

Projektin raportti

Metsien hiilensidonta ja hiilivarastot sekä niiden kehitys seurakuntien hallinnoimissa metsätilakokonaisuuksissa

Emmi Hilasvuori, Kyle Eyvindson, Eero Mikkola
versio 1.1 10.5.2021

1.	Hankkeen kuvaus	3
2.	Suoritettu mallipohjainen laskenta	3
2.1.	Lähtöaineisto	4
2.2.	Hiilivarastojen ja hiilensidonnan arvioiti	4
2.2.1.	Tavoitteiden asettaminen	4
2.2.2.	Metsän kasvun ja käsittelyn mallinnus	5
2.2.3.	Metsänkäsittelyn päätösmenetelmä	5
2.2.4.	Kasvumallit	5
2.2.5.	Maaperän hiilitase ja kasvihuonekaasupäästöt	6
3.	Hankkeessa tuotetun aineiston kuvaus.....	6
3.1.	Lasketut arvot.....	7
4.	Tulokset.....	7
4.1.	Metsänvarat	7
4.2.	Hiilivarastot	8
4.3.	Hiilinielu ja päästöt.....	9
4.4.	Muut kasvihuonekaasut.....	11
4.5.	Luonnon monimuotoisuus	11
4.6.	Tulosten tulkinta ja hyödyntäminen	11
5.	Liitteet	12
6.	Viitteet.....	12

1. Hankkeen kuvaus

Kirkon energia- ja ilmastostrategian (Hiilineutraali kirkko 2030) mukaisesti Suomen evankelis-luterilainen kirkko on sitoutunut kansalliseen ja kansainväliseen työhön ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Strategian yhtenä toimenpiteenä on kartoittaa seurakuntien omistamien maiden, erityisesti metsien ja soiden tila hiilivarastoina sekä arvo hiilinieluina, sekä laadittava suunnitelma ja annettava suositus, jonka avulla seurakuntien metsiä hoidetaan ekologisesti, sosiaalisesti, kulttuurisesti ja taloudellisesti kestävästi siten, että niiden tila myös hiilivarastoina ja arvo hiilinieluina paranee.

Tässä hankkeessa kartoitettiin Suomen evankelis-luterilainen kirkon seurakuntien metsien hiilivarastojen suuruus ja tehtiin mallipohjaintarkastelu niiden hiilinielusta. Hankkeessa tuotettiin ennusteet seuraaville vuosikymmenille hiilivarastojen ja hiilinielun kehityksestä. Ennusteet tehtiin käyttäen oletuksena vaihtoehtoja, joissa metsänhoitomenetelmät valitaan taloudellisen tuoton tai vaihtoehtoisesti hiilensidonnan maksimoimiseksi.

Hankkeen tavoitteena oli tuottaa tietoa, jota seurakunnat tai seurakuntayhtymät voisivat käyttää metsien hoitoa ja käyttöä koskevissa suunnitelmissa ja päätöksenteossaan. Näin osaltaan mahdollistetaan Kirkon energia- ja ilmastostrategian toteuttaminen.

Hanke toteutettiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Kirkkohallituksen yhteistyönä kesäkuussa 2020 - tammikuussa 2021. Kirkkohallituksen yhteyshenkilönä toimi Harri Palo ja Luken yhteyshenkilönä Eero Mikkola. Mallipohjaisen laskennan toteutti Luken tutkija Kyle Eyvindson ja raportoinnista vastasi tukija Emmi Hilasvuori.

2. Suoritettu mallipohjainen laskenta

Metsien hiilivaraston katsottiin tässä projektissa koostuvan kolmesta komponentista: puustoon, maaperään ja kuolleeseen puuhun varastoituneesta hiilestä. Hiilinielu tai -lähde lasketaan näissä hiilivarastoissa tapahtuvasta muutoksesta vuosien välillä. Ennustemalli hiilivarastojen ja hiilensidonnan kehityksestä tehtiin viisivuotiskausille 2021 – 2046 ja laskenta tehtiin metsikkökuvioittain. Puuston kehityksen ennustamiseen käytettiin SIMO metsäsimulaattoria (Rasinmäki ym. 2009). Hiilinielu mallinnettiin kivennäismailla Yasso07 mallilla (Liski ym. 2005; Tuomi ym 2009, Tuomi ym. 2011) ja turvemaille käyttäen Ojasen ym. (2014) malleja.

2.1. Lähtöaineisto

Hiilivarastojen ja hiilen sidonnan nykytason laskenta perustuu elokuussa - marraskuussa 2020 Kirkkohallituksen toimittamiin seurakuntien kiinteistötietoihin ja näiden perusteella Metsään.fi palvelusta haettuihin metsänvaratietoihin, tai joidenkin seurakuntien kohdalla seurakuntien metsävaratietoihin, jotka olivat XML -tiedostomuodossa.

Kirkkohallituksen toimittamien kiinteistönumeroiden perusteella Maanmittauslaitoksen avoimesta tietokannasta haettiin kiinteistöjen rajat. Kiinteistörajoja käytettiin metsänvaratiedon hakemiseen Metsään.fi-tietokannasta. Mikäli seurakuntatalouksien ilmoittama metsäala erosi huomattavasti Metsään.fi-tietokannasta saatavasta tiedosta, pyydettiin seurakunnilta XML-muodossa metsävaratiedot. Näin saatu aineisto kattoi kaiken kaikkiaan 230 seurakuntataloutta ja niiden 2000 kiinteistöä, joiden alueilla laskentaan mukaan otettua metsäalaa oli yhteensä 125 509 ha. Tiedoista jäi pois ne kiinteistöt, joille ei löytynyt metsäalaa Metsäkeskuksen palvelusta, eikä XML- muotoista tietoa ollut saatavilla määräaikaan mennessä. Monilla kiinteistöillä on metsän ohella muutakin maankäyttöä, ja siksi metsäala voi erota Kirkon raporttoimasta metsäomaisuuden pinta-alasta. Pientä epätarkkuutta saattaa myös lisätä se, että kiinteistöjen rajat eivät aina täsmää täysin metsikkökuvioiden rajoihin. Metsänvaratiedot toimivat syöttötietoina mallinnuksessa. Metsään.fi metsänvaratiedot on ajantasaistettu kasvun osalta vuoteen 2021, mutta mikäli hakkuita on tehty viimeaikoina, niitä ei välttämättä ole tiedoissa mukana. Hakkuut pienentävät hiilinielua.

Ennusteisiin tarvittava säätiedot saatiin ilmatieteenlaitoksen tietokannasta. Metsän kasvua ennustavat mallit käyttävät lämpötilaa, lämpötilannousua ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta ja maaperämallit säätunnuksista lisäksi lämpösummaa, sademäärää ja lämpötilan vuosittaista vaihtelua. Muut laskennassa käytetyt tausta-aineistot löytyvät kirjallisuudesta, joka on listattu raportin lopussa.

2.2. Hiilivarastojen ja hiilensidonnan arvioiti

2.2.1. Tavoitteiden asettaminen

Metsänkäytön optimointia varten saman Seurakuntatalouden alla olevat kiinteistöt yhdistettiin yhdeksi metsätilakokonaisuudeksi. Tälle kokonaisuudelle valittiin optimointimenetelmää käyttäen parhaat kuviokohtaiset metsänhoitomenetelmät kullekin tavoitteelle:

1. Maksimaalinen hiilivarasto (MaxHiili)

2. Enimmäishiilivarasto, kun maksimoidaan metsän nettonykyarvo käyttäen 1,5 %:n diskonttauskorkoa (MaxNPV1,5)
3. Enimmäishiilivarasto, kun maksimoidaan metsän nettonykyarvo käyttäen 3 %:n diskonttauskorkoa (MaxNPV3)

2.2.2. Metsän kasvun ja käsittelyn mallinnus

Metsän kehityksen mallintamiseen käytetty SIMO simulaatiojärjestelmä sisältää useita simulaatiomalleja, jotka kuvaavat luonnonprosesseja kuten metsikön kasvua ja puuston itseharvenemista, sekä metsänkäsittelytoimenpiteitä. Puuston biomassan mallinnukseen käytetään Repolan (2007) malleja. Biomassa koostuu maanpäällisestä biomassasta eli rungosta, oksista ja lehdistä sekä maan alla olevista kannosta ja juurista. Puuston biomassan kuivapainosta 50% oletetaan olevan hiiltä. Tämä hiili muodostaa puuston hiilivaraston.

2.2.3. Metsänkäsittelyn päätösmenetelmä

Metsänkäsittelyn potentiaalisten vaihtoehtojen simuloinnissa käytetään päätöksenteon haarautumismenetelmää. Aluksi metsikön puustoa kasvatetaan ja arvioidaan, milloin puunkorjuun kynnysarvo ylittyy kullakin aikajaksolla. Puunkorjuun kynnysarvot riippuvat metsikön sijainnista ja kasvupaikkatyypistä. Puunkorjuun simuloitua vaihtoehtoja ovat päätehakkuu, alaharvennus ja yläharvennus. Puunkorjuun menetelmän tultua valituksi mukaan lukien vaihtoehto, jossa ei tapahdu puunkorjuuta, puuston kasvua simuloidaan seuraava aikajakso ja toistetaan puunkorjuumenetelmän valinta. Metsikön kasvatuksen simuloinnin päättyessä tuloksena on joukko metsikölle soveltuvia metsänkäsittelyn vaihtoehtoja. Sopivien kasvumallien puuttumisen takia jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen menetelmä ja jaksollisen metsänkasvatuksen menetelmät simuloidaan erikseen Siitosen (1993) menetelmän mukaisesti. Puuston kantohintojen oletettiin olevan vakiot kasvatusjakson ajan.

2.2.4. Kasvumallit

Metsikön kasvatuksen alkujaksolla sovelletaan Hynysen ym. (2002) kasvumalleja. Nämä mallit perustuva Valtakunnan Metsien Inventoinnin (VMI) metsikköaineistoon, jonka metsänkäsittelymenetelmät perustuvat perinteisiin tasaikäsrakenteisen metsikön metsänkäsittelymenetelmiin. Tämä rajoittaa kasvumallien käyttöä poimintahakkuin käsiteltäviin metsiköihin. Jos poimintahakkuu tulee valituksi metsänkäsittelymenetelmäksi, niin kasvumalleiksi vaihtuu paremmin jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen puuston kasvua kuvaavat mallit (Pukkala ym. 2013).

Ennusteen laskennassa joudutaan aina käyttämään joitain oletuksia. Tässä ennusteessa häiriötekijöiden vaikutus ei sisälly arvioihin ja samalla oletetaan, että kasvuolosuhteet pysyvät nykyisellä tasolla.

2.2.5. Maaperän hiilitase ja kasvihuonekaasupäästöt

Maaperän hiilivaraston muutos laskettiin erikseen kivennäismaille ja turvemaille. Kivennäismaille laskenta tehtiin Yasso07 mallilla. Yasso-malli kuvaa maaperässä tapahtuvaa karikkeen hajoamista ja hiilidioksidin vapautumista sen seurauksena. Maaperän lähtötilanne arvioitiin metsikön tyyppin ja sijainnin mukaan kuten Repo ym. (2020) ja vuotuinen karikesadanta arvioitiin mallinnetun metsikön biomassan perusteella. Kivennäismaitten hiilinieluun vaikuttaa metsikön puusto ja sen kehitysvaihe, metsänkäsittely sekä arvioitu lähtötilanne. Menetelmän keskeisimpiä epävarmuustekijöitä on lähtötilanteen määrittäminen. Maaperän hiili kiertää puuston hiiltä hitaammin, ja sen määrä ja koostumus maaperässä ovat tuhansien vuosien kehityksen tulosta.

Ojitetuilla turvemaille päästöt ennustettiin Ojasen ym. (2014) malleilla, jotka perustuvat eri puolilla Suomea tehtyihin kaasujenvaihtomittauksiin. Turvemaan maaperän hiilivaraston määrittäminen on vaikeaa. Turveprofiilin hiilivarasto C t/ha riippuu turvekerroksen paksuudesta ja turpeen tiheydestä. Näitä tietoja ei yleensä ole saatavilla riittävän tarkasti mitattuina. Malli ennustaakin turvemaan CO₂, CH₄ ja N₂O-päästöt maan ravinteisuustason perusteella, eikä näihin arvioihin siten vaikuta hiilivaraston suuruus. Turvemaiden kaasuista CO₂, CH₄ sisältävät hiiltä, ja kaikki ovat kasvihuonekaasuja, jotka otetaan huomioon ojitettujen turvemaitten kasvihuonekaasutaselaskennassa. CH₄ ja N₂O kaasut muutetaan tuloksia raportoitaessa hiilidioksidiekvivalenteiksi eli vaikutus muutetaan vastaamaan hiilidioksidin ilmastovaikutusta kerotoimilla CO₂ x 1, CH₄ x 25, N₂O x 298.

3. Hankkeessa tuotetun aineiston kuvaus

Hankkeessa tuotettiin yhteenveto tuloksista koko Suomen tasolla, jossa esitetään hiilivarastojen kehitys puustossa ja maaperässä. Lisäksi laskettiin yhteenveto hiilensidonnasta ja potentiaalisesta hiilinielun lisäyksestä, joka seuraisi, mikäli kaikki seurakunnat valitsisivat maksimoida hiilensidonnasta omissa metsänhoitosuunnitelmissaan. Jokaiselle seurakuntataloudelle esitetään sen tämänhetkinen metsäalan hiilivarasto, sekä hiilinielu ja hiilinielun lisäyspotentiaali vertailutasoon nähden. Vertailutasona käytettiin MaxNPV skenaarioita. Lisäksi annetaan optimoinnin tuloksena saadut metsänhoitomenetelmät ja hakkuumärät eri optimointiskenaarioille.

Tarkempaa tarkastelua varten seurakuntataloudet jaetaan kategorioihin niiden metsäomaisuuden sijainnin tai metsäomistuksen pinta-alan mukaan.

3.1. Lasketut arvot

Puuston hiilivarasto (t C/ha) – Puuston kokonaisbiomassaan, eli runkoon, oksiin, lehtiin, kantoon ja juuriin sitoutuneen hiilen määrä hehtaarilla.

Puuston hiilivarasto (t CO_{2ek}/ha) – Puuston kokonaisbiomassaan sitoutuneen hiilen määrä hehtaarilla muutettuna hiilidioksidiekvivalenteiksi.

Hiilinielu (t CO_{2ek}/ha /vuosi) – Metsän vuosittain sitoman hiilidioksidin määrä hehtaaria kohden.

Nielun lisäys (t CO_{2ek}/ha /vuosi) – Metsänhoitotoimenpiteillä aikaansaatua hiilinielua hehtaaria kohden, verrattuna vertailutasoon.

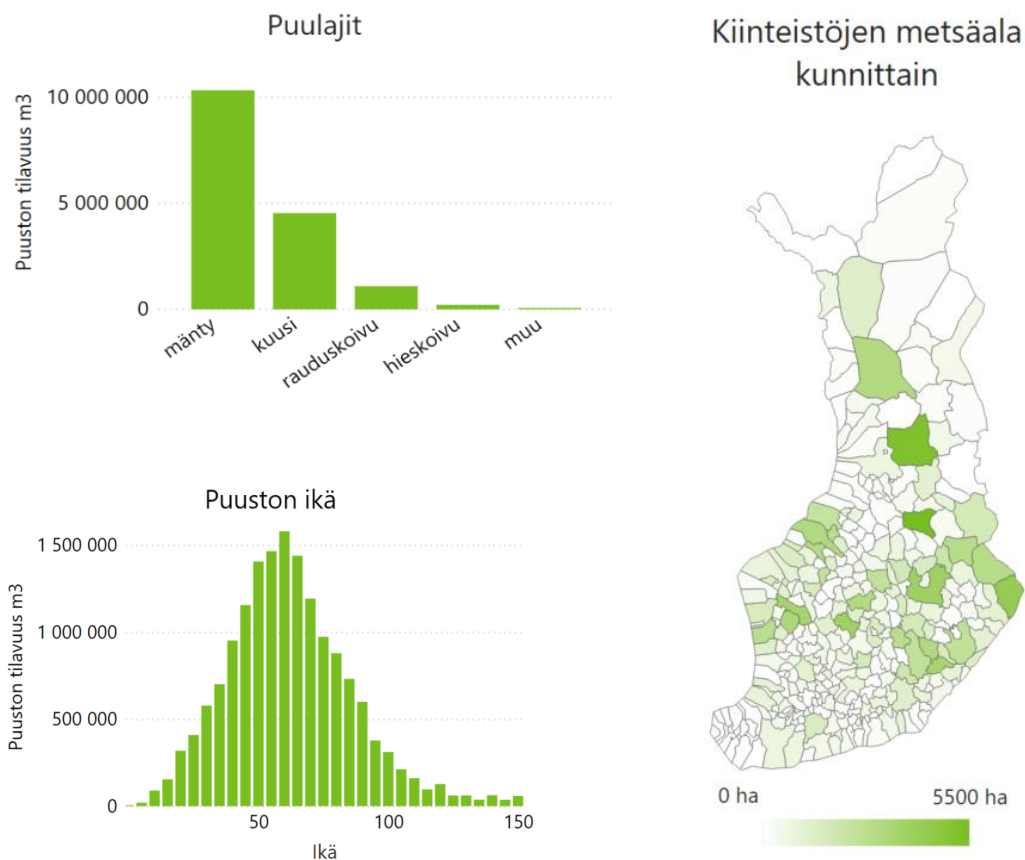
Nielun lisäys (t CO_{2ek} /vuosi) – Metsänhoitotoimenpiteillä aikaansaatua hiilinielun yhteenlaskettuna koko metsäalalle ja verrattuna vertailutasoon.

Kasvihuonekaasutase (t CO_{2ek} /vuosi) – CO₂, N₂O ja CH₄ kaasujen tase, muutettuna hiilidioksidiekvivalenteiksi. Tässä käytetään merkintätapaa, jossa päästö on positiivinen ja nielu negatiivinen arvo.

4. Tulokset

4.1. Metsänvarat

Suomen evankelis-luterilaisen kirkon seurakuntien metsävarat sijaitsevat eri puolilla Suomea, kartan (Kuva 1.) mukaan. Puuston tilavuus on yhteensä 16 372 tuhatta m³ ja tilavuus keskimäärin 130 m³/ha. Turvemaiden osuus pinta-alasta on 25 %. Puuston puulajiosuudet ja ikärakenne on kuvattu kuvassa 1.

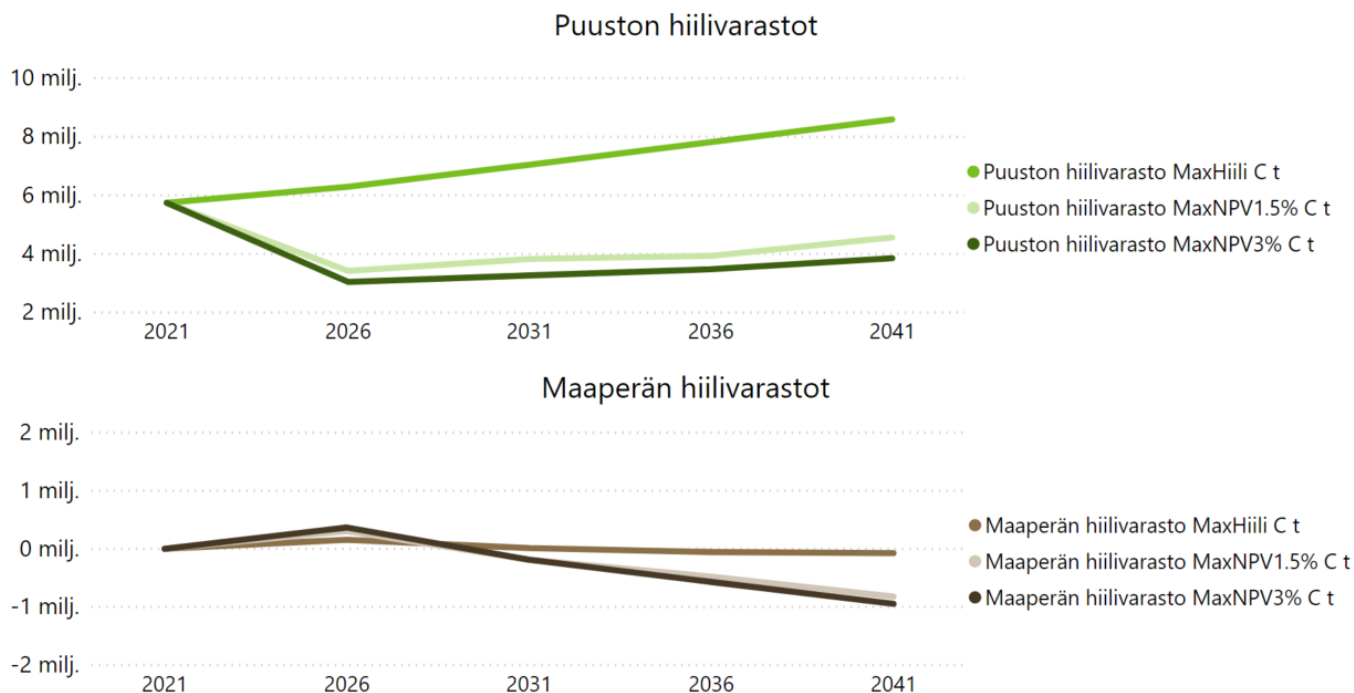


Kuva 1.

4.2. Hiilivarastot

Metsien puuston tämänhetkinen hiilivarasto on noin 5 786 112 tonnia hiiltä, eli 46 tonnia hehtaarilla. MaxHiili –skenaariossa hiilivarastot kasvavat koko seuraavien 20 vuoden aikana. Nettonykyarvon maksimoivissa (MaxNPV) skenaarioissa ensimmäiselle suunnittelukaudelle osuu paljon hakkuita, ja siksi puuston hiilivarastot vähenevät. Tämän jälkeen ne alkavat taas vähitellen kasvaa.

Maaperän hiilivarasto pienenee kaikissa skenaarioissa (Kuva 2). MaxNPV skenaarioissa maaperän hiilivarasto on hieman MaxHiili skenaariota suurempi johtuen hakkuutähteiden maahan tuomasta hiilestä, mutta alkaa sen jälkeen laskea selvästi MaxHiili skenaariota jyrkemmin. Hiilivaraston vähenemistä kaikissa skenaarioissa selittää se, että ojitetuilla turvemailla hiilivarasto tyypillisesti pienenee, sillä kuivuessaan turpeeseen kertynyt orgaanien aines alkaa hajota. Kivennäismailla maaperä on yleensä hiilen nettonielu.



Kuva 2.

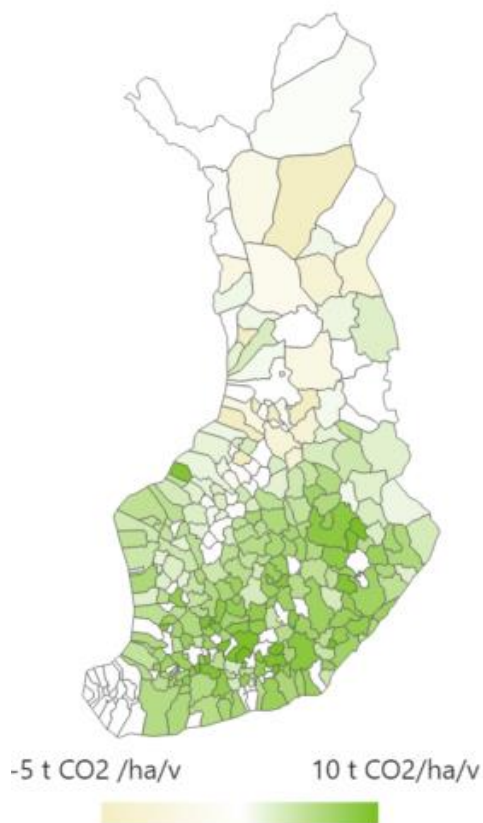
4.3. Hiilinielu ja päästöt

Hiilinieluksi kutsutaan kasvavaa hiilivarastoa. Metsät, maaperä mukaan lukien, kasvavat, eli sitovat hiiltä MaxHiili –skenaariossa 4,2 t CO_{2ek} /ha vuodessa, ovat hiilen päästölähde MaxNPV1.5%–skenaariossa, jossa päästölle saatiin arvo 2,1 t CO_{2ek} /ha vuodessa, ja ovat hiilen päästölähde MaxNPV3% –skenaariossa, jossa päästö on 3,5 t CO_{2ek} /ha vuodessa. Kuvassa 3. on esitetty keskimääräinen hiilinielu MaxHiili skenaariossa kunnittain. Kuvasta huomataan, että Etelä-Suomen metsät sitovat hiiltä nopeammin. Alueelliset erot heijastavat myös turvemaitten yleisyyttä.

Taulukossa 1. esitetään hakkuumäärät eri skenaarioissa. Hakkuut MaxHiili -skenaariossa ovat hyvin vähäiset verrattuna MaxNPV skenaarioihin. (1,5% ja 1,3%). Lyhyellä aikavälillä hiilensidontaa voidaan suosia lähinnä säästämällä hiilivarastoja ja siksi hakkuut MaxHiili skenaariossa ovat hyvin vähäiset.

Hiilinielun lisäys tarkoittaa metsänhoitotoimenpiteillä aikaansaattua hiilinielun kasvua verrattuna vertailutasoon. Hiilinielua voidaan lisätä mallinnuksen mukaan 6,3 t CO_{2ek} /ha vuodessa

Hiilensidonta kunnittain



Kuva 3. Seurakuntien omistamien metsien hiilensidonta eri kunnissa.

Taulukko 1. Hakkuumäärät eri skenaariossa seuraavan 20 vuoden aikana. Luvut ilmoitettu kuutioina (m³)

Ajanjakso	MaxHiili	MaxNPV1,5%	MaxNPV3%
2021-2025	137 340	8 378 166	9 398 417
2026-2030	41 966	1 091 262	1 453 851
2031-2035	3 285	2 088 736	1 615 912
2036-2040	2 274	760 919	1 407 097
Total	184 865	12 319 083	13 875 277

4.4. Muut kasvihuonekaasut

Kasvihuonekaasutase ekosysteemin ja ilmakehän välillä on kahteen suuntaan virtaavien kasvihuonekaasujen erotus. Tähän laskentaan otetaan mukaan myös soiden NO_2 ja CH_4 päästöjen kasvihuonekaasuvaikutus, Nettopäästö ilmakehään ilmoitetaan yleensä positiivisena lukuna ja netto sidonta ilmakehästä negatiivisena. Ilmiötä siis tarkastellaan ilmakehän näkökulmasta. Kasvihuonekaasutase on MaxHiili skenaariossa $-4,1 \text{ t CO}_{2\text{ek}}/\text{ha}$, MaxNPV1,5% skenaariossa $2,2 \text{ t CO}_{2\text{ek}}/\text{ha}$ ja MaxNPV3% skenaariossa $3,5 \text{ t CO}_{2\text{ek}}/\text{ha}$.

4.5. Luonnon monimuotoisuus

Vaikka tässä hankkeessa ei arvioitu metsän käytön muita tavoitteita, voidaan todeta, että useissa tutkimuksissa (esim. Pohjanmies 2018) on havaittu hiilensidontaa suosivien metsänkäsittelyvaihtoehtojen vaikuttavan positiivisesti useisiin muihinkin ekosysteemipalveluihin ja monimuotoisuuden indikaattoreihin.

4.6. Tulosten tulkinta ja hyödyntäminen

Kirkon energia- ja ilmastostrategian tavoitteita ja päätöksentekoa tukemaan tuotettiin arviot hiilivarastoista ja hiilensidonnasta seurakuntataloustasolla, sekä kuvaus metsänhoitomenetelmistä, joilla saavutetaan optimointilaskelmien tavoitteet kullakin metsätilalla. Lähtöaineistona käytettiin hankkeeseen valittuja ja tässä määriteltyjä metsäaloja ja niiden metsävaratietoja. Tulokset on laskettu tälle metsäalalle, eivätkä ne ole yleistettävissä tämän otoksen ulkopuolelle.

Hankkeessa tuotettiin laskennallinen arvo hiilinielun lisäyksestä, eli kuinka paljon hiilinielua voidaan lisätä vertailutasoon nähden. Tämä arvo indikoi sitä, minkä verran Seurakuntataloudella olisi mahdollista sitoa metsiinsä hiiltä esimerkiksi kompensoidakseen toimintansa päästöjä. Lyhyellä aikavälillä tällaisessa tarkastelussa painottuu metsän hiilivarastojen säilyttäminen. Tämä siis tarkoittaa hakkuiden radikaalia vähentämistä. Vasta pidemmällä aikavälillä myös kasvun lisääminen olisi laskelmassa tärkeässä roolissa.

Kirkon energia- ja ilmastostrategian mukaan kirkon hiilineutraalius toteutetaan paikallisseurakunnissa talouskohtaisesti. Seurakunnat voivat asettaa metsänhoidolle olosuhteiden ja metsäomistuksen luonteen perusteella asettaa erityyppisiä tavoitteita. Tässä hankkeessa tulokset laskettiin kolmelle ennalta määritellylle skenaariolle, jotka edustavat metsänkäytön kahta tavoitetta. Kummankaan tavoitteen toteutuminen sellaisenaan on epätodennäköistä. Tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että nämä kaksi tavoitetta eivät välttämättä ole toisiaan kokonaan poissulkevia, ja näiden väliltä voidaan myös löytää ratkaisu,

jossa molemmat tavoitteet toteutuvat jossain määrin (Pohjanmies ym. 2017). Lisäksi seurakunnilla voi olla muita, sosiaalisia, kulttuurisia tai ekologisia metsänkäyttötavoitteita, joita näissä laskelmissa ei ole huomioitu. Tämän hankkeen tuloksia voidaan kuitenkin käyttää kohdentamaan hiilivarastoa kasvattavia toimenpiteitä sinne missä hiilensidontapotentiaali on suurin, sekä tukemaan päätöksenteossa arvopohjaista valintaa metsänkäytön eri tavoitteiden välillä.

5. Liitteet

Tämän raportin mukana Kirkkohallitukselle toimitetaan laskennan tulokset Excel tiedostomuodossa.

6. Viitteet

Eyvindson, K., Hartikainen, M., Miettinen, K., & Kangas, A. (2018). Integrating risk management tools for regional forest planning: an interactive multiobjective value at risk approach. *Canadian Journal of Forest Research*, 48 (7), 766-773

Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H., Haapala, P., 2002. Models for Predicting Stand Development in MELA System. (Metsäntutkimuslaitos).

Liski, J., & Westman, C. J. (1997). Carbon storage in forest soil of Finland. 2. Size and regional pattern. *Biogeochemistry*, 36(3), 261-274. <https://doi.org/10.1023/A:1005742523056>

Liski, J., Palosuo, T., Peltoniemi, M., Sievänen, R., 2005. Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecol. Model.* 189, 168–182.

Miina J., Hotanen J., Salo K. (2009). Modelling the abundance and temporal variation in the production of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in Finnish mineral soil forests. *Silva Fennica* 43(4): 577–593. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.181>.

Miina J., Kurttila M., Salo K. (2013). Kauppasienisadot itäsuomalaisissa kuusikoissa – koealaverkosto ja tuloksia vuosilta 2010–2012. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 266. [In Finnish with English summary]. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp266.htm>

Mönkkönen, M., Juutinen, A., Mazziotta, A., Miettinen, K., Podkopaev, D., Reunanen, P., Salminen, H., Tikkanen, O.P., 2014. Spatially dynamic forest management to sustain biodiversity and economic returns. *J. Environ. Manag.* 134, 80–89.

Ojanen, P., Lehtonen, A., Heikkinen, J., Penttilä, T., Minkkinen, K., 2014. Soil CO₂ balance and its uncertainty in forestry-drained peatlands in Finland. *For. Ecol. Manag.* 325, 60–73.

Pohjanmies T., Eyvindson K., Trivño M., Mönkkönen M. 2017. More is more? Forest management allocation at different spatial scales to mitigate conflicts between ecosystem services *Landscape Ecol.* 32, 2337–2349. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0572-1>

Pohjanmies, T. 2018. Trade-offs among intensive forestry, ecosystem services and biodiversity in boreal forests. University of Jyväskylä, 53 s

Pukkala T. 2005. Metsikön tuottoarvon ennustemallit kivennäismaan männiköille, kuusikoille ja rauduskoivikoille. *Metsätieteen Aikakauskirja* 3: 311–322

Pukkala, T., Lähde, E., Laiho, O., 2013. Species interactions in the dynamics of even-and uneven-aged boreal forests. *J. Sustain. For.* 32 (4), 371–403.

Rasinmäki, J., Kalliovirta, J., Mäkinen, A., 2009. SIMO: an adaptable simulation framework for multiscale forest resource data. *Comput. Electron. Agric.* 66, 76–84.

Repo, A., Eyvindson, K J. Halme, P., Mönkkönen, M. 2020: Forest bioenergy harvesting changes carbon balance and risks biodiversity in boreal forest landscapes. *Canadian Journal of Forest Research*, 50 (11), 1184–1193. DOI: 10.1139/cjfr-2019-0284

Repola, J. 2008. Biomass equations for birch in Finland. *Silva Fennica* 42(4): 605–624. <https://doi.org/10.14214/sf.236>

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>

Siitonen M, 1993. Experiences in the use of forest management planning models. *Silva Fenn* 27 (2):167–178. <https://doi.org/10.14214/sf.a15670>

Tuomi, M., Thum, T., Järvinen, H., Fronzek, S., Berg, B., Harmon, M., Trofymow, J.A., Sevanto, S., Liski, J., 2009. Leaf litter decomposition — estimates of global variability based on Yasso07 model. *Ecol. Model.* 220, 3362–3371. 9

Tuomi, M., Laiho, R., Repo, A., Liski, J., 2011. Wood decomposition model for boreal forests. *Ecol. Model.* 222, 709–718. Repola, J. 2008. Biomass equations for birch in Finland. *Silva Fennica* 42(4): 605–624. <https://doi.org/10.14214/sf.236> 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>