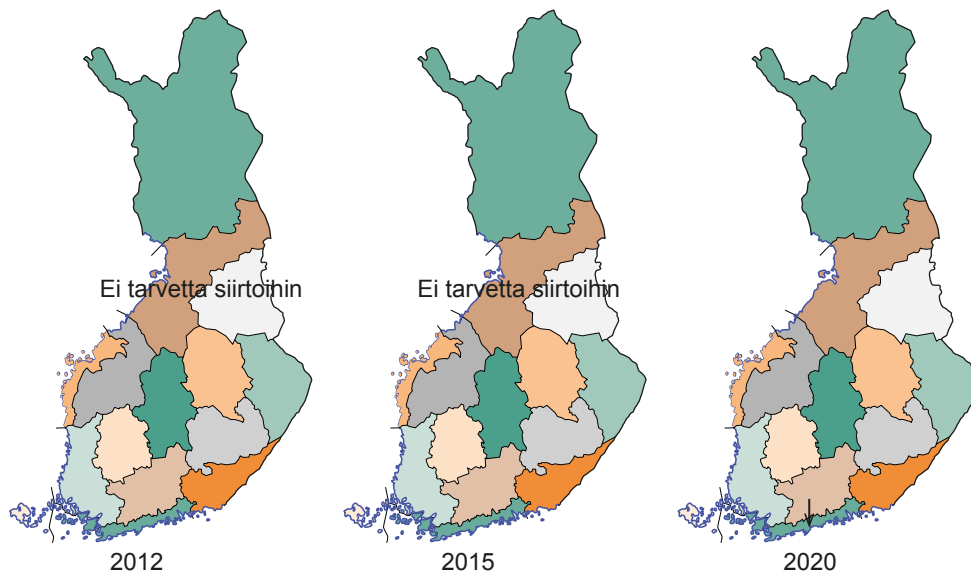
Kuva 6. Vapaan pienpuupotentiaalin siirrot metsäkeskuksittain 2020



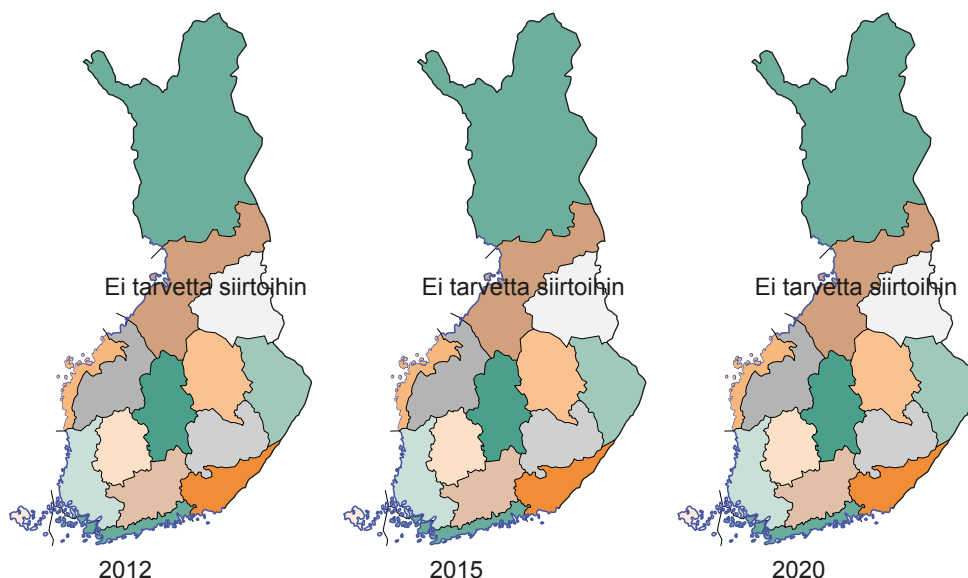
Kuva 7. Vapaan latvumassapotentiaalin siirrot metsäkeskuksittain (skenaario TH).



Kuva 8. Vapaan latvumassapotentiaalin siirrot metsäkeskuksittain (skenaario SK).



Kuva 9. Vapaan kantopotentiaalin siirrot metsäkeskuksittain (skenaario TH).



Kuva 10. Vapaan kantopotentiaalin siirrot metsäkeskuksittain (skenaario SK).

3 Tulokset

3.1 Metsähakepotentiaali

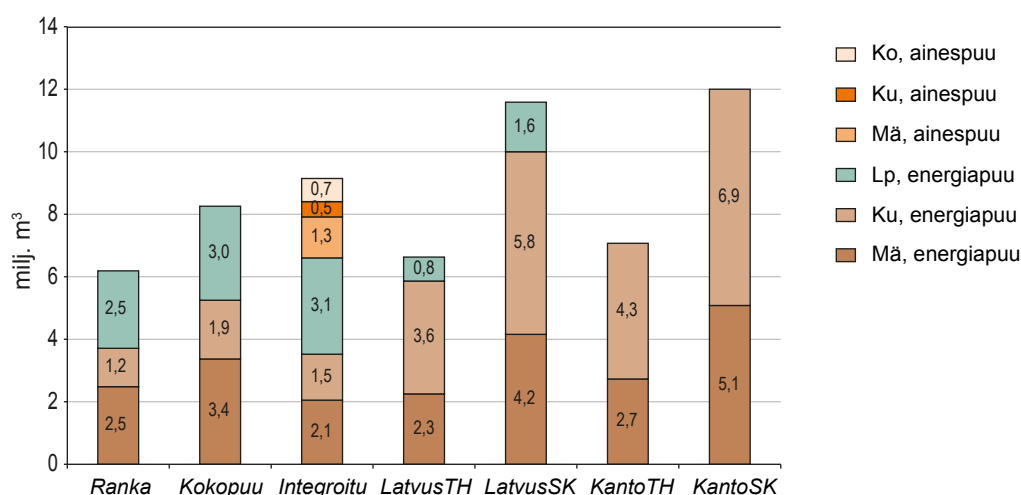
Pienpuun hakkuutapa vaikuttaa merkittävästi potentiaaliin. Kun korjuu oletetaan tapahtuvan rankana, jää tekninen korjuupotentiaali 6,2 miljoonaan kuutiometriin vuodessa (kuva 11). Jos taas kaikki korjuu tehdään kokopuuna, on potentiaali 8,3 milj. m³. Energiapuun korjuun integrointi ainespuun korjuuseen kasvattaa potentiaalin 6,6 milj. m³:iin. Lisäksi samoilta kohteilta kertyy energiapuun ohella ainespuuta 2,5 milj. m³. Ainespuun osuus integroidun korjuun kohteilla oli keskimäärin 54 % (minimi 15 %, maksimi 88 %).

Latvusmassan tekninen korjuupotentiaali on 6,6 milj. m³, jos ainespuun kertymä puulajeittain ja uudistushakkuupinta-ala säilyvät vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla (laskelma TH, kuva 11). Vastaava potentiaali kannoille on 7,1 milj. m³. Jos taas ainespuun hakkuut nousisivat suurimmalle kestäväälle tasolle, olisi latvusmassan potentiaali peräti 11,6 milj. m³ ja kantojen 12,0 milj. m³ (laskelma SK).

Ranka- ja kokopuupotentiaaleista mäntyä on noin kaksi viidesosaa, koivua kolmannes, kuusta yksi viidesosa ja loput muuta lehtipuuta (kuva 11). Korjattaessa pienpuu integroituna männyn osuus energiapuusta on vajaa kolmannes, koivun kaksi ja kuusen yksi viidesosaa. Latvusmassan potentiaaleista noin puolet on kuusta, kolmannes mäntyä ja loput lehtipuuta. Kantopotentiaalin suuruutta selittää osin männyn kantojen lukeminen mukaan; näitä on potentiaaleista noin kaksi viidesosaa.

Eniten pienpuupotentiaalia on Lapin ja Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskusten alueilla, jotka ovat pinta-alaltaan suuria (taulukko 6). Puuntuotannossa olevan metsämaan pinta-alaa kohti suurimmat potentiaalit löytyvät Ahvenanmaan, Etelä-Savon ja Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksista, jos korjuu tapahtuu rankana tai kokopuuna ja Ahvenanmaan, Pirkanmaan ja Pohjois-Karjalan

metsäkeskuksista, jos korjuu tapahtuu integroituna (kuvat L1–L3). Suurimmat latvusmassa- ja kantopotentiaalit toteutuneella hakkuiden rakenteella olisivat Häme-Uusimaan, Etelä-Savon, Keski-Suomen ja Pohjois-Savon metsäkeskusten alueilla. Pinta-alaan suhteutettuna eniten potentiaalia olisi Häme-Uusimaan, Kaakkois-Suomen ja Etelä-Savon alueilla (kuvat L4 ja L6). Suurimmalla kestäväällä ainespuun hakkuutasolla myös Pohjois-Pohjanmaalla ja Lapissa olisi runsaasti potentiaalia. Suhteessa pinta-alaan suurimmat potentiaalit ovat Häme-Uusimaan, Etelä-Rannikon ja Kaakkois-Suomen metsäkeskuksissa (kuvat L5 ja L7).



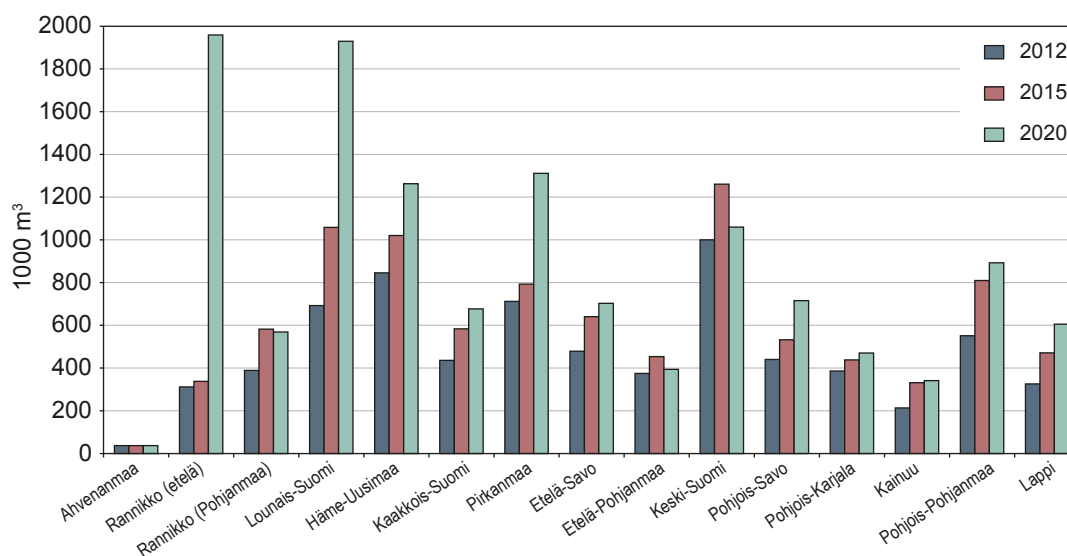
Kuva 11. Pienpuun, latvusmassan ja kantojen metsähakepotentiaalit eri laskentavaihtoehtoilla. Mä = mänty, Ku = kuusi, Ko = koivu, Lp = lehtipuu.

Taulukko 6. Metsähakepotentiaalit metsäkeskustasolla (1000 m³).

Metsäkeskus	Ranka	Kokopuu	Integroitu	LatvusTH	LatvusSK	KantoTH	KantoSK
Ahvenanmaa	37	50	39	28	49	32	53
Rannikko (etelä)	141	186	138	132	348	149	346
Rannikko (Pohjanmaa)	181	238	166	182	277	189	291
Lounais-Suomi	217	297	287	422	794	501	877
Häme-Uusimaa	342	471	308	627	945	726	1026
Kaakkois-Suomi	230	315	253	491	720	545	770
Pirkanmaa	288	398	391	393	789	444	855
Etelä-Savo	512	684	437	701	1042	742	1069
Etelä-Pohjanmaa	306	416	238	368	652	393	682
Keski-Suomi	468	624	543	637	1008	695	1087
Pohjois-Savo	512	699	471	615	1067	637	1143
Pohjois-Karjala	567	752	612	508	942	515	975
Kainuu	469	631	384	447	814	464	800
Pohjois-Pohjanmaa	1050	1378	815	584	1105	529	1030
Lappi	917	1180	1571	490	1031	505	993
Yhteensä	6237	8320	6653	6628	11584	7067	11996

3.2 Arvioitu käyttö vuosina 2015 ja 2020

Metsähakkeen käytön ennakoitiin kasvavan vuodesta 2012 vuoteen 2015 eniten Lounais-Suomen, Keski-Suomen ja Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksissa (kuva 12). Kokonaiskäyttömäärä Suomessa olisi tällöin noin 9,8 milj. m³, josta kotimaista metsähaketta 9,3 milj. m³. Kaikkein suurinta kasvu on kuitenkin vuosien 2015 ja 2020 välillä Rannikon (etelä), Lounais-Suomen ja Pirkanmaan metsäkeskuksissa, mikäli kivihiiltä ja maakaasua korvaavat suuret investoinnit toteutuvat. Vuoden 2020 arvion mukainen käyttö koko maassa olisi noin 13,5 milj. m³, josta kotimaista 12,9 milj. m³.



Kuva 12. Kotimaisen metsähakkeen käyttö vuonna 2012 ja käyttöarviot vuosina 2015 ja 2020 metsäkeskuksittain.

3.3 Metsähaketase

Vuonna 2012 suhteessa potentiaaliin pienpuun käyttö oli suurinta Rannikon, Lounais-Suomen, Häme-Uusimaan, Pirkanmaan ja Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusten alueilla (taulukko 7, kuvat L8, L11 ja L14). Latvusmassan ja kantojen potentiaali ylitti käytön sekä toteutuneiden hakkuiden että suurimman kestävä hakuukertymän skenaariossa pienialaisia poikkeuksia lukuun ottamatta (taulukko 7, kuvat L17, L20, L23 ja L26).

Vuoteen 2020 mennessä pienpuun käytön kasvaessa ”nollapotentiaalialue” eli alue, jossa ennakoitun käytön ylijäävää potentiaalia ei ole, leviää Etelä-Suomesta kohti pohjoista (taulukot 8 ja 9, kuvat L9, L10, L12, L13, L15 ja L16). Vuonna 2020 vapaata potentiaalia olisi enää Lapissa, jos korjuu tapahtuisi pelkästään rankana tai integroituna.

Taulukko 7. Metsähaketase vuonna 2012 metsäkeskuksittain eri jakeilla ja laskentavaihtoehdoilla (1000 m³).

Metsäkeskus	Ranka	Kokopuu	Integroitu	LatvusTH	LatvusSK	KantoTH	KantoSK
Ahvenanmaa	24	36	26	2	21	28	47
Rannikko (etelä)	0	138	0	3	201	111	308
Rannikko (Pohjanmaa)	0	44	0	116	225	155	270
Lounais-Suomi	0	0	0	99	469	352	728
Häme-Uusimaa	0	105	0	247	599	606	905
Kaakkois-Suomi	87	172	111	277	506	459	684
Pirkanmaa	0	116	58	133	521	329	731
Etelä-Savo	221	393	146	437	777	656	982
Etelä-Pohjanmaa	7	135	0	185	451	280	551
Keski-Suomi	123	278	197	363	743	565	966
Pohjois-Savo	267	455	227	439	891	580	1085
Pohjois-Karjala	389	573	433	362	797	476	935
Kainuu	374	537	289	376	743	425	761
Pohjois-Pohjanmaa	670	997	436	463	987	467	971
Lappi	648	912	1303	422	963	487	974
<i>Yhteensä</i>	<i>2809</i>	<i>4891</i>	<i>3226</i>	<i>3924</i>	<i>8893</i>	<i>5973</i>	<i>10898</i>

Taulukko 8. Metsähaketase vuonna 2015 metsäkeskuksittain eri jakeilla ja laskentavaihtoehdoilla (1000 m³).

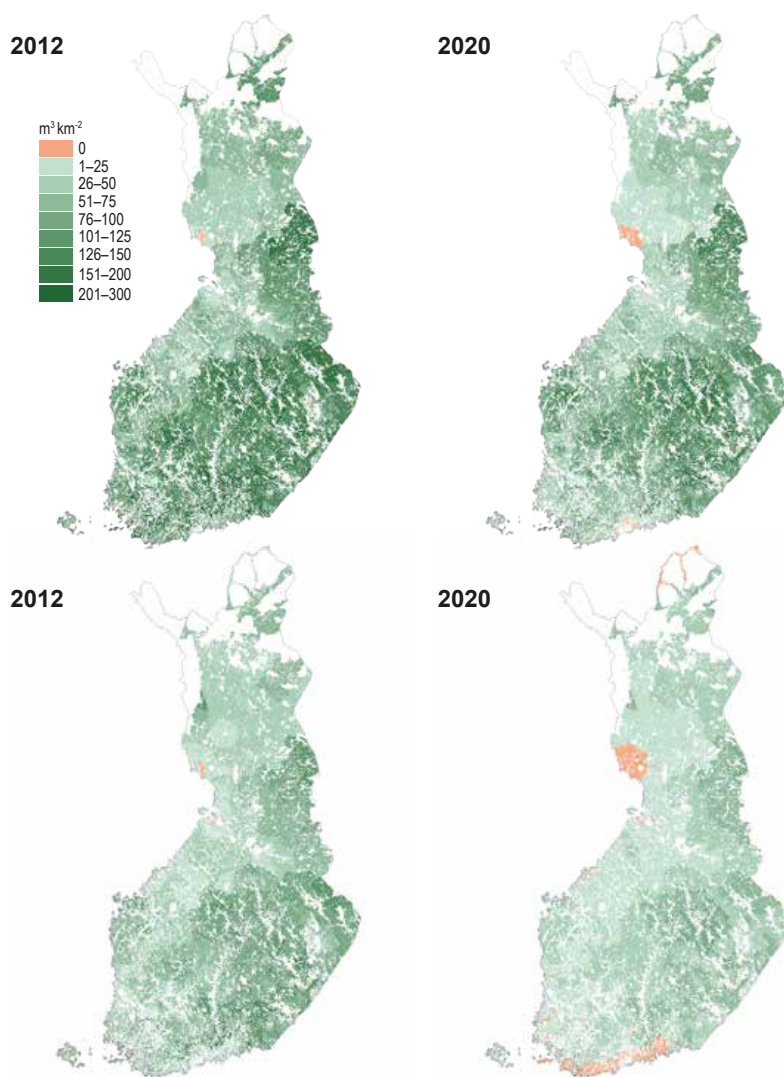
Metsäkeskus	Ranka	Kokopuu	Integroitu	LatvusTH	LatvusSK	KantoTH	KantoSK
Ahvenanmaa	22	34	24	0	17	26	45
Rannikko (etelä)	0	0	0	0	178	102	299
Rannikko (Pohjanmaa)	0	15	0	91	199	133	248
Lounais-Suomi	0	0	0	1	369	323	699
Häme-Uusimaa	0	0	0	134	492	581	881
Kaakkois-Suomi	0	131	0	234	463	441	666
Pirkanmaa	0	0	0	56	447	314	716
Etelä-Savo	0	316	0	387	727	650	976
Etelä-Pohjanmaa	0	0	0	143	409	255	526
Keski-Suomi	0	126	0	305	685	554	955
Pohjois-Savo	66	383	87	380	831	576	1081
Pohjois-Karjala	372	563	415	346	781	452	912
Kainuu	370	552	277	343	710	419	755
Pohjois-Pohjanmaa	272	826	50	404	928	450	955
Lappi	607	882	1259	377	918	472	959
<i>Yhteensä</i>	<i>1710</i>	<i>3829</i>	<i>2112</i>	<i>3201</i>	<i>8154</i>	<i>5747</i>	<i>10673</i>

Latvusmassan nollapotentialialue leviää Lounais-Suomesta kohti Keski-Suomea ja Kemin-Tornion alueelta kohti Itä-Lappia vuoteen 2020 mennessä (taulukot 8 ja 9, kuvat L18, L19, L21, L22, L24, L25, L27 ja L28). Kannoilla käyttö suhteessa potentiaaliin on suurempi Kemin-Tornion alueella vuonna 2015 ja myös etelärannikolla vuonna 2020 (kuvat L24, L25, L27 ja L28).

Tarkasteltaessa kaikkia jakeita samanaikaisesti, ei tilanne näytä yhtä synkältä kuin jakeittain tarkasteltuna. Vuonna 2012 vapaata potentiaalia oli vielä lähes koko maassa, mutta mikäli markkinahakkuut pysyvät vuosien 2008–2012 tasolla, on metsähake täyskäytössä etelärannikolla sekä Kemin–Tornion ympäristössä (kuva 13). Markkinahakkuiden lisääntyminen suurimmalle kestäväälle tasolle kasvattaisi metsähakepotentiaalia siten, että vielä vuonna 2020 vapaata potentiaalia olisi koko maassa lukuun ottamatta pieniä alueita Helsingin ja Kemin–Tornion ympäristöissä.

Taulukko 9. Metsähaketase vuonna 2020 metsäkeskuksittain eri jakeilla ja laskentavaihtoehdoilla (1000 m³).

Metsäkeskus	Ranka	Kokopuu	Integroitu	LatvusTH	LatvusSK	KantoTH	KantoSK
Ahvenanmaa	0	0	0	0	10	23	42
Rannikko (etelä)	0	0	0	0	3	3	182
Rannikko (Pohjanmaa)	0	0	0	0	228	123	239
Lounais-Suomi	0	0	0	0	46	179	555
Häme-Uusimaa	0	0	0	0	19	402	718
Kaakkois-Suomi	0	0	0	0	339	404	630
Pirkanmaa	0	0	0	0	303	254	656
Etelä-Savo	0	0	0	30	659	632	959
Etelä-Pohjanmaa	0	0	0	0	426	246	517
Keski-Suomi	0	0	0	31	662	533	934
Pohjois-Savo	0	0	0	346	798	566	1072
Pohjois-Karjala	0	527	0	319	754	447	907
Kainuu	0	467	0	336	703	415	751
Pohjois-Pohjanmaa	0	451	0	401	926	446	951
Lappi	46	686	466	343	884	465	953
<i>Yhteensä</i>	<i>46</i>	<i>2 130</i>	<i>466</i>	<i>1 805</i>	<i>6 759</i>	<i>5 138</i>	<i>10 064</i>



Kuva 13. Metsähaketase vuosina 2012 ja 2020, kun latvusmassa- ja kantopotentiaalit perustuvat suurimman kestävän markkinahakkuun laskelmaan (ylemmät kartat) ja toteutuneiden markkinahakkuiden laskelmaan (alemmat kartat). Kaikissa tasekartoissa pienpuu on oletettu korjattavan integroituna ainespuun kanssa.

4 Tulosten tarkastelu

Pienpuupotentiaaliarviot (Anttila ym. 2013a) kuvaavat nykyhetken potentiaaleja laskennassa esitetyillä harvennusvoimakkuuksilla, kohderajoitteilla ja korjuumenetelmillä. Pienpuupotentiaalit perustuvat vuosina 2004–2008 mitattuihin VMI-tietoihin metsänhoidollisista taimikonhoito- ja ensiharvennustarpeista, ja ne on laskettu kohteille, jotka pääosin täyttävät ns. Kemera-korjuutuen ehdot (Laitila ym. 2004). Laskelmissa kaikki lähimmän viisivuotiskauden toimenpide-ehdotukset oletetaan toteutettavaksi viiden vuoden sisällä; toisin sanoen havaitut taimikonhoito- ja ensiharvennusrästit purettaisiin viiden vuoden aikana. Pienpuupotentiaalilaskelmissa ei kuitenkaan ole kasvatettu koealoilta mitattuja puita, vaan kertymien oletettiin olevan mittaushetken mukaisia, mikä on aliarvio todellisista hakkuuhetken kertymistä.

Latvusmassa- ja kantopotentiaalit puolestaan perustuvat MELA-mallilla tuotettuihin skenaariolaskelmiin tulevan kymmenen vuoden uudistushakkuista ja niiden mahdollistamasta energiapuun korjuupotentiaalista. Näin metsien tuotantomahdollisuudet voidaan huomioda paremmin kuin aiemmassa, hakkuutilastoihin perustuvassa menetelmässä. Latvusmassan potentiaali (6,6 milj. m³) toteutuneella hakkuutasolla (*LatvusTH*) oli hieman suurempi kuin keskimääräisen hakkuutason potentiaali Anttilan ym. (2013a) laskelmassa (5,7 milj. m³). Suurimman kestävän hakkuutason potentiaali (11,6 milj. m³) sen sijaan oli huomattavasti Anttilan ym. (2013a) vuoden 2007 hakkuutasoa vastaavaa potentiaalia (6,6 milj. m³) suurempi.

Kantopotentiaaleissa ero aiempiin tuloksiin on vielä suurempi: Keskimääräistä hakkuutasoa vastaava potentiaali kuusen kannoille oli 2,2 milj. m³ (Helynen ym. 2007, Laitila ym. 2008, Anttila ym. 2013a) ja vuoden 2007 hakkuutasoa vastaava potentiaali 2,5 milj. m³ (Anttila ym. 2013a). Tässä tutkimuksessa kuusen kantopotentiaaliksi toteutuneella hakkuutasolla (*KantoTH*) saatiin 4,3 ja suurimmalla kestävällä hakkuutasolla (*KantoSK*) 6,9 milj. m³. Lisäksi mukaan laskettiin nyt männyn kannot, 2,7 milj. m³ (*KantoTH*) ja 5,1 milj. m³ (*KantoSK*). Suurta eroa selittää osin Äijälän ym. (2010) korjuuohjeiden laaja korjuukohteiden määrittely – kantoja voidaan ohjeiden mukaan korjata samoilta kasvupaikoilta kuin latvusmassaakin, eli kantopotentiaalini luettiin myös havusekametsien päätehakuilta korjattavat kannot – ei vain kuusivaltaisten kohteiden kannot. Suhteessa käyttömääriin selvästi suurin lisäyspotentiaali olisi juuri kannoissa. Käytön merkittävä kasvattaminen edellyttää kuitenkin kuljetustehokkuuden parantamista ja laadun hallinnan kehittämistä (ks. esim. Laitila ym. 2010, Laitila & Nuutinen 2015).

Potentiaalien laskennassa ei ole otettu huomioon vuonna 2014 voimaan tulleen metsälain mahdollistamia hakkuutapojen muutoksia (eri-ikäisrakenteinen metsänkäsittely), vaan metsänhoidon ja hakkuuiden on oletettu jatkuvan aiempien vuosien kaltaisena.

Metsähakkeen käyttömääriin ei tässä tutkimuksessa ole luettu pienkiinteistöjen metsähakkeen käyttöä. Koko maan tasolla vuonna 2012 metsähakkeen laituskäyttö oli 7,6 milj. m³, minkä lisäksi pääosin runkopuusta tehtyä haketta käytettiin maatilojen ja kiinteistöjen lämpökeskuksissa arviolta 0,7 milj. m³ (Torvelainen ym. 2014).

Tulevaisuudessa metsähakkeen käyttö tulee edelleen lisääntymään jonkin verran ns. lämpöura-koitsijakohteissa, jotka ovat teholtaan tyypillisesti muutamasta sadasta kilowatista puoleentoista megawattiin, sekä jossain suurissa saneerattavissa voimaloissa. Tärkeimpänä metsähakkeen käyttäjäryhmänä säilyvät edelleen yhdistetysti sähköä ja lämpöä tuottavat teollisuuden ja kaukolämpölaitosten voimat. Näiden osuus voimaloiden metsähakkeen kokonaiskäytöstä on noin 70 %.

Laitosten hankinta-alueiden laskennassa käytetyt kuljetusmatkat ja hankinnan jakautuminen ovat karkeita, kyselytutkimukseen perustuvia oletuksia. Laitosten todellisia hankinta-alueita ja markkinaosuuksia ei tiedetä. Näitä pitäisi selvittää jatkotutkimuksissa.

Taseiden kehittyminen ajan suhteen näyttää loogiselta: käyttö lisääntyy eniten Etelä-Suomessa. Lapin latvusmassan ja kantojen nollapotentialialueet ovat seurausta lähinnä pienistä potentiaaleista, ei niinkään suurista käyttömääristä. Tässä tutkimuksessa vuodelle 2015 arvioitiin metsähakkeen käytöksi 9,8 milj. m³, kun taas Routa ja Ikonen (2014) ennakoivat käytön pysyvän vuoden 2013 tasolla eli 8,7 milj. m³:ssä. Mikäli arvioitua käyttömäärää ei saavuteta, jää vapaata potentiaalia enemmän kuin tasekartat osoittavat.

Vapaa potentiaali ei tarkoita metsähakkeen saatavuutta, jonka määrää metsänomistajan myyntihalukkuus. Lisäksi päätehakuilla ainespuun ostavalla yhtiöllä on etulyöntiasema latvusmassan ja kantojen suhteen. Myyntihalukkuutta on tutkittu aiemmin, mutta koska toimintaympäristö on muuttunut olennaisesti, ei myyntihalukkuutta huomioitu tässä tutkimuksessa. Vertailun vuoksi: Maidell ym. (2008) laskivat vuonna 1999–2000 kerätyn aineiston perusteella niiden metsänomistajien suhteellisen osuuden kaikkien samasta läänistä vastanneiden metsänomistajien metsämaan pinta-alasta, jotka olivat valmiita myymään energiapuuta itse määrittelemällään hinnalla. Maakunnasta riippuen tämä osuus oli 65–68 %. Järvisen ym. (2006) tutkimuksen mukaan pienpuuta voisi luovuttaa 72 %, hakkuutähteitä 74 %, hukkarunkoja 72 % ja kantoja 71 % metsänomistajista. Uusimman tutkimuksen mukaan rankaa olisi ollut valmis luovuttamaan maksua vastaan 76 %, kokopuuta 81 %, latvusmassaa 76 % ja kantoja 51 % metsänomistajista (Mynttinen ym. 2010). Tähän tutkimukseen haastateltiin kuitenkin vain eteläsavolaisia metsänomistajia. Todellinen saatavuus on siis joka tapauksessa pienempi kuin vapaa potentiaali. Energiapuun myyntihalukkuutta tulisi selvittää uusilla tutkimuksilla.

Toisaalta tutkimuksessa on sisäänrakennettuna ajatus, että metsähakkeen käyttöä voitaisiin lisätä vain alueilla, joilla on nykykäytön yli jäävää, vapaata potentiaalia. Todellisuudessa myös nykykäyttö on tietenkin kilpailun alaista.

Energiapuun käyttömäärien kasvaessa kuitupuun mitta- ja laatuvaatimukset täyttävää runkopuuta ohjautuu käytännössä energiatuotantoon alueilla, joilla kyseisen teolliset käyttöpaikat ovat etäällä, puulle ei ole markkinatilanteesta johtuen kysyntää tai energiateollisuuden puustamaksukyky on metsäteollisuutta parempi. Siten pienpuutaseissa käyttömääriin käytännössä sisältyy kuitupuuta, mutta potentiaaleihin ei aivan samassa suhteessa, mikä osaltaan antaa taseesta synkähkön kuvan. Näin ollen pienpuupotentiaalien laskentaperusteita tulisi jatkossa tarkistaa ja energiapuun käyttötilastointia kehittää tarkemmaksi.

Jotain osviittaa kuitupuun käytön lisäysmahdollisuuksista suuraluetasolla antaa Härkösen (2014) kirjoitus Metsäsektorin suhdannekatsauksessa vuosille 2014–2015. Sen mukaan Pietarsaaren toteutunut ja vuonna 2015 toteutuvat Kymin ja Varkauden sellutehdasinvestoinnit sekä mahdollinen Äänekosken investointi lisäisivät kuitupuun käyttöä vuodesta 2017 lähtien 6 milj. m³ vuodessa. Olettaen 90 %:n metsien käyttöasteen suurin kestävä hakkuumahdollisuusarvio vuosille 2010–2019 tarjoaisi Etelä-Suomessa 4,5 milj. m³:n lisäyksen havusellun raaka-aineeksi runkopuuna ja sahauksen sivutuotteina. Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla vastaava lisäysmahdollisuus olisi 2 milj. m³. Seuraavalla kymmenvuotiskaudella havusellun raaka-aineen lisäysmahdollisuus olisi vielä suurempi: Etelä-Suomessa 11,1 ja Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla 3,7 milj. m³ vuodessa.

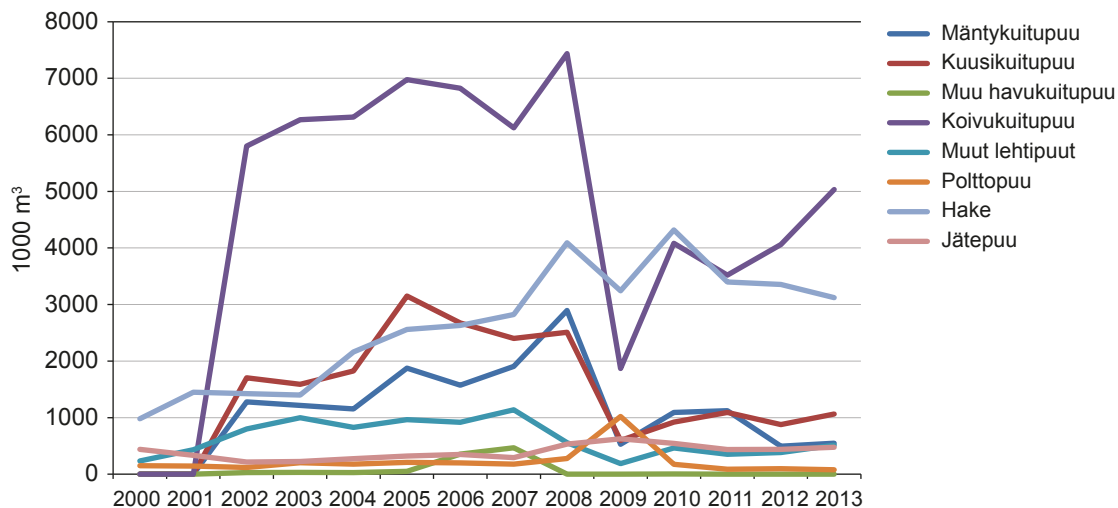
Metsähaketaseissa ei ole huomioitu myöskään ainespuun hakkuissa kertyvää ylilahoa runkopuuta. Ylilahon runkopuun määrät vaihtelevat vuosittain johtuen mm. metsätuhojen laajuudesta, eikä käyttömääristä ole tietoa.

Suomeen tuotiin vuosina 2010–2013 keskimäärin 109 000 m³ polttopuuta (kuva 14; MetINFO 2014, Peltola 2014). Samana aikana polttopuun vienti oli vajaa 70 000 m³, mutta viime vuonna vienti ylitti ensi kertaa tuonnin. Jätepuun nettotuonti on puolestaan ollut viime vuosina 100 000–200 000 m³:n luokkaa. Tuontitilastoissa jätepuu sisältää sahanpurun ja muun puujätteen joko irttonaisena tai jalostettuna esim. briketiksi tai pelletiksi. Sahahaketta tuotiin vuonna 2013 hieman yli 3 milj. m³, mutta tästä valtaosa on mennyt kemiallisen metsäteollisuuden käyttöön. Kemiallisen metsäteollisuuden käyttöön on tuotu myös merkittäviä määriä koivukuitupuuta (vuonna 2013 noin 5 milj. m³). Tässä tutkimuksessa metsähakkeen tuonnin oletettiin pysyvän suhteellisesti samalla tasolla kuin 2012. Koska tuontimäärät voivat vaihdella voimakkaastikin, olisi jatkossa tarpeen tarkastella tuonnin vaikutusta esimerkiksi tuontiskenaarioiden avulla.

Kaiken kaikkiaan tutkimuksen tulosten perusteella voidaan todeta, että metsähakkeen käyttöta-voite vuodelle 2020 voidaan saavuttaa. Tämä kuitenkin edellyttää

1. metsähakkeen käyttöä rannikkoseudun uusissa voimalaitoksissa
2. kivihiihivoimaloiden polttoaineen korvaamista hakkeella ja / tai
3. lauhdesähkön kilpailukykyistä tuotantoa metsähakkeella.

Tällä hetkellä suurin uhka uusiutuvan energian lisäämiselle on sen heikko kilpailukyky verrattuna tuontipolttoaineisiin.



Kuva 14. Eräiden raaka- ja jätepuujakeiden tuonti Suomeen vuosina 2000–2013 (MetINFO 2014, Peltola 2014).

5 Johtopäätökset

Nykyisillä ainespuun hakkuumäärillä metsähakkeesta uhkaa tulla paikoin pula, mikäli käyttötaivoitteet vuodelle 2020 halutaan saavuttaa kotimaisilla raaka-aineilla. Suurin käyttö suhteessa latvusmassan, kantojen ja pienpuun korjuumahdollisuuksiin on etelärannikolla sekä Perämeren rannikolla. Vielä vuonna 2012 eniten lisäkäytön mahdollisuuksia tarjosi pienpuu, mutta vuonna 2020 suurin kasvumahdollisuus on päätehakkuiden latvusmassassa ja kannoissa. Tosin myös latvusmassa tulee tutkimuksen mukaan olemaan Kokkola-Imatra-linjan eteläpuolella täyskäytössä, jos ainespuun hakkuut pysyvät viime vuosien tasolla.

Suurimmat käyttämättömät metsähakepotentiaalit sijaitsevat Keski- ja Itä-Suomessa sekä Kainuussa ja suurimmat käyttöpaikat rannikolla, joten kuljetusmatkat tulevat pitenemään. Tämän vuoksi mahdollisuuksia pitkien matkojen kuljetuskustannusten alentamiseen ja meno-paluukuljetusten hyödyntämiseen tulee edelleen tutkia. Myös kannoissa on suuri lisäyspotentiaali, jos hankintakustannuksia saadaan alennettua ja laatua parannettua.

Uusiutuvan energian lisäystavoitteen toteuttamisessa metsähakkeen merkitys on yhä suuri, mutta sijoitustermein ”mennyt kehitys ei ole tae tulevasta”. Käyttömäärien kasvaessa hankinnan haasteet kasvavat. Keinoja käytön lisäämiseen kuitenkin löytyy. Ainespuun hakkuiden lisääminen kasvattaisi paitsi latvusmassa- ja kantopotentiaalia, myös metsäteollisuuden sivutuotteiden tarjontaa. Vaikka tässä tutkimuksessa on keskitytty nimenomaan metsähakkeeseen, on metsäteollisuuden sivutuotteilla tuotettu energia yhtä uusiutuvaa ja kotimaista kuin metsähakkeella tuotettu energia.

Metsähakkeen raaka-ainepohjaa on myös mahdollista laajentaa. Näissä laskelmissa pienpuun potentiaaliin ei ole laskettu kuitupuun hankintakohteita, mutta jo nyt merkittävä osa energiaksi käytettävästä runkopuusta on kuitupuun mitta- ja laatuvaatimukset täyttävää. Tällaisen puun poltto on järkevää, kun teolliset käyttöpisteet ovat kaukana, kysyntä huono ja laatu teollisuuskäyttöön heikkoa. Rannikolla energiapuun tuonti meritse on mahdollista, mutta ei suotavaa kauppataseen, kantorahatulojen, työllisyyden ja kestävyuden varmistamisen kannalta. Vesitse ja rautateitse voidaan kuljettaa myös kotimaista puuta. Viimekädessä metsähakkeen lisäkäytön mahdollistaminen on kuitenkin sekä valtiovallan että toimitusketjun käsissä: metsähakkeen hinnan pitää olla laitoksen portilla kilpailukykyinen vaihtoehtoisten fossiilisten polttoaineiden kanssa.

Kirjallisuus

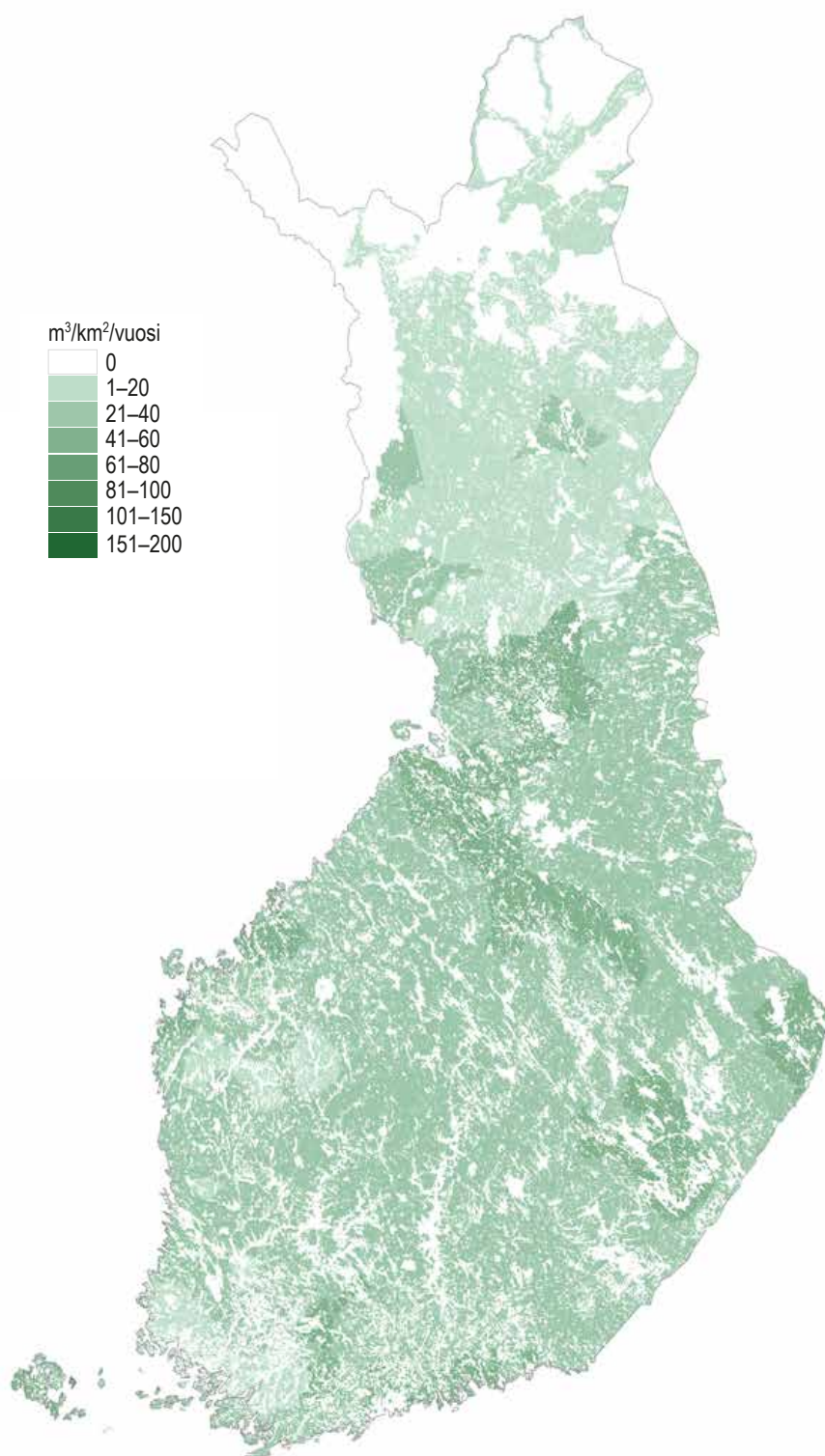
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. 172 s. + liitt. 17 s. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>.
- Anttila, P., Nivala, M., Laitila, J. & Korhonen, K.T. 2013a. Metsähakkeen alueellinen korjuupotentiaali ja käyttö. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 267. 24 s. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp267.htm>.
- Anttila, P., Muinonen, E. & Laitila, J. 2013b. Nostoalueen kannoista jää viidennes maahan. Bioenergia 3/2013: 10–11.
- Asikainen, A., Ranta, T., Laitila, J. & Hämäläinen, J. 2001. Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suuri-mittakaavainen hankinta. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 131. 107 s.
- Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. Folia Forestalia 773. 24 s.
- (toim.) 1992. Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422. 51 s.

- 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999–2003. Loppuraportti. Teknologiaohjelmaraportti 5/2004. 135 s.
- , Kalaja, H., Salakari, M. & Valonen, P. 1978. Whole-tree harvesting in the early thinning of pine. *Folia Forestalia* 333, 1–58.
- Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt, V., Lindblad, J., Sirén, M., Asikainen, A., Pasanen, K. & Korhonen, K.T. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Metlan työraportteja 10. 56 s.
- Helynen, S., Flyktman, M., Asikainen, A. & Laitila, J. 2007. Metsätalouteen ja metsäteollisuuteen perustuvan energialiiketoiminnan mahdollisuudet. VTT Tiedotteita 2397. 66 s.
- Hynynen, J. 2001. Energiapuuvarat. Julkaisussa: Nurmi, J. ja Kokko, A. (toim.). Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 816. s. 9–16.
- , Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H. & Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA System. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 835. 116 s.
- Hyvän metsänhoidon suosituks. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. ISBN 13-978-952-5118-84-1.
- Härkönen, K. 2014. Puuvarojen käyttö. Teoksessa: Viitanen, J. & Mutanen, A. (toim.). Metsäsektorin suhdannekatsaus 2014–2015: 33–35.
- Järvinen, E., Rämö, A-K. & Silvennoinen, H. 2006. Energiapuun tuotanto ja markkinat: Metsänomistajakysely. Pellervon taloudellisen tutkimuslaitoksen raportteja Nro 199.
- Kansallinen energia- ja ilmastostrategia, taustaraportti. 21.3.2013. Eri ministeriöiden (TEM, YM, MMM, LVM, VM, UM, OKM) yhteinen viranomaisyhdysverkko. 179 s. Saatavilla: http://www.tem.fi/energia/energia- ja ilmastostrategiat/vuoden_2013_strategia
- Keskimölo, A. & Malinen, J. 1997. Lapin metsänkäyttökkenaarioiden energiapuukertymät. Metsätieteen aikakauskirja 3/1997: 375–388.
- , Heikkinen, E. & Keränen, K. (toim.). 2007. Pohjois-Suomen metsänkäsitelysuositukset 2007. Metsäkeskus Lappi, Metsäkeskus Pohjois-Pohjanmaa, Metsäkeskus Kainuu. 58 s.
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Viiri, H., Heikkinen, J., Henttonen, H., Hotanen, J-P., Mäkelä, H., Nevalainen, S., Pitkänen, J. 2013. Suomen metsät 2004–2008 ja niiden kehitys 1921–2008. Hyväksytty käsikirjoitus Metsätieteen Aikakauskirjaan. Metsäntutkimuslaitos.
- Kurki, P., Mutanen, A. & Anttila, P. 2012. Energiapuumarkkinat - käytännön kokemukset ja tilastointimahdollisuudet. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 228. 64 s. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp228.htm>.
- Kytö, M., Äijälä, M. & Panula, E. 1983. Metsäenergian käyttö ja jalostus. Osa 8. Puun ominaisuudet ja energiakäyttö. Kirjallisuustutkimus. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 237. 146 s.
- Kärhä, K., Elo, J., Lahtinen, P., Räsänen, T., Keskinen, S., Saijonmaa, P., Heiskanen, H., Strandström, M. & Pajujoja, H. 2010. Kiinteiden puupolttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa 2020. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto. 66/2010. 68 s.
- Kärkkäinen, L., Matala, J., Härkönen, K., Kellomäki, S. & Nuutinen, T. 2008. Potential recovery of industrial wood and energy wood raw material in different cutting and climate scenarios for Finland. *Biomass and Bioenergy* 32(10): 934–943.
- Laitila, J., Asikainen, A., Sikanen, L., Korhonen, K.T. & Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka. Metlan työraportteja 3. 57 s.
- , Asikainen, A. & Anttila, P. 2008. Energiapuuvarat. Julkaisussa: Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. (toim.). Energiapuun korjun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. Tapion ja Metlan julkaisuja. Saatavissa: www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti. s. 6–12.
- , Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. VTT Tiedotteita 2564. 143 s.
- & Nuutinen, Y. 2015. Efficiency of integrated grinding and screening of stump wood for fuel at roadside landing with a low-speed double-shaft grinder and a star screen. *Croatian Journal of Forest Engineering* 36(1).
- Leiviskä, V., Ahonen, A. & Kiukaanniemi, E. 1993. Pohjois-Suomen energiapuuvarat. Oulun yliopisto, Pohjois-Suomen tutkimuslaitos. Tiedonantoja 1993:95. 31 s.
- Maidell, M., Pyykkönen, P. & Toivonen, R. 2008. Metsäenergiapotentiaalit Suomen maakunnissa. Pellervon taloudellisen tutkimuslaitoksen työpapereita 106. 42 s.

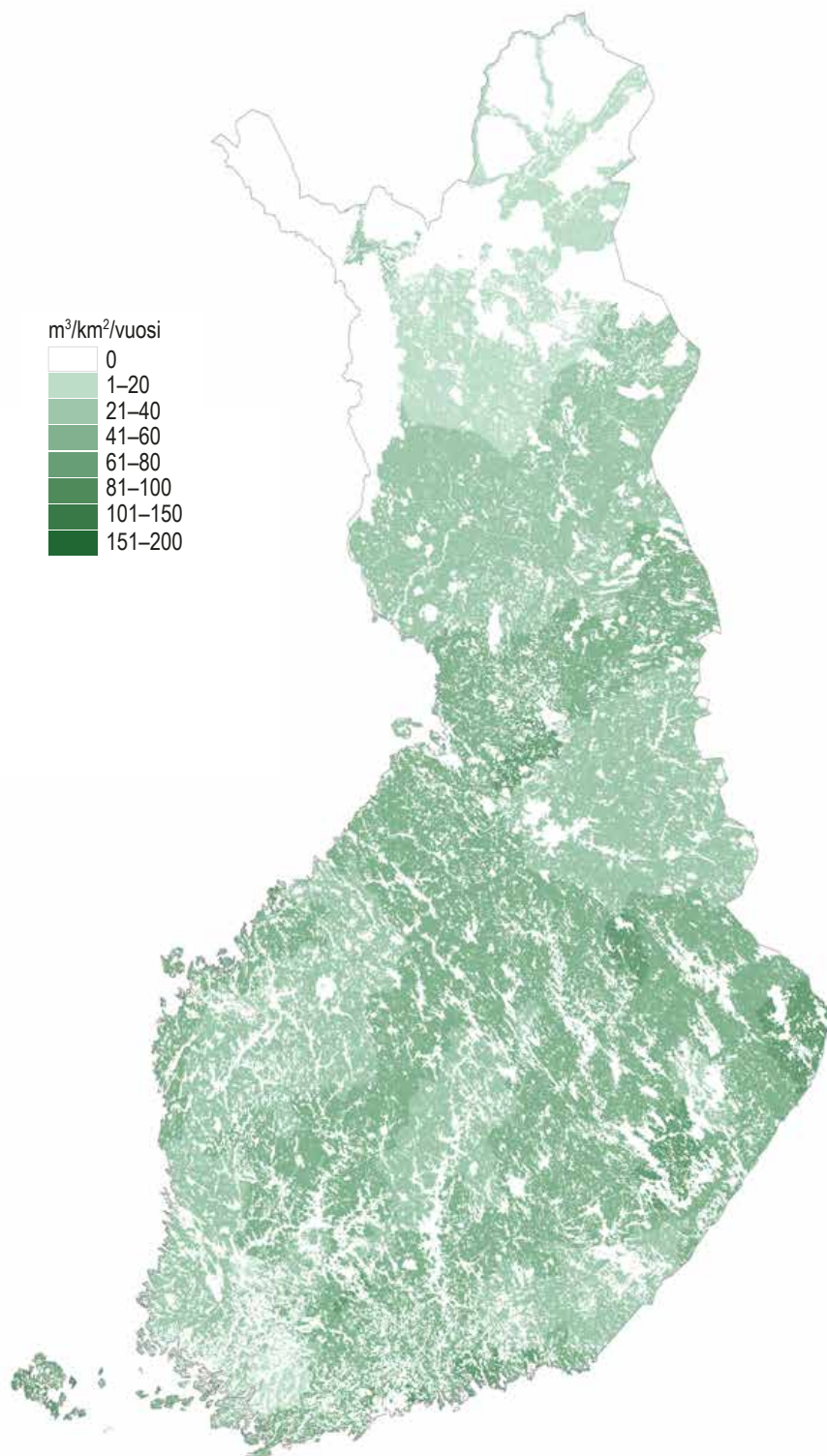
- Malinen, J. & Pesonen, M. 1996. Etelä-Suomen energiapuuvarat. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 610. 33 s.
- , Pesonen, M., Määttä, T. & Kajanus, M. 2001. Potential harvest for wood fuels from logging residues and first thinnings in Southern Finland. *Biomass and Bioenergy* 20(3):189–196.
- MetINFO. 2014. MetINFO – Metsätietopalvelut. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo>.
- Mielikäinen, K., Hirvelä, H., Härkönen, K. & Malinen J. 1995. Energiapuu osana metsänkasvatusta Keski-Pohjanmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 556. 56 s.
- Mynttinen, S., Karttunen, K. & Handelberg, J. 2010. Energiapuun tarjontahalukkuus. Julkaisussa: Karttunen, K., Föhr, J. & Ranta, T. (toim.). Energiapuuta Etelä-Savosta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. LUT Energia. Tutkimusraportti 7. s. 11–32.
- Muinsonen, E., Anttila, P., Heinonen, J. & Mustonen, J. 2013. Estimating the bioenergy potential of forest chips from final fellings in Central Finland based on biomass maps and spatially explicit constraints. *Silva Fennica* 47(4). 22 s.
- Pasanen, K., Vesterlin, V., Keskimölä, A., Soimasuo, J. & Tokola, T. 1997. Alueellisten energiapuuvarojen arviointimenetelmä. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1997: s. 25–35.
- Peltola, A. 2014. Metsäteollisuuden ulkomaankauppa, joulukuu 2013. Metsätalostatiedote (SVT Maa-, metsä- ja kalatalous) 2014(9/2014). 10 s.
- Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia 2008. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008. 130 s.
- Ranta, T. 2002. Logging residues from regeneration fellings for biofuel production – a GIS-based availability and supply cost analysis. Väitöskirja, *Acta Universitatis Lappeenrantaensis* 128, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 180 s.
- 2005. Logging residues from regeneration fellings for biofuel production – a GIS-based availability analysis in Finland. *Biomass and Bioenergy* 28:171–182.
- , Lahtinen, P., Elo, J. & Laitila, J. 2007. The effect of CO₂ emission trade on the wood fuel market in Finland. *Biomass and Bioenergy* 31(8): 535–542.
- Redsven, V., Hirvelä, H., Härkönen, K., Salminen, O., Siitonen, M. 2013. MELA2012 Reference Manual (2nd edition). Finnish Forest Research Institute. 666 p. Saatavilla: http://mela2.metla.fi/mela/julkaisut/oppaat/mela2012_2nd_ed.pdf.
- Routa, J. & Ikonen, T. 2014. Bioenergiamarkkinat. Teoksessa: Viitanen, J. & Mutanen, A. (toim.). Metsäsektorin suhdannekatsaus 2014–2015: 40–44.
- Ruotsalainen, M. 2007. Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio julkaisusarja 26. Metsäkustannus Oy, Helsinki. 51 s.
- Torvelainen, J., Ylitalo, E. & Nouro, P. 2014. Puun energiakäyttö 2013. Metsätalostatiedote (SVT Maa-, metsä- ja kalatalous) 2014(31/2014). 7 s.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. Energiaosasto. 2010. Suomen kansallinen toimintasuunnitelma uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian edistämisestä direktiivin 2009/28/EY mukaisesti. 10 s.
- Ylitalo, E. 2013. Puun energiakäyttö 2012. Metsätalostatiedote 15/2013. 7 s.
- Äijälä, O., Kuusinen, M. & Koistinen, A. 2010. Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 31 s. Saatavissa: http://www.tapio.fi/files/tapio/Aineistopankki/Energiapuusuositukset_verkkoon.pdf.

Liite

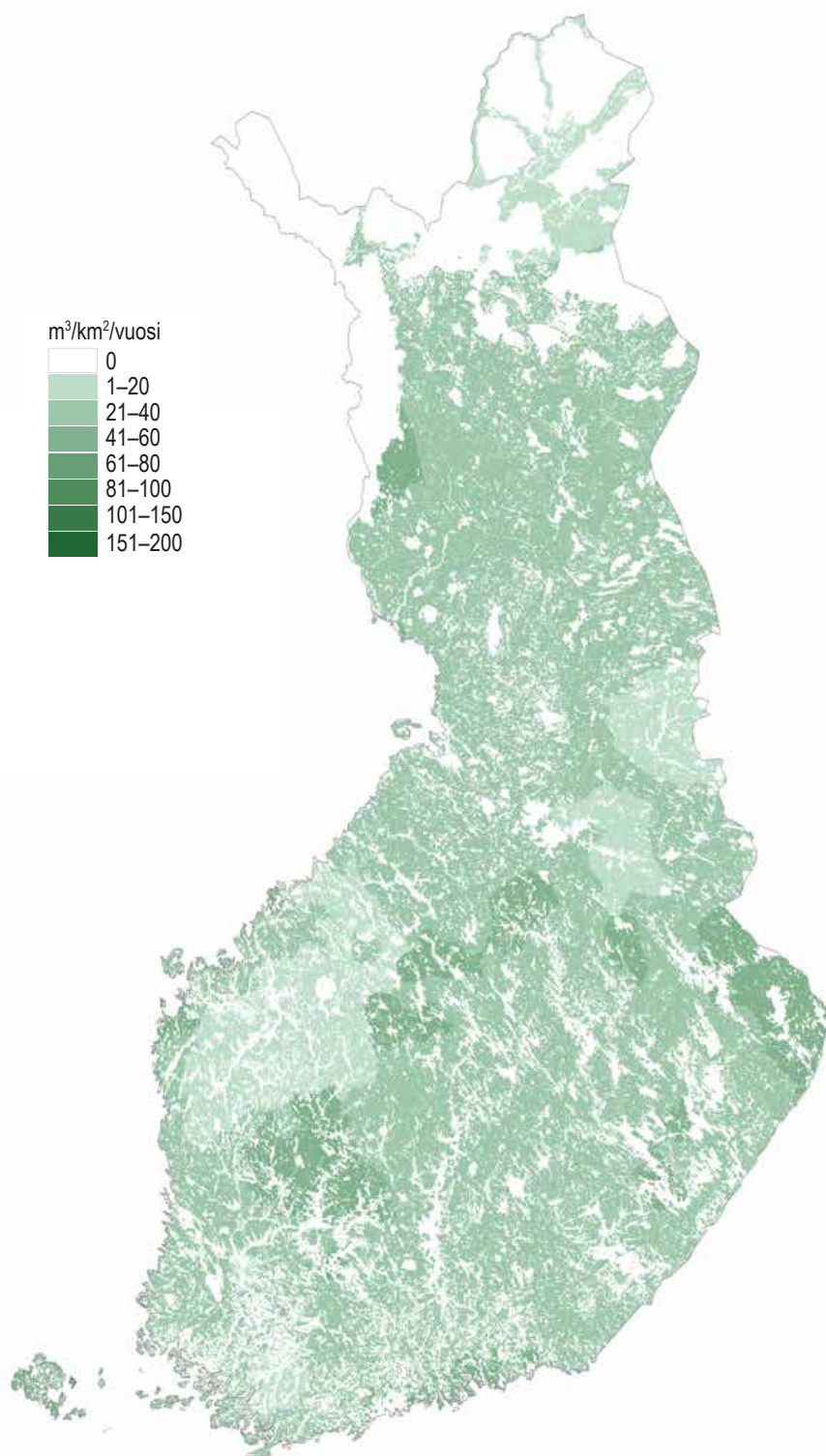
Kuva L1. Pienpuupotentiaali, jos korjuu tapahtuisi rankana (laskentavaihtoehto Ranka).	28
Kuva L2. Pienpuupotentiaali, jos korjuu tapahtuisi kokopuuna (laskentavaihtoehto Kokopuu).	29
Kuva L3. Pienpuupotentiaali, jos korjuu tapahtuisi integroituna (laskentavaihtoehto Integroitu).	30
Kuva L4. Latvusmassapotentiaali, jos markkinahakkuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla (laskentavaihtoehto LatvusTH).	31
Kuva L5. Latvusmassapotentiaali, jos markkinahakkuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla (laskentavaihtoehto LatvusSK).	32
Kuva L6. Kantopotentiaali, jos markkinahakkuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla (laskentavaihtoehto KantoTH).	33
Kuva L7. Kantopotentiaali, jos markkinahakkuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla (laskentavaihtoehto KantoSK).	34
Kuva L8. Pienpuutase 2012, jos korjuu tapahtuisi rankana.	35
Kuva L9. Pienpuutase 2015, jos korjuu tapahtuisi rankana.	36
Kuva L10. Pienpuutase 2020, jos korjuu tapahtuisi rankana.	37
Kuva L11. Pienpuutase 2012, jos korjuu tapahtuisi kokopuuna.	38
Kuva L12. Pienpuutase 2015, jos korjuu tapahtuisi kokopuuna.	39
Kuva L13. Pienpuutase 2020, jos korjuu tapahtuisi kokopuuna.	40
Kuva L14. Pienpuutase 2012, jos korjuu tapahtuisi integroituna.	41
Kuva L15. Pienpuutase 2015, jos korjuu tapahtuisi integroituna.	42
Kuva L16. Pienpuutase 2020, jos korjuu tapahtuisi integroituna.	43
Kuva L17. Latvusmassatase 2012, jos markkinahakkuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla.	44
Kuva L18. Latvusmassatase 2015, jos markkinahakkuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla.	45
Kuva L19. Latvusmassatase 2020, jos markkinahakkuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla.	46
Kuva L20. Latvusmassatase 2012, jos markkinahakkuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla.	47
Kuva L21. Latvusmassatase 2015, jos markkinahakkuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla.	48
Kuva L22. Latvusmassatase 2020, jos markkinahakkuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla.	49
Kuva L23. Kantotase 2012, jos markkinahakkuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla. ...	50
Kuva L24. Kantotase 2015, jos markkinahakkuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla. ...	51
Kuva L25. Kantotase 2020, jos markkinahakkuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla. ...	52
Kuva L26. Kantotase 2012, jos markkinahakkuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla.	53
Kuva L27. Kantotase 2015, jos markkinahakkuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla.	54
Kuva L28. Kantotase 2020, jos markkinahakkuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla.	55



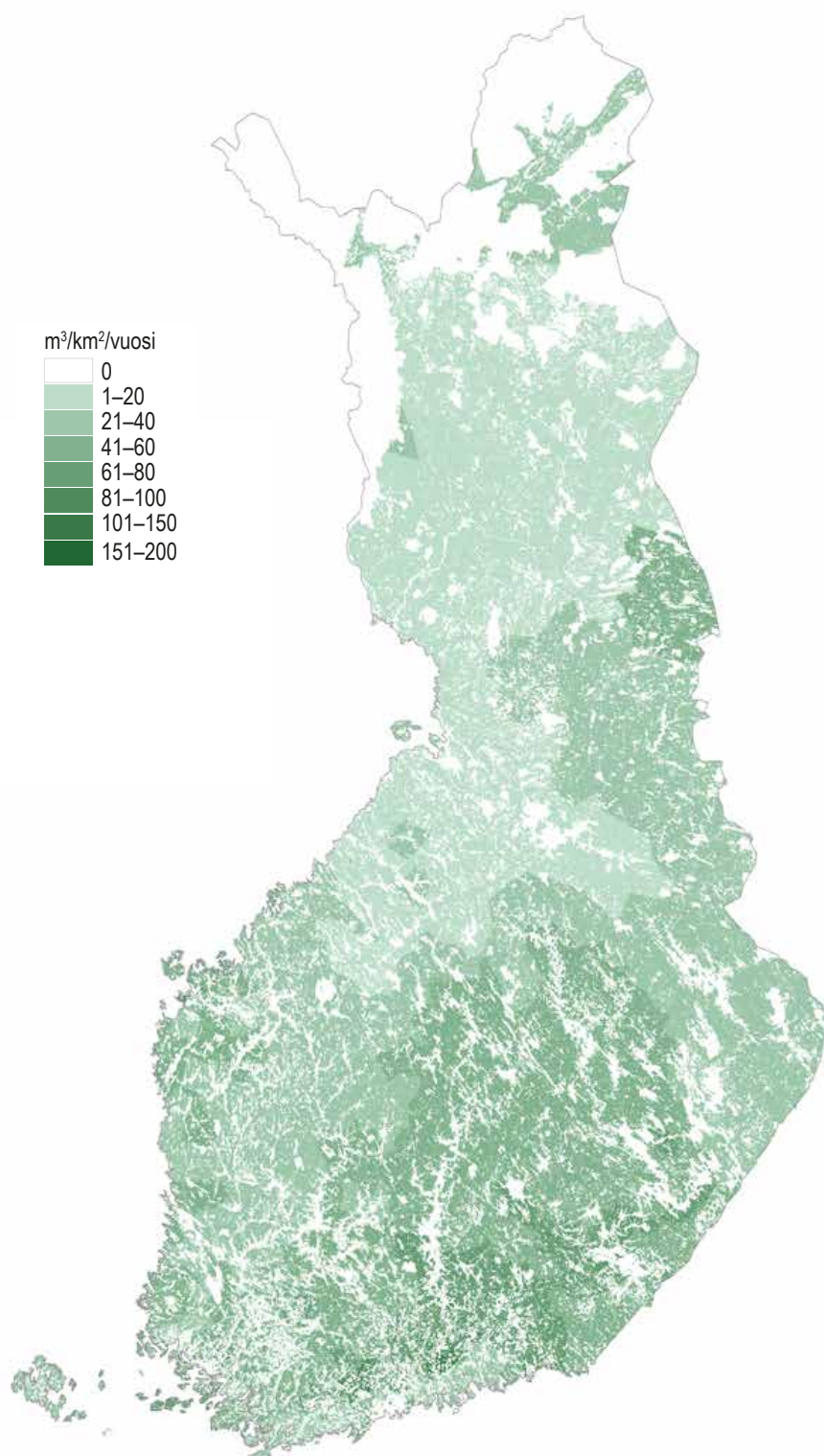
Kuva L1. Pienpuupotentiaali, jos korjuu tapahtuisi rankana (laskentavaihtoehto *Ranka*).



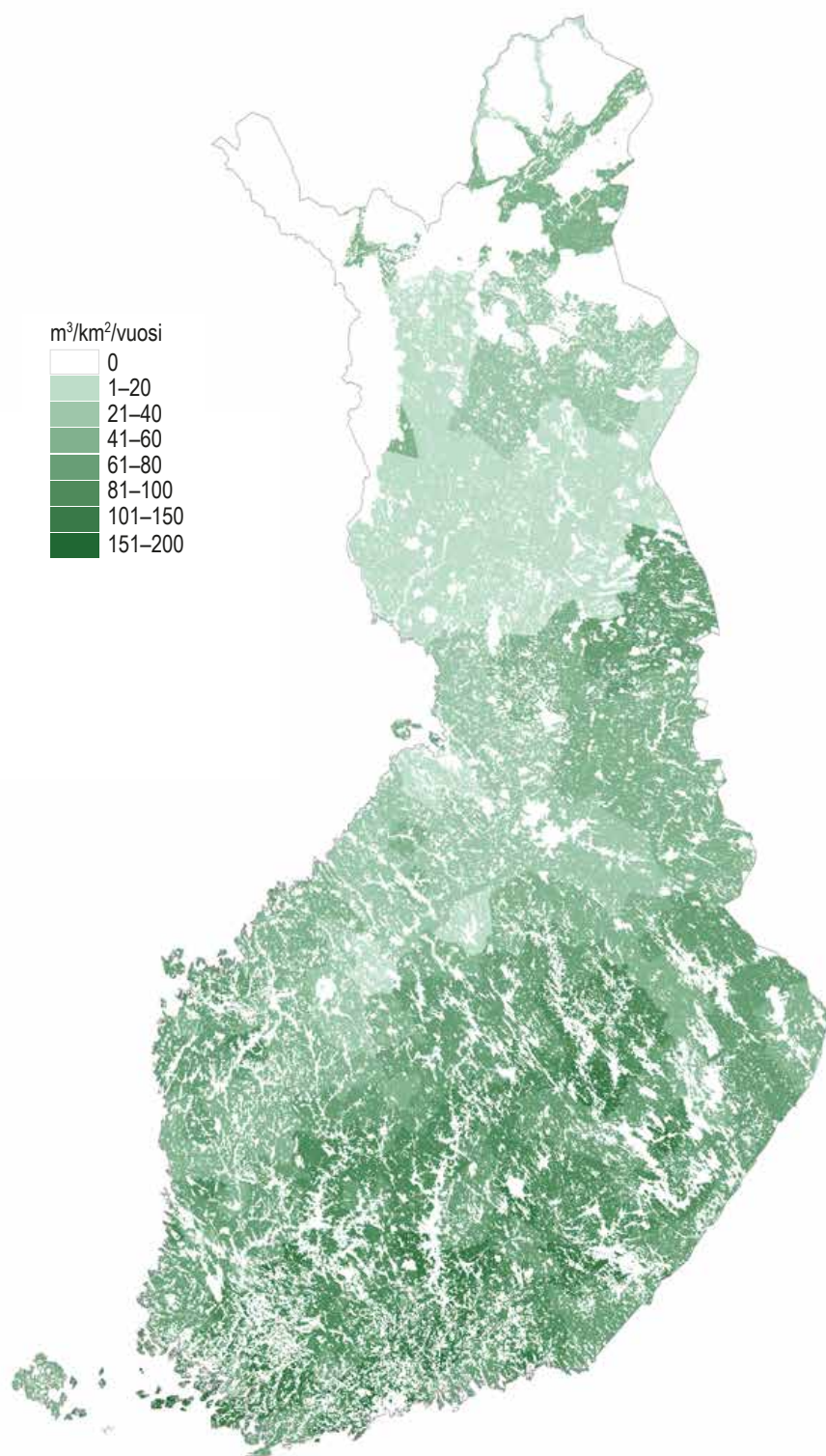
Kuva L2. Pienpuupotentiaali, jos korjuu tapahtuisi kokopuuna (laskentavaihtoehto *Kokopuu*).



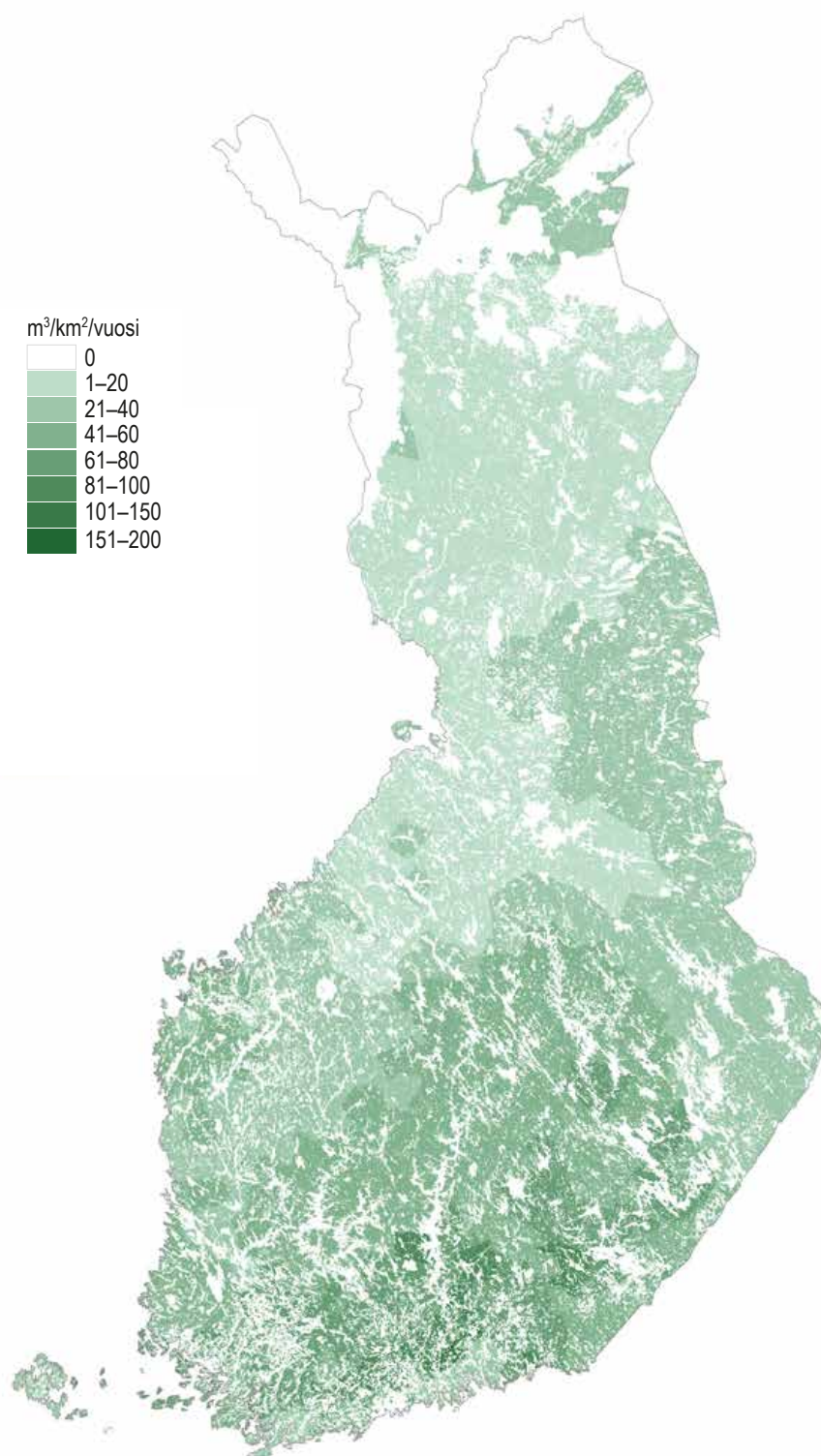
Kuva L3. Pienpuupotentiaali, jos korjuu tapahtuisi integroituna (laskentavaihtoehto *Integroitu*).



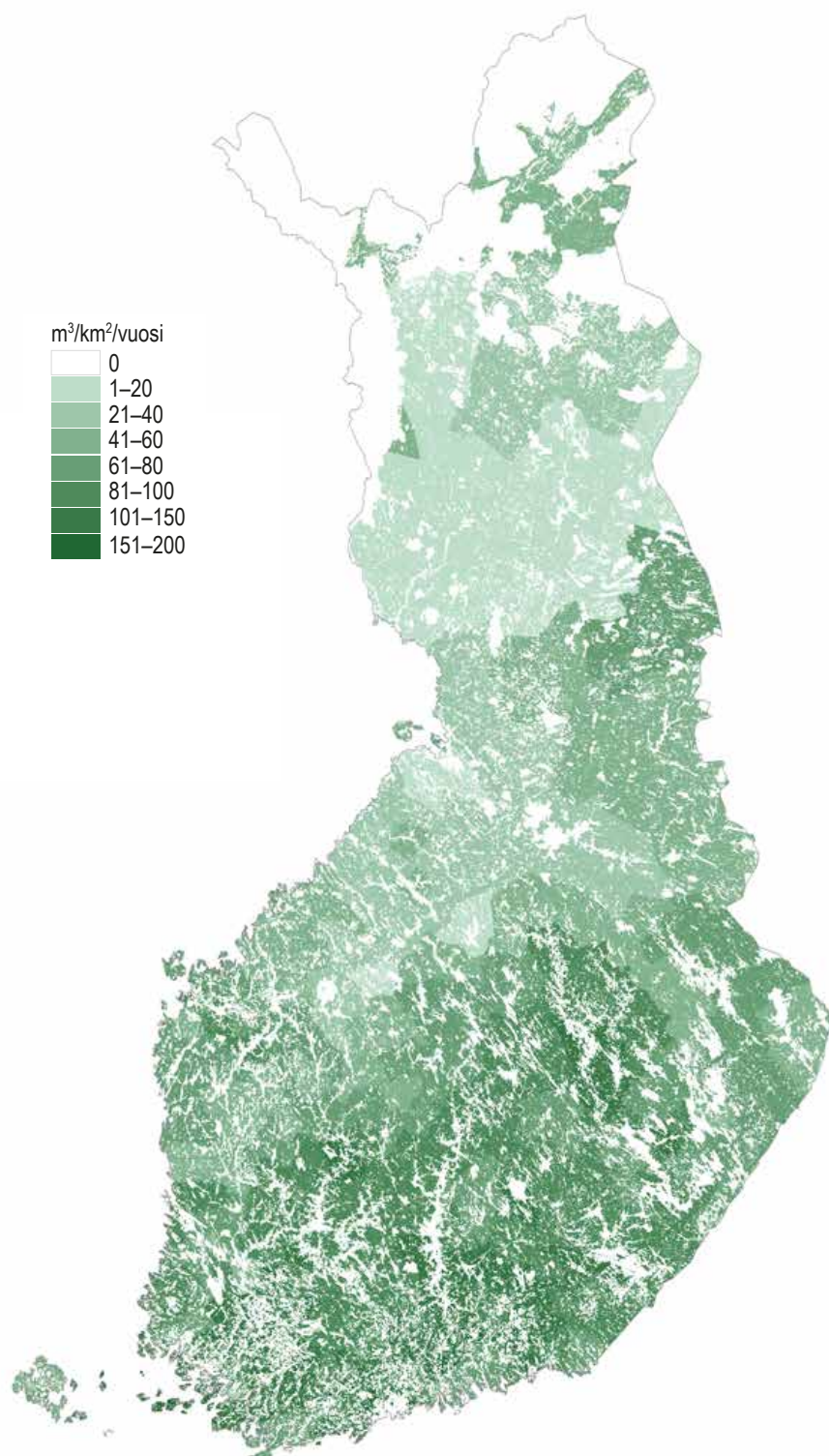
Kuva L4. Latvussmassapotentiaali, jos markkinahakkuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla (laskentavaihtoehto *LatvusTH*).



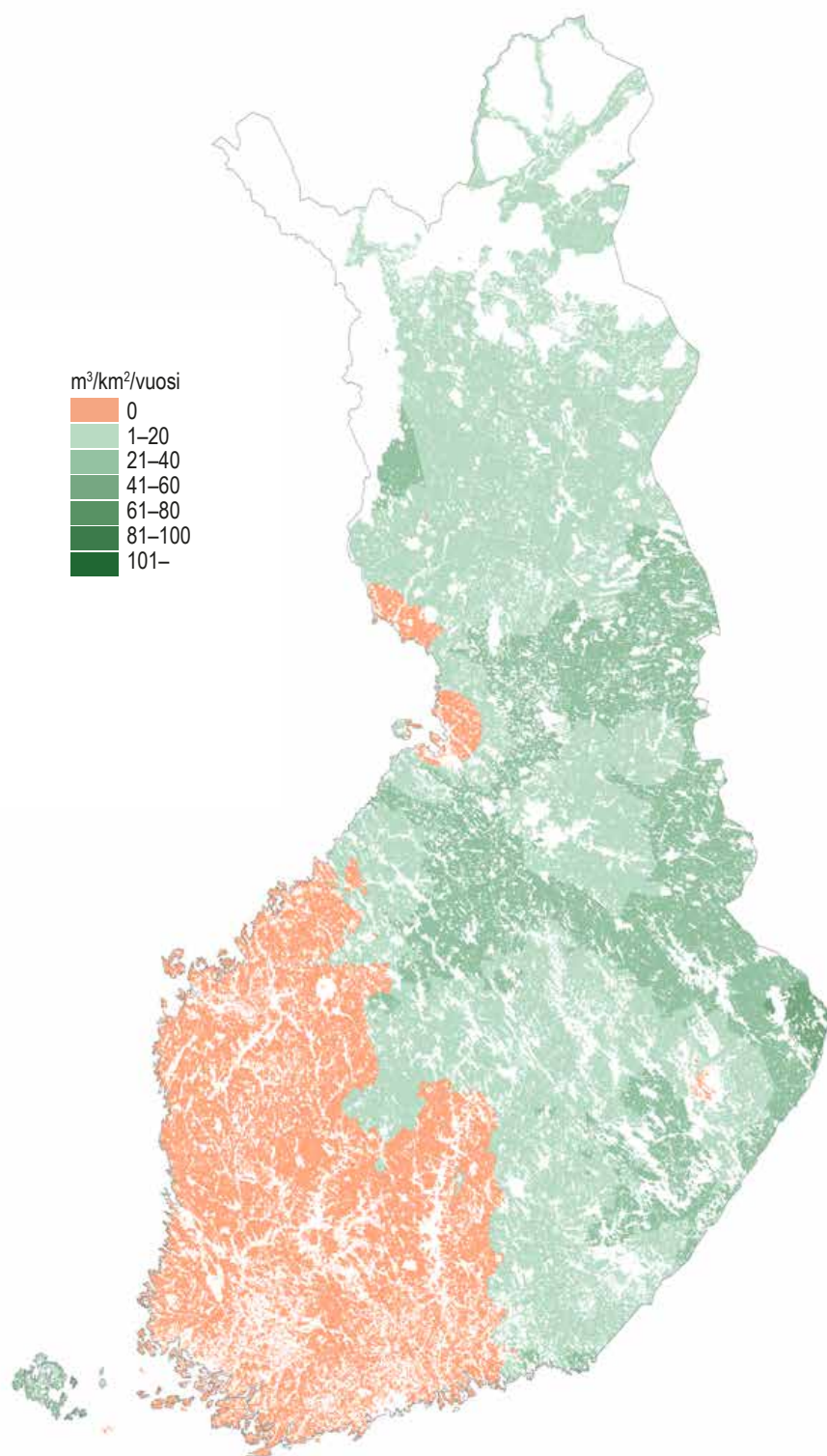
Kuva L5. Latvusmassapotentiaali, jos markkinahakkuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla (laskentavaihtoehto *LatvusSK*).



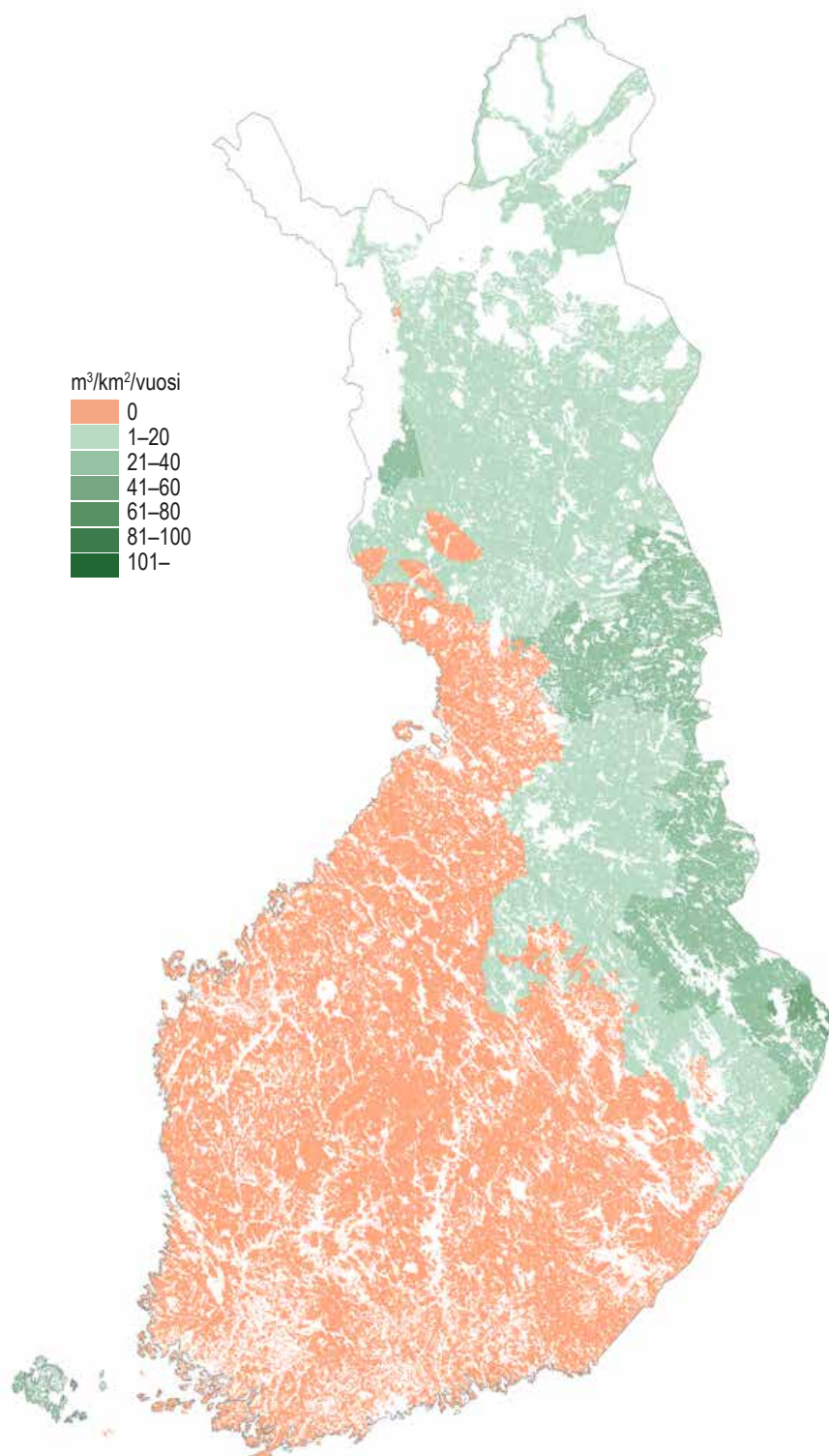
Kuva L6. Kantopotentiaali, jos markkinahakkuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla (laskentavaihtoehto *KantoTH*).



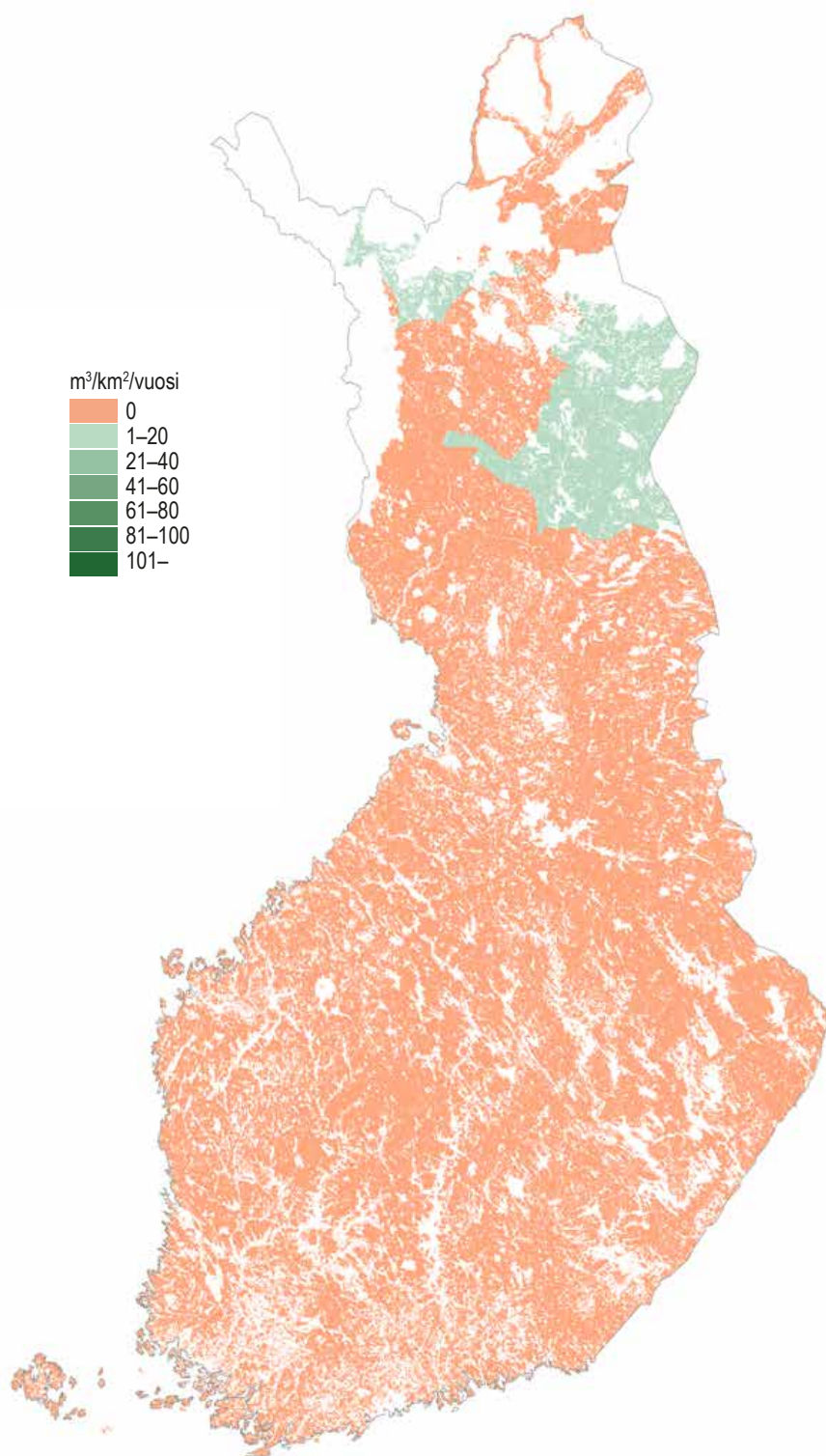
Kuva L7. Kantopotentiaali, jos markkinahakkuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla (laskentavaihtoehto *KantoSK*).



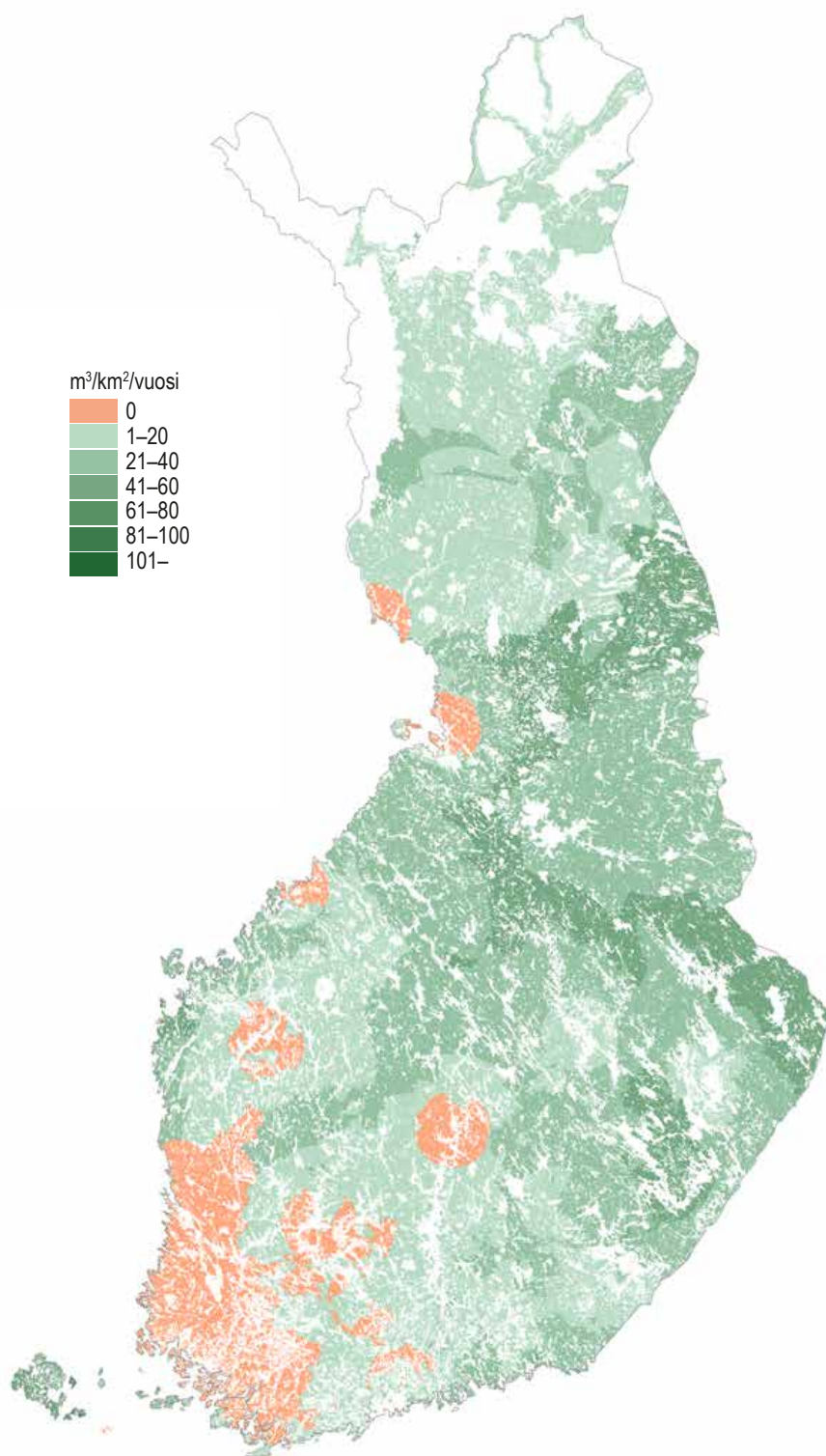
Kuva L8. Pienpuutase 2012, jos korjuu tapahtuisi rankana.



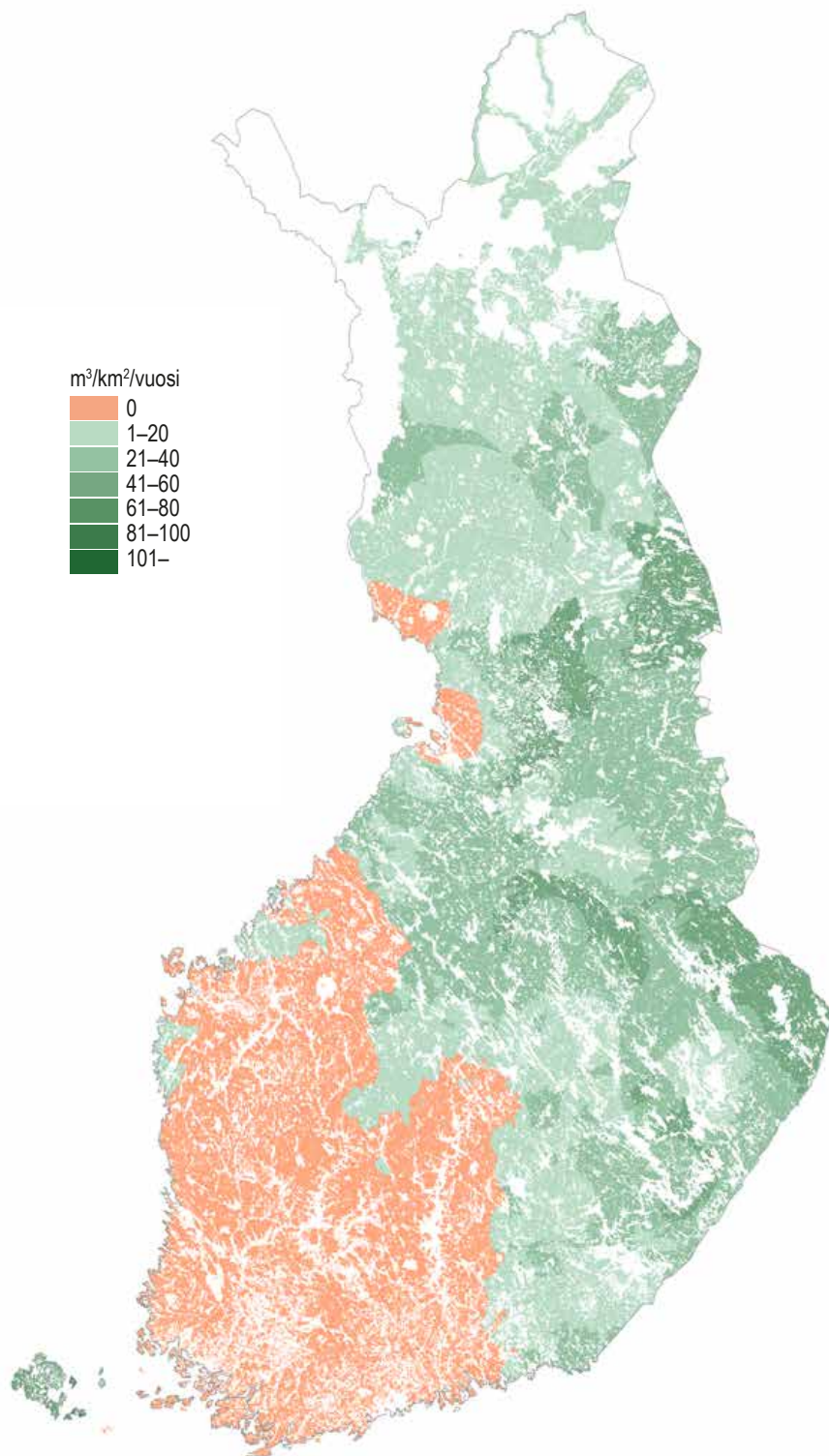
Kuva L9. Pienpuutase 2015, jos korjuu tapahtuisi rankana.



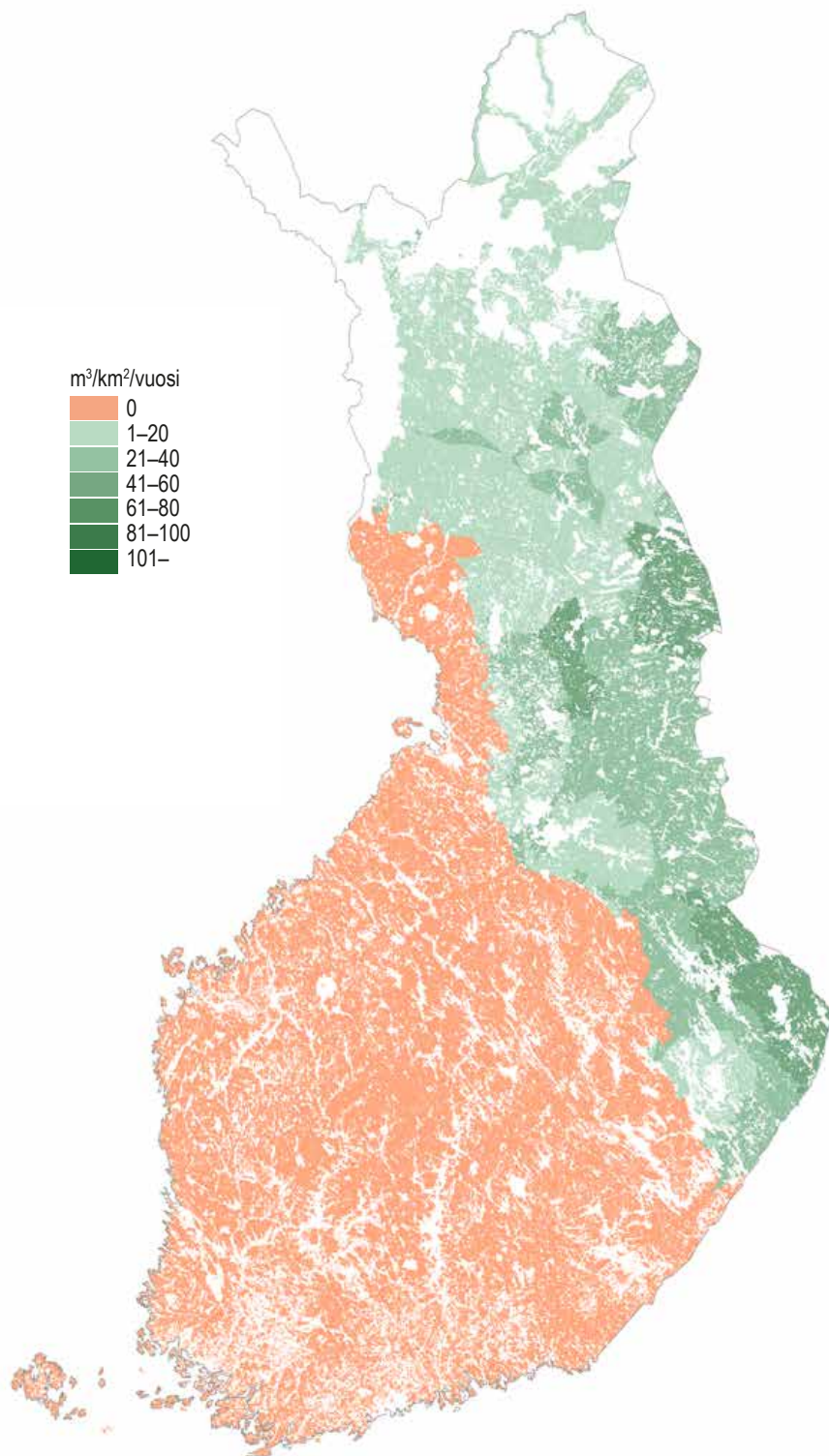
Kuva L10. Pienpuutase 2020, jos korjuu tapahtuisi rankana.



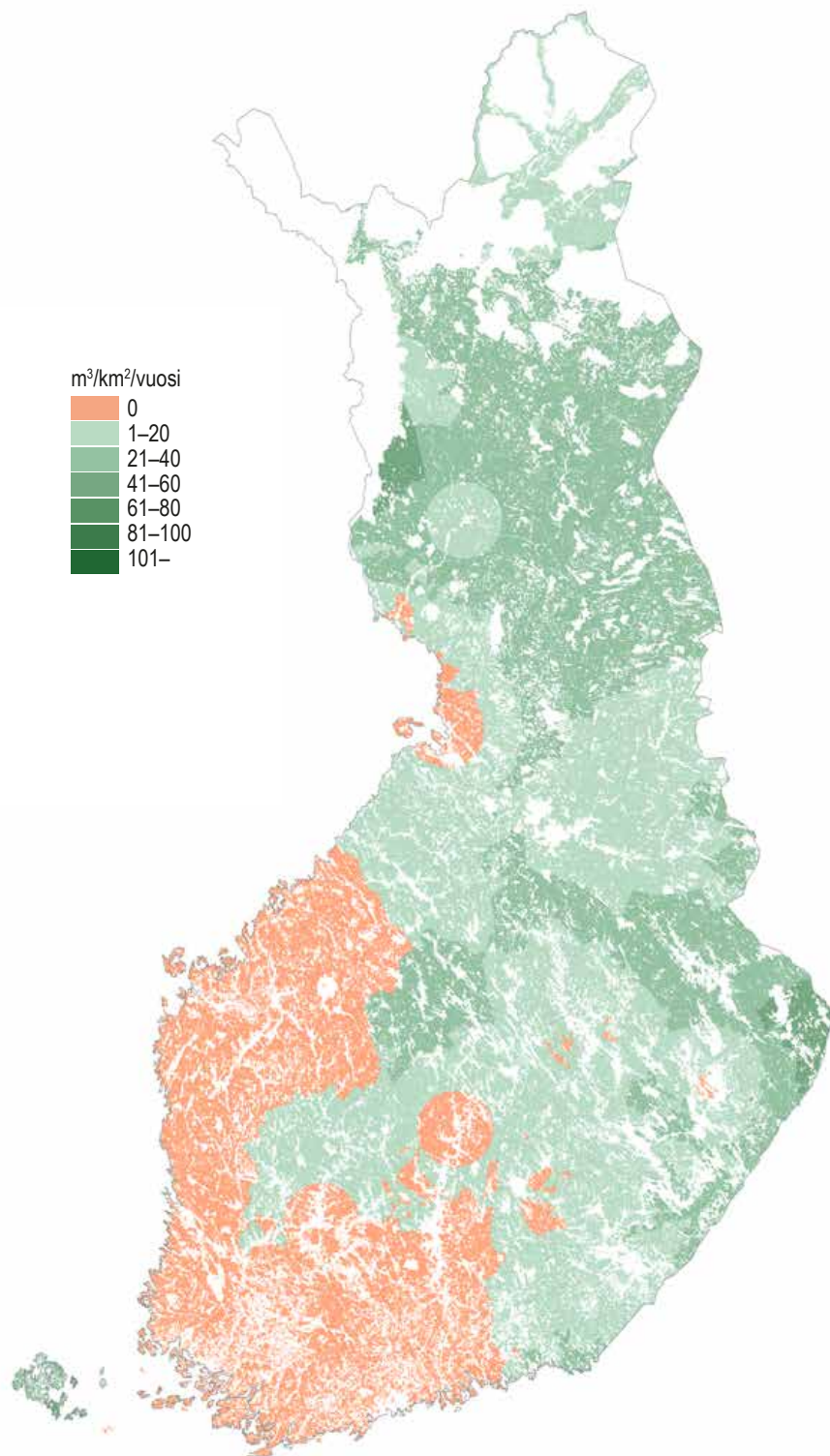
Kuva L11. Pienpuutase 2012, jos korjuu tapahtuisi kokopuuna.



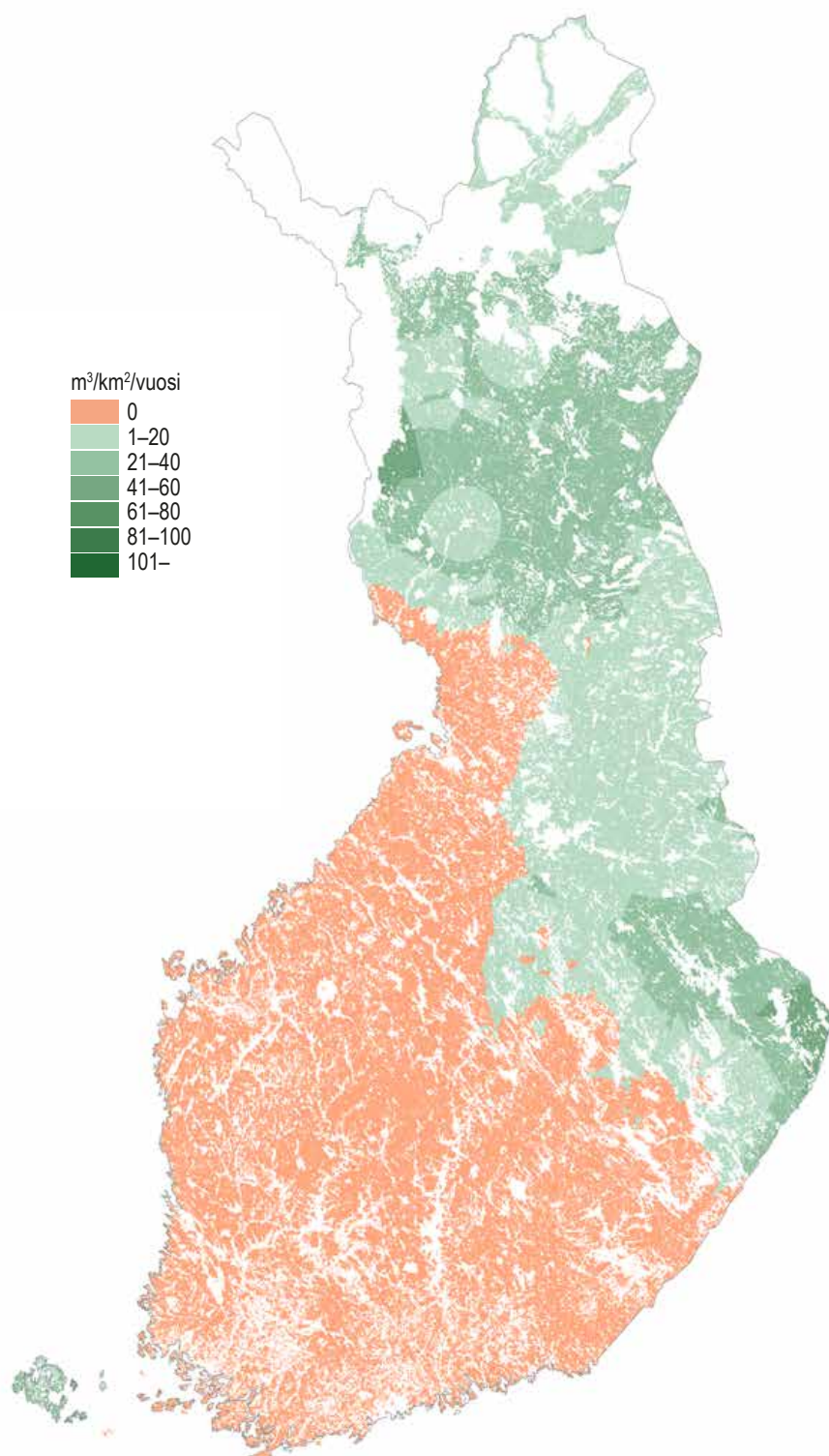
Kuva L12. Pienpuutase 2015, jos korjuu tapahtuisi kokopuuna.



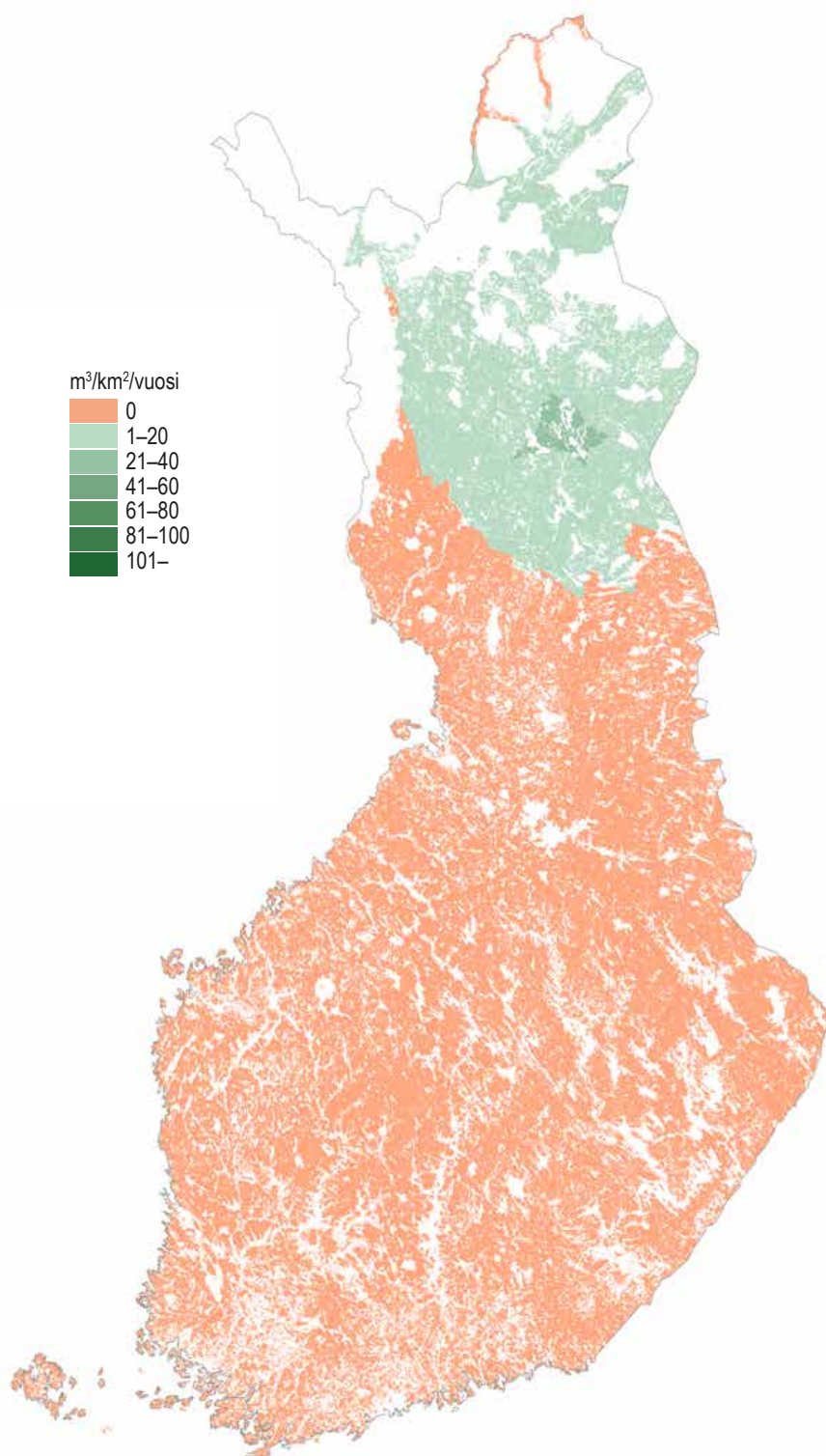
Kuva L13. Pienpuutase 2020, jos korjuu tapahtuisi kokopuuna.



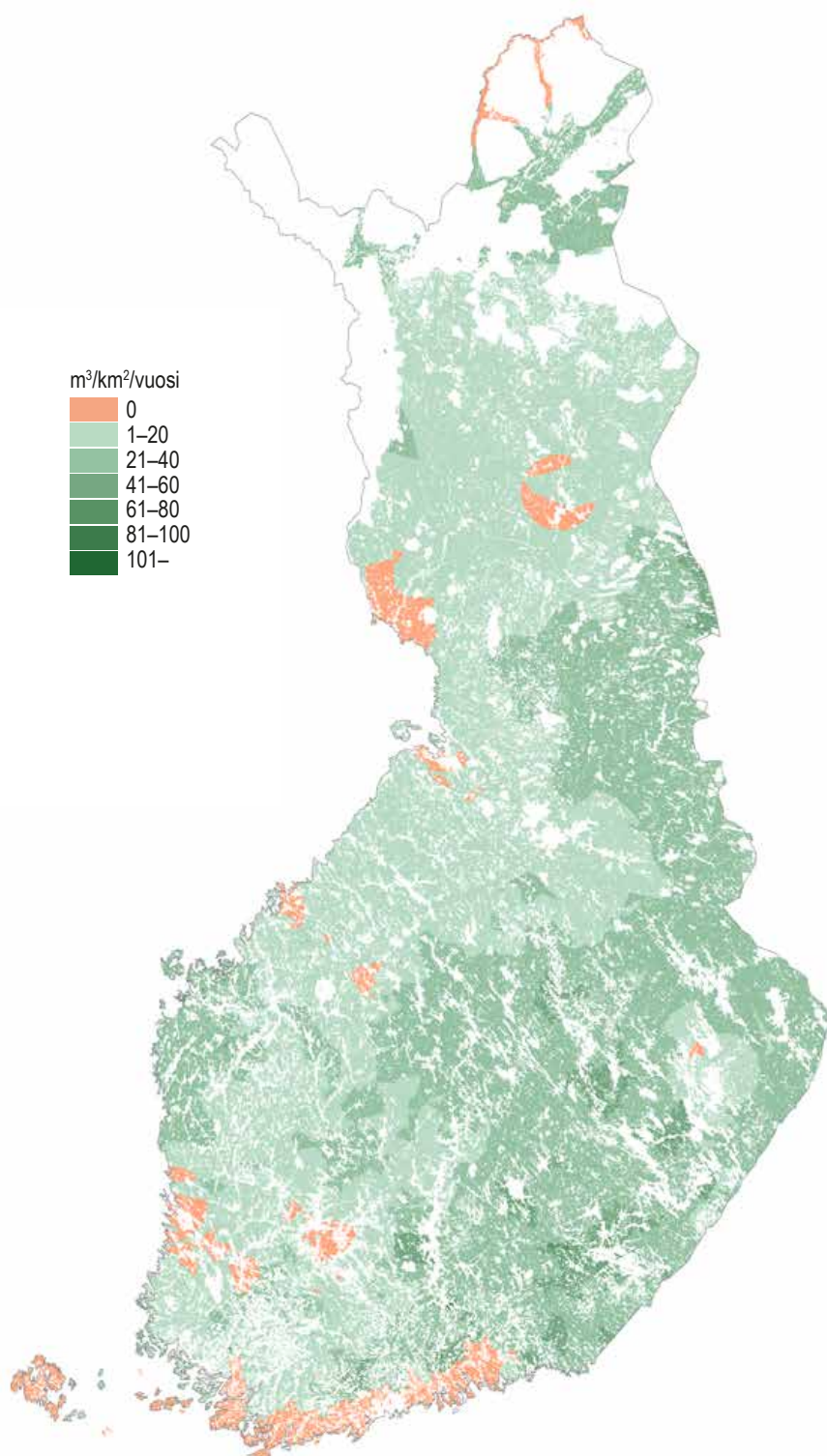
Kuva L14. Pienpuutase 2012, jos korjuu tapahtuisi integroituna.



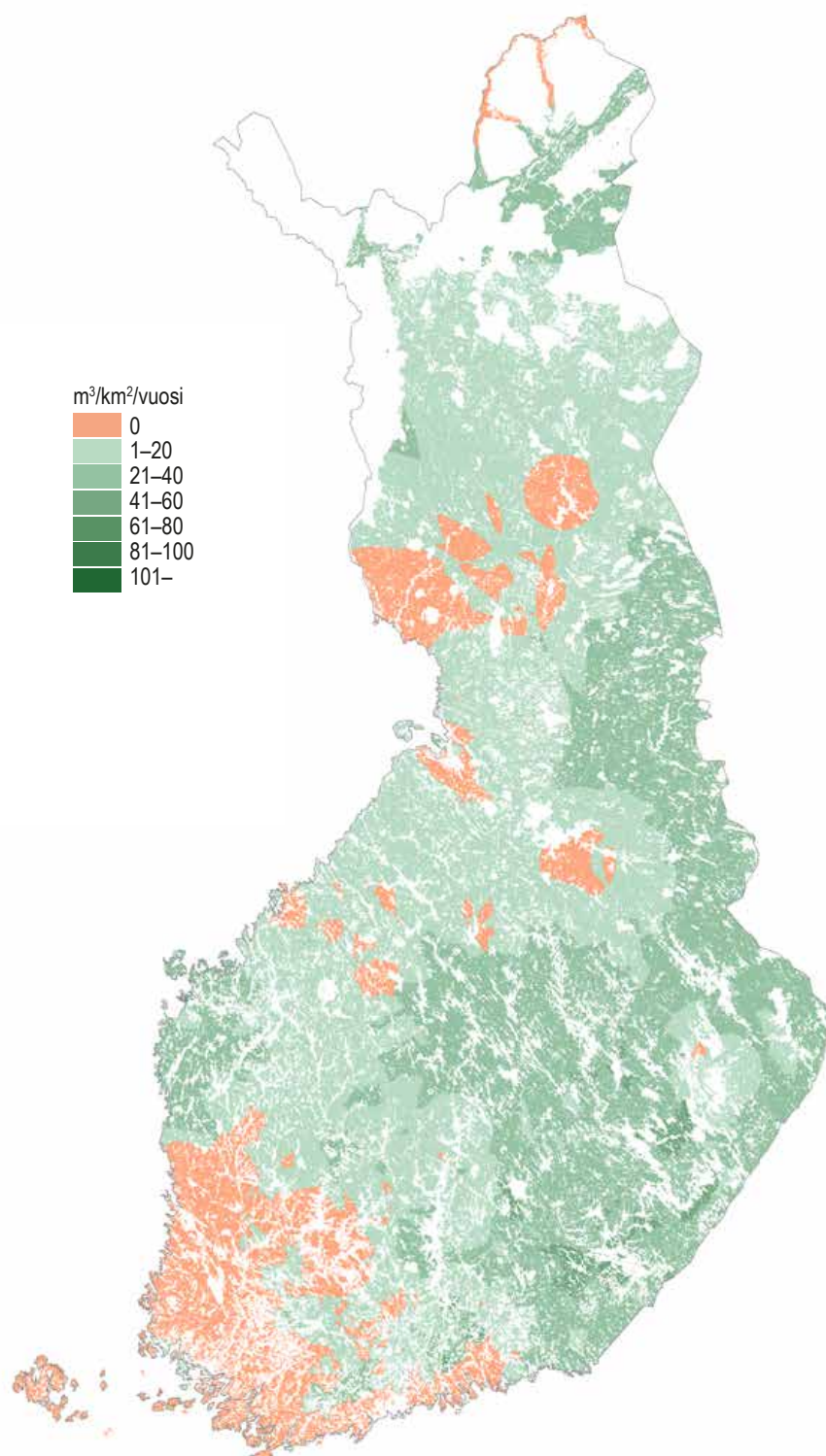
Kuva L15. Pienpuutase 2015, jos korjuu tapahtuisi integroituna.



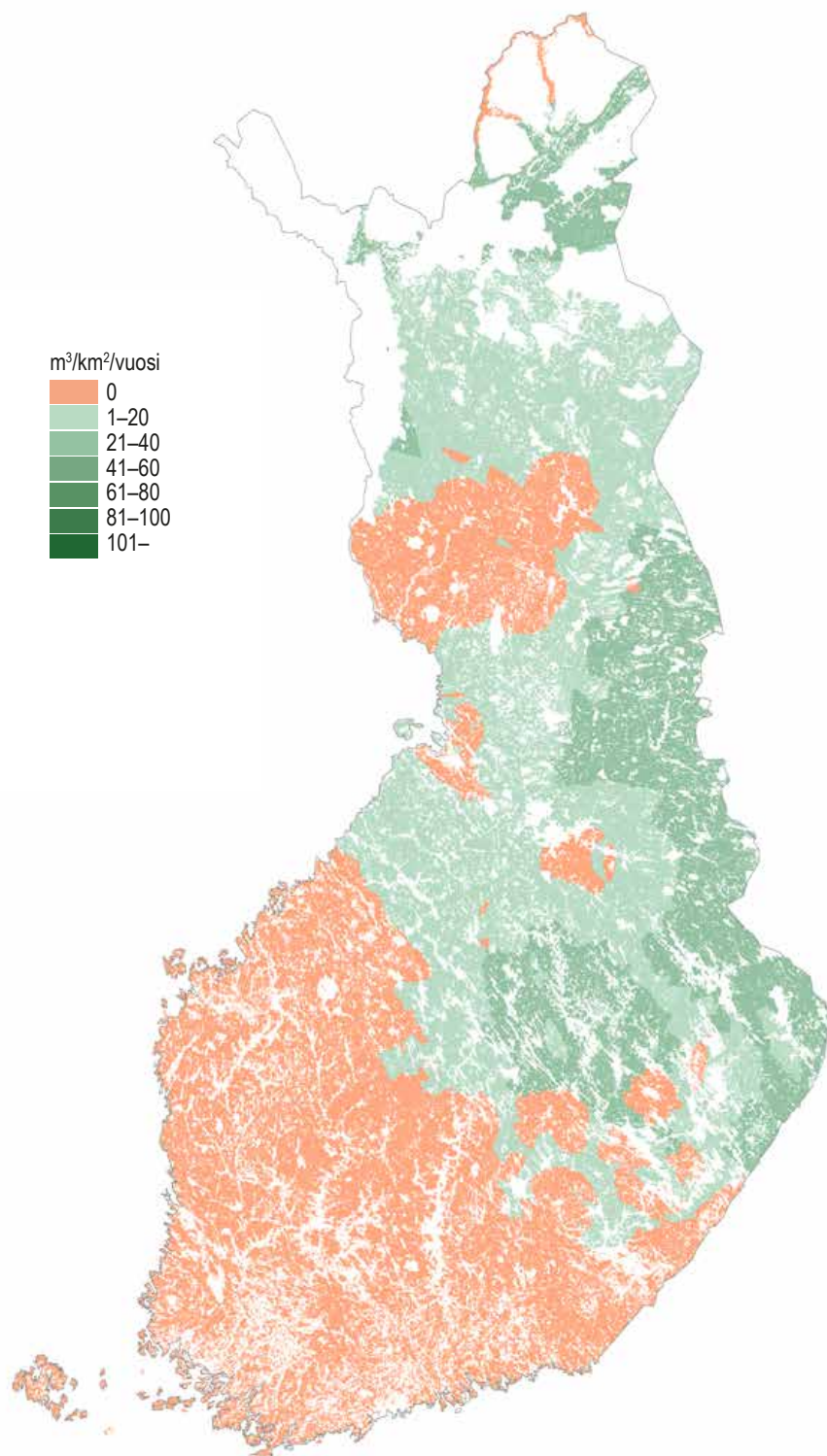
Kuva L16. Pienpuutase 2020, jos korjuu tapahtuisi integroituna.



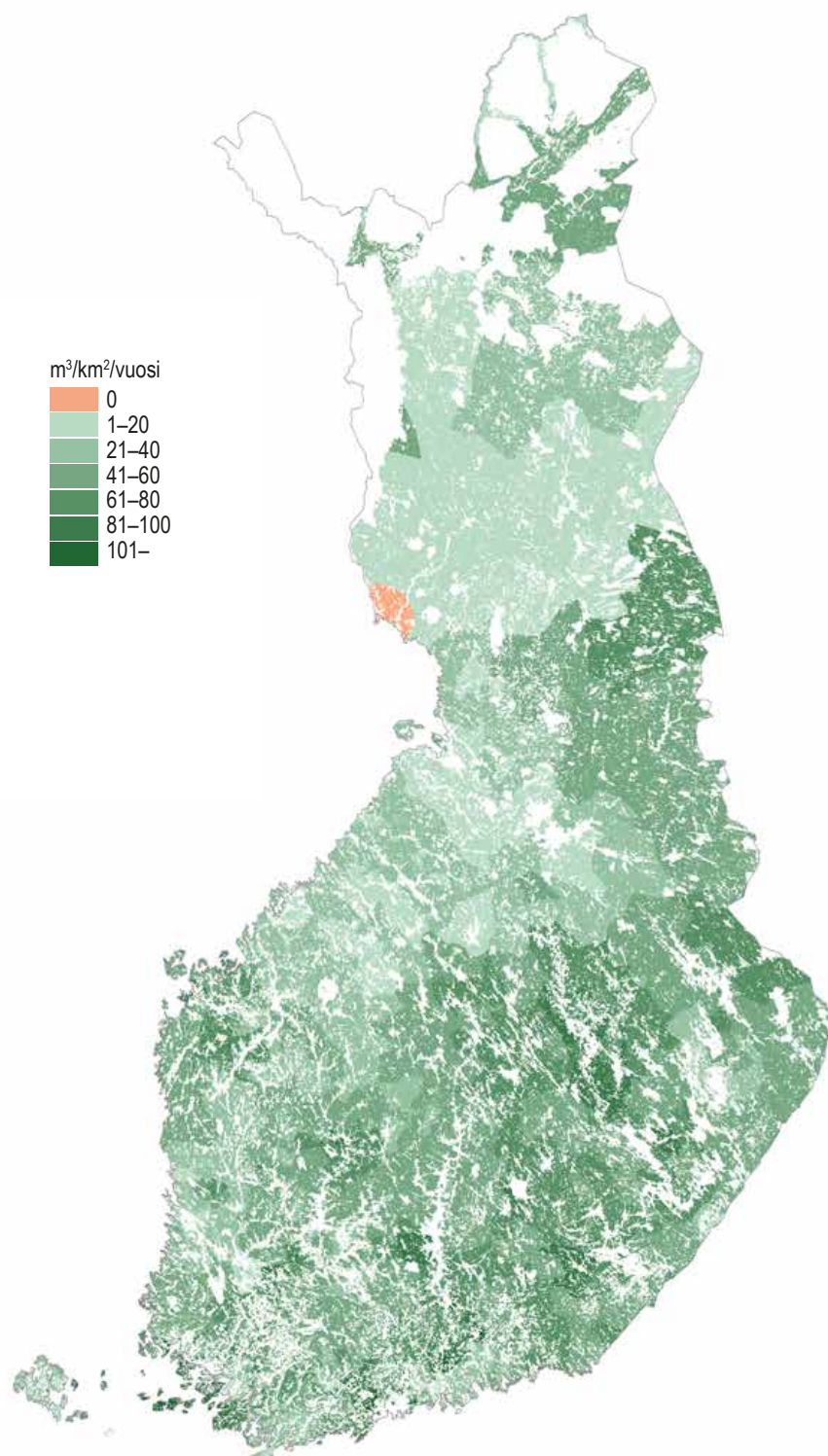
Kuva L17. Latvian puusäätö 2012, jos markkinahakkuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla.



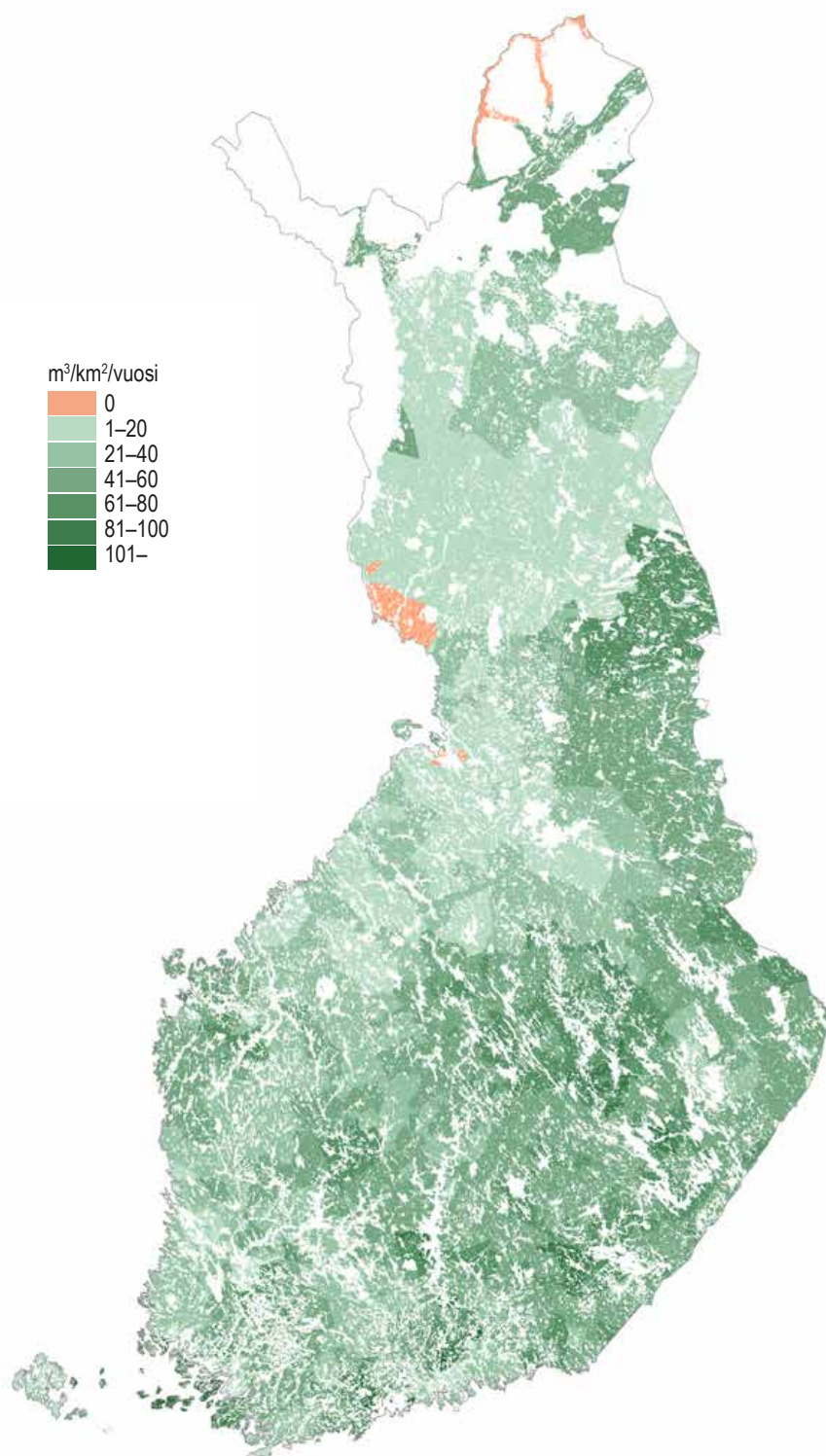
Kuva L18. Latvian massatase 2015, jos markkinahakkuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla.



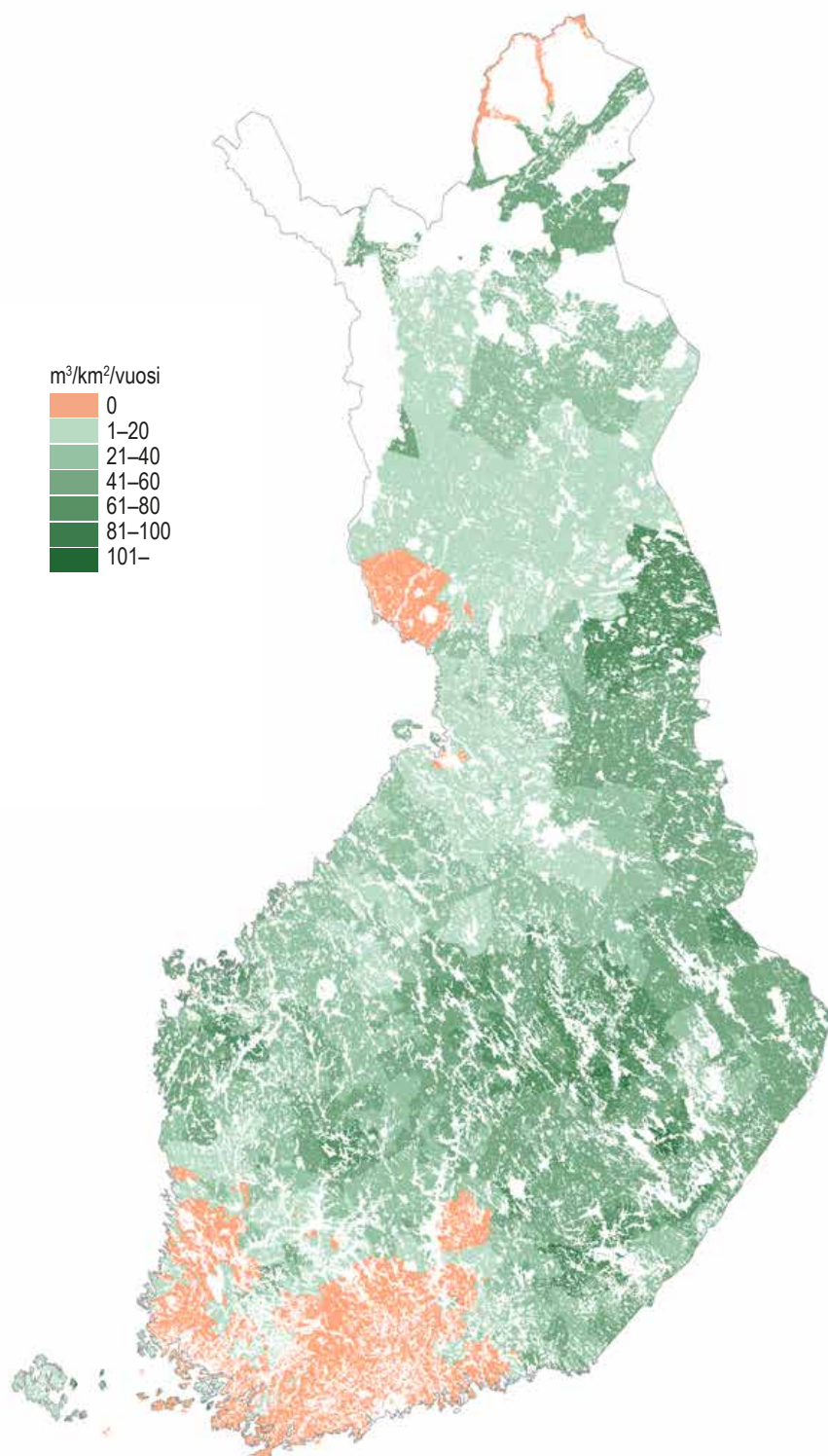
Kuva L19. Latvian metsämassatase 2020, jos markkinahakkuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla.



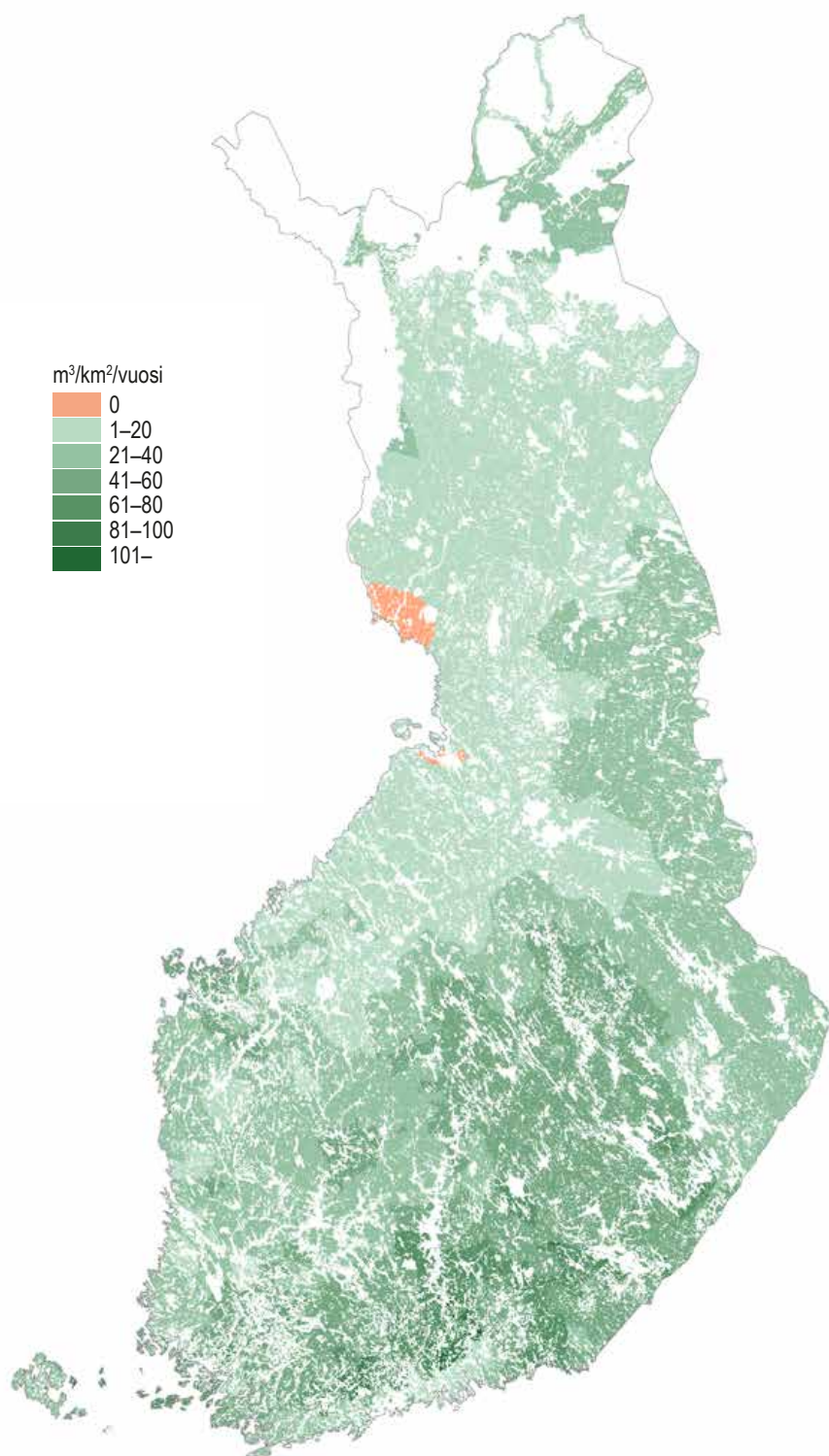
Kuva L20. Latvussmassatase 2012, jos markkinahakkuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla.



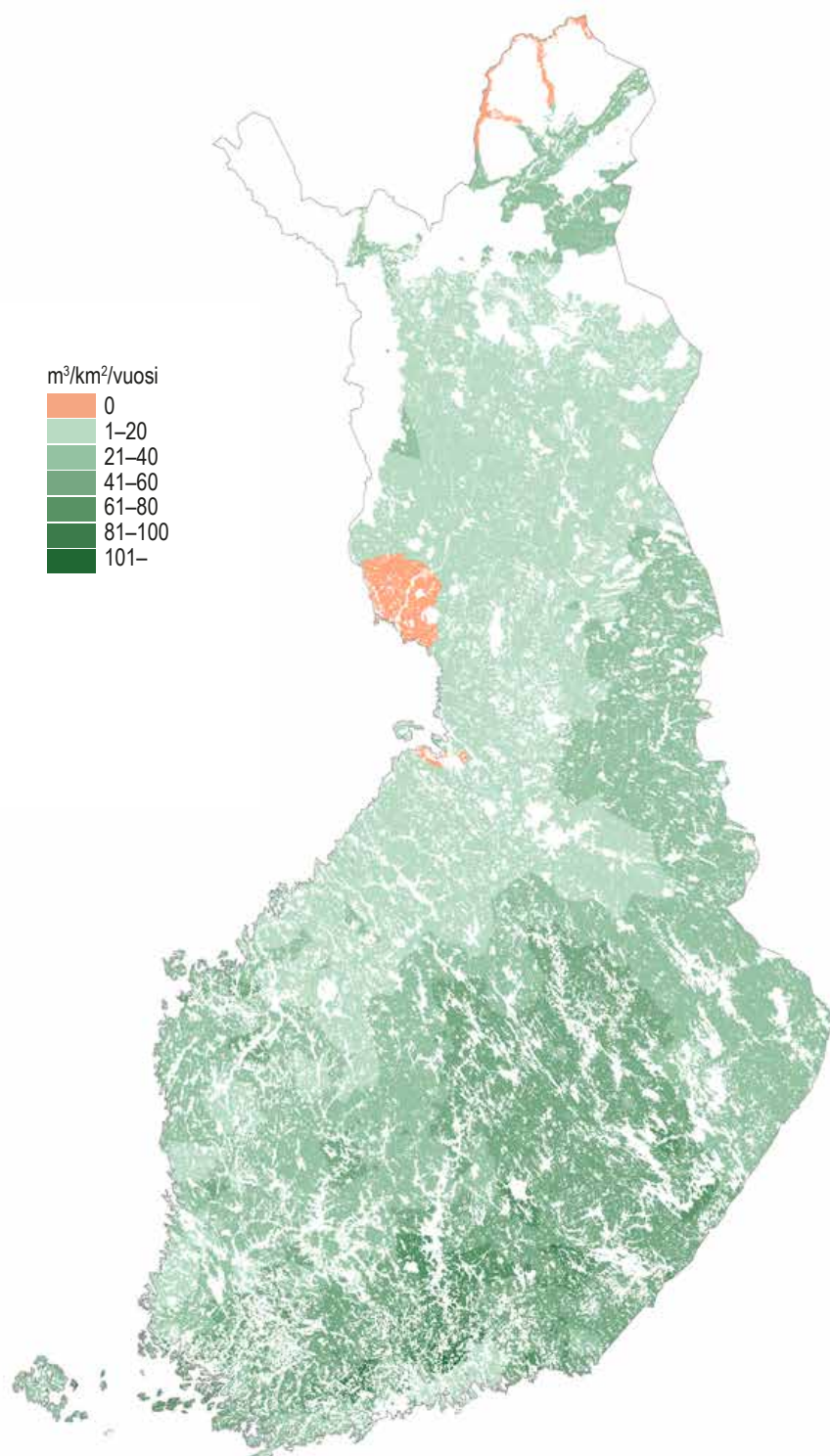
Kuva L21. Latvussmassatase 2015, jos markkinahakuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla.



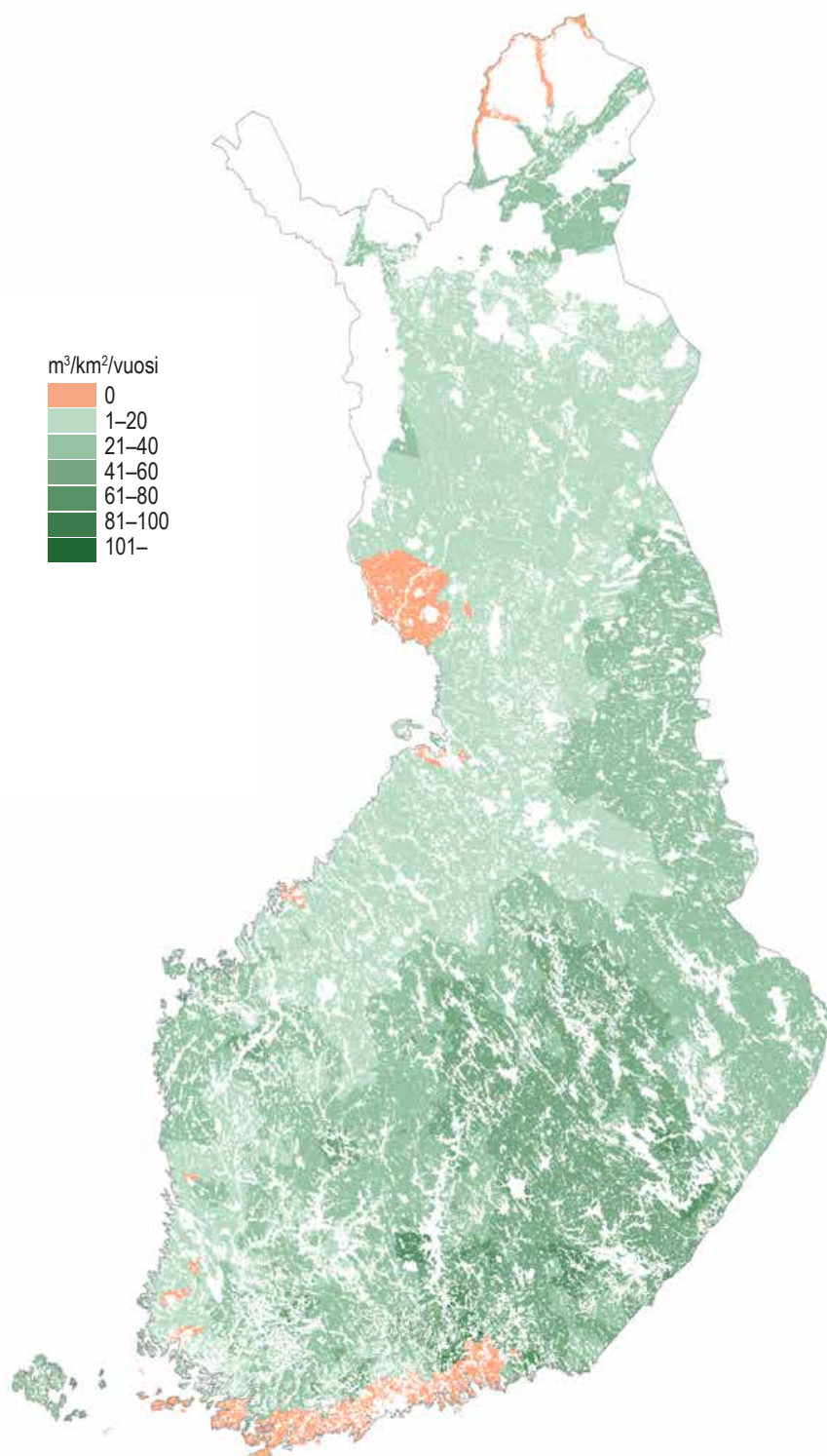
Kuva L22. Latvusmassatase 2020, jos markkinahakkuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla.



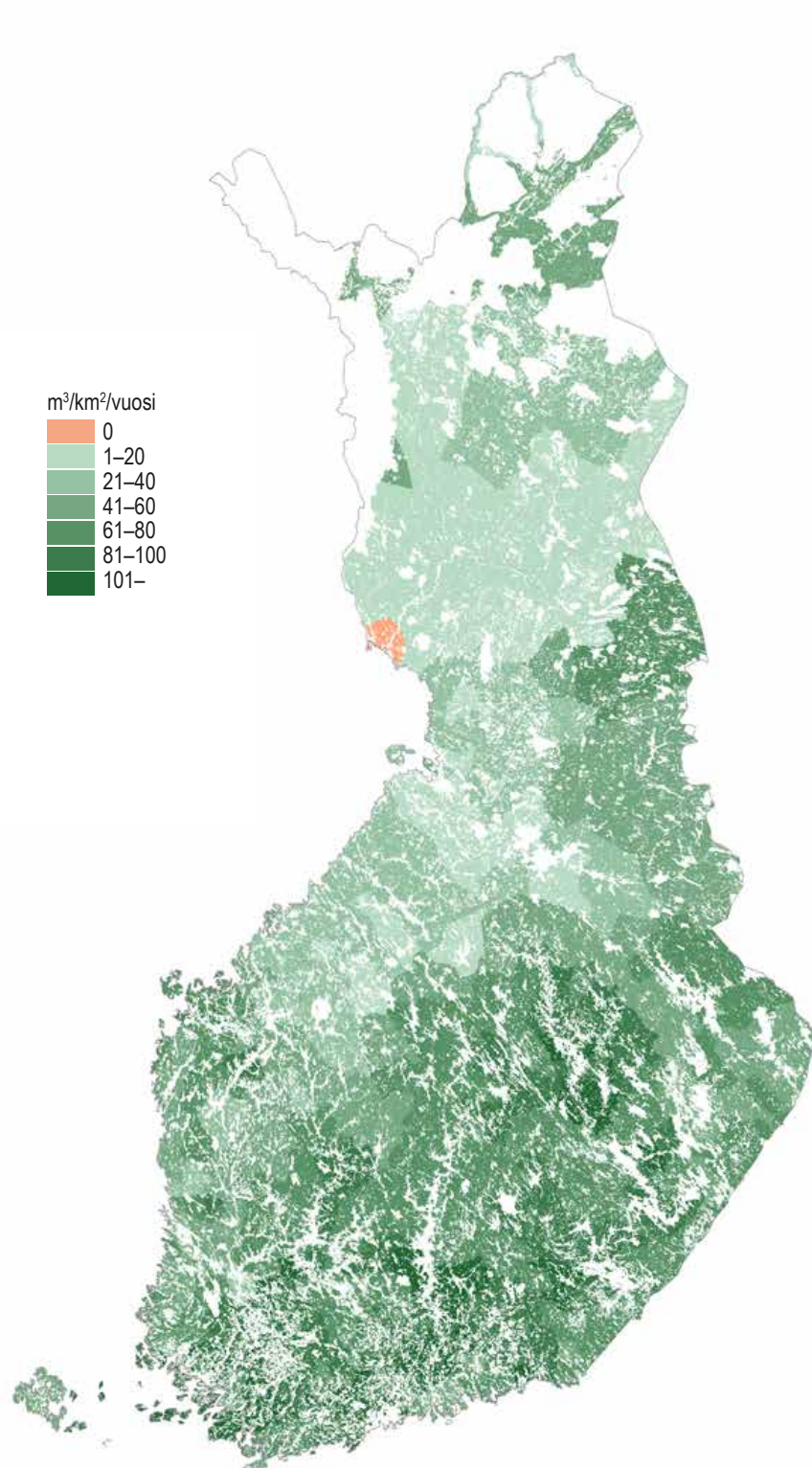
Kuva L23. Kantotase 2012, jos markkinahakuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla.



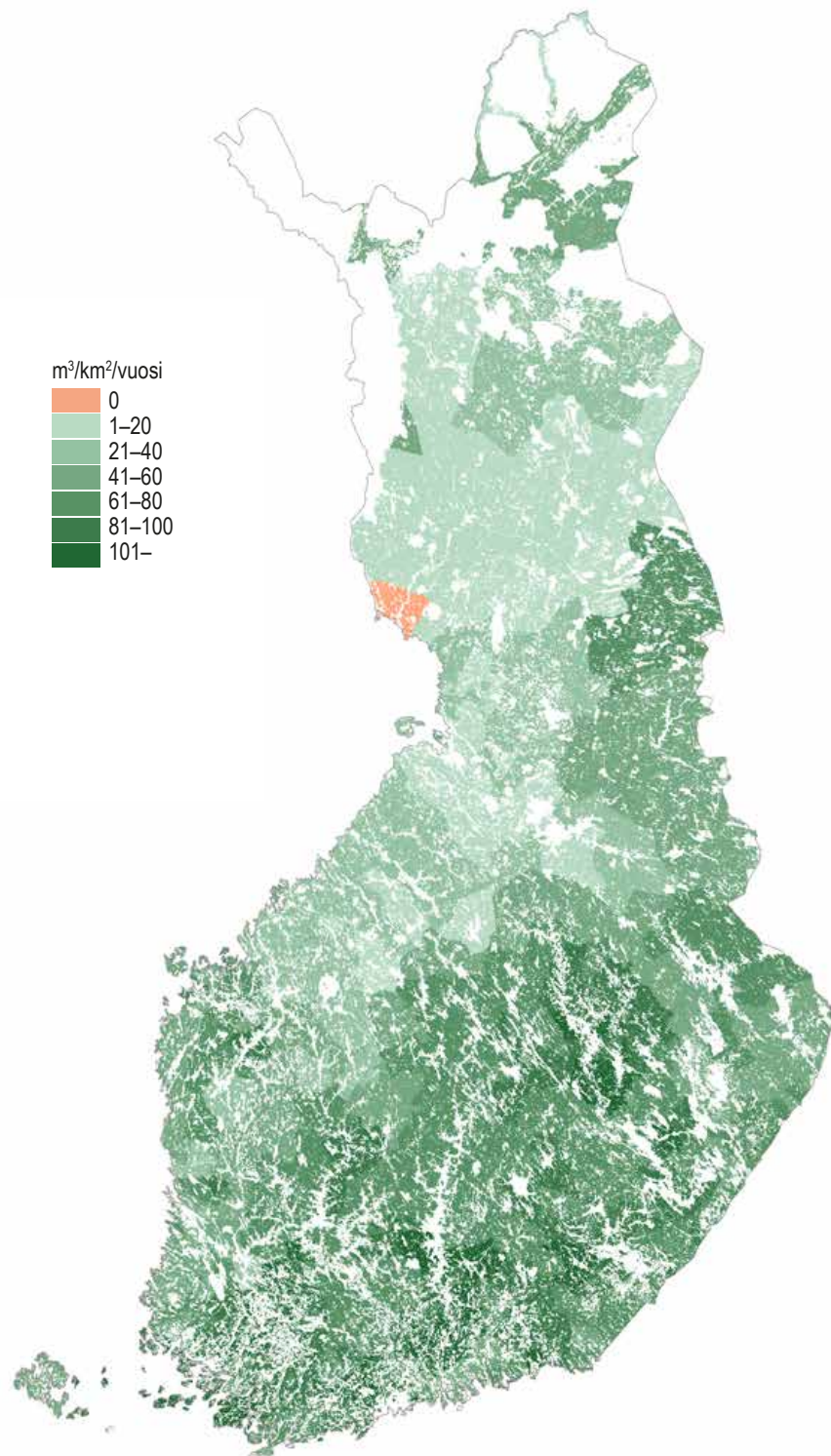
Kuva L24. Kantotase 2015, jos markkinahakuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla.



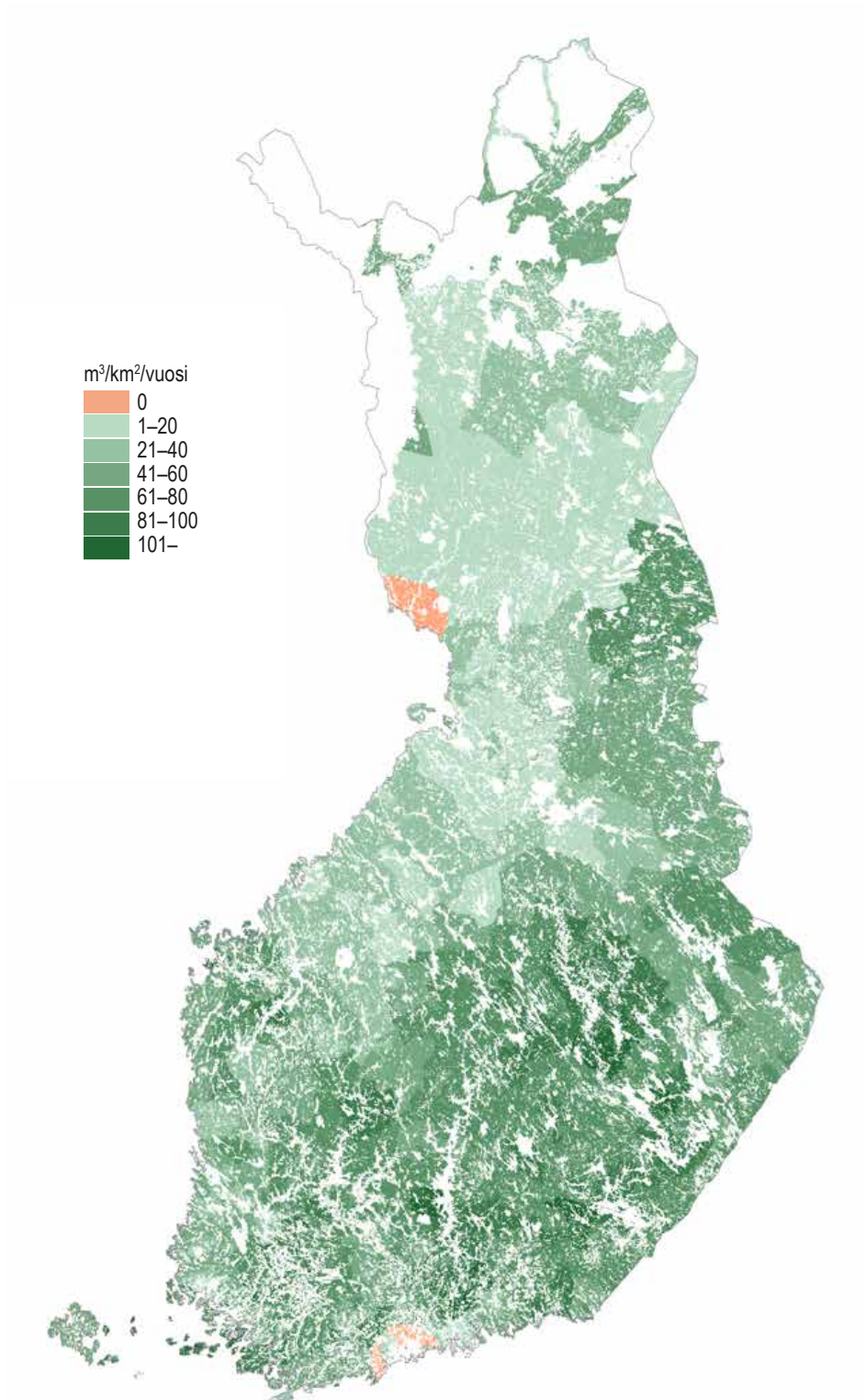
Kuva L25. Kantotase 2020, jos markkinahakkuut olisivat vuosien 2008–2012 keskimääräisellä tasolla.



Kuva L26. Kantotase 2012, jos markkinahakkuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla.



Kuva L27. Kantotase 2015, jos markkinahakuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla.



Kuva L28. Kantotase 2020, jos markkinahakuut olisivat suurimmalla kestäväällä tasolla.