

Projektin raportti

Metsien hiilensidonta ja hiilivarastojen päivitetty laskenta 510 000 m³/vuosi hakkuutasolla

Emmi Hilasvuori, Kyle Eyvindson, Alekski Lehtonen ja Eero Mikkola
versio 1.0 2.7.2021

1.	Hankkeen kuvaus	3
2.	Suoritettu mallipohjainen laskenta	3
2.1.	Tavoitteiden asettaminen	3
3.	Tulokset.....	4
3.1.	Optimointiskenaariot.....	4
3.2.	Hiilivarastojen kehitys eri skenaarioissa	6
3.3.	Hiilinielu ja päästöt	7
4.	Viitteet.....	8

1. Hankkeen kuvaus

Luonnonvarakeskus (Luke) kartoitti mallipohjaisen tarkastelun avulla Suomen evankelis-luterilainen kirkon seurakuntien metsien hiilivarastojen suuruuden ja potentiaalisen hiilinielun projektissa, joka päättyi keväällä 2021. Hankkeessa tunnistettiin tarve mallintaa hiilinielut myös hakkuutasolla, joka vastaa kirkon seurakuntien hakkuuta suhteutettuna laskennassa mukana olevaan metsäpinta-alaan. Tässä työssä tehdään mallipohjainen tarkastelu tuolla hakkuutasolla käyttäen lähtöaineistona samaa lähtöaineistoa kuin edellisen hankkeen mallinnuksissa.

Hanke toteutettiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Kirkkohallituksen yhteistyönä touko-heinäkuussa 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

Laskenta tehtiin käyttämällä vastaavia menetelmiä kuin aiemmin. Ennustemalli hiilivarastojen ja hiilensidonnin kehityksestä tehtiin viisivuotiskausille 2021 – 2046 ja laskenta tehtiin metsikkökuviointain. Puuston kehityksen ennustamiseen käytettiin SIMO metsäsimulaattoria (Rasinmäki ym. 2009). Hiilivaraston muutos mallinnettiin kivennäismaille Yasso07 mallilla (Liski ym. 2005; Tuomi ym. 2009, Tuomi ym. 2011) ja turvemaille käyttäen Ojasen ym. (2014) malleja. Maaperälaskenta hyödyntää puustolaskennasta saatava karikesyötettä lähtötietona. Hiilinielu tai -lähde lasketaan hiilivarastoissa tapahtuvasta muutoksesta vuosien välillä. Tarkempi kuvaus menetelmistä löytyy hankkeen ”Metsien hiilensidonta ja hiilivarastot sekä niiden kehitys seurakuntien hallinnoimissa metsätilakokonaisuuksissa” raportista.

Lähtöaineisto kattoi kaiken kaikkiaan 230 seurakuntataloutta ja niiden 2000 kiinteistöä, joiden alueilla laskentaan mukaan otettua metsäalaa oli yhteensä 125 509 ha. Ennusteisiin tarvittava säätiedot saatiin ilmatieteenlaitoksen tietokannasta. Tarkempi kuvaus aineistosta löytyy hankkeen ”Metsien hiilensidonta ja hiilivarastot sekä niiden kehitys seurakuntien hallinnoimissa metsätilakokonaisuuksissa” raportista.

2.1. Tavoitteiden asettaminen

Seurakuntien metsätilakokonaisuuksien jokainen metsikkökuvio simuloitiin käyttämällä erilaisia hoitotoimenpiteitä. Vaihtoehtoisia hoitotoimenpiteitä oli monia ja näihin toimenpiteisiin sisältyy myös jatkuvapeitteistä metsänkasvatusta mallittava vaihtoehto. Simulointi tehtiin vastaavasti kuin edellisessä projektissa. Ennusteessa häiriötekijöiden kuten tuuli- ja hyönteistuhojen vaikutus ei sisälly arvioihin ja samalla oletetaan, että kasvuolosuhteet pysyvät nykyisellä tasolla, eikä ilmastonmuutosta oteta huomioon.

Optimointia varten muodostettiin tavoitteet:

1. Maksimaalinen hiilivarasto, kun vuosittaiset hakkuut $510\,000\text{ m}^3$ vuodessa (MaxHiili 510k_m3_v).
2. Enimmäishiilivarasto, kun maksimoidaan metsän nettonykyarvo käyttäen 1,5 %:n diskonttaus korkoa, ja kun vuosittaiset hakkuut $510\,000\text{ m}^3$ vuodessa (MaxNPV1,5 510k_m3_v)
3. Enimmäishiilivarasto, kun maksimoidaan metsän nettonykyarvo käyttäen 3 %:n diskonttaus korkoa, ja kun vuosittaiset hakkuut $510\,000\text{ m}^3$ vuodessa (MaxNPV3 510k_m3_v)

Hakkuumäärä oli määritelty yhteensä kaikkien seurakuntien metsäomaisuudelle, eikä sitä optimoinnissa jaettu seurakuntakohtaisesti. Tämän takia eri skenaarioissa hakkuut voivat kohdistua eri seurakuntien

metsäomaisuuteen. Optimoinnissa sallittiin 0.2% vaihtelu hakkuumäärissä, eli 509 000 - 511 000 m³ vuodessa, optimointiratkaisun löytämiseksi.

3. Tulokset

3.1. Optimointiskenaariot

Optimoinnissa etsitään paras mahdollinen ratkaisu asetetun tavoitteen saavuttamiseksi. Skenaarioille asetetut tavoitteet saavutetaan käyttämällä erilaisia metsänhoitomenetelmiä ja kohdistamalla niitä eri tavalla. Taulukossa 1. on esitetty hakkuiden alueellinen jakautuminen. Luvut ovat keskimääräisiä vuosittaisia hakkuumääriä 20 vuoden tarkastelujakson aikana. Hakkuutasotavoite oli asetettu koko maan tasolle, joka mahdollistaa suuren vaihtelun alueitten välillä. MaxHiili 510k_m3_v -skenaariossa hakkuut kohdentuvat selkeästi eri tavalla kuin kahdessa muussa skenaariossa. Taulukossa 2. on esitetty metsänhoitotoimenpiteet eri skenaarioissa. Suurin ero näkyy poimintahakkuiden määrässä MaxHiili 510k_m3_v -skenaariossa verrattuna nettonykyarvon maksimoiviin skenaarioihin. Poimintahakkuun katsotaan vastaavan jatkuvapeitteistä metsänkasvatusta.

MaxHiili 510k_m3_v -skenaario edustaa metsänhoitomuotoa, jossa suurempi metsän pinta-ala on vähemmän intensiivisessä hoidossa. MaxNPV 510k_m3_v -skenaariot ovat taas melko intensiivistä metsänhoitoa, jossa metsää hakataan pienemmältä pinta-alalta. Vaikka käsittelyalueet ovat samankaltaisia (92 000 - 96 000 ha), MaxNPV 510k_m3_v -skenaarioissa on huomattavasti enemmän avohakkuuta kuin MaxHiili 510k_m3_v -skenaario, ja siten muita toimenpiteitä (kylvö, taimikko hoito) joudutaan tekemään enemmän ja nämä kohdistuvat samoille metsikkökuvioille, jolloin sama kuvio lasketaan tässä taulukossa useampaan kertaan.

Taulukossa 3. on esitetty hakkuiden jakautuminen puutavaralajeittain. Tuloksia tulkittaessa on huomioitava, että tarkasteltava ajanjakso on lyhyt ja on mahdollista, että pidemmällä aikavälillä jatkuvapeitteiseen metsänhoitoon siirretyt metsikkökuviot alkaisivat tuottaa enemmän tukkipuuta kuin tällä tarkastelujaksolla.

Taulukko 1. Hakkuiden jakautuminen maakunnittain (Tilastokeskuksen NUTS3 luokitus). Luvut ovat keskimääräisiä vuosittaisia hakkuumääriä m³ vuodessa. Luvut on laskettu keskiarvona tarkasteltavalle 20 vuoden ajanjaksolle.

Alue	MaxHiili 510k_m3_v	MaxNPV1,5 510k_m3_v	MaxNPV3 510k_m3_v
Etelä-Karjala	18707	22000	22817
Etelä-Pohjanmaa	38682	34527	33768
Etelä-Savo	79540	91045	93718
Helsinki-Uusimaa	17015	21594	20997
Kainuu	21054	15410	13741
Kanta-Häme	5227	6747	7113
Keski-Pohjanmaa	16836	14306	13728
Keski-Suomi	61381	62973	64518
Kymenlaakso	10512	13054	12861
Lappi	5033	2822	2649
Pirkanmaa	28573	33415	35097
Pohjanmaa	52794	42573	41238
Pohjois-Karjala	38404	33787	32484
Pohjois-Pohjanmaa	16331	10909	9285
Pohjois-Savo	51659	49699	50764
Päijät-Häme	7033	9532	9366
Satakunta	18188	18466	19151
Varsinais-Suomi	22048	28131	27811
Total	509014	510992	511104

Taulukko 2. Mallinnetut metsänhoitotoimenpiteen eri skenaarioissa ja kuinka monella hehtaarilla (ha) niitä kussakin skenaariossa toteutetaan. Hehtaarit laskettu yhteen 20 vuoden ajanjaksolle ja sama hehtaari voidaan laskea kahteen kertaan, mikäli sillä tehdään useampia toimenpiteitä.

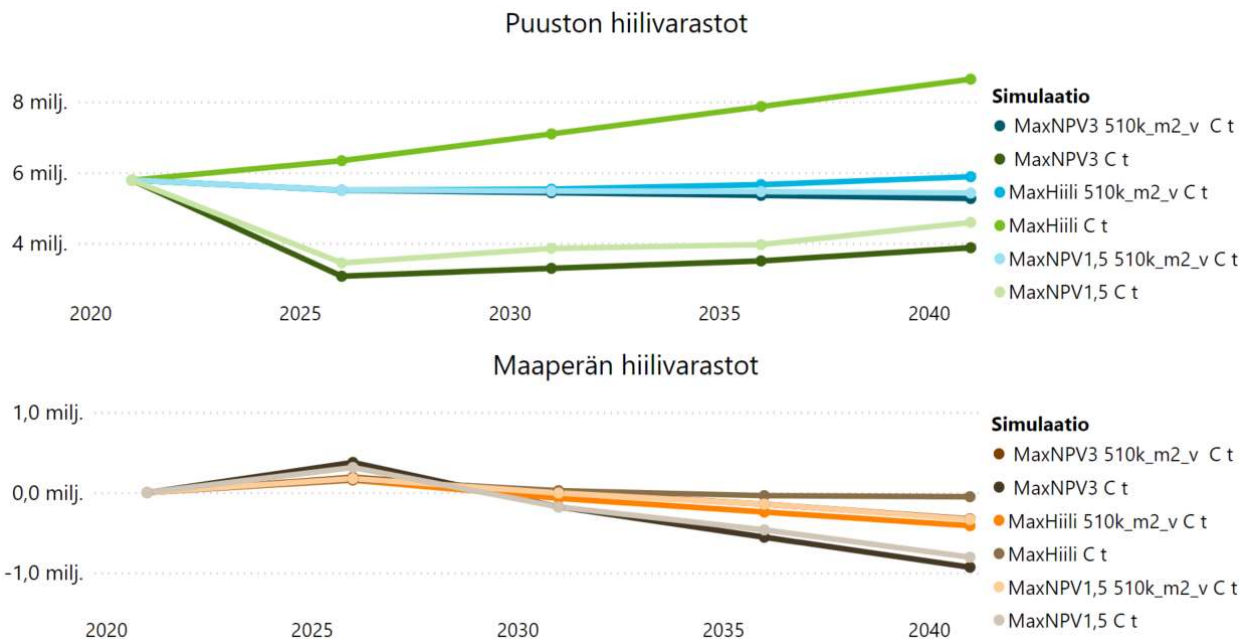
Metsänhoitotoimenpide	MaxHiili 510k_m3_v	MaxNPV1,5 510k_m3_v	MaxNPV3 510k_m3_v
avohakkuu	1624	20705	23620
avohakkuu ja luontainen uudistaminen	1580	1808	3469
ensiharvennus	401	107	34
harvennus	2283	2549	1883
kylvö	1660	17210	20518
poimintahakkuu	80474	39478	29903
taimikon varhaishoito	1285	8691	11924
taimikonhoito	2877	2767	4839
Total	92185	93314	96189

Taulukko 3. Hakkuiden jakautuminen puutavaralajeihin. Luvut ovat keskimääräisiä vuosittaisia hakkuumääriä m³ vuodessa. Luvut on laskettu keskiarvona tarkasteltavalle 20 vuoden ajanjaksolle.

Skenaario	Tukkipuu m ³ / vuosi	Kuitupuu m ³ / vuosi	Yhteensä m ³ / vuosi
MaxHiili 510k_m3_v	378598	130416	509014
MaxNPV1,5 510k_m3_v	393115	117877	510992
MaxNPV3 510k_m3_v	395564	115539	511104

3.2. Hiilivarastojen kehitys eri skenaarioissa

Metsien puuston tämänhetkinen hiilivarasto on noin 5 786 112 tonnia hiiltä, eli 46 tonnia hehtaarilla. Kuvassa 1. esitetään hiilivaraston muutos ajassa eri skenaarioille. Kuvassa esitetään myös aiemmin lasketut skenaariot, joille tiettyä hakkuutasoa ei ollut määritelty. Kun hakkuutaso asetetaan 510 000 m³ vuodessa, puuston hiilivarasto kasvaa nykytilanteeseen verrattuna MaxHiili 510k_m3_v skenaariossa, ja MaxNPV1,5 510k_m3_v ja MaxNPV3 510k_m3_v skenaarioissa se vähenee. Maaperän hiilivarasto vähenee tällä hakkuutasolla hieman kaikissa skenaarioissa. Maaperän hiilivarasto sisältää sekä kangasmaiden, että ojitettujen soiden maaperän nielut ja päästöt. Maaperän hiilivaraston lähtöarvoa ei ole määritelty, vaan kuvassa esitetään hiilivaraston muutos verrattuna nykytilanteeseen, sillä erityisesti turvemaan maaperän hiilivaraston määrittäminen on vaikeaa. Varaston muutos voidaan kuitenkin laskea varaston suuruutta tarkemmin. Tällä hakkuutasolla metsien kokonaishiilivarasto siis mallinnuksen mukaan vähenee seuraavien 20 vuoden aikana.



Kuva 1. Tässä jatkohankkeessa sekä hankkeessa "Metsien hiilensidonta ja hiilivarastot sekä niiden kehitys seurakuntien hallinnoimissa metsätalokokonaisuuksissa" laskettujen skenaarioiden hiilivaraston muutokset. Skenaariossa MaxHiili oli tavoitteeksi asetettu hiilivaraston maksimointi ja siinä hakkuut jäivät keskimäärin 9 250 m³ vuodessa. MaxNPV1,5 ja MaxNPV1,5 tavoiteltiin nettohyötymaksimointia tietyllä korkokannalla, eikä vuosittaisia hakkuumääriä ollut rajoitettu. Hakkuut keskittyivät tarkastellut ajanjakso

alkuun, mutta olivat 20 vuodelle laskettuna keskimäärin 616 000 m³ vuodessa MaxNPV1,5 -skenaariossa ja 694 000 m³ vuodessa MaxNPV3 -skenaariossa. MaxHiili 510k_m3_v, MaxNPV1,5 510k_m3_v ja MaxNPV3 510k_m3_v skenaarioissa hakkuille oli asetettu tavoitteeksi 510 000 m³ vuodessa. Maaperän hiilivaraston lähtöarvoa ei ole määritelty, vaan kuvassa esitetään hiilivaraston muutos verrattuna nykytilanteeseen.

3.3. Hiilinielu ja päästöt

Vähenevä hiilivarasto on hiilen päästölähde. MaxHiili 510k_m3_v skenaariossa päästö on 0,3 t CO₂ ekv /ha vuodessa, MaxNPV1,5 510k_m3_v skenaariossa 1,1 t CO₂ ekv/ha vuodessa ja MaxNPV3 510k_m3_v skenaariossa 1,3 t CO₂ ekv /ha vuodessa. Tätä voidaan tulkita niin, että metsänhoitomenetelmiä muuttamalla vähemmän intensiiviseen suuntaan voidaan samalla hakkuiden tasolla päästä 0,5 – 1 t CO₂ ekv/ha vuodessa pienempiin päästöihin. Taulukoissa 4. ja 5. on kuvattu tulokset metsätilan koon ja alueen mukaan.

Tehdyn mallinnuksen mukaan hakkuutasolla 510 000 m³ vuodessa seurakuntien metsät eivät todennäköisesti ole hiilinielu seuraavien vuosikymmenten aikana. Vaikka MaxHiili 510k_m3_v skenaariossa metsien hiilivaraston muutos ja siten hiilipäästö ovat lähellä nollaa, on kuitenkin otettava huomioon, että optimoinnissa ei rajoitettu sitä missä hakkuut tehdään. Mikäli asetettu hakkuutavoite olisi jaettu seurakunnille, ei hiilivaraston kannalta yhtä hyvää optimointiratkaisua olisi todennäköisesti löydetty, ja tulos olisi ollut hiilinielun ja ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta huonompi.

Taulukko 4. Tulokset metsätilan koon mukaan.

Metsätilan kategoria	Metsän pinta-ala (ha)	Keskittilavuus (m ³ /ha)	Tämän hetkinen puuston hiilivarasto (t CO ₂ /ha)	Hiilinielu MaxNPV3 510k_m3_v (tCO ₂ ekv/ha/a)	Hiilinielu MaxNPV15 510k_m3_v (tCO ₂ ekv/ha/a)	Hiilinielu MaxHiili 510k_m3_v (tCO ₂ ekv /ha/v)	Nielun lisäys MaxHiili vrt MaxNPV15 (t CO ₂ /ha/v)	Hakkuumäärä 20 vuoden aikana MaxNPV3 (m ³)	Hakkuumäärä 20 vuoden aikana MaxNPV15 (m ³)	Hakkuumäärä 20 vuoden aikana MaxHiili (m ³)
Metsätilan koko alle 100 ha	1971	127	166	-2,4	-2,2	-0,4	1,8	180461	180710	146288
Metsätilan koko yli 100 ha	50648	140	182	-1,7	-1,3	-0,2	1,2	4876903	4814614	4480026
Metsätilan koko yli 1000 ha	72891	124	160	-1,0	-0,8	-0,4	0,5	5164709	5224506	5553975
Total	125510	130	169	-1,3	-1,1	-0,3	0,8	10222073	10219830	10180290

Taulukko 5. Tulokset maakunnittain (Tilastokeskuksen NUTS3 aluejako).

Maakunta	Metsän pinta-ala (ha)	Keskittavuus (m ³ /ha)	Tämän hetkinen puuston hiilivarasto (t CO ₂ /ha)	Hiilinielu MaxNPV3 510k_m3_v (tCO ₂ ekv/ha/a)	Hiilinielu MaxNPV15 510k_m3_v (tCO ₂ ekv/ha/a)	Hiilinielu MaxHiili 510k_m3_v (tCO ₂ ekv /ha/v)	Nielun lisäys MaxHiili vrt MaxNPV15 (t CO ₂ /ha/v)	Hakkuumäärä 20 vuoden aikana MaxNPV3 (m ³)	Hakkuumäärä 20 vuoden aikana MaxNPV15 (m ³)	Hakkuumäärä 20 vuoden aikana MaxHiili (m ³)
Etelä-Karjala	3243	171	217	-3,1	-2,3	-0,5	1,8	456346	440002	374134
Etelä-Pohjanmaa	11952	114	145	-0,9	-0,9	-0,7	0,2	675351	690546	773640
Etelä-Savo	15710	159	202	-2,1	-1,7	0,1	1,9	1874351	1820904	1590791
Helsinki-Uusimaa	2890	175	228	-3,4	-3,5	-0,4	3,1	419947	431877	340302
Kainuu	7015	104	136	0,1	0,1	-0,4	-0,5	274815	308209	421079
Kanta-Häme	964	167	214	-2,6	-2,1	1,1	3,2	142261	134942	104532
Keski-Pohjanmaa	6494	93	121	-0,9	-1,0	-1,1	-0,1	274554	286124	336720
Keski-Suomi	13891	145	185	-0,7	-0,4	0,6	1,0	1290350	1259453	1227612
Kymenlaakso	1990	158	203	-2,0	-2,0	0,7	2,7	257214	261074	210244
Lappi	4842	64	94	-1,5	-1,5	-2,0	-0,5	52980	56444	100660
Pirkanmaa	5419	167	216	-2,8	-2,0	0,0	2,0	701937	668305	571455
Pohjanmaa	10865	141	187	-0,7	-0,6	-0,8	-0,2	824756	851464	1055872
Pohjois-Karjala	10066	118	153	-1,0	-0,9	-0,9	0,0	649684	675730	768080
Pohjois-Pohjanmaa	8452	67	89	-1,3	-1,4	-1,9	-0,6	185693	218184	326613
Pohjois-Savo	12008	137	180	-0,3	0,2	1,0	0,7	1015279	993979	1033176
Päijät-Häme	1547	150	196	-0,2	-0,1	2,6	2,8	187327	190648	140655
Satakunta	3654	148	192	-2,0	-1,7	-0,5	1,1	383016	369316	363766
Varsinais-Suomi	4508	157	204	-2,6	-2,5	0,0	2,5	556211	562627	440958
Total	125510	130	169	-1,3	-1,1	-0,3	0,8	10222073	10219830	10180290

4. Viitteet

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

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.

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>