



KESKKONNAAGENTUUR



www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Maakasutuse, maakasutuse muutuse ja metsanduse sektori sidumisvõimekuse analüüs kuni aastani 2050

Keskkonnaagentuur, Eesti Maaülikool

2021

Tellija: Keskkonnaministeerium

Alus: Keskkonnaministri käskkiri nr 23.07.2020 nr 1–2/20/317

Uuringu eesmärk: analüüsida komplekselt maakasutuse, maakasutuse muutuse ja metsanduse (ingl k. *land use, land use change and forestry*, LULUCF) sektori CO₂ sidumisvõimaluste potentsiaali ja ulatust 2030. ja 2050. aasta kliimapoliitika eesmärkide täitmisel, arvestades sealjuures ka pikemaajalist perspektiivi (aastani 2100).

Töö autorid:

- Eesti Maaülikool: Paavo Kaimre, Karin Kauer, Alar Astover, Martti Maasik, Airiin Vaasa
- Keskkonnaagentuur: Madis Raudsaar, Helen Karu, Eve Suursild, Enn Pärt, Allan Sims, Mati Valgepea

Töö autorid tänavad abi eest: Kaupo Kohv (Riigimetsa Majandamise Keskus), Martin Arula (AS Toftan), Erki Niitlaan (MTÜ Eesti Turbaliit), Edgar Karofeld (Tartu Ülikool), Reeli Sildnik (Keskkonnaministeerium), Sandra Salom (Maaeluministeerium), Tiiu Timmusk ja Tiit Matson (Keskkonnaagentuur), Siim Umbleja (Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing), Eduard Latõšov (Tallinna Tehnikaülikooli Energiatehnoloogia Instituut)

Toimetajad: Eve Suursild, Helen Karu, Mati Valgepea

Viitamine: Valgepea, M., Raudsaar, M., Karu, H., Suursild, E., Pärt, E., Sims, A., Kauer, K., Astover, A., Maasik, M., Vaasa, A., Kaimre, P. 2021. Maakasutuse, maakasutuse muutuse ja metsanduse sektori sidumisvõimekuse analüüs kuni aastani 2050. Keskkonnaagentuur, Eesti Maaülikool. 164 lk. DOI: 10.15159/eds.rep.21.01.

Sisukord

Mõisted ja lühendid	6
Sissejuhatus	8
1. Ülevaade LULUCFi sektorist	9
1.1 Kliimapoliitika ja LULUCF	13
1.2 LULUCFi määrusest tulenevad arvestusreeglid.....	14
1.3 Heitkoguste vähendamise ja sidumisvõimekuse suurendamise meetmed LULUCF sektoris.....	16
2. Metsamaa	18
2.1 Metsamaa netoheite arvestuse alused	18
2.2 Raiestsenaariumid.....	19
2.2.1 Ülevaade raietest.....	19
2.2.2 Raiestsenaariumite arvutamise meetodika.....	21
2.2.3 Raiestsenaariumid	23
2.2.4 Raiestsenaariumite sotsiaalmajanduslik analüüs	36
2.3 Metsamaa pindala	45
2.3.1 Metsamaa määratlus.....	45
2.3.2 Metsamaa pindala muutumine	45
2.3.3 Raadamise kompenseerimine.....	49
2.3.4 Metsastamine	50
2.4 Metsakasvatus.....	55
2.4.1 Metsakultiveerimine	55
2.4.2 Harvendusraied	60
2.4.3 Hõredad puistud	62
2.4.4 Kuivendamine	65
3. Puittooted	67
3.1 Baasstsenaarium (PT0–BAU).....	69
3.2 Puidu keemiline töötlemine paberi ja papi tootmiseks (PT1-Cel+1M ja PT2-Cel+2M) 70	
3.3 Puitplaatide tootmine (PT3–Board+0,5M)	73
3.4 Saematerjali tootmine (PT4–SW+0,5M ja PT5–SW-0,5M)	75
3.5 Uurimisvajadused	77
3.6 Kokkuvõte	78
4. Põllumaad ja rohumaad.....	79
4.1 Orgaaniliste väetiste kasutamine (sh taimejäänuste mulda jätmise) (PM 1).....	81
4.1.1 Erinevate stsenaariumite võrdlus	82
4.1.2 Meetme rakendamine.....	84
4.1.3 Riskid ja uuringuvajadused.....	84
4.1.4 Kokkuvõte.....	84
4.2 Mitmekesisemad ja pikemad külvikorrad (PM 2)	84
4.2.1 Mitmekesisestatud külvikorrad (PM 2.1).....	85

4.2.2	Liblikõielised kultuurid (PM 2.2)	85
4.2.3	Vahekultuurid (PM 2.3)	85
4.2.4	Mustkesa (PM 2.4)	86
4.2.5	Erinevate stsenaariumite võrdlus	86
4.2.6	Meetme rakendamine	87
4.2.7	Riskid ja uuringuvajadused	88
4.2.8	Kokkuvõte	88
4.3	Püsiva taimestikuga alade loomine (haritava maa muutmine püsirohumaaks, puittaimestiku ribad, hekid ja agrometsandus) (PM 3)	89
4.3.1	Mineraalmullal haritava maa muutmine püsirohumaaks (PM 3.1)	89
4.3.2	Puittaimestiku ribad ja hekid (PM 3.2)	89
4.3.3	Agrometsandus (PM 3.3)	90
4.3.4	Meetme rakendamine	90
4.3.5	Riskid ja uuringuvajadused	91
4.3.5	Kokkuvõte	91
4.4	Heitkoguste vähendamine turvasmuldadel paiknevatest haritavatest maadest (PM 4)	91
4.4.1	Haritavate turvasmuldade viimine püsirohumaaks (PM 4.1)	93
4.4.2	Märgalade taastamine, sh märgalaviljelus (PM 4.2)	94
4.4.3	Haritavate turvasmuldade metsastamine (PM 4.3)	94
4.4.4	Meetme rakendamine	95
4.4.5	Riskid ja uuringuvajadused	96
4.4.6	Kokkuvõte	96
4.5	Happeliste muldade neutraliseerimine (PM 5)	97
4.5.1	Erinevate stsenaariumite võrdlus	98
4.5.2	Meetme rakendamine	99
4.5.3	Riskid ja uuringuvajadused	99
4.5.5	Kokkuvõte	100
4.6	Lühikese raieringiga istandused	100
4.6.1	Meetme sotsiaalmajanduslik mõju	102
4.7	Kokkuvõte riskidest ja uuringuvajadustest	104
4.8	Kasutatud kirjandus	105
5.	Märgalad	110
5.1	Mahajäetud turbatootmisalade korrastamine (Märgala 1)	111
5.1.1	Jääksoode korrastamine märgaladeks (Märgala 1.1)	112
5.1.2	Jääksoode metsastamine (Märgala 1.2)	113
5.1.3	Märgalaviljelus (Märgala 1.3)	115
5.1.4	Meetme sotsiaalmajanduslik mõju	116
5.1.5	Jääksoode korrastamise stsenaarium	117
5.1.6	Riskid ja uuringuvajadused	119
5.1.7	Kokkuvõte	119
5.2	Aiandusturbast tulenevate heitkoguste vähendamine (Märgala 2)	120

5.2.1 Analüüsitud stsenaariumid	120
5.2.2 Meetme sotsiaalmajanduslik mõju	121
5.2.3 Riskid ja uuringuvajadused	121
5.2.4 Kokkuvõte	122
5.3 Kasutatud kirjandus	122
6. Asendusefekt	125
6.1 Asendusefekti mõju hindamine	125
6.1.1 Asendusfaktorid	127
6.1.2 Asendusefekti mõju	129
6.1.3 Kokkuvõte	129
6.1.4 Kasutatud kirjandus	130
6.2 Puitkütuste suurem kasutamine koostootmisjaamades (põlevkivi asendamine)	133
7. Täiendavad meetmed	135
7.1 Täiendavate meetmete stsenaarium	135
7.1.1 Metsastamine	137
7.1.2 Metsakultiveerimise mahtude suurendamine erametsamaal	138
7.1.3 Hõredate puistute ennakraie	139
7.1.4 Ammendatud turbatootmisalade metsastamine	140
7.1.5 Ammendatud turbatootmisaladel looduslikkuse taastamine	140
7.1.6 Aiandusturba kaevandamismahu vähendamine	141
7.1.7 Haritavatel turvasmuldadel põllumaa viimine püsirohumaaks	142
7.1.8 Puittoodete meetmed	143
7.2 Täiendavate meetmete mõju kokku	144
8. Kokkuvõte	147
LISAD	153
Lisa 1. Raiestsenaariumite arvutamise meetoodika	154
Lisa 2. Raiestsenaariumite koondtabel	163

Mõisted ja lühendid

LULUCF (<i>Land Use, Land Use Change and Forestry</i>)	Maakasutus, maakasutuse muutus ja metsandus. Määratletakse rahvusvahelisel tasemel kui üht kasvuhoonegaaside inventeerimise sektorit.
Metsamaa	LULUCFi metsamaa kategooriasse määratletakse maatükk pindalaga vähemalt 0,5 ha, millel kasvavad puud on võimelised kasvama vähemalt 2 m kõrguseks ja puuvõrade liitus on vähemalt 30%. Metsamaaks loetakse ka varasemalt metsamaa kategoorias olnud, kuid raiete või häiringute tõttu lagedaks jäänud või eeltoodud kriteeriumitele mittevastavaid puittaimedega kaetud alasid (metsamaa arenguklassid: lage ala ja selgusetu ala). LULUCFi metsamaa määratlus on erinev ja mõnevõrra leebem võrreldes Eesti metsaseaduses sätestatud metsamaa määratlusega.
Põllumaa	Hõlmab künnimaad, püskikultuure, lühiajalisi ja pikaajalisi kultuurrohumaid (sh mustkesa, istandused ja ajutiste kasvuhoonetega katmikalad). Põllumajanduslikust kasutusest kõrvale jäänud maid, millel on veel säilinud haritava maa tunnused, liigitatakse põllumaa kategooriasse. Siia hulka ei arvata näiteks kuni 0,3 ha suurust hoonestatud õue-aiamaad, need liigituvad asustusalade kategooriasse.
Rohumaa	Loodusliku rohukamaraga niitmis- või karjatamiskõlblik maa (mitte kultuurheinamaa ja -karjamaa). Rohumaade hulka arvatakse ka väiksema pinnaga, haritava maa tunnused minetanud söödid ja endised kultuurrohumaid, samuti põõsastikud ning niidetavad puisniidud, mille põõsa- ja puurinde liitus jääb alla 50%. Siia hulka ei arvata ulatuslikumaid sööte ega kultuurrohumaid isegi siis, kui need on enamiku kultuurkamara tunnustest minetanud, kuid neid on võimalik uuesti kasutusele võtta erimeetmeid rakendamata. Puiskarjamaa liitusega 30–50% liigitatakse olenevalt peamisest maakasutusest, kas rohumaaks või metsamaaks.
Märgalad	Alatiselt liigniiske maa, mille turbakihi paksus on vähemalt 30 cm ja mille tootlikkus ei vasta metsamaa tingimustele. Siia hulka arvatakse ka järved, paisjärved, karjääride veekogud, rabalaukad ning jõed, ojad, kanalid, kraavid ja tiigid väljaspool asustusala. See on ka ainus maakasutuskategooria, mis jagatakse majandatavateks (turbatootmisalad, paisjärved, veehoidlad) ja mittemajandatavateks aladeks, kuna looduslikel märgaladel toimuvat kasvuhoonegaaside sidumist ja heidet inventuuri raames ei hinnata. Kasutusest hüljatud või ammendatud turbatootmisala liigitatakse olenevalt seisukorrast metsamaaks, sooks või muuks maaks.
Asulad ehk asustusalad	Tihehoonestusalad koos teede, tänavate ja väljakutega, trassid (sihid, kraavitrassid, õhuliinid, torujuhtmed jms), pargid, tööstus- ja tootmismaa, spordirajatised, lennuväljakud, jäätmete ladestamise seaduslikud kohad. Ehituskruunid ja üksikud hooned koos kuni 0,3 ha suuruse õue-aiamaaga. Siia alla arvatakse ka karjäärid: mäeeralduse alusel tegutsevad maavarade maapealse kaevandamise alad, välja arvatud freesturbaväljad.
Muu maa	Siia kuuluvad kõik alad, mida ei ole paigutatud ülalmainitud maakasutuskategooriate alla, näiteks kasutuskõlbmatu mineraalmaa. IPCC juhendmaterjalide kohaselt võib seda kategooriat kasutada, et sobitada ülaltoodud maakasutuskategooriate pindalad Eesti pindalaga.
HWP (<i>Harvested wood products</i>)	Puittooted. LULUCFi aruandluses antakse hinnang järgmistes alamkategooriates: saematerjal ja puitplaadid, kemi-termo-mehaaniline puitmass ning paber ja papp.
KHG	Kasvuhoonegaasid. LULUCFi sektoris käsitletakse kolme kasvuhoonegaasi: CO ₂ (süsinikdioksiid), N ₂ O (dilämmastikoksiid ehk naerugaas) ja CH ₄ (metaan).
CO ₂ ekvivalent (ekv)	Üks tonn CO ₂ või sellega samaväärse globaalse soojenemise teguriga kogus. Selleks, et erinevate kasvuhoonegaaside mõju omavahel võrrelda, arvestatakse kõik kasvuhoonegaasid ümber CO ₂ ekvivalentideks, kasutades gaasi globaalse soojendamise potentsiaali väärtusi. Seega CO ₂ ekvivalent võib tähistada ka mõnda teist kasvuhoonegaasi.

GWP (<i>Global Warming Potential</i>)	Globaalse soojenemise potentsiaal. Potentsiaal näitab, mitu korda on kasvuhoonegaasi üks molekul soojuse tagasipeegeldamise võimelt efektiivsem kui süsinikdioksiidi molekul. Näiteks metaani (CH ₄) suhteline kasvuhooneefekti tekitav mõju on 25 korda suurem kui süsinikdioksiidil ehk siis 1 kg metaaniheidet on võrdne 25 kg süsinikdioksiidi heitkoguse mõjuga. Naerugaasi (N ₂ O) puhul on see näitaja oluliselt suurem, 298. ¹
CO ₂ sidumine, C sidumine, netosidumine	Aastane süsinikvaru muutus süsiniku talletajates ehk netosidumine. Nendeks on elus biomass (maapealne ja maa-alune), surnud orgaaniline aine (surnud puit ja varis) ja mullad (mineraal- ja turvasmullad). Seejärel teisendatakse süsinikvaru kogus süsihappegaasiks.
CO ₂ varu, seotud süsiniku kogus	Süsinikvaru ehk süsiniku kogus, mis on seotud süsiniku talletajatesse. Nendeks on elus biomass (maapealne ja maa-alune), surnud orgaaniline aine (surnud puit ja varis) ja mullad (mineraal- ja turvasmullad). Eraldi peetakse arvestust ka puittoodetesse seotud süsiniku üle. Seejärel teisendatakse süsinikvaru kogus süsihappegaasiks.
IPCC (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)	Valitsustevaheline kliimamuutuste nõukogu. KHG inventuuri LULUCFi sektori heitkoguste hinnangud koostatakse vastavalt IPCC 2006 metoodikale. IPCC 2014 (<i>Wetlands Supplement</i>) juhul ei ole hetkel riikidele kohustuslik, kuid rahvusvahelisel tasemel julgustatakse siiski riike ka seda kasutama. Antud uuringus on rakendatud IPCC 2014 vaikeväärtusi.
SMI	Statistiline metsainventuur on statistiline valikuuring, mille käigus mõõdetakse igal aastal ühtlaselt üle Eesti maismaa paigutatud proovitükke. SMI võimaldab objektiivselt jälgida ja hinnata LULUCFi aruandluses raporteeritud kuut maakasutuse kategooriat.
NFAP (<i>National Forestry Accounting Plan</i>)	Metsanduse arvestuskava ² . Tulenevalt LULUCFi määrusest peavad Euroopa Liidu liikmesriigid koostama metsanduse arvestuskava, mille peamine ülesanne on metsamaa võrdlustaseme määramine (FRL). Kehtiv metsanduse arvestuskava on esitatud perioodi 2021–2025 kohta. Teise perioodi (2026–2030) metsanduse arvestuskava esitamise kohustus on 2023. aastal.
FRL (<i>Forest reference level</i>)	Metsa heitkoguse võrdlustase. Metsanduse arvestuskava kohaselt on Eesti metsade võrdlustasemeks aastateks 2021–2025 koos puittoodetega (-1,75 mln t CO ₂ ekv aastas) ja ilma puittoodeteta (-1,33 mln t CO ₂ ekv aastas).
NIR (<i>National Inventory Report</i>)	Kasvuhoonegaaside inventuur. Eestil on kohustus igal aastal esitada Euroopa Komisjonile ja ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooni sekretariaadile (UNFCCC) inimtekkeliste kasvuhoonegaaside inventuuriaruanne koos ühtse aruandevormi tabelitega. Esitatud andmed sisaldavad heitkoguste hinnanguid alates 1990. aastast kuni üle-eelmise aastani (X–2 aastat). Viimane NIR 2021 sisaldab andmeid perioodi 1990–2019 kohta.
Raporteerimine/aruandlus (<i>Reporting</i>)	Iga-aastane inimtekkeliste KHG heitkoguste esitamine vastavalt IPCC (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>) juhistele.
Arvepidamine (<i>Accounting</i>)	Toimub kindlate arvestusreeglite alusel Euroopa Liidu siseselt. Perioodi 2021–2030 arvestusreeglite aluseks on LULUCFi määrus (EL) 2018/841 ³ . Sel juhul arvestatakse LULUCFi määrusega defineeritud kategooriate koguheide ja -sidumine, mida võrreldakse baastaseme või referentsperioodiga ning arvesse võetakse teatud osa KHG heitest ja/või sidumisest. LULUCF sektor on osa Euroopa Liidu riikidevahelisest KHG lubatud heitkoguse ühikutega kauplemise süsteemist.

¹ IPCC neljas hindamisaruanne (AR4)

² <https://envir.ee/vesi-mets-maavarad/metsandus/lulucf>

³ Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus (EL) 2018/841. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0841&qid=1620243690679&from=EN>

Sissejuhatus

Kliimaneutraalsuse saavutamiseks 2050. aastaks on oluline kasvuhoonegaaside (KHG) heitkoguste vähendamine ja sidumisvõimekuse suurendamine kõigis sektorites. Et eesmärki täita, tuleb seada selged sihid, hinnates erinevates sektorites KHG heite vähendamise ja sidumise suurendamise potentsiaali ning käsitleda sektori mõju laiemalt ka majanduse konkurentsivõimele. Maakasutuse, maakasutuse muutuse ja metsanduse (LULUCF) sidumisvõimekuse uuring on valminud Keskkonnaministeeriumi tellimisel analüüsimaaks komplekselt LULUCFi sektori KHG sidumisvõimaluste potentsiaali ja ulatust 2030. ja 2050. aasta kliimapolitiika eesmärkide täitmiseks arvestades sealjuures ka pikemaajalist perspektiivi (kuni 2100. aastani).

Uuringu käigus kaardistatakse LULUCFi sektori maakasutuskategooriates süsiniku sidumisega seotud aspektid ja tegevused ning hinnatakse nende potentsiaali suurema süsiniku sidumise suunas.

Analüüs kirjeldab ning hindab järgmisi LULUCFi sektorit mõjutavaid tegevusi:

- raportis „Mets ja kliimamuutused“ esitatud raiestsenaariumid (koos puittoodetega);
- metsakasvatustlikud võtted netojuurdekasvu soodustamiseks: metsade uuenemise tagamine (looduslik uuendus, uuendamine, puuliigi valik), harvendusraie, raieplaanide optimeerimine (täiuse, juurdekasvu ja boniteedi järgi), kuivendamine;
- metsamaa pind (metsamaa pindala säilimine vähemalt praegusel tasemel) kui süsinikusidumist suurendav tegur: metsastamine, raadamise piiramine/kompenseerimine;
- puittoodetes süsiniku sidumine: puittoodete tootmise suurendamine, puittoodete tootmise struktuuri muutmine pikemaajaliste toodete suunas, kohaliku tööstusliku ümarpuidu väärdamine Eestis (sh paberipuu väärdustamine), ümarpuidu import, Eestis varutud puit, puiduenergia kasutus;
- kasvuhoonegaaside heite vähendamine märgaladelt: jääksoode ehk mahajäetud turbatootmisalade korrastamine, aiandusturbast tulenevate heitkoguste vähendamine;
- põllumajanduslikud tegevused mulla süsinikuvaru suurendamiseks ja heitkoguste vähendamiseks: orgaaniliste väetiste kasutamine (sh taimejäänuste mulda jätmine), mitmekesisemad ja pikemad külvikorrad, turvasmuldadel põllu- ja kuivendatud rohumaade metsastamine (sh lühikese raieringiga istandused), loodusliku taimestikuga alade loomine (puittaimestiku ribad ja hekid ning agrometsandus), heitkoguste vähendamine turvasmuldadel paiknevatest haritavatest maadest, happeliste muldade neutraliseerimine (lupjamine);
- asendusefekti hindamine: ülevaade Eesti konteksti sobiva asendusefekti arvutamise võimalikkusest (sh ülevaade teadustekstidest) ja puuduvate või täiendavaid uuringuid vajavate teemade väljatoomine, võimalusel esmaste arvutuste tegemine.

Lisaks hinnatakse:

- kaardistatud meetmete sotsiaalmajanduslikku mõju tegevuste elluviimisel, sh tööhõivet, netotulu ja lisandväärtust. Võrreldakse metsa majandamisega seotud netotulu ja süsinikukaubandusega kaasnevaid potentsiaalseid võimalusi.

1. Ülevaade LULUCFi sektorist

Vastavalt IPCC 2006 (*Intergovernmental Panel on Climate Change* – valitsustevaheline kliimamuutuste nõukogu) meetodikale koostatakse maakasutuse, maakasutuse muutuse ja metsanduse (LULUCF) sektoris igal aastal inimtekkeliste KHG heite ja sidumise hinnanguid kuues maakasutuskategoorias: metsamaa, põllumaa, rohumaa, märgalad, asulad ja muud maad. Maakategooriad jagunevad omakorda maakasutusmuutustega ja -muutusteta aladeks. Ühe maakategooria muutumisel teiseks ei toimu muutus kohe, vaid maakategooria nimeks saab määratud ajaks ehk 20 aastaks vastav alamkategooria. Näiteks ala, mis on olnud rohumaa, kuid on muutunud metsamaaks vähem kui 20 aastat tagasi, saab nimetuse „rohumaaast metsamaaks“ ning määratakse vastavasse alamkategoriasse. Üle 20 aasta toimunud muutuse puhul liigitatakse ala juba metsamaaks jääva metsamaa kategoriasse.

Tabelis 1.1 on esitatud ülevaade LULUCFi maakategooriate muutustest alates baasaastast (1990) kuni 2019. aastani.

Tabel 1.1 Maakasutusmuutuste maatriks 1990.–2019. aastal (NIR 2021)

LULUCF maakategooria	Maakasutusmuutused 1990.aasta algusest, kha						Kokku 2019. aastal
	Metsamaa	Põllumaa	Rohumaa	Märgalad	Asulad	Muu maa	
Metsamaa	2 336,64	38,54	46,47	9,68	7,77	11,05	2 450,14
Põllumaa	1,70	961,22	22,43	0,21	0,00	0,00	985,55
Rohumaa	8,55	46,44	217,05	0,95	1,75	1,24	275,98
Märgalad	3,23	0,00	0,60	418,63	1,45	0,00	423,90
Asulad	15,27	7,85	6,36	0,00	327,12	0,83	357,43
Muu maa	2,88	0,57	0,26	0,12	0,00	37,08	40,91
Kokku 1990. aastal	2 368,27	1 054,62	293,17	429,58	338,08	50,20	4 533,90
Muutus alates 1990-ndast	81,88	-69,07	-17,19	-5,68	19,35	-9,29	
Suhteline muutus (%)	3,5	-6,5	-5,9	-1,3	5,7	-18,5	

Tabeli veergudes on näha, millisteks maakategooriateks on algne maakasutus muutunud. Ridadel on esitatud, millistest maakategooriatest on 2019. aasta maakategooria moodustunud võrreldes 1990. aastaga. SMI hinnangute kohaselt oli metsamaa kategooria pindala 1990. aasta alguses 2 368,27 kha, praeguseks on sellest endiselt metsamaa all 2 336,64 kha ning rohumaa ja asulate kategooriatesse on liikunud enim, vastavalt 8,55 ja 15,27 kha. Metsamaa kategooriasse on juurde tulnud pinda valdavalt rohumaa kategooriast (46,47 kha) ja põllumaa arvelt (38,54 kha). Kokkuvõttes on metsamaa pindala võrreldes 1990. aastaga suurenenud 81,88 kha ehk 3,5% võrra.

Tabel 1.2 annab ülevaate LULUCFi maakategooriate pindaladest perioodil 1990–2019.

Tabel 1.2 LULUCF maakategoriate pindalad perioodil 1990–2019, kha (NIR 2021)

Aasta	LULUCF maakategoriad						
	Metsamaa	Põllumaa	Rohumaa	Märgalad*		Asulad	Muu maa
				majandamata	majandatud		
1989	2 368,27	1 054,62	293,17	401,28	28,30	338,08	50,20
1990	2 370,00	1 054,09	292,62	401,22	28,35	337,64	50,00
1991	2 372,82	1 052,74	291,90	401,16	28,39	337,25	49,65
1992	2 376,72	1 050,68	291,06	401,05	28,39	336,85	49,17
1993	2 381,70	1 047,20	290,69	400,85	28,51	336,42	48,53
1994	2 386,69	1 042,74	291,57	400,54	28,47	336,05	47,85
1995	2 392,06	1 037,26	292,90	400,21	28,43	335,82	47,23
1996	2 397,84	1 031,14	294,57	399,87	28,39	335,41	46,68
1997	2 403,85	1 024,08	297,08	399,59	28,19	335,08	46,05
1998	2 409,55	1 017,59	299,60	399,38	27,82	334,56	45,40
1999	2 415,64	1 011,55	301,42	399,30	27,50	334,05	44,44
2000	2 421,20	1 006,02	303,22	399,16	27,18	333,60	43,53
2001	2 425,51	1 001,61	305,06	398,94	26,74	333,34	42,71
2002	2 429,07	998,19	306,31	398,72	26,50	333,29	41,82
2003	2 432,86	994,77	306,68	398,36	26,32	333,89	41,03
2004	2 436,13	991,65	306,58	397,96	26,25	334,83	40,51
2005	2 439,12	989,09	305,51	397,53	26,39	336,09	40,18
2006	2 441,66	986,70	303,64	397,12	26,81	337,89	40,09
2007	2 443,78	984,77	301,53	396,66	27,21	339,84	40,11
2008	2 445,18	983,35	299,57	396,27	27,68	341,64	40,20
2009	2 446,06	982,56	297,26	395,84	28,33	343,47	40,38
2010	2 446,77	981,78	295,50	395,42	28,86	345,18	40,40
2011	2 447,88	981,17	293,80	395,02	29,25	346,62	40,16
2012	2 449,06	980,58	291,55	394,67	29,63	348,33	40,09
2013	2 450,05	980,56	288,96	394,40	29,96	349,95	40,03
2014	2 450,71	980,96	286,35	394,13	30,18	351,50	40,08
2015	2 451,08	981,90	283,39	393,94	30,32	353,13	40,14
2016	2 451,11	982,92	280,65	393,66	30,50	354,71	40,35
2017	2 450,80	984,16	278,56	393,38	30,71	355,74	40,56
2018	2 450,42	985,17	276,92	393,10	30,90	356,64	40,77
2019	2 450,14	985,55	275,98	392,94	30,96	357,43	40,91

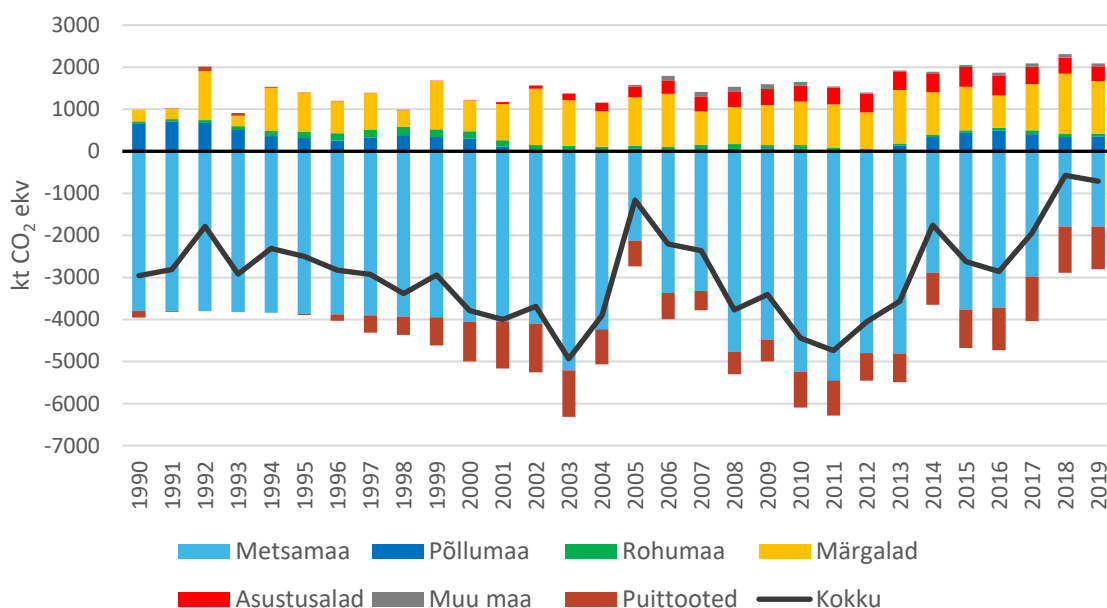
*Märgalade kategoorias arvestatakse KHG heitkogust ainult majandatud märgaladelt. Siia alla kuuluvad näiteks turbatootmisalad, jääksood, paisjärved ja veehoidlad. Majandamata märgaladelt toimuvat KHG sidumist ja heidet NIR raames ei hinnata.

Statistiline metsainventuur (SMI) on statistiline valikuuring, mille käigus mõõdetakse ühtlaselt üle-eestiliselt paigutatud proovitükke. Andmed kogutakse süstemaatilise juhuvaliku alusel paigutatud väikestelt proovitükkidelt. Kokku mõõdetakse aastas ligi 5500 proovitükki, mille tulemused üldistatakse kogu Eestile. Kuna SMI tulemused on statistilised hinnangud, kaasneb sellega ka tõenäosuslikust valikust tulenev viga (usaldusnivoo 95%). Proovitükid on paigutatud kobarate ehk traktidena. Üks trakt on 800 m küljepikkusega ruut, kus proovitükid on paigutatud ruudu külgedele iga 200 m järel. Ühes traktis on 16 proovitükki. Traktid ise jaotuvad alalisteks ja ajutisteks. Alalistel traktidel toimub seire viie-aastaste tsüklitena. Ajutisi trakte külastatakse ühekordselt. Maakategooria ehk kõlviku muutumist ajas vaadeldakse kõikidel proovitükkidel.

Iga LULUCFi maakategooria jaguneb omakorda alamkategoriateks, mille all raporteeritakse aastast süsinikuvaru muutust järgmistes süsiniku talletajates: elus biomass (maapealne ja maa-alune biomass), surnud orgaaniline aine (surnud puit ja varis) ja mullad (mineraal- ja turvasmullad). Hinnang antakse ka puittoodete kohta alamkategoriates: saematerjal, puitplaadid, kemi-termo-mehaaniline puitmass ning paber ja papp. Lisaks süsinikuvarus toimuvate muutustele peetakse arvestust N₂O ja CH₄ voogude üle, mis tulenevad turvasmuldade kuivendamisest, põlengutest ning lämmastiku mineraliseerumisest ja leostumisest muldades. Kuivendamata turvasmuldade KHG sidumist inventuuri raames ei hinnata.

LULUCFi sektori inimtekkeliste kasvuhoonegaaside sidumist ja heidet mõjutavad peamiselt metsade vanuseline struktuur, majandamise praktikad metsamaal (sh raiemaht) ja põllumaal, kuivendatud turvasmuldadest tulenev heide, aiandusturba heitkogused ning süsiniku sidumine puittoodetes.

Joonisel 1.1 on näidatud LULUCFi sektori aastane KHG netoheide alates 1990. aastast kuni 2019. aastani maakasutuskategooriate kaupa. Kui KHG heide on positiivne, siis sektor lisab täiendavat süsinikku atmosfääri. Kui KHG heide on negatiivne, siis sektor tervikuna seob süsinikku.



Joonis 1.1 Kasvuhoonegaaside heide ja sidumine LULUCFi sektoris 1990.–2019. aastal (NIR 2021)

2021. aasta märtsis avaldatud Eesti KHG inventuuriaruande⁴ kohaselt oli LULUCFi sektor ainuke süsiniku siduja ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooni sekretariaadile ja Euroopa Komisjonile raporteeritavatest sektoritest. KHG inventuuri hinnangud on antud alates 1990. aastast kuni üle-eelmise aastani (X-2). 2021. aasta raporti koostamise algul, 2020. aastal, olid värskemad andmed saadaval 2019. aasta kohta. 2019. a netoheide LULUCFi sektoris oli - 715,61 kt CO₂ ekvivalenti (ekv), mis on 75,8% väiksem võrreldes 1990. aastaga (LULUCFi sektori netoheide 1990. aastal oli -2959,74 kt CO₂ ekv) ja 25,0% suurem võrreldes 2018. aastaga (LULUCFi sektori netoheide 2018. aastal oli -572,37 kt CO₂ ekv).

Peamiseks LULUCFi sektori süsiniku sidujaks on metsamaa kogupindalaga 2 450,14 kha. 2019. aastal ületas Eesti metsades puitse biomassi juurdekasv raietest, surnud puidu kõdunemisest, mullahingamisest, turvasmuldade kuivendamisest ja põlengutest tulenevad KHG heited. Seetõttu oli metsamaa kategooria 2019. aasta netoheide -1793,11 kt CO₂ ekv. Viimastel aastatel ei ole metsa tagavara enam kasvanud, seda eelkõige majandamise ja metsade vanuselise struktuuri tõttu (ligikaudu 39% metsadest on üle 60 aasta vanad). Ka metsamaa pindala kasv on viimastel aastatel lakanud.

Põllumaa kategooria hõlmab põllumaid, püsiluultuure, pikaajalisi kultuurrohumaid ning põllumajanduslikust kasutusest kõrvale jäänud maid, millel on veel säilinud haritava maa tunnused. 2019. aastal oli nende alade pindala kokku 985,55 kha ning kategooria summaarne KHG heide 354,89 kt CO₂ ekv. Põllumaa kategooria mineraalmullad on olnud pärast Nõukogude Liidu lagunemist süsiniku sidujad, sest suur osa maid jäi aktiivsest kasutusest välja. Lisaks on muutunud ka maaharimise viisid – traditsioonilise mullaharimise asemel rakendatakse nüüd enam pindmist harimist ja otsekülvi. Samas turvasmuldadest tulenevate kõrgete CO₂ heitkoguste tõttu on kategooria olnud alates 1990. aastast valdavalt KHG heiteallikas.

Rohumaa kategooria pindala oli 2019. aastal 275,98 kha. Siia kategooriasse kuuluvad peamiselt looduslikud ja pool-looduslikud rohumaad ning põõsastikud. Kokku oli rohumaa kategooria heitkogus 2019. aastal 67,50 kt CO₂ ekv. Kõige suurem KHG heide tuleb selles kategoorias turvasmuldade kuivendamisest. Mineraalmuldades seevastu toimub maakasutusmuutuste tõttu CO₂ sidumine.

Märgalad katavad 423,90 kha Eesti pindalast. See on ainus maakasutuskategooria Eesti KHG inventuuris, mis jagatakse majandatavateks ja mittemajandatavateks aladeks. Looduslikel märgaladel toimuvat KHG sidumist ja heidet inventuuri raames ei hinnata. Seepärast ei saa ka LULUCFi sektori aruandlust käsitleda ka kui kogu Eesti maakasutuse KHG bilanssi. Valdavalt raporteeritakse turbakaevandusaladelt (21,47 kha) tulenevat heidet ja aiandusturba kasutamisega seotud heitkoguseid. Kütteturba heidet arvestatakse energeetikasektori aruandluses. Summaarne KHG heitkogus selles kategoorias oli 2019. aastal 1244,87 kt CO₂ ekv.

Asulate kategooria hõlmab peamiselt tihehoonestusala koos teede, tänavate, väljakute, trasside ja parkidega. Siia kategooriasse arvatakse ka tööstus- ja tootmismaad, karjäärid (v.a freesturbaväljad) ning spordirajatised ja lennuväljad. Kokku oli asulate kategooria all 2019. aastal 357,43 kha maad ning KHG heitkogus kategooriast oli 355,27 kt CO₂ ekv.

⁴ Eesti esitab ÜROle ja Euroopa Komisjonile iga-aastaselt riikliku inimtekkeliste kasvuhoonegaaside inventuuriaruande. 2021. aastal esitatud inventuuriaruanne hõlmab perioodi 1990–2019. <https://unfccc.int/documents/273444>

Muu maa kategooriasse arvestati 40,91 kha maad. Siia kuuluvad kõik alad, mis ei ole paigutatud ülalmainitud kategooriate alla, näiteks kasutuskõlbmatu mineraalmaad. Vastavalt IPCC metoodikale on antud kategoorias kohustuslik raporteerida ainult maakasutusmuutustest tingitud KHG heidet. Muu maa KHG heitkogus oli 2019. aastal 64,34 kt CO₂ ekv.

Puittoodete kategooria netoheide oli 2019. aastal -1014,68 kt CO₂. Heitkoguse arvestamisel arvutatakse nii talletatava süsiniku kogus kui ka lagunemisel eralduv süsiniku kogus. Kõige suurema osakaaluga selles reservuaaris olid saematerjal ja puitplaadid. Paberi ja papi ning kemi-termo-mehaanilise puitmassi kategooriate osakaal ja mõju süsinikuringlusele on lühiajaline ja väike, seda eelkõige lühikese poollaguaja (s.o aeg millal toode kaotab poole oma süsiniku kogusest) tõttu.

Kui maakasutusmuutuste või metsa- ja rohumaa majandamise tõttu väheneb süsinikuvaru mineraalmullas, siis toob see kaasa mulla orgaanilises aines oleva lämmastiku mineraliseerumise ja N₂O heite. Otsene N₂O heitkogus lämmastiku mineraliseerumisest oli 2019. aastal 23,55 kt CO₂ ekv, mis on juba maakasutuskategooriate netoheite hulka arvestatud. LULUCFi sektori koguheitele lisandub veel kaudne N₂O heide mineraliseerunud lämmastiku leostumisest, mis 2019. aastal oli hinnanguliselt 5,30 kt CO₂ ekv.

Põlengutest tulenevate kasvuhoonegaaside (CH₄ ja N₂O) heidet hinnatakse metsamaal, rohumaal ja märgaladel. Märgalade põlengute heitkogused on marginaalsed ning raporteeritakse rohumaa kategooria all. 2019. aastal toimusid põlengud 45,42 hektaril.

1.1 Kliimapoliitika ja LULUCF

2021. aasta on kliimapoliitikas muutuste aasta. Üha enam on hakatud EL tasemel tähelepanu pöörama Euroopa rohelise kokkuleppe eesmärkidele. 2020. aasta detsembris leppisid EL liikmesriikide esindajad kokku suurendada EL ambitsioone ja vähendada 2030. aastaks KHG heitkoguseid 1990. aasta tasemega võrreldes vähemalt 55% võrra varasema 40% asemel, et üleminek kliimaneutraalsusele oleks sujuvam. Selle aasta aprillis jõudsid Euroopa Liidu nõukogu, Euroopa Parlament ning Euroopa Komisjon kokkuleppele kliimaseaduse esialgses sisus. Kliimaseadusega kinnitati vahe-eesmärk 2030. aastaks, milleks sai heitkoguste vähendamine vähemalt 55% võrra ja kliimaneutraalsus 2050. aastaks. Kliimaseadus kohustab liikmesriike võetud kliimaeesmärke täitma ning annab Euroopa Komisjonile võimaluse astuda õiguslikke samme liikmesriikide suhtes, kes neid ei täida. Ka loob kliimaseadus raamistikku, mis kindlustab, et teised EL regulatsioonid on kooskõlas 2050. aasta kliimaneutraalsuse eesmärgiga. Kliimaeesmärgi tõstmine 2030. aastale tähendab seda, et Euroopa Komisjon vaatas 2021. aasta juuliks läbi kõik asjakohased poliitikavahendid täiendava heite vähendamise eesmärgi saavutamiseks ning tegi ettepanekud nende muutmiseks (tuntud kui pakett „Fit for 55“⁵). LULUCFi sektorile seati täiendavad heitkoguste vähendamise ning süsiniku sidumise suurendamise eesmärgid.

2018. aasta juunis jõustus LULUCFi määrus (EL) 2018/841⁶, mis seab siduvad kohustused LULUCFi sektorile KHG heitkoguste sidumise ja vähendamise osas perioodiks 2021–2030. Määrusega võeti maakasutusest, selle muutusest ja metsandusest tulenevate kasvuhoonegaaside heitkogused ja sidumine 2030. aasta kliima- ja energiapoliitika raamistikku. Määrus tagab

⁵ https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/revision-regulation-ghg-land-use-forestry_with-annex_en.pdf

⁶ Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus (EL) 2018/841. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0841&qid=1628667905192&from=EN>

poliitilise kokkuleppe, et maakasutussektor koos teiste sektoritega aitab saavutada Euroopa Liidul 2030. aastaks seatud KHG-de heitkoguste vähendamise eesmärgi ja ellu viia ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooni alusel sõlmitud Pariisi kokkuleppega võetud liidu kohustusi. Määruse kohaselt peavad LULUCFi sektori heitkogused olema kompenseeritud vähemalt samaväärse süsiniku sidumisega sama sektori poolt ehk KHG heide kohustusperioodi jooksul ei tohi ületada arvestuskategooriate summana sidumist (nn *no-debit rule*).

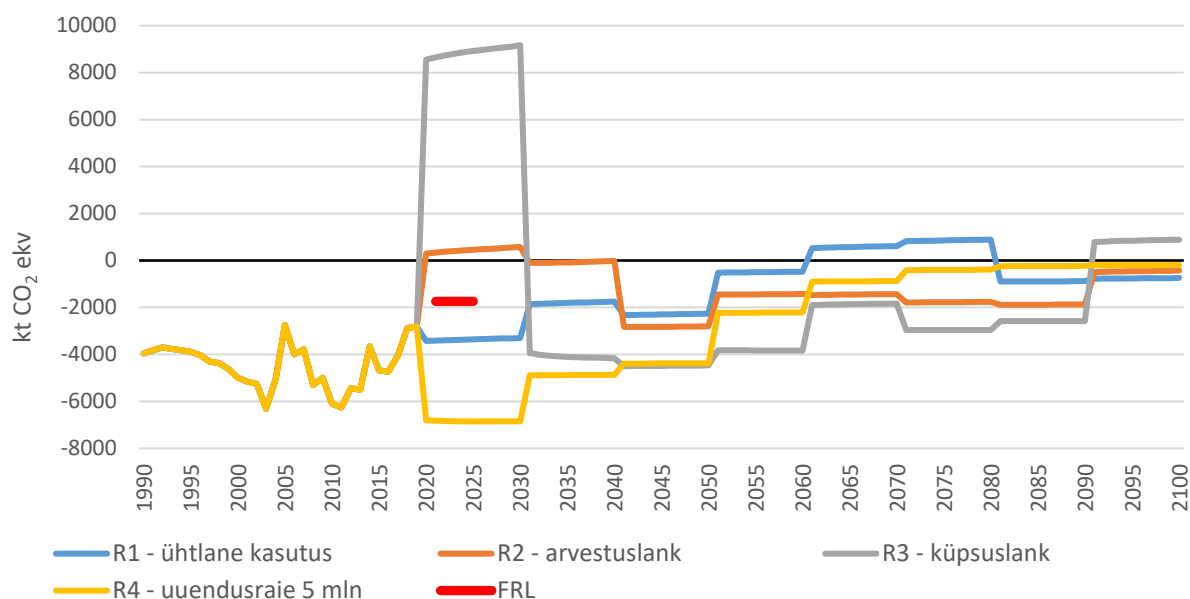
1.2 LULUCFi määrusest tulenevad arvestusreeglid

LULUCFi määrusest tulenevalt koostasid EL liikmesriigid riikliku metsanduse arvestuskava (*National Forestry Accounting Plan*, lühend: NFAP)⁷, mille peamine ülesanne oli määrata liikmesriigi jaoks metsa heitkoguse võrdlustase (*Forest Reference Level*, lühend: FRL). FRL põhineb ajavahemikul 2000–2009 dokumenteeritud säästva metsamajandamise tava jätkumisel, võttes arvesse metsade vanusega seotud dünaamilisi karakteristikuid ning kasutades parimaid kättesaadavaid andmeid. Metsade võrdlustase on vajalik selleks, et hinnata KHG heidet ja sidumist majandatava metsamaa kategoorias. KHG inventuuri LULUCFi sektori maakategooriad erinevad LULUCFi määrusega paika pandud maakategooriatest. Majandatavaks metsamaaks (*managed forest land*) loetakse ainult neid alasid, mis on metsamaaks jääva metsamaa (*forest land remaining forest land*) all ehk ala, mis on olnud metsamaa üle 20 aasta.

Riikliku metsanduse arvestuskava ja Euroopa Komisjoni delegeeritud akti⁸ kohaselt on aastateks 2021–2025 Eesti metsade võrdlustasemeks koos puittoodetega -1,75 mln t CO₂ ekv aastas ja ilma puittoodeteta -1,33 mln t CO₂ ekv aastas (vt joonis 1.2). Kui võrdlustase on ületatud, saab liikmesriik kasutada vaid 3,5% 1990. aasta CO₂ ekv netosidumisest (1990. aastal seoti metsa ja raietoodetesse kokku 3,8 miljonit tonni CO₂ ekv). Kõnealust piirangut ei kohaldata netosidumise suhtes, mis tuleneb majandatava metsamaa arvestuskategoorias surnud puidu ja puittoodete süsiniku sidumisest (välja arvatud artikli 9 lõike 1 punktis a osutatud kategooria „paber“). Juhul kui määruse kehtivusperioodi jooksul seotakse majandataval metsamaal süsinikku vähem kui võrdlustase (FRL) ette näeb, saab puuduoleva osa kompenseerida majandatava metsamaa paindlikkusmeetme abil (2021.–2030. aastal kokku 9,8 mln t CO₂ ekv). Kui aga nimetatud paindlikkusmeetmed pole piisavad, saab kogu LULUCFi sektori peale kokku kasutada veel ka üldisi paindlikkusmeetmeid (LULUCFi määruse artikkel 12), mis võib tähendada kauplemisühikute ostmist, mille hinda on raske prognoosida.

⁷ <https://envir.ee/vesi-mets-maavarad/metsandus/lulucf>

⁸ https://ec.europa.eu/clima/sites/default/files/forests/docs/c_2020_7316_annex_en.pdf



Joonis 1.2 Erinevate raiestsenaariumite (vt ptk 2.2) võrdlus metsamaa heitkoguse võrdlustasemega (nii raiestsenaariumid kui FRL koos puittoodetega)

Joonisel 1.2 toodud raiestsenaariumid ei ole üheselt võrreldavad kuna raiestsenaariumite ja FRLi arvutus pole päris samadel alustel. Sisuline erinevus on siiski minimaalne ning joonisel esitatu on hinnangu andmiseks piisav.

Arvestust peetakse veel eraldi metsastatud maa (*afforested land*), raadatud maa (*deforested land*), majandatava põllumaa (*managed cropland*), majandatava rohumaa (*managed grassland*), majandatava märgala (*managed wetlands*) ja raietoodete kategoorias (*harvested wood products*). Metsastatud ja raadatud maa puhul arvestatakse nende koguheidet ja -sidumist, kajastades ajavahemikke 2021–2025 ja 2026–2030. Majandatava põllumaa, majandatava rohumaa ja majandatava märgala puhul arvestab liikmesriik neist tuleneva heite ja selle sidumise, lahutades ajavahemike 2021–2025 (v.a märgala) ja 2026–2030 heitest ja sidumisest väärtuse, mis on saadud, korrutades viiega vastavast kategooriast tuleneva keskmise aastase heite ja selle sidumise baasajavahemikul 2005–2009⁹. Majandatava märgalade arvestus muutub kohustuslikuks alates 2026. aastast. Puittoodete kategoorias arvestatakse heidet, mis tuleneb seotud süsiniku muudust. Arvestust peetakse saematerjali, paberi ja papi ning puitplaatide kategoorias.

Jagatud kohustuse määru¹⁰ (JKM, inglise keeles *Effort Sharing Regulation*, ESR) on loodud võimalus kasutada kauplemisühikuid LULUCFi sektori KHG heite kohustuste täitmiseks. Juhul kui näiteks Eestil tekiks JKM sektorite heite tõhusal vähendamisel ühikute ülejääk, siis oleks võimalus vajadusel kompenseerida LULUCFi sektori kliimakoostuste täitmist perioodil 2021–2030. JKMs on loodud täiendav võimalus ka vastupidiseks, st kasutada LULUCFi ühikuid JKM kohustuste täitmise ulatuses, mis on sõltuvuses liikmesriigi põllumajandusest pärineva KHG heitkogusega (Eestil 900 kt CO₂ ekv ulatuses kogu perioodi jooksul). Kui riik suudab tagada LULUCFi sektori ehk oma metsade ja maakasutuse majandamisel arvestusliku

⁹ Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus (EL) 2018/841. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0841&qid=1621257139915&from=EN>

¹⁰ Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus (EL) 2018/842. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0842&from=EN>

süsiniku sidumise kasvu, siis on riigil selle võrra vähem tarvis heidet vähendada JKM sektorites. Kuna hetkel on JKM Euroopa Liidu tasemel üle vaatamisel, siis on raske prognoosida, kas kirjeldatud paindlikkus on Eestile oluliseks abiks 2021.–2030. aastaks seatud kohustuste täitmisel.

1.3 Heitkoguste vähendamise ja sidumisvõimekuse suurendamise meetmed LULUCF sektoris

Eesti kliimapoliitika eesmärkide kirjeldamiseks on koostatud raamdokument „Kliimapoliitika põhialused aastani 2050“ (KPP 2050)¹¹, mis kiideti Riigikogus heaks 2017. aastal. Dokumentis lepatakse esimest korda kokku Eesti kliimapoliitika pikaajalises visioonis ja teekonnas selle poole liikumisel. Vabariigi Valitsus kinnitas 19. detsembril 2019 „Eesti riikliku energia- ja kliimakava aastani 2030“ (REKK 2030)¹², mis koondab Eesti energia- ja kliimapoliitika eesmärgid ning nende täitmiseks välja töötatud 71 meetet (sh ka LULUCFi sektori 8 meetet)¹³.

LULUCFi uuringu meetmete valikul said määravaks KPP 2050 dokumendis esitatud metsanduse ja maakasutuse poliitikasuunised kliimamuutuste leevendamiseks.

METSANDUS JA MAAKASUTUS¹¹

25. *Metsade juurdekasvu ja süsiniku sidumise võimet suurendatakse tootliku ja kestliku metsamajandamisega ning pikas perspektiivis säilitatakse metsade süsinikuvaru. Majandatava metsamaa tootlikkust suurendatakse peamiselt hooldusraie, puistute õigeaegse raie ja metsa kiire uuendamisega kasvukohatüübile sobilike puuliikidega. Majandatavates metsades rakendatakse paindlikke ja puistute kasvupotentsiaalset sõltuvaid raievanuseid, arvestatakse säästva metsanduse põhimõtetega ja hoolitsetakse elurikkuse säilimise eest.*

26. *Järjepidevalt edendatakse puidukasutust ning suurendatakse süsinikuvaru raietoodetes ja ehitistes, asendades sel viisil taastumatute loodusressursside kasutamist. Arendatakse kodumaise puidu kasutust ja tootmist, näiteks suurendatakse puidu kasutust ehituses.*

27. *Soodustatakse senise metsamaa pindala säilimist ning teistes maakasutuskategooriates eelistatakse süsiniku sidumise suurendamise ja heite vähendamise võtteid. Jälgitakse ja planeerimisel arvestatakse maakasutuse sektori trende.*

28. *Säilitatakse või suurendatakse soolade turbas seotud süsinikuvaru. Välditakse soode edasist kuivendamist ning juba kuivendatud turbaaladel taastatakse võimaluse korral looduslähedane veerežiim või välditakse alade edasist degradeerumist.*

29. *Metsanduse ja maakasutuse sektoris eelistatakse teadus-, arendus- ja innovatsioonisuundi, mis aitavad suurendada süsiniku sidumist ning leida alternatiivseid puidukasutusviise.*

LULUCFi sektori KHG netoheidet mõjutavaid meetmeid on varasemalt käsitletud mitmetes uuringutes:

- Tartu Ülikooli, Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskuse (SEI Tallinn) ja Eestimaa Looduse Fondi (ELF) uuring 2013. aastast „Eesti võimalused liikumaks konkurentsivõimelise madala süsinikuga majanduse suunas aastaks 2050“¹⁴ sisaldas kõigi KHG arvestuse sektorite sh LULUCFi sektori maakasutuskategooriate meetmeid ja nende alternatiivseid stsenaariume (BAU, LOW CO₂, HIGH CO₂);

¹¹ Kliimapoliitika põhialused aastani 2050 (RT III, 07.04.2017, 1). <https://www.riigiteataja.ee/akt/307042017001#>

¹² <https://www.mkm.ee/et/eesmargid-tegevused/energeetika/eesti-riiklik-energia-ja-kliimakava-aastani-2030>

¹³ https://www.mkm.ee/sites/default/files/lisa_iv_meetmete_kirjeldused.xlsx

¹⁴ http://media.voog.com/0000/0037/1265/files/Loppraport_madal_c.pdf

- Eesti Keskkonnauuringute Keskuse ja sotsiaalmajanduslike mõjude osas Eesti Arengufondi, Civitta Eesti AS ja Finantsmaailm OÜ 2016. aasta uuring „Kliimapoliitika põhialused aastani 2050. Kasvuhoonegaaside ja välisõhu saasteainete heite ja sotsiaalmajanduslike mõjude hindamise analüüs“ ja selle LULUCFi sektorit käsitlev aruanne „Metsanduse, maakasutuse ja selle muutuste valdkonna mõjude hindamine“¹⁵ käsitlesid kõigi KHG arvestuse sektorite, sh LULUCFi sektori, maakasutuskategooriate meetmeid ja nende alternatiivseid stsenaariume põhirõhuga sotsiaalmajanduslike mõjude hindamisele;
- OÜ Finantsmaailm 2018. aasta uuring „Kulutõhusaimate meetmete leidmiseks kliimapoliitika ja jagatud kohustuse määruse eesmärkide saavutamiseks Eestis“¹⁶ käsitles JKM sektorites KHG vähendamisega seotud meetmete kulutõhusust (sh mõned põllumajanduse maakasutusega seotud meetmed);
- SEI Tallinn 2019. aasta uuring „Eesti kliimaambitsiooni tõstmise võimaluste analüüs“¹⁷ hindas inimtekkeliste KHG vähendamise olulisemaid meetmeid kliimaneutraalsuseni jõudmiseks Eestis 2050. aastaks. LULUCFi sektori osas käsitleti meetmetena rohumaade metsastamist ja turvasmuldadel haritavate maade viimist rohumaaks ning kirjeldati raiemahtude optimeerimist.

Käesoleva uuringu puhul seati eesmärgiks LULUCFi sektori KHG sidumist suurendavate või heidet vähendavate meetmete põhjalikum kirjeldamine (eelkõige heitkoguste ja KHG inventuuri arvestuse seisukohalt) tuginedes värskematele andmetele. Sotsiaalmajanduslike mõjude hindamisel vaadeldi lisaks lisandväärtuse ja tööjõu hinnangutele ka kaasnevaid kulusid/tulusid ja kulutõhusust.

Meetmete puhul kirjeldatakse mitut võimalikku teostatavat alternatiivi (stsenaariumit) ja prognoositakse nende mõju süsiniku netoheitele kuni 2100. aastani. Lisaks vaadeldakse meetmete mõju kuni 2050. aastani ka tulususe aspektist lähtuvalt. Stsenaariumite põhjal koostati näitena üks võimalike täiendavate meetmete komplekt ehk täiendavate meetmete stsenaarium. Meetmete valikul hinnati nende sobivust ja teostatavust Eesti tingimustes, võimaliku mõju suurust (olulisust), vastavate algandmete või oskusteabe olemasolu, meetme mõju arvestamise võimalust LULUCFi aruandluses. Ebapiisava andmestiku või teabe olemasolul on toodud välja täiendavad uuringuvajadused.

Meetmed grupeeriti LULUCFi kategooriate alusel peatükkidesse. Kuna LULUCFi aruandluses on kohustus raporteerida asulate ja muu maa kategooriates ainult maakasutusmuutustest tekkivaid heitkoguseid (näiteks metsamaa muutumisel asulaks), siis neid kategooriaid eraldi peatükkidena uuringus ei käsitleta. Nende kategooriate mõju avaldub peamiselt läbi raadamise.

¹⁵ Keskkonnaministeerium (2015). Kliimapoliitika põhialused aastani 2050. Metsanduse, maakasutuse ja selle muutuste valdkonna mõjude hindamine. Tallinn

¹⁶ <https://envir.ee/media/1410/download>

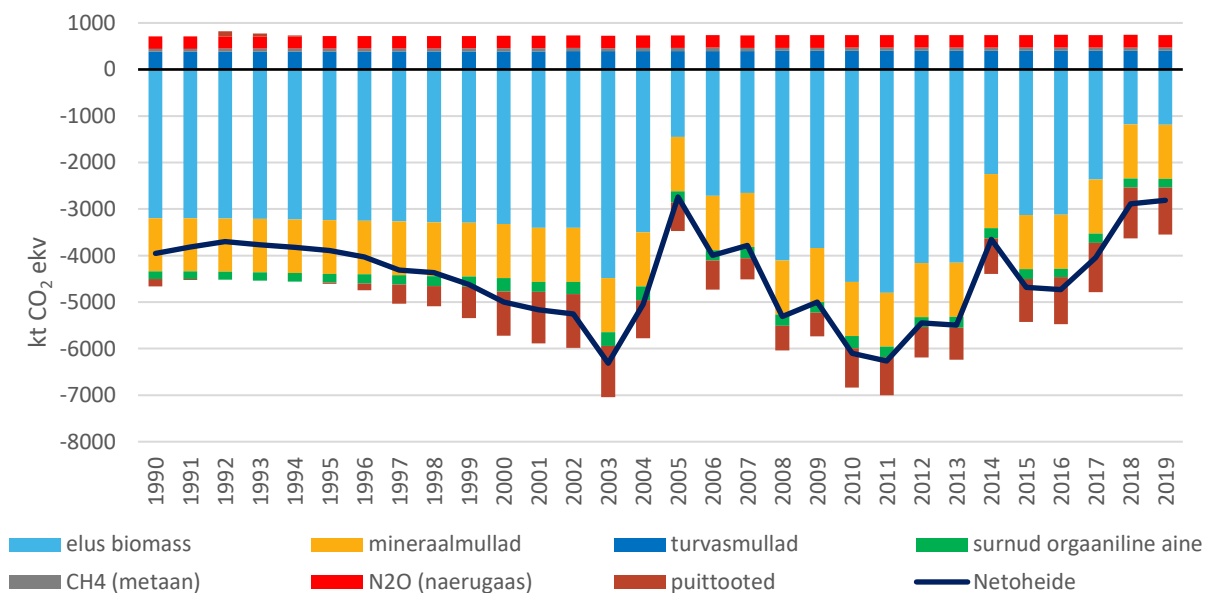
¹⁷ <https://www.sei.org/publications/eesti-kliimaambitsiooni-tostmise-voimaluste-analuus/>

2. Metsamaa

Metsamaa netoheite suurimateks mõjutajateks on metsa vanuseline struktuur ja metsamajanduslik tegevus, eelkõige raied. Sealjuures mõjutavad raied vanuselist struktuuri ja samal ajal ka sõltuvad sellest (raieküpsete metsade olem). Teiste inimtekkeliste ja looduslike häiringute mõju metsavarude olemile ja dünaamikale on jäänud võrreldes raietega tagasihoidlikuks või ebaregulaarseks. Majandataval metsamaal järgneb häiringule enamasti ka surnud ja surevate puude raie sanitaar- või mõne teise sobiva raie käigus. Raietest on süsiniku sidumisele ja varule suurim mõju uuendusraietel.

2.1 Metsamaa netoheite arvestuse alused

Kõikide LULUCFi maakategooriate mineraal- ja turvasmuldade pindalad ning biomassi ja surnud puidu tagavara hinnangud on pärit statistilisest metsainventuurist (SMI). Arvutustes on kasutatud biomassi teisendus- ja laiendustegureid (BCEFs – *biomass conversion and expansion factor for expansion of merchantable growing stock volume to above-ground biomass*), mille abil leitakse tüvepuidu mahust maapealne biomass. BCEFs väärtused sõltuvad hektaritagavarast (klassid jaotatakse 0, 1–20, 21–50, 51–100 ja üle 100 m³/ha) ja enamuspuuliigist (mänd, kuusk ja lehtpuud)¹⁸. Kogu metsa biomass on arvutatud maa-aluse ja maapealse biomassi suhtarvude abil (*R – ratio of below-ground biomass to above-ground biomass*). Süsiniku osakaaluks biomassis (kuivaines) on arvestatud 0,47 t C kuivaines (IPCC, 2006). Surnud puidu biomassi arvutustes on tuginetud keskmise puidu tiheduse ja süsiniku sisalduse väärtustele, mis põhinevad Eesti teadustööl.¹⁹ Muldade netoheite hinnangutes kasutatakse Rootsi heitetegureid ja Eesti teadlaste uuringuid ning eksperthinnanguid.



Joonis 2.1 Metsamaa ja puittoodete kategooria KHG heitkogused 1990.–2019. aastal (NIR 2021)

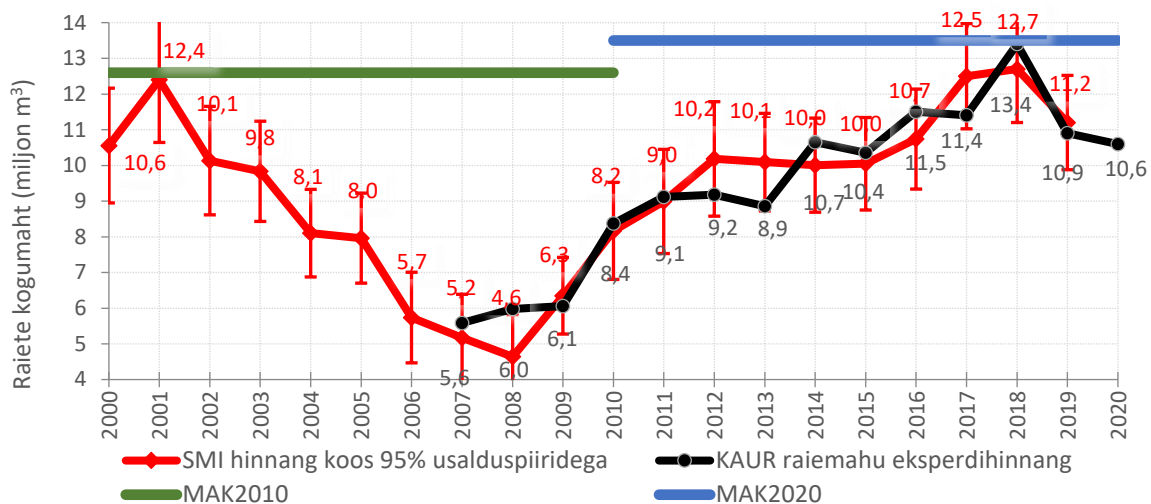
¹⁸ Eesti riigipõhised BCEFs väärtused põhinevad Eesti Maaülikooli teadustööl „Eesti puistute biomassi mudelite väljatöötamine“, mille käigus mõõdeti ja analüüsiti 165 männi, 127 kuuse ja 117 kase mudelpuud.

¹⁹ Köster, K., Metslaid, M., Engelhart, J., Köster E. (2015). Dead wood basic density, and concentration of carbon and nitrogen for main tree species in managed hemiboreal forests. *Forest Ecology and Management*, 354, 35–42.

2.2 Raiestsenaariumid

2.2.1 Ülevaade raietest

Metsaraied on olnud Eestis suurimad inimtekkeliste kasvuhoonegaaside netoheite mõjutajad LULUCFi sektoris. Raiete tagajärjel väheneb metsavaru (biomassi seotud süsinik) ning ajutiselt ka süsiniku sidumise võime. Erinevatel raieliikidel on süsinikubilansile erinev mõju. Noorendike hooldamise ja valgustusraiega kujundatakse noore metsa liigilist koosseisu ja algset tihedust, mis pikemas perspektiivis on sidumisvõimele ja varu kujunemisele määrava tähtsusega (vt ptk 2.4). Harvendusraietel reguleeritakse keskealistes puistutes tulevikupuude kasvuruumi ning varutakse allajäänud, surevate ja surnud puude puitu. Harvendusraie vähendab ajutiselt sidumist, kuid ei vähenda metsa üldtagavara (süsinikuaru) küpsesse ikka jõudmisel, kuna kasvama jäänud puude kasv kiireneb. Samas tagab harvendusraie tarbesortimentide suurema väljatuleku ja tulu uuendusraietel (vt ptk 2.4.2). Uuendusraietel raiutakse küps puistu ühe (lageraie) või mitme raiejärguga (turberaied), mille tagajärjel lagedaks raiutud ala muutub kuni uue metsapõlve aktiivsesse kasvuikka jõudmiseni emiteerijaks. Noore metsa kiire sidumine kompenseerib vahepealse perioodi heitkogused. Näiteks Uri jt²⁰ leidsid, et juba 7 aastat peale lageraie oli männi- ja kasenoorendike süsinikubilanss positiivne. Uuendusraietega varutud puit leiab kasutust energeetikas ja puittoodetes (vt ptk 3), milles talletub lühemaks või pikemaks ajaks puitu seotud süsinik. Sanitaarraiate käigus raiutakse kahjustatud, surevad ja surnud puud. Sanitaarraie olulisem mõju on haiguste ja kahjurite leviku piiramisel, mis aitab säilitada piirnevate metsade sidumisvõimet ja tervist.



Joonis 2.2 Raiemahud ja metsanduse arengukavade hinnatud jätkusuutliku raiemahu tase 2000.–2020. aastal

Metsamajandusel on Eestis sajandite pikkused traditsioonid, kuid kõiki Eesti metsi haaravast terviklikust metsamajandusest saab rääkida 20. sajandi keskpaigast. Metsamaa pindala on sellest ajast alates kasvanud 0,9 miljoni ha võrra. Sajandi keskel metsastatud aladel kasvama hakanud ning metsamaal uuenenud või kultiveeritud puistud on jõudnud raieküpsesse ikka viimastel kümnenditel. Raieküpsete puistute suur osakaal, puidu mehaanilise töötlemise võimekuse kiire kasv ning omandireformi venimine löid eelduse raiemahu tõusuks ajalooliselt

²⁰ Uri jt (2018). RMK teadusprojekti „Raiete mõju metsade süsinikuringele“ lõpparuanne.

<https://media.rmk.ee/files/Raiete%20m%C3%B5ju%20s%C3%BCsinikuringele%20L%C3%95PPARUANNE%20t%C3%A4iend%20ja%20parand.pdf>

kõrgele tasemele saajandivahetusel. Kui saajandi esimese kümnendi keskpaigaks langes raimaht üle kahe korra, siis järgnev ühtlane raiemahu kasv jätkus 2018. aastani. Kiirelt arenenud puidutöötlemissektor on taganud toormenõudluse ka kehvema turusituatsiooniga aastatel – alates 2012. aastast ei ole raiete kogumaht langenud alla 10 miljoni m³ taseme (vt joonis 2.2).

Raietest on süsiniku sidumisele ja varule suurima mõjuga uuendusraied. Üle 80% raiete kogumahust on viimastel aastatel varutud uuendusraietega, millest suurema osa moodustavad lageraied. Ülejäänud raieliikide maht kokku jääb alla 20% raiete kogumahust. Seetõttu keskendub ka raiestsenaariumite koostamine eelkõige uuendusraiate prognoosimisele. Metsanduse arengukavad on käsitlenud jätkusuutliku raiemahu piirmäära, mille leidmise aluseks on olnud raiestsenaariumid. Eesti metsanduse arengukava aastani 2010 kirjeldas kümnendi optimaalse raiemahuna 12,6 miljonit m³ aastas²¹. Eesti metsanduse arengukava aastani 2020 alusel on *jätkusuutliku metsamajanduse peamiseks kriteeriumiks pikas perspektiivis metsaressurssi võimalikult ühtlane kasutamine juurdekasvu ulatuses. Eestis on pikaajaliselt jätkusuutlikuks eesmärgiks kasutada 12–15 miljonit m³ metsamaterjali aastas.*²²

Raievõimalusi piiravad eelkõige metsaseaduses ja metsa majandamise eeskirjas ning looduskaitseaduses sätestatud piirangud. Metsaseadus ja selle alamaktid reguleerivad raie võimalusi näiteks puistu vanuse, rinnaläbimõõdu, liigilise koosseisu, täiuse ja raiutava ala suuruse alusel. Erinevad loodus- ja keskkonnakaitseaspektid seavad täiendavaid piiranguid metsa majandamise võimalikkusele kasutatavate raieviiside ning aja osas. Metsi ei majandata puidu saamise eesmärgil range kaitse all olevates metsades, mille pindala on oluliselt suurenenud. 2001. aastal oli range kaitse all 144 kha ehk 6,4% metsamaa kogupindalast²³, 2019. aastal olid vastavad näitajad²⁴ 329 kha (14,1%). Metsade majandamist piiras 90ndatel ja saajandi esimesel kümnendil ka nn reformimata metsamaa suur osakaal. Kui 2000. aastal oli aktiivsest majandamisest väljas 41% metsamaa kogupindalast, siis 2010. aastal oli see langenud 19%ni. 2019. aastaks on omandireform jõudnud lõpusirgele, metsaomand on määratlemata vähem kui 1% metsamaa kogupindalast (13 400 ha).

Välistest faktoritest on olulisemad puidu nõudlus ning hind Eestis ja välismaal (nt erinevate sortimentide hinnatase, uute puidutöötlemisvõimsuste teke), varumisvõimalused (nt talvine ilm) ja omaniku motiveeritus metsi majandada. Riigimetsa majandamisel on piiravaks Keskkonnaministri määrusega igal aastal kehtestatav uuendusraiate arvestuslank. Teiste omanike metsades on sageli määravaks omaniku huvi ja võimalused. Eestis oli 2019. aastal ligikaudu 104 311 erametsaomanikku, kellest 93 271 olid füüsilised ja 5918 juriidilised isikud. Füüsiliste isikute seas on palju väikese metsaomandi valdajaid (keskmine metsamaa pindala 6,6 ha), juriidiliste isikute metsaomand oli tunduvalt suurem (keskmine 78,7 ha). Võrreldes 2010. aastaga on füüsilisest isikute erametsaomanike metsamaa kogupindala vähenenud 2019. aastaks 747 827 hektarilt 649 270 hektarile, juriidiliste isikute metsamaa pindala on samal ajal kasvanud 262 960 hektarilt 465 426 hektarile.²⁵ Juriidiliste isikute metsa majandamise intensiivsus on tunduvalt kõrgem kui füüsilistel isikutel (vt joonis 2.3).

²¹ <https://keskkonnaagentuur.ee/media/907/download>

²² https://old.envir.ee/sites/default/files/elfinder/article_files/mak2020vastuvoetud.pdf

²³ Aastaraamat „Mets 2002“, lk 109, Metsakaitse- ja Metsauuenduskeskus.

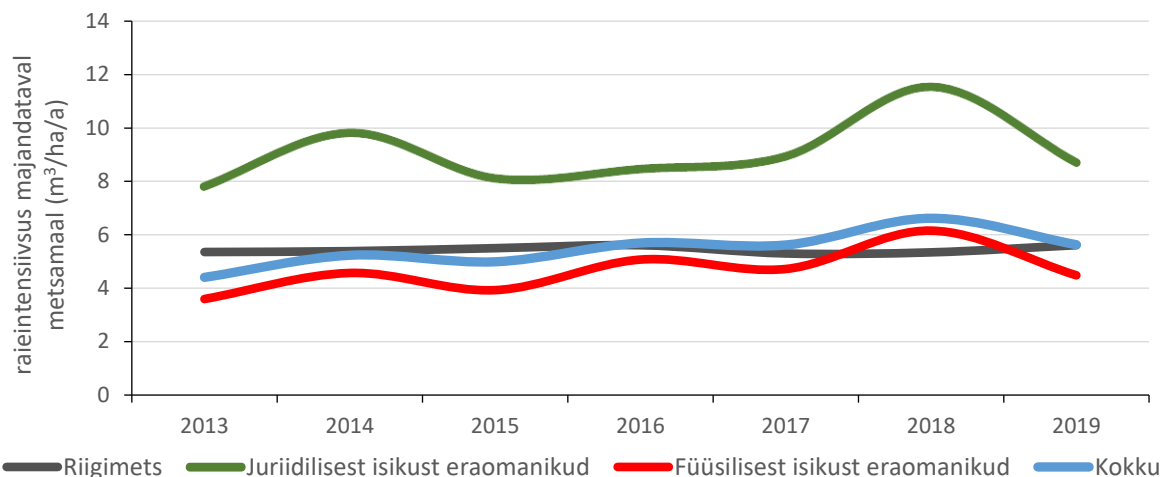
<https://keskkonnaagentuur.ee/keskkonnaagentuuri-tegevusvaldkonnad/mets/valjaanded-ulevaated>

²⁴ Aastaraamat „Mets 2019“, ptk 9. „Keskkond“.

<https://keskkonnaagentuur.ee/keskkonnaagentuuri-tegevusvaldkonnad/mets/valjaanded-ulevaated>

²⁵ OÜ ForInfo uuring „Eesti erametsaomandi struktuur ja kasutamine 2019. aastal“.

<https://www.envir.ee/sites/default/files/emo2019.pdf>



Joonis 2.3 Raiete intensiivsus (aastane raieimaht kogu majandatava metsamaa kohta) omandivormide lõikes 2013.–2019. aastal

2.2.2 Raiestsenaariumite arvutamise meetoodika

Viimastel kümnenditel on raiete, metsavarude ja süsiniku sidumise/varu prognoosimisel kasutusel nn arvestuslanki meetoodika, seda nii metsanduse arengukavade²⁶, teiste riiklike strateegiliste dokumentide²⁷ ja ülevaateuuringute²⁸ koostamisel. Välja on kujunenud 3 enamasti käsitletavat stsenaariumi: ühtlase kasutuse lank, arvestuslank ja küpsuslank. Lisaks on arvutatud uuringute eripäradest tulenevaid teisi raiestsenaariume: metsa tagavara jääb samale tasemele, vähenev raie või raieid ei teostata. Ehkki raiestsenaariumite põhimõtted ja arvutusreeglid on enamasti sarnased, siis tulemused saadakse mõnevõrra erinevalt kasutatavatest algandmetest, arvutustesse kaasatud majandatava metsamaa pindalast (metsakategooriad), kasutatavatest küpsusvanuse arvutamise reeglitest, eeldatavast metsa pindala ja kasvu muutumisest tulevikus, raiutavate alade uuenemise reeglitest jmt.

Käesolevas töös valiti raiete prognoosimisel stsenaariumiteks (vt täpsemaid kirjeldusi ptk 2.2.3.1–2.2.3.4):

- 1) R1 – ühtlane kasutus (ühtlane puidukasutus kogu raieringi jooksul);
- 2) R2 – arvestuslank (ühtlane puidukasutus keskpikal perioodil);
- 3) R3 – küpsuslank (maksimaalne võimalik puidukasutus);
- 4) R4 – uuendusraie 5 miljonit m³ (vähendatud mahus ühtlane puidukasutus).

Raiestsenaariumite arvutusmeetoodika põhjalik kirjeldus on esitatud lisa 1. Raieid kavandatakse 80 aastase perioodi kohta kümnendite kaupa. Lähtekohaks on metsade olem SMI järgi 2019. aastal. Uuendusraiate pindala leitakse langiarvutuse reeglite kohaselt vastavalt kehtivatele küpsusvanustele ja -diameetritele. SMI küpsete metsade keskmiste hektaritagavarade abil arvutatakse uuendusraieimaht. Uuendusraiate maht arvutatakse eraldi majandus- ja kaitsemetsadele, range kaitse all olevatesse metsadesse raieid ei kavandata. Lisaks uuendusraiele kavandatakse erinevatele stsenaariumitele ka harvendus- ja sanitaarraieid.

²⁶ Vt näiteks „Eesti metsanduse arengukava aastani 2020“.

<https://old.envir.ee/et/metsanduse-arengukava-2011-2020>

²⁷ Vt näiteks „Metsanduse arvestuskava 2021-2025“. <https://envir.ee/vesi-mets-maavarad/metsandus/lulucf>

²⁸ Vt näiteks raport „Mets ja kliimamuutused“. <https://envir.ee/vesi-mets-maavarad/metsandus/uuringud>

Uuendusraiate prognoosimise arvutustes kasutati klassikalisi arvestuslangi arvutamise valemeid. Arvestuslank on uuendusraiega 1 aasta jooksul raiutav pindala peapuuliikide lõikes, mis on arvutatud metsa korraldamise juhendiga kehtestatud eeskirjade kohaselt²⁹. Arvestuslangi eesmärgiks on jaotada ajas seadusega raiuda lubatud metsade raiemahtu jätkusuutlikkust tagavalt, arvestades puistute vanuselist struktuuri ja küpsuskriteeriumeid³⁰. Kaitsemetsade puhul võeti arvestuslangiks pool ühtlase kasutuse langist.

Iga kümnendi raiete prognoosimise järel tuleb leida metsavarude (vanus, pindala ja tagavara) algseis uue kümnendi alguseks.

Metsa vanuse prognoosimisel lähtuti eeldusest, et:

- metsamaa kogupindala, enamuspuliikide metsamaa pindala ja erinevate metsakategooriate pindala ei muutu;
- raiesmikud uuenevad seal varem kasvanud puuliigiga;
- range kaitse all olev mets lihtsalt vananeb, kuid seda puuliigist sõltuva maksimaalse piirvanuseni (näiteks männikutel kuni 250, kuusikutel kuni 170 aastat).

Metsa tagavara prognoosimiseks leiti SMI andmete alusel vanuseklasside keskmised hektaritagavarad enamuspuliikide ja boniteediklasside lõikes. Tagavara prognoosimist raskendab asjaolu, et metsa kasv on viimastel kümnenditel pidevalt paranenud ja sama vana mets tulevikus on eeldatavalt keskmisena suurema hektaritagavaraga kui praegu. Näiteks on SMI andmetel metsade keskmine boniteediklass paranenud 0,3 klassi võrra 10 aasta kohta. See tähendab, et sama vana mets on praegu keskmisena 1 m kõrgem, kui oli seda 10 aastat tagasi. Kuigi puuliikide lõikes on see näitaja mõneti erinev, on suundumus kasvu paranemisele omane kõikidele liikidele. Kasvu kiirenemise peamisteks põhjusteks on kliimamuutused, metsakuivenduse mõju ja paremad metsa majandamise võtted. Kas ja millisel määral selline kasvu kiirenemine jätkub ka tulevikus, on pea võimatu ennustada. On ka neid eksperte, kes prognoosivad, et kliima soojenemise tulemusena metsa kasv tulevikus hoopis aeglustub.

Käesolevas töös eeldati, et metsa hektaritagavara:

- suureneb lähimal 30 aastal kokku 12% võrra ehk 4% kümnendi kohta; järgneval 70 aastal enam ei suurene, jäädes praegusest 12% kõrgemale tasemele;
- stsenaariumi uuendusraie 5 miljonit m³ aastas korral suureneb väiksemal määral (esimese 30 aastaga 6% võrra ehk 2% kümnendi kohta);
- rangelt kaitstava metsa puhul arvutustes ei suurene, kuna metsa kasvu paranemine avaldub eelkõige nooremates metsades.

Kasvava metsa tagavarade leidmiseks korrutati hektaritagavara läbi vanuseklassi pindalaga ning tulemused summeeriti.

Metsamaa pindala ja hektaritagavara enamuspuliigi, boniteedi- ja vanuseklassi alusel arvutatakse metsamaa aastane süsinikuvaru muutus biomassis (nii maapealses kui -aluses osas). Lisaks hinnatakse süsinikuvaru muutust surnud orgaanilises aines (surnud puidus ja varises) ja muldades (mineraal- ja turvasmuldades). Lisaks süsinikuvarus toimuvatele muutustele leitakse ka N₂O ja CH₄ heitkogused, mis tulenevad turvasmuldade kuivendamisest, põlengutest ning lämmastiku mineraliseerumisest ja leostumisest muldades.

²⁹ Keskkonnaministri 16. jaanuari 2009. a määruse nr 2 „Metsa korraldamise juhend“ lisa 18.

https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1310/8201/8008/KKM_16012009_m2_Lisa18.pdf#

³⁰ Laas, E., Uri, V., Valgepea, M. (2011). Metsamajanduse alused. <https://counselinginhe.org/190597-keQueo-metsamajanduse-alused>

Raiestsenaariumite juures on arvestatud ka süsiniku sidumisega puittoodetesse. Puittoodete sidumine on aruandluses arvatud vastavalt IPCC 2013. aasta juhendile³¹ (vt peatükk 2.8). Puittoodete süsiniku sidumise tulevikuprognoside tegemiseks on vaja ennustada tuleviku tootmis- ja väliskaubandusmahte (vt ptk 3 „Puittooted“). Puittoodete tootmismahude ennustamiseks kasutati raiestsenaariumites prognoositud raiemahte. Eeldati, et raiemahu ja puittoodete tootmise suhe jääb samaks, st tootmismahud leiti vastavalt viimase viie aasta keskmise raiemahu (2015.–2019. aasta) ja seniste tootmismahude suhtele.

Raiestsenaariumite taustaks koostati teistele LULUCFi maakategooriatele üks stsenaarium. Põllumaa puhul eeldatakse tulevikus netoheite suurenemist, kuna kasutusel oleva IPCC arvutusmeetodika kohaselt stabiliseerub põllumaa mineraalmuldade süsinikuvaru 20 aasta jooksul (kui põllumaa pindala ja majandamine ei muutu) ning mineraalmuld ei tasakaalusta enam turvasmuldadest ja maakasutusmuutustest tekkivat heidet. Märgalade kategoorias tekib KHG heide põhiliselt aiandusturba kaevandamisest ja kasutamisest ning turbatootmisalade pinnasest. Prognoosides kasutati 2015.–2019. aasta keskmist aiandusturba tootmismahutu, kuna ei ole ette näha nõudluse vähenemist ning piiranguid tootmisele. Prognoosis arvestati, et turbakarjäärade pindala ei muutu. Rohumaade, asulate ja muu maa kategooriates prognoositi heitkoguste jäämist viimaste aastate keskmisele tasemele; asulate puhul arvestati lisaks ka Rail Balticu trassi raadamisest tekkiva heitega. Põllumaad, rohumaad, märgalad, asulad ja muud maad jäävad kogu vaadeldava perioodi jooksul heite poolele.

2.2.3 Raiestsenaariumid

Vastavalt IPCC meetodikale raporteeritakse metsamaa süsinikuvaru muutust, mitte kogu seotud süsinikku, seega peaks metsa tagavara süsiniku pideva sidumise saavutamiseks järjepidevalt kasvama. Metsa tagavara kasvul on kasvukohast, metsa liigilisest koosseisust, tervislikust seisundist ja vanusest tulenevad bioloogilised piirid. Süsiniku sidumine puude biomassi on otseselt seotud puidu juurdekasvuga ehk mida suurem on metsa netojuurdekasv, seda rohkem süsinikku seotakse. Intensiivne netojuurdekasv on just nooremates ja keskealistes puistutes. Vanade metsade netojuurdekasv väheneb (reservuaar küllastub) ja need talitlevad pigem süsiniku säilitajatena. Samas on suure süsiniku varuga metsades suurem oht süsiniku kiireks heiteks looduslike häiringute tagajärjel.³² Metsakahjustused ja raied vähendavad süsinikuvaru ja sidumisvõimet. Raiestsenaariumid püüavad prognoosida vastavate seaduspärasuste abil nii metsade tagavara (süsinikuvaru) kui ka selle muutust (netoheide) tulevikus erineva raieintensiivsuse korral.

Metsamaa ja puittoodete CO₂ sidumise hindamisel on oluline silmas pidada, et mõlema kategooria sidumine on pikas perspektiivis vaadeldav nullina – kõik, mis metsas kasvab või puidust toodetakse, ka lõpuks laguneb. Täiendavaid muutusi võivad tuua: metsa pindala muutumine, suurem metsa CO₂ sidumisvõime, puittoodete efektiivsem tootmine ja pikaajalisem kasutamine vms.

³¹ IPCC (2014). 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/KP_Supplement_Entire_Report.pdf

³² Grassi, G., Fiorese, G., Pilli, R., Jonsson, K., Blujdea, V., Korosuo, A. and Vizzari, M., (2021). Brief on the role of the forest-based bioeconomy in mitigating climate change through carbon storage and material substitution, Sanchez Lopez, J., Jasinevičius, G. and Avraamides, M. editor(s), European Commission, JRC124374.

Peatükkides 2.2.3.1– 2.2.3.4 on esitatud nelja kirjeldatud stsenaariumi metsamaa ja puittoodete netoheide ning nende mõju LULUCFi sektori netoheitele. Lisaks on toodud ka raiete pindalad ja mahud ning metsamaa tagavara kümnendite kaupa. Teiste maakategoriate puhul on kasutatud ühesugust baasstsenaariumi. Peatükis 2.2.3.5 on esitatud stsenaariumite koondtabel, kus on kuni 2100. aastani kümnendite kaupa metsa tagavara, raiemaht, metsamaa, puittoodete ja kogu LULUCFi sektori netoheide.

2.2.3.1 R1 – ühtlane kasutus

Ühtlane raie ehk ühtlase kasutuse lank on ühetaoline aastane uuendusraiate pindala raieringi jooksul. Raieringi minimaalsed pikkused määrab enamuspuliigi ja boniteedi järgi kehtestatud küpsusvanused ja -läbimõõdud. Näiteks haavikute arvestuslik raiering on 30–50 aastat, kuid männikutel 90–120 aastat; mida parem on kasvukoht, seda lühem on raiering. Ühtlase kasutuse langi määrab enamuspuliigi puistute pindala ja keskmine küpsusvanus. Raiudes ühtlase kasutuse järgi, uuendusraiate pindala ja maht ajas oluliselt ei muutu. Ühtlane kasutus sobib hästi puistute normaalse vanuselise jaotuse korral. Küpsete puistute suure osakaalu puhul ühtlane kasutus suurendab esimestel kümnenditel veelgi küpsete metsade osakaalu. Noorte puistute suure ülekaalu korral ei jätku uuendusraieteks küpseid puistuid.

Tabel 2.1 Raied, kasvava metsa tagavara ning netoheide aastail 2021–2100 ühtlase kasutuse raiestsenaariumi korral

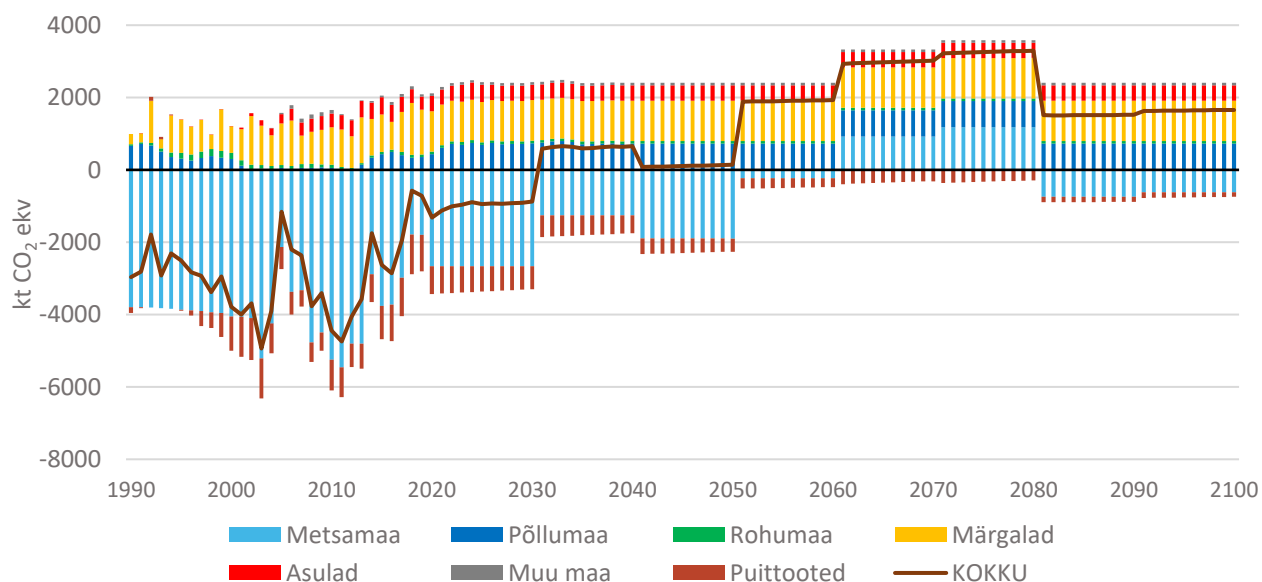
Period	Raiete aastane						Tagavara, mln m ³			Netoheide*, kt CO ₂ ekv aastas		
	pindala, kha		maht, mln m ³				Rangelt kaitstav mets	Majandatav mets	Kokku	Metsamaa**	Puittooted	LULUCF***
	Uuendusraie	Harvendusraie	Uuendusraie	Harvendusraie	Sanitaarraie	Kokku						
2021–2030	26,6	28,0	8,2	1,6	0,5	10,3	78	403	481	-2 664	-694	-950
2031–2040	27,0	24,8	8,3	1,4	0,5	10,2	87	410	497	-1 255	-547	626
2041–2050	26,5	24,4	8,0	1,3	0,5	9,9	94	408	502	-1 897	-398	110
2051–2060	24,6	26,1	7,5	1,4	0,5	9,5	100	412	512	-230	-267	1 906
2061–2070	26,6	29,2	8,2	1,6	0,5	10,4	101	408	509	925	-350	2 977
2071–2080	26,9	31,5	8,4	1,8	0,5	10,7	99	398	497	1 181	-323	3 261
2081–2090	24,6	33,0	7,5	1,9	0,5	9,9	96	387	483	-743	-146	1 514
2091–2100	24,3	33,5	7,6	1,9	0,5	10,0	93	391	484	-615	-145	1 643
Kokku 21–50	800	772	245	44	15	304				-58 160	-16 390	-2 140
Keskmine 21–50	26,7	25,7	8,2	1,5	0,5	10,1	86	407	493	-1 939	-546	-71
Kokku 21–00	2 069	2 305	638	131	40	808				-52 980	-28 700	110 870
Keskmine 21–00	25,9	28,8	8,0	1,6	0,5	10,1	94	402	496	-662	-359	1 386

* Negatiivne netoheide = kasvuhoonegaaside sidumine, positiivne netoheide = kasvuhoonegaaside heide.

** Metsamaa arvestusse (puittoodeteta) on lisatud ka muud KHGd (metaan ja naerugaas), mis tulenevad peamiselt kuivendatud turvasmuldadest, lämmastiku mineraliseerumisest maa metsamaaks muutumise tõttu ja põlengutest.

*** LULUCFi sektori heitkogused sisaldavad kõigi kuue maakategooria heidet ja sidumist.

Ühtlase kasutuse raieatsenaariumi puhul jääb uuendusraiate pindala vahemikku 24,3–27,0 kha aastas (keskmine 80 a jooksul 25,9 kha), mis vastab raiealale 7,5–8,4 miljonit m³ (keskmine 8,0). Harvendusraiate maht suureneb sajandi lõpukümnenditeks 1,3 miljonilt m³-lt 1,9 miljonini m³-ni. Sanitaarraie mahuks on ühtlaselt 0,5 miljonit m³. Raiate kogumaht jääb vahemikku 9,5–10,7 miljonit m³ (keskmine 10,1). Kasvava metsa kogutagavara suureneb tasapisi 2060. aastani 512 miljonit m³ tasemele ja seejärel mõnevõrra väheneb sajandi lõpuks perioodi alguse tasemele (ca 480 miljonit m³). Metsamaa süsiniku sidumine väheneb ühtlaselt aastani 2060, mille järel muutub 20 aastaks emiteerijaks. Sajandi lõpukümnenditel muutub metsamaa jälle netosidujaks. Puittoodete kategooria netosidumine on suurem perioodi algul (ca -700 kt CO₂ aastas) ja väheneb ühtlaselt -145 kt-ni CO₂ ekv. Baasatsenaariumi taustal on LULUCFi sektor netosiduja vaid esimesel kümnendil, mille järel muutub netoheitjaks (suurim on heide perioodil 2060–2080). Perioodil 2021–2050 on metsamaa (-1939 kt/a) ja puittoodete (-546 kt/a) kategooriad netosidujad, ka LULUCFi kogusidumine on napilt sidumise poolel (- 71 kt/ha). Sajandi lõpuks perioodi keskmine aastane sidumine metsamaal (-662 kt/a) ja puittoodetes (-359 kt/a) väheneb ning LULUCFi kategooria on tervikuna heide poolel (1386 kt/a).



Joonis 2.4 Kasvuhoonegaaside heide ja sidumine LULUCFi sektoris raieatsenaariumi „R1 – ühtlane kasutus“ kohaselt perioodil 1990–2100 (kt CO₂ ekv)

Ühtlase kasutuse stsenaariumi järgi on metsamaa netosiduja kuni 2060. aastani. Selle stsenaariumi järgi saaks pikaajakselt raieada samas mahus puitu. Samas ei arvestaks see lähenemine täielikult metsade vanuselise jaotusega ning seetõttu väheneks vananevas majandusmetsas oluliselt puidu kvaliteet (tarbesortimentide väljatulek). Kuna Eestis on raieküpset metsa suhteliselt palju, siis perioodi alguses tekib vanemat metsa juurde, mis hiljem enam ei suuda netojuurdekasvu vähenemisest tulenevalt süsinikku nii palju siduda kui varasematel kümnenditel.

2.2.3.2 R2 – arvestuslank

Raie arvestuslanki järgi ehk arvestuslank on metsamajanduslikust lähtekohast mõistlik kasutusmäär, arvestades puistute vanuselist jagunemist praegu ja lähimatel aastakümnetel. Tegemist on ühtlase kasutuse määraga keskpikal perioodil (s.o 30–40 aastat).

Tabel 2.2 Raied, kasvava metsa tagavara ning netoheide aastail 2021–2100 arvestuslanki raiestsenaariumi korral

Periood	Raiete aastane						Tagavara, mln m ³			Netoheide*, kt CO ₂ ekv aastas		
	pindala, kha		maht, mln m ³				Rangelt kaitstav mets	Majandatav mets	Kokku	Metsamaa**	Puittooted	LULUCF***
	Uuendusraie	Harvendusraie	Uuendusraie	Harvendusraie	Sanitaarraie	Kokku						
2021–2030	35,4	28,0	11,1	1,6	0,4	13,1	78	403	481	1 562	-1 098	2 872
2031–2040	30,9	24,8	9,5	1,4	0,4	11,3	87	377	464	539	-610	2 357
2041–2050	26,5	24,4	8,0	1,3	0,4	9,8	94	361	455	-2 541	-278	-414
2051–2060	24,6	27,8	7,5	1,5	0,4	9,4	100	370	470	-1 257	-185	961
2061–2070	24,1	32,9	7,5	1,9	0,4	9,7	101	374	475	-1 257	-192	954
2071–2080	22,9	36,1	7,1	2,1	0,4	9,6	99	381	480	-1 641	-134	628
2081–2090	22,9	37,8	7,0	2,2	0,4	9,6	96	392	488	-1 770	-111	522
2091–2100	25,3	36,4	8,0	2,1	0,4	10,5	93	404	497	-230	-229	1 944
Kokku 21–50	927	772	287	44	12	342				-4 400	-19 860	48 150
Keskmine 21–50	30,9	25,7	9,6	1,5	0,4	11,4	86	380	467	-147	-662	1 605
Kokku 21–00	2 124	2 482	657	141	32	830				-65 950	-28 370	98 240
Keskmine 21–00	26,6	31,0	8,2	1,8	0,4	10,4	94	383	476	-824	-355	1 228

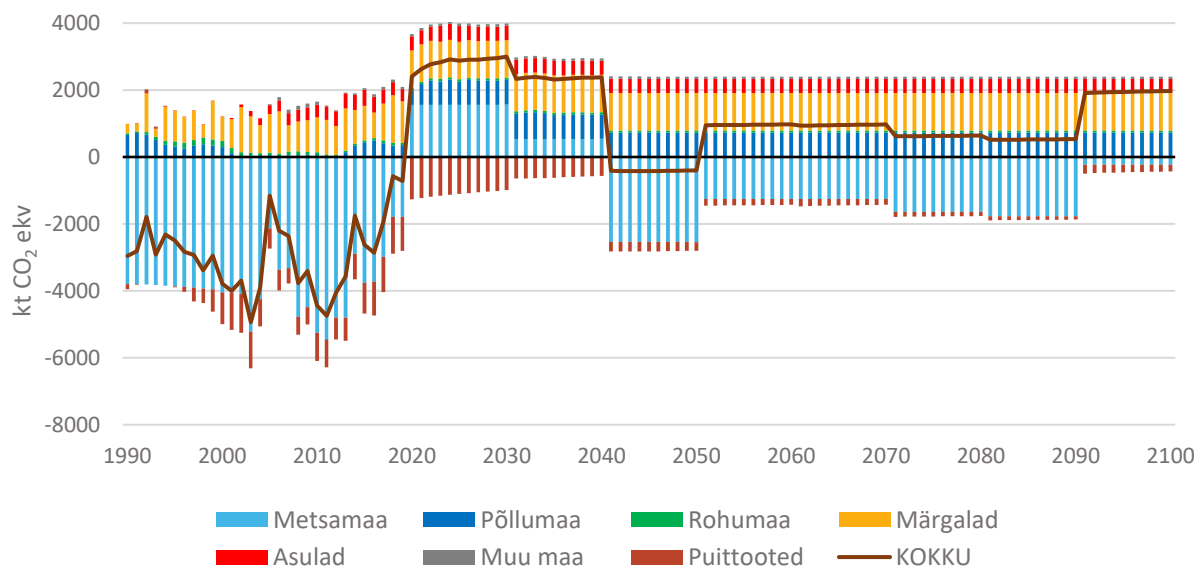
* Negatiivne netoheide = kasvuhoonegaaside sidumine, positiivne netoheide = kasvuhoonegaaside heide.

** Metsamaa arvestusse (puittoodeteta) on lisatud ka muud KHGd (metaan ja naerugaas), mis tulenevad peamiselt kuivendatud turvasmuldadest, lämmastiku mineraliseerumisest maa metsamaaks muutumise tõttu ja põlengutest.

*** LULUCFi sektori heitkogused sisaldavad kõigi kuue maakategooria heidet ja sidumist.

Arvestuslanki raiestsenaariumi puhul varieerub uuendusraiate pindala vahemikus 22,9–35,4 kha aastas (keskmine 80 a jooksul 26,6 kha) ning maht vastavalt 7,0–11,1 miljonit m³ (keskmine 8,2). Uuendusraiate maht on kõrgem lähimatel kümnenditel ja hakkab seejärel ühtlaselt langema. Harvendusraiate maht väheneb 1,6 miljonilt m³-lt 1,3 miljoni m³-ni 2050. aastaks ja hakkab seejärel tõusma 2,1 miljoni m³ tasemeni. Sanitaarraie mahuks on kogu perioodil 0,4 miljonit m³. Raiete kogumaht jääb vahemikku 9,4–13,1 miljonit m³ (keskmine 10,4). Kasvava metsa kogutagavara väheneb 2050. aastaks 455 miljoni m³ tasemeni ning tõuseb seejärel ühtlaselt 497 miljoni m³-ni 2100. aastaks. Metsamaa on arvestuslanki stsenaariumi korral netoheitja esimesel 20 aastal. Alates 2040. aastast muutub metsamaa taas netosidujaks, kuid sidumise määr hakkab ühtlaselt langema kuni sajandivahetuseni. Puittoodete netosidumine on vastupidiselt metsamaale kõrgeim 2030. aastani, mille järel väheneb ühtlaselt -111 kt-ni CO₂ ekv 2090. aastaks. Baasstsenaariumi taustal on LULUCFi sektor netosiduja vaid perioodil

2040–2050 (-414 kt/a), sellele eelneval kahel kümnendil on netoheide üle 2000 kt/a ja järgneval kahel kümnendil ca 1000 kt/a. Sajandi viimasel kümnendil tõuseb LULUCFi sektori netoheide taas 2000 kt/a tasemeni. Kui perioodil 2021–2050 on metsamaa kasin (-147 kt/a) ja puittooted oluline (-662 kt/a) netosiduja, siis LULUCFi kogusidumine jääb tervikuna heite poolele (1605 kt/a). Sajandi lõpuks kogu vaadeldava perioodi keskmine aastane sidumine metsamaal (-824 kt/a) suureneb ja puittoodetes (-355 kt/a) väheneb ning LULUCFi kategooria keskmine netoheite määr pisut väheneb tasemeni 1228 kt/a.



Joonis 2.5 Kasvuhoonegaaside heide ja sidumine LULUCFi sektoris raiestsenaariumi „R2 – arvestuslank“ kohaselt perioodil 1990–2100 (kt CO₂ ekv)

Arvestuslanki stsenaariumi korral on perioodil 2021–2040 metsa ja puittoodete heide nullilähedane, seetõttu ei täidaks Eesti metsa võrdlustaset (-1,75 Mt CO₂ ekv). Alates 2041. aastast muutub metsamaa taas netosidujaks ning jääb selleks pikemalt. Stsenaariumi puidukasutus on kompromiss efektiivsuse ja pikemaajalise ühtlase raie vahel.

2.2.3.3 R3 – küpsuslank

Küpsusraie ehk küpsuslank – eeldatakse, et kõik küpsusvanuse saavutanud ja saavutavad puistud raiutakse lähima kümne aasta jooksul. Raieringi pikkuse määrab ära küpsusvanus, näiteks hall-lepikul on raiering 35, männikul 90–120 aastat. Küpsuslanki stsenaarium peegeldab eelkõige majandatavate metsade küpsusvanuse saavutamist vaadeldaval perioodil. Tegelikuses on küpsuslanki kohaselt raiumine pikemal perioodil keerukas, kuna puidukasutuse määr järgib metsavarude struktuuri ebahühtlast jagunemisest. Suured kõikumised varutava puidu kogustes teeksid keerukaks investeeringud metsasektori arendamisel ja esitaksid keerukaid väljakutseid sektori ettevõtete kohanemisele järsult muutuva toorainebaasi tingimustes. Ühtlase vanuselise jaotumise korral võrduks küpsuslank ühtlase kasutuse langiga.

Tabel 2.3 Raied, kasvava metsa tagavara ning netoheide aastail 2021–2100 küpsuslangi raiestsenaariumi korral

Period	Raiete aastane						Tagavara, mln m ³			Netoheide*, kt CO ₂ ekv aastas		
	pindala, kha		maht, mln m ³				Rangelt kaitstav mets	Majandatav mets	Kokku	Metsamaa**	Puittooted	LULUCF***
	Uuendusraie	Harvendusraie	Uuendusraie	Harvendusraie	Sanitaarraie	Kokku						
2021–2030	54,8	28,0	17,4	1,6	0,3	19,3	78	403	481	10 915	-1 983	11 340
2031–2040	23,3	24,8	7,1	1,4	0,3	8,8	87	304	391	-4 083	-9	-1 663
2041–2050	25,6	24,4	7,6	1,3	0,3	9,3	94	324	418	-4 348	-136	-2 080
2051–2060	21,3	31,3	6,5	1,7	0,3	8,5	100	347	447	-3 828	-1	-1 426
2061–2070	24,7	37,5	7,5	2,1	0,3	9,9	101	371	472	-1 642	-220	441
2071–2080	20,4	38,8	6,5	2,3	0,3	9,1	99	381	480	-2 924	-42	-563
2081–2090	21,3	39,5	6,5	2,3	0,3	9,1	96	402	498	-2 539	-41	-177
2091–2100	27,1	35,8	8,7	2,0	0,3	11,1	93	420	513	1 179	-334	3 248
Kokku 21–50	1036	772	321	44	9	374				24 840	-21 280	75 970
Keskmine 21–50	34,5	25,7	10,7	1,5	0,3	12,5	86	344	430	828	-709	2 532
Kokku 21–00	2 183	2 601	678	148	24	851				-72 700	-27 660	91 200
Keskmine 21–00	27,3	32,5	8,5	1,9	0,3	10,6	94	369	463	-909	-346	1 140

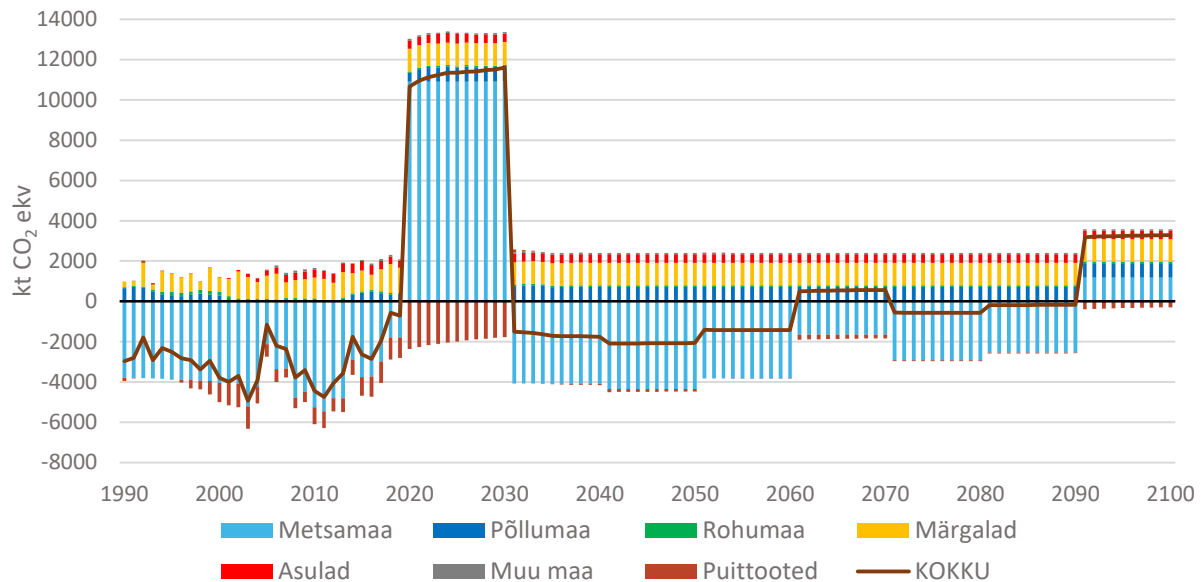
* Negatiivne netoheide = kasvuhoonegaaside sidumine, positiivne netoheide = kasvuhoonegaaside heide.

** Metsamaa arvestusse (puittoodeteta) on lisatud ka muud KHGD (metaan ja naerugaas), mis tulenevad peamiselt kuivendatud turvasmuldadest, lämmastiku mineraliseerumisest maa metsamaaks muutumise tõttu ja põlengutest.

*** LULUCFi sektori heitkogused sisaldavad kõigi kuue maakategooria heidet ja sidumist.

Küpsusraie stsenaariumi puhul varieerub uuendusraiate pindala suures vahemikus (20,4–54,8 kha aastas, keskmine 80 a jooksul 27,3 kha) ning maht vastavalt 6,5–17,4 miljonit m³ (keskmine 8,5). Küpsete puistute suure osakaalu tõttu on eriti kõrge esimese kümnendi uuendusraiate maht, mis langeb 2030. aasta järel 2,5 korda ning tõuseb uuesti alles sajandi lõpus. Harvendusraiate maht väheneb 1,6 miljonilt m³-lt 1,3 miljoni m³-ni 2050. aastaks ja hakkab seejärel tõusma 2,3 miljoni m³ tasemeni. Sanitaarraie mahuks on kogu perioodil 0,3 miljonit m³. Raiete kogumaht jääb vahemikku 8,5–19,3 miljonit m³ (keskmine 10,6). Kasvava metsa kogutagavara väheneb 2031. aastaks järsult 391 miljoni m³ tasemeni ning tõuseb seejärel 2080. aastaks 2020. aasta tasemeni ning 2100. aastal on tagavara suurenenud 513 miljoni m³-ni. Metsamaa on küpsuslangi stsenaariumi korral suur netoheitja esimesel kümnendil (10915 kt/a). Alates 2031. aastast muutub metsamaa kiirelt oluliseks netosidujaks, kuid sidumise määr hakkab ühtlaselt langema kuni 2090. aastani. Puittoodete netosidumine on samuti kõrge 2030. aastani (-1983 kt/a), mille järel jääb ülejäänul kümnenditel tagasihoidlikuks. Baasstsenaariumi taustal oleks LULUCFi sektor väga suur netoheitja esimesel kümnendil (11340 kt/a), sellele järgneval kolmel kümnendil on netosidumine vahemikus -1500 kuni -2000 kt/a, perioodil 2061–2070 läheb aga netoheite poolele, mille tagajärjel taastub mõõdukas sidumine. Perioodil 2021–2050 on metsamaa keskmine aastane heide 828 kt/a, samas kui

puittooted samal tasemel seovad (-709 kt/a), LULUCFi kogusidumine on tervikuna heite poolel (2532 kt/ha). Sajandi lõpuks kogu vaadeldava perioodi keskmine aastane sidumine metsamaal pöörduv (-824 kt/a) sidumise poolele ja puittootetes (-346 kt/a) sidumine mõnevõrra väheneb võrreldes perioodi 2021–2050 keskmisega, LULUCFi kategooria keskmine netoheite määr väheneb poole võrra (1140 kt/a).



Joonis 2.6 Kasvuhoonegaaside heide ja sidumine LULUCFi sektoris raiestsenaariumi „R3 – küpsuslank“ kohaselt perioodil 1990–2100 (kt CO₂ ekv)

Küpsusraie stsenaariumis kaasnevad perioodil 2021–2030 ligikaudu 11 000 kt CO₂ ekv suurused aastased heitkogused metsamaalt, mis moodustaks 79% kogu praegusest riigi heitkogusest (NIR 2021 andmetel oli Eesti heitkogus koos LULUCFigaga 14 000 kt CO₂ ekv). Seevastu järgnevatel perioodidel alates 2031. aastast seoks metsamaa enim kasvuhoonegaase võrreldes teiste stsenaariumitega. Kuigi küpsusraie stsenaarium on kõige efektiivsem puidukasutuse stsenaarium, ei saa teda pidada reaalselt teostatavaks. Küpsusraie stsenaariumi üle 19 miljonit m³-sele raiele tulevad ette mitmed piirid, näiteks metsaseaduse nõue maksimaalse langi suuruse osas. Samuti puuduvad reaalne tehnoloogia ja ka puidukasutuse võimalused niivõrd suure puidusisendi jaoks.

2.2.3.4 R4 – uuendusraie 5 miljonit m³

Raiestsenaariumi „Uuendusraie 5 miljonit m³“ korral on uuendusraie maht kogu vaadeldaval perioodil 5 miljoni m³ tasemel. Sisuliselt on tegemist ühtlase kasutuse stsenaariumiga vähendatud ja kinnistatud puidukasutuse tasemel. Kõrge küpsete puistute osakaalu juures võimendab stsenaariumi rakendamine majandusmetsade ebaühtlast vanuselist jaotust. Üleseisnud puistutest varutud puidus suureneb madalama väärtusega sortimentide osakaal. Madala uuendusraiate taseme juures suureneb tõenäoliselt vajadus sanitaarraiate järele kahjustuste likvideerimiseks ning haiguste ja kahjurite leviku piiramiseks. Mõne puuliigi puistute puhul ei päädi uuendusraiate ajatamine enamasti suure kaotusega netotulus (nt männikud), teiste puhul on hilisem raie seotud kõrge riskiga oluliselt tulus kaotada (eriti kuusikud ja pisut vähem kaasikud). Metsaomaniku üldine tulude langus võib vähendada huvi ja võimalusi investeerida metsakasvatuse ning -majandamisse laiemalt.

Tabel 2.4 Raied, kasvava metsa tagavara ning netoheide 2021.–2100. aastal raiestsenaariumi „R4 – uuendusraie 5 miljonit m³“ korral

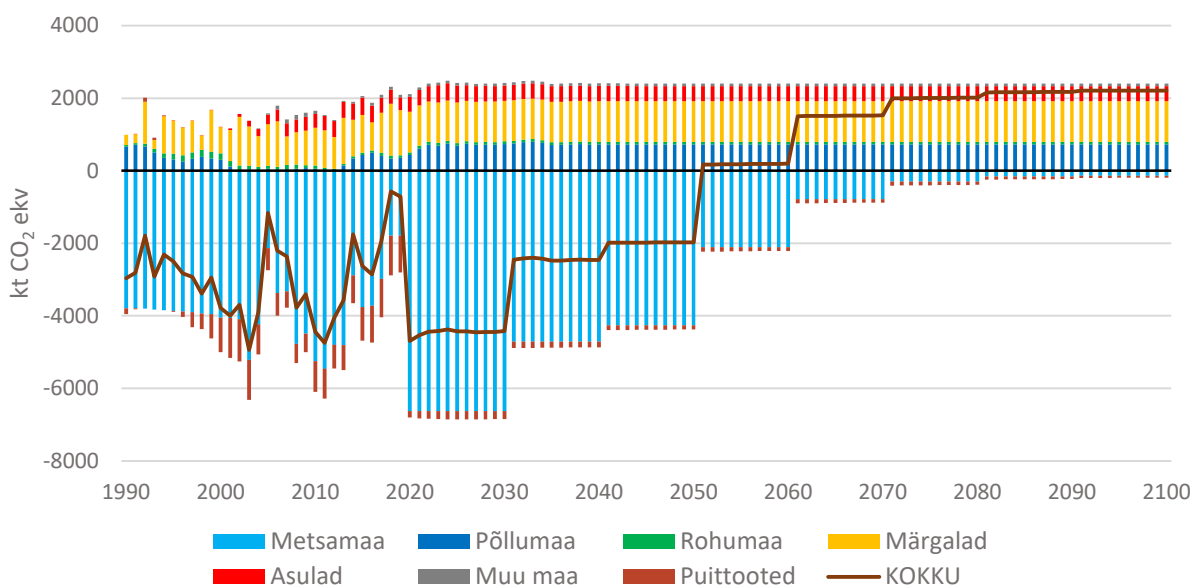
Periood	Raiete aastane						Tagavara, mln m ³			Netoheide*, kt CO ₂ ekv aastas		
	pindala, kha		maht, mln m ³				Rangelt kaitstav mets	Majandatav mets	Kokku	Metsamaa**	Puittooted	LULUCF***
	Uuendusraie	Harvendusraie	Uuendusraie	Harvendusraie	Sanitaarraie	Kokku						
2021–2030	16,4	28,0	5,0	1,6	0,6	7,2	78	403	481	-6 627	-221	-4 440
2031–2040	16,4	24,8	5,0	1,4	0,6	7,0	87	441	528	-4 712	-166	-2 449
2041–2050	16,4	24,4	5,0	1,3	0,6	6,9	94	466	560	-4 257	-127	-1 979
2051–2060	16,4	24,4	5,0	1,3	0,7	7,0	100	488	588	-2 108	-113	182
2061–2070	16,4	24,0	5,0	1,4	0,7	7,1	101	499	600	-781	-107	1 515
2071–2080	16,4	23,0	5,0	1,3	0,9	7,2	99	502	601	-297	-102	2 004
2081–2090	16,4	22,1	5,0	1,3	0,9	7,2	96	503	599	-154	-83	2 167
2091–2100	16,4	20,9	5,0	1,2	0,9	7,1	93	502	595	-143	-53	2 208
Kokku 21–50	492	772	150	44	18	212				-155 960	-5140	-88 680
Keskmine 21–50	16,4	25,7	5,0	1,5	0,6	7,1	86	437	523	-5 199	-171	-2 956
Kokku 21–00	1 312	1 916	400	109	59	568				-190 790	-9720	-7 920
Keskmine 21–00	16,4	24,0	5,0	1,4	0,7	7,1	94	476	569	-2 385	-122	-99

* Negatiivne netoheide = kasvuhoonegaaside sidumine, positiivne netoheide = kasvuhoonegaaside heide.

** Metsamaa arvestusse (puittoodeteta) on lisatud ka muud KHGD (metaan ja naerugaas), mis tulenevad peamiselt kuivendatud turvasmuldadest, lämmastiku mineraliseerumisest maa metsamaaks muutumise tõttu ja põlengutest.

*** LULUCFi sektori heitkogused sisaldavad kõigi kuue maakategooria heidet ja sidumist.

Raiestsenaariumi „R4 – uuendusraie 5 miljonit m³“ puhul on uuendusraiate pindala kogu vaadeldaval perioodil 16,4 kha aastas, mis vastab raiemahule 5,0 miljonit m³. Harvendusraiate maht väheneb 1,6 miljonilt m³-lt 1,3 miljoni m³-ni 2050. aastaks ja jääb sellele tasemele sajandi lõpuni. Sanitaarraie maht kasvab 0,6 miljoni m³ tasemelt tasapisi 0,9 miljoni m³-ni. Raiete kogumaht jääb vahemikku 6,9–7,2 miljonit m³ (keskmine 7,1). Kasvava metsa kogutagavara suureneb kiiresti (2061. aastaks) 600 miljoni m³ tasemele ja jääb samale tasemele sajandi lõpuni. Metsamaa süsiniku netosidumine on kõrgel tasemel esimesel kolmel kümnendil ja hakkab seejärel kiiresti langema, jõudes -143 kt/a tasemele sajandi lõpuks. Puittoodete netosidumine on madalamast raiemahust tingituna mõõdukas perioodi alguses (-221 kt CO₂ aastas) ja väheneb ühtlaselt -53 kt-ni CO₂ ekv. Baasstsenaariumi taustal on LULUCFi sektor netosiduja 2050. aastani, mille järel muutub netoheitjaks. Heide kasvab oluliselt alates 2071. aastast. Perioodil 2021–2050 on metsamaa väga suur (-5199 kt/a) ja puittooted kasinad (-171 kt/a) netosidujad, ka LULUCFi kogusidumine on oluliselt sidumise poolel (-2956 kt/ha). Sajandi lõpuks kogu perioodi keskmine aastane sidumine metsamaal (-2385 kt/a) ja puittoodetes (-122 kt/a) väheneb võrreldes perioodiga 2021–2050 ning LULUCFi kategooria on tervikuna napilt sidumise poolel (-99 kt/a).



Joonis 2.7 Kasvuhoonegaaside heide ja sidumine LULUCFi sektoris stsenaariumi „R4 – uuendusraie 5 miljonit m³“ korral perioodil 1990–2100 (kt CO₂ ekv)

5 miljoni m³ uuendusraie stsenaarium seoks perioodil 2020–2040 enim CO₂, järgneval perioodil 2040–2060 oleks CO₂ sidumine võrreldav küpsusraie ja arvestuslangi stsenaariumiga. Sajandi viimasel 40 aastal väheneks CO₂ sidumine oluliselt ning läheneks nullile. Kuna suur osa raieküpset metsa jääb kasutamata on stsenaariumi probleemkohaks puidukvaliteedi langus ja metsa tervisliku seisundi halvenemine majandusmetsas.

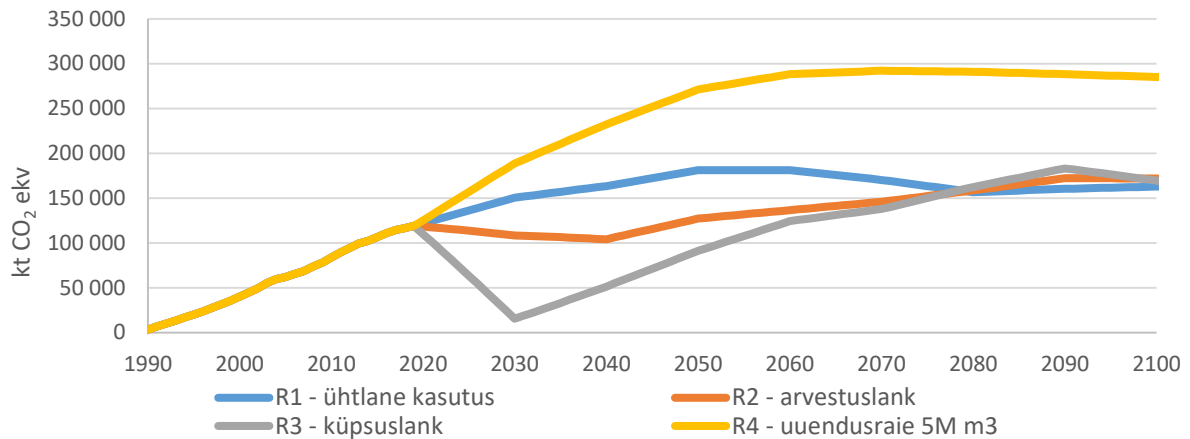
2.2.3.5 Stsenaariumite võrdlus

Kõigi vaadeldavate raiestsenaariumite puhul metsamaa tagavara suureneb, kuid mitte järjepidevalt 100 aasta jooksul (vt tabel 2.5). Kasv võib olenevalt raiete intensiivsusest esineda vaadeldava perioodi nii alg-, kesk- kui ka lõpuosas. Ka stsenaariumi uuendusraie 5 miljonit m³ korral hakkab metsade kogutagavara metsa vananemise tagajärjel lõpuks langema.

Tabel 2.5 Metsa tagavara muutumine erinevate raiestsenaariumite korral 2021.–2100. aastal

Periood	Kasvava metsa tagavara, mln m ³								
	Rangelt kaitstav mets	Tulundusmets				Kokku			
		R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
2021–2030	78	403	403	403	403	481	481	481	481
2031–2040	87	410	377	304	441	497	464	391	528
2041–2050	94	408	361	324	466	502	455	418	560
2051–2060	100	412	370	347	488	512	470	447	588
2061–2070	101	408	374	371	499	509	475	472	600
2071–2080	99	398	381	381	502	497	480	480	601
2081–2090	96	387	392	402	503	483	488	498	599
2091–2100	93	391	404	420	502	484	497	513	595
Keskmine 21–50	86	407	380	344	437	493	467	430	523
Keskmine 21–00	94	402	383	369	476	496	476	463	569

Stsenaariumid: R1 – ühtlane kasutus, R2 – arvestuslank, R3 – küpsuslank, R4 - uuendusraie 5 miljonit m³.

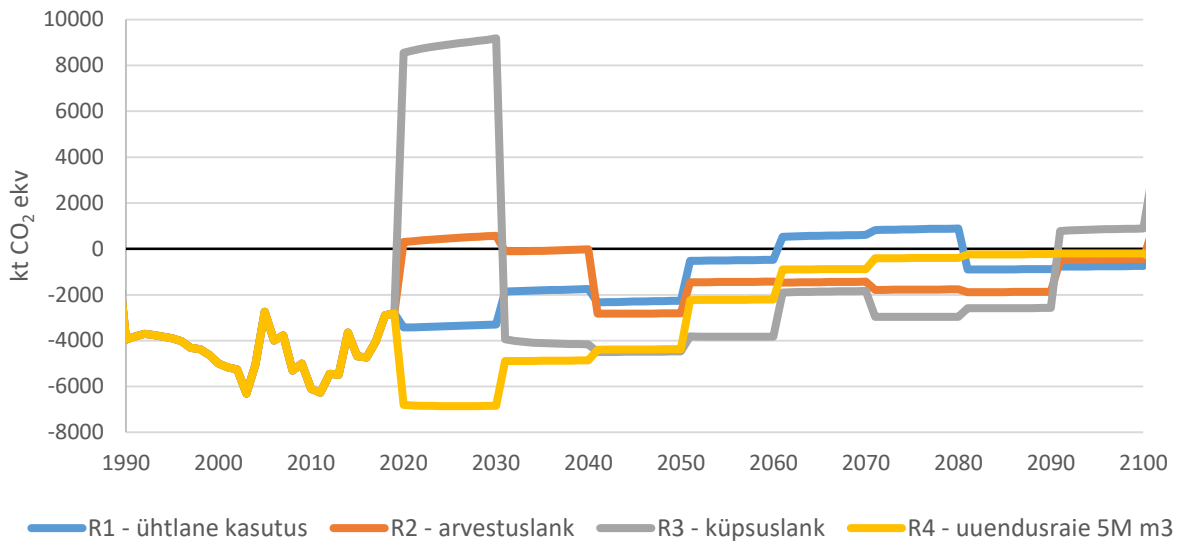


Joonis 2.8 Süsinikuvaru muutumine võrreldes 1990. aastaga puitse biomassis ja puittoodetes erinevate metsakasutuse stsenaariumite korral perioodil 1990–2100 (kt CO₂)

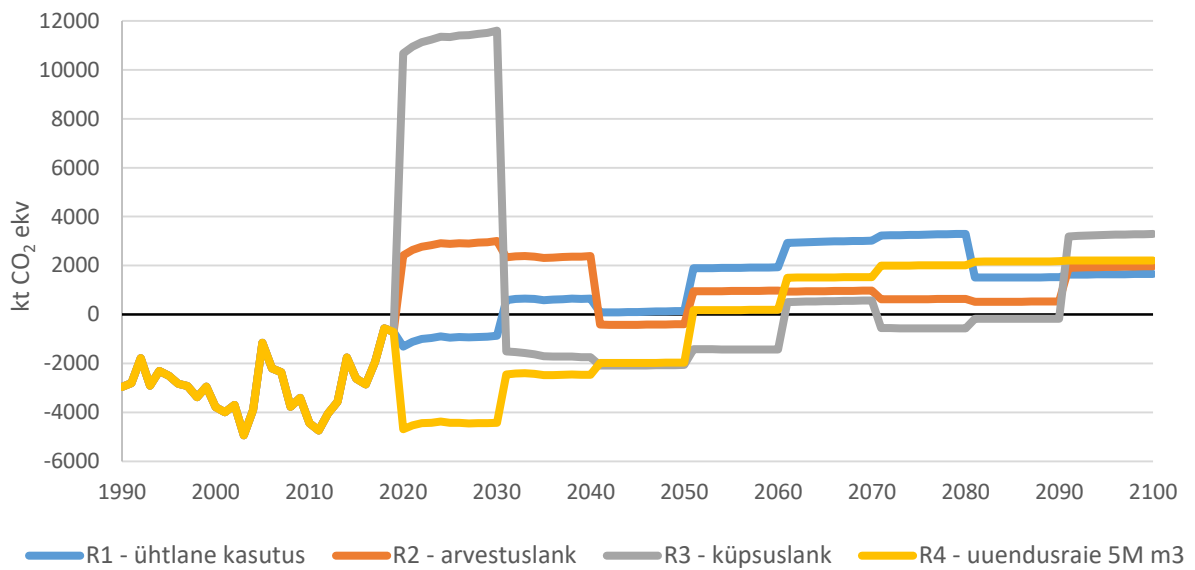
Joonisel 2.8 on esitatud puitu seotud süsinikuvaru muutus alates 1990. aastast erinevate stsenaariumite korral. Eri stsenaariumite korral on algne varu muutus erinev, kuid 2080. aastaks on eri stsenaariumite varu samal tasemel. Suurem on süsinikuvaru vaid 5 miljoni m³ uuendusraiega stsenaariumi korral, siinkohal on oluline lisada, et nimetatud stsenaariumi süsinikuvaru hakkab alates 2070. aastast vähenema ning pikemas perspektiivis läheneb ülejäänud stsenaariumitele.

Puittooted jäävad kõigi vaadeldavate stsenaariumite puhul kogu perioodi jooksul süsiniku sidujateks. Süsiniku sidumine puittoodetes on suurim küpsuslangi puhul esimesel kümnendil, kuna suurem raie võimaldab rohkem puittooteid toota. Järgmisel kümnendil on aga sidumine oluliselt väiksem, kuna küpsete metsade vähenedes raiemaht langeb ning aina suuremat mõju hakkab avaldama ka puittoodete lagunemine. Lähikümnendite optimaalseimad puittoodetes sidumise tulemused saavutame arvestuslangi ja ühtlase kasutuse stsenaariumite korral (vt täpsemalt ptk 3).

Kui vaadelda raiestsenaariumeid ainult CO₂ sidumise eesmärgist lähtuvalt, siis 2030. aastaks annab suurima sidumise 5 miljoni m³ uuendusraie stsenaarium (vt joonis 2.10). Ühtlase kasutuse stsenaariumi korral jääb metsamaa ja LULUCFi sektor samuti CO₂ sidumise poolele, kuid arvestuslangi ja küpsuslangi stsenaariumi korral muutuks heite allikaks. 2050. aastaks saavutaksime metsamaal ja LULUCFi sektoris CO₂ sidumise või nulli (ühtlase kasutuse stsenaarium) kõigi vaadeldavate raiestsenaariumite korral.



Joonis 2.9 Metsamaa ja puittoodete kategooriate summaarne kasvuhooonegaaside netoheide erinevate raiestsenaariumite korral perioodil 1990–2100 (kt CO₂ ekv)



Joonis 2.10 Kasvuhooonegaaside netoheide LULUCFi sektoris erinevate raiestsenaariumite korral perioodil 1990–2100 (kt CO₂ ekv)

Tabel 2.6 Raiestsenaariumite uuendusraiate ja harvendusraiate pindalad 2021.–2100. aastal

Periood	Raiete aastane pindala, kha												
	Kaitsemets	Uuendusraie								Harvendusraie			
		Tulundusmets				Kokku							
		R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
2021–2030	1,4	25,2	34,0	53,4	15,0	26,6	35,4	54,8	16,4	28,0	28,0	28,0	28,0
2031–2040	1,4	25,6	29,5	21,9	15,0	27,0	30,9	23,3	16,4	24,8	24,8	24,8	24,8
2041–2050	1,4	25,1	25,1	24,2	15,0	26,5	26,5	25,6	16,4	24,4	24,4	24,4	24,4
2051–2060	1,3	23,3	23,4	20,0	15,1	24,6	24,6	21,3	16,4	26,1	27,8	31,3	24,4
2061–2070	1,4	25,2	22,7	23,3	15,0	26,6	24,1	24,7	16,4	29,2	32,9	37,5	24,0
2071–2080	1,4	25,5	21,5	19,0	15,0	26,9	22,9	20,4	16,4	31,5	36,1	38,8	23,0
2081–2090	1,4	23,2	21,5	19,9	15,0	24,6	22,9	21,3	16,4	33,0	37,8	39,5	22,1
2091–2100	1,3	23,0	24,0	25,8	15,1	24,3	25,3	27,1	16,4	33,5	36,4	35,8	20,9
Kokku 21–50	41	759	886	995	451	800	927	1036	492	772	772	772	772
Keskmine 21–50	1,4	25,3	29,5	33,2	15,0	26,7	30,9	34,5	16,4	25,7	25,7	25,7	25,7
Kokku 21–00	108	1961	2017	2075	1204	2069	2124	2183	1312	2305	2482	2601	1916
Keskmine 21–00	1,3	24,5	25,2	25,9	15,1	25,9	26,6	27,3	16,4	28,8	31,0	32,5	24,0

Stsenaariumid: R1 – ühtlane kasutus, R2 – arvestuslank, R3 – küpsuslank, R4 – uuendusraie 5 miljonit m³.

Tabel 2.7 Raiestsenaariumite uuendusraiate, sanitaarraiate ja harvendusraiate mahud aastail 2021–2100

Periood	Raiete aastane maht, mln m ³																				
	Kaitsemets	Uuendusraie								Harvendusraie				Sanitaarraie				Kokku			
		Tulundusmets				Kokku				R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
		R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4												
2021–2030	0,4	7,8	10,7	17,0	4,6	8,2	11,1	17,4	5,0	1,6	1,6	1,6	1,6	0,5	0,4	0,3	0,6	10,3	13,1	19,3	7,2
2031–2040	0,4	7,9	9,1	6,7	4,6	8,3	9,5	7,1	5,0	1,4	1,4	1,4	1,4	0,5	0,4	0,3	0,6	10,2	11,3	8,8	7,0
2041–2050	0,4	7,6	7,6	7,2	4,6	8,0	8,0	7,6	5,0	1,3	1,3	1,3	1,3	0,5	0,4	0,3	0,6	9,9	9,8	9,3	6,9
2051–2060	0,4	7,2	7,1	6,1	4,6	7,5	7,5	6,5	5,0	1,4	1,5	1,7	1,3	0,5	0,4	0,3	0,7	9,5	9,4	8,5	7,0
2061–2070	0,4	7,8	7,0	7,1	4,6	8,2	7,5	7,5	5,0	1,6	1,9	2,1	1,4	0,5	0,4	0,3	0,7	10,4	9,7	9,9	7,1
2071–2080	0,4	8,0	6,7	6,1	4,6	8,4	7,1	6,5	5,0	1,8	2,1	2,3	1,3	0,5	0,4	0,3	0,9	10,7	9,6	9,1	7,2
2081–2090	0,4	7,1	6,6	6,1	4,6	7,5	7,0	6,5	5,0	1,9	2,2	2,3	1,3	0,5	0,4	0,3	0,9	9,9	9,6	9,1	7,2
2091–2100	0,4	7,2	7,6	8,4	4,6	7,6	8,0	8,7	5,0	1,9	2,1	2,0	1,2	0,5	0,4	0,3	0,9	10,0	10,5	11,1	7,1
Kokku 21–50	12	233	274	308	138	245	287	321	150	44	44	44	44	15	12	9	18	304	342	374	212
Keskmine 21–50	0,4	7,8	9,1	10,3	4,6	8,2	9,6	10,7	5,0	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	0,4	0,3	0,6	10,1	11,4	12,5	7,1
Kokku 21–00	32	606	625	646	368	638	657	678	400	131	141	148	109	40	32	24	59	808	830	851	568
Keskmine 21–00	0,4	7,6	7,8	8,1	4,6	8,0	8,2	8,5	5,0	1,6	1,8	1,9	1,4	0,5	0,4	0,3	0,7	10,1	10,4	10,6	7,1

Stsenaariumid: R1 – ühtlane kasutus, R2 – arvestuslank, R3 – küpsuslank, R4 – uuendusraie 5 miljonit m³.

2.2.4 Raiestsenaariumite sotsiaalmajanduslik analüüs

Sotsiaalmajandusliku mõju analüüs tehakse metsasektori kohta, mis hõlmab metsamajanduse ja metsavarumise, puidutöötlemise ning paberi- ja pabertoodete tootmise tegevusala. Analüüsi sisendnäitajad pärinevad Statistikaameti veebiandmebaasist³³.

2.2.4.1 Lisandväärtus

Ettevõtete loodud lisandväärtuse arvutamiseks lahutatakse müügitulust kulud sisenditele (ostetud kaubad, materjalid ja teenused) ja liidetakse põhivara kulum. Kuna vaatluse all on metsamajandus ja sellega seotud tegevused, kasutatakse raiestsenaariumide sotsiaalmajandusliku mõju võrdlemiseks lisandväärtust, mis lisaks ettevõtete andmetele sisaldab ka füüsilistest isikutest metsaomanike panust. Eesti tingimustes on füüsiliste isikute panus oluline, kuna neile kuulub 27,9% metsamaa kogupindalast³⁴. 2019. aasta kohta deklareerisid füüsilised isikud 36,4 mln eurot puidu müügist saadud tulu³⁵ (Maksu- ja Tolliameti andmetel).

Lisandväärtuse prognoosimiseks on 2009.–2018. aasta lisandväärtuse ja raiete kogumahu põhjal tuletatud regressioonivõrrandid, mille argumentmuutuja on raiemaht (mln m³ aastas). Kümne aasta pikkune andmerida sisaldab nii 2009. aasta majanduskriisi mõju raietoodete turule ja metsamajandusele kui ka sellele järgnevaid majanduse kasvuperioodi ja stabiilse majandusarengu aastaid.

Modelleerimisel kasutatud andmestik ja mudelid kirjeldavad valdkonna senist arengut. Võimalikke muudatusi tehnoloogilises arengus, ressursikasutuse tõhustamist, tootmisprotsesside sisendite struktuuri muutusi ja muid selliseid lisandväärtust mõjutavaid tegureid ei ole prognoositud. Seetõttu ei saa mõju tõlgendamise seisukohast esmatähtsaks pidada tulemuste absoluutväärtusi, küll aga sobivad tulemused stsenaariumide võrdlemiseks ja erinevate näitajate põhjal prioriteetide seadmiseks.

Metsamajanduse lisandväärtust mõjutab olulisel määral puidu hind. Kuna aga puidu hinnainfo esitatakse erinevate sortimentide kohta erinevas kohas (kännul, vahelaos, lõpptarbija juures), siis ei ole agregeeritud andmeid ühe m³ puidu keskmise hinna kohta, mida saaks lisandväärtuse modelleerimisel kasutada. Üksikute sortimentide hinna ja täiendavate metsamajandust iseloomustavate argumentmuutujate, näiteks harvendusraiate mahu, lisamine ei suurendanud mudeli prognoosivõimet ja statistilist olulisust. Seepärast piirduakse lisandväärtuse modelleerimisel raiete kogumahuga.

³³ Statistikaameti andmebaas. <https://andmed.stat.ee/et/stat>

³⁴ Keskkonnaagentuur (2020). Aastaraamat Mets 2018. <https://www.keskkonnaagentuur.ee/et/aastaraamat-mets-2018>

³⁵ Maksu- ja Tolliamet (2020). Vastus järelpärimisele

Tabel 2.8 Raiemaht ja otsene lisandväärtus 2009.–2018. aastal

Aasta	Raiemaht*, mln m ³	Metsamajanduse ja metsavarumine	Metsasektor**
		lisandväärtus, mln €	
2009	6,3	150,2	409,4
2010	8,2	209,7	554,8
2011	9,0	269,8	658,4
2012	10,2	202,5	605,1
2013	10,2	220,7	649,6
2014	10,0	258,0	753,5
2015	10,0	271,0	808,7
2016	10,7	265,7	816,7
2017	12,5	245,8	852,3
2018	12,7	238,4	875,5

* SMI andmetel.

** Sisaldab metsamajandamist ja -varumist.

Metsamajanduse ja metsavarumise tegevusalal loodava otsese lisandväärtuse prognoosimiseks kasutatakse järgmist mudelit:

$$Y = 423,266 * \left(\frac{X}{X+0,1}\right)^{58,976}, \text{ kus}$$

Y = lisandväärtus, mln €

X = raiemaht, mln m³

Mudeli olulisustõenäosus $p < 0,05$, mudel on statistiliselt oluline, determinatsioonikordaja $R^2 = 0,54$.

Metsa- ja puidusektoris loodava otsese lisandväärtuse modelleerimiseks kasutati mudelit:

$$Y = 71,329 * X - 13,462, \text{ kus}$$

Y = lisandväärtus, mln €

X = raiemaht, mln m³

Mudeli olulisustõenäosus $p < 0,05$, mudel on statistiliselt oluline, determinatsioonikordaja $R^2 = 0,81$.

Tulemused

Tabel 2.9 Metsamajanduse ja metsavarumise tegevusala otsene lisandväärtus, mln € aastas

Raiestsenaarium	Periood		
	2021–2030	2031–2040	2041–2050
R1 – ühtlane kasutus	239	238	234
R2 – arvestuslank	270	252	233
R3 – küpsuslank	312	217	225
R4 – uuendusraie 5 mln m ³	188	183	181

Tabel 2.10 Metsasektori otsene lisandväärtus, mln € aastas

Raiestsenaarium	Periood		
	2021–2030	2031–2040	2041–2050
R1 – ühtlane kasutus	721	714	693
R2 – arvestuslank	921	793	686
R3 – küpsuslank	1363	614	650
R4 – uuendusraie 5 mln m ³	500	486	479

Puidu töötlemine annab kogu väärtusahelas esialgsele, metsamajanduse ja metsavarumise tegevusalas loodud lisandväärtusele täiendavalt juurde kahekordse väärtuse, nii et kogu sektori otsene lisandväärtus on võrreldes primaarsektoriga ligikaudu kolmekordne.

Kaudse lisandväärtuse hindamiseks kasutati Ernst and Young Baltic ASi 2020. aasta uuringu „Metsa- ja puidusektori sotsiaalmajandusliku mõju analüüs“³⁶ tulemusi, millest tuletati otsese ja kaudse lisandväärtuse seoseid. Kaudne mõju avaldub metsasektori ettevõtete tarneahela kaudu. Ettevõtted teevad koostööd teiste sektoritega, hankides sealt tootmise jaoks vajalikke sisendeid, ostes kaupu ja teenuseid. Selle tulemusena kandub metsa- ja puidusektori nõudlus üle ka teistesse sektoritesse ning avaldab seeläbi kaudset mõju majandusele. Kaasnevat mõju, mis avaldub metsa- ja puidusektori töötajate saadud sissetuleku tarbimises ja sellega majanduse ergutamises (indutseeritud lisandväärtus), ei ole käesolevas uuringus arvesse võetud.

Tabel 2.11 Metsasektori otsene ja kaudne lisandväärtus kokku, mln € aastas

Raiestsenaarium	Periood		
	2021–2030	2031–2040	2041–2050
R1 – ühtlane kasutus	1277	1264	1226
R2 – arvestuslank	1630	1403	1213
R3 – küpsuslank	2413	1087	1150
R4 – uuendusraie 5 mln m ³	885	860	847

Kuna raiestsenaariumi „R3 – küpsuslank“ raiemaht on esimesel perioodil teiste stsenaariumidega võrreldes märkimisväärselt suurem, on võimalik suurema puidu koguse baasil luua enim lisandväärtust, mis on ligikaudu kahekordne võrreldes ühtlase kasutuse langiga ja peaaegu kolmekordne võrreldes 5 mln m³ suuruse uuendusraie mahuga. Küpsuslangi järsu kahanemisega teisel kümnendil kaasneb aga sama järsk lisandväärtuse vähenemine, tulemus jääb alla nii arvestuslangi kui ühtlase kasutuse langi stsenaariumile. Küpsuslangi mahus raiumine on pigem teoreetiline võimalus, sest raietegevust mõjutavad raiekohtade valik ja ruumiline paigutamine (liitumisaja piirangud), puidusortimentide hind ja nõudlus, eraomanike varieeruv huvi metsade aktiivse majandamise vastu, ilmastikutingimused, metsavarumise võimsuste olemasolu. Mainitud asjaolusid ei ole küpsuslangi arvutamisel arvesse võetud, lähtutakse ainult raiet lubavatest parameetritest. Järsud muudatused puidupakkumises nii ühes kui ka teises suunas ei toeta metsasektori stabiilset arengut.

2.2.4.2 Tööhõive

2009.–2018. aastal oli metsa- ja puidusektori tegevusaladel hõivatud keskmiselt 24 200 töötajat. Ligi kolmveerand töötajatest olid tööl alaliselt, ajutiste töötajate keskmine osakaal

³⁶ Ernst & Young Baltic AS (2020). Metsa- ja puidusektori sotsiaalmajandusliku mõju analüüs. 44 lk.

metsamajanduses- ja varumises on 11%, puidu ja paberitööstuses 2,7%. Analüüsitava kolme tegevusala hõivatute osakaal moodustab ligikaudu 5% majanduses hõivatute koguarvust. Enamik metsandusega otseselt ja kaudselt seonduvaid töökohti on seotud maapiirkondadega.

Tabel 2.12 Metsanduse allsektorites hõivatute arv (1000 töötajat) 2009.–2018. aastal

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Metsamajandus ja metsavarumine	5,3	5,8	5,7	7,1	7,2	7,0	7,8	6,5	5,3	5,8
Puidutöötlemine	14,0	12,6	14,6	16,1	16,2	15,4	19,4	19,1	17,6	19,5
Paberi ja pabertoodete tootmine	1,8	0,7	0,8	1,5	2,0	2,4	1,7	1,2	0,8	0,9
Kokku	21,1	19,1	21,1	24,7	25,4	24,8	28,9	26,8	23,7	26,2

Allikas: Statistikaamet.

Sektori tööhõive kohta on võimalik varasemate andmete abil tuletada mudel, kus argumentmuutujaks on raiemahu naturaallogaritm.

$$Y = 8977,6 * \ln(X) + 3684,6$$

Y = tööhõive, 1000 töötajat

X = raiemaht, mln m³

Mudeli olulisustõenäosus p = 0,06, determinatsioonikordaja R² = 0,37.

Mudeli p-väärtus ehk statistiline olulisus jääb üle 5% taseme (statistiliselt mitteoluliseks), sest korrelatsioon raiemahu ja tööhõive vahel on olnud küllatki madal. Tehnoloogia areng, ettevõtete restruktureerimine ja muud sarnased tegurid mõjutavad olulisel määral töökohtade hulka ja nende muutumist. Modelleeritud tööhõive näitajad on esitatud tabelis 2.13. Otsesele tööhõivele on lisatud kaudse tööhõive näitajad, mis Ernst and Young Baltic ASi 2020. aasta uuringu kohaselt moodustavad 71% otsesest tööhõivest.

Tabel 2.13 Metsasektori otsene ja kaudne tööhõive kokku, 1000 hõivatut

Raiestsenaarium	Periood		
	2021–2030	2031–2040	2041–2050
R1 – Ühtlane kasutus	42,1	42,0	41,5
R2 – Arvestuslank	45,8	43,5	41,3
R3 – Küpsuslank	51,7	39,7	40,5
R4 – Uuendusraie 5 mln m ³	36,6	36,1	36,0

2019. aastal oli vaatlusaluste tegevusalade otsene tööhõive 26 600 töötajat, koos kaudse tööhõivega 45 500 hõivatut. Raiemahtude stsenaariumidest on praeguse tööhõivega väga sarnane arvestuslangi prognoos. Ühtlase kasutuse raiestsenaariumi realiseerumisel väheneb töötajate arv 3400 võrra (7,5%), 5 mln m³ uuendusraie korral 8900 töötaja (19,6%) võrra võrreldes 2019. aastaga. Küpsuslangi stsenaariumiga kaasneks esimesel kümnendil metsasektori töötajate arvu kasv 6200 võrra (13,6%) 51 700 töötajani, mis aga koos raiemahu vähenemisega teisel kümnendil kahaneks 12 000 võrra ja jääks 12,7% väiksemaks kui praegune hõivatute arv. Küpsuslangiga seotud prognoositud tööhõivet iseloomustab võrreldes kolme ülejäänud stsenaariumiga suur volatiilsus.

2.2.4.3 Netotulu

Metsa majandamise netotulu hindamisel võetakse arvesse puidu müügitulu, müügiga seotud kulud ning metsa majandamisel tehtud kulud. Metsamajanduse summaarse netotulu kujunemisel on oluline osa erametsaomanike metsadel ja neist raiutava puidu müügist saadud tulul. Sisenditena on võimalik kasutada erametsanduse kattetulu³⁷ või RMK metsa majandamise rahalisi näitajaid³⁸. Kuna erametsanduse kattetulu puhul ei ole arvestatud metsamajanduslike investeeringutega ja metsamajanduslikke töid tehakse erametsades oluliselt vähem kui riigimetsades, kasutatakse käesolevas uuringus sisendina RMK näitajaid. 2017.–2019. aastal oli RMK arvestuste kohaselt 1 m³ raiutud puidu kohta saadud puhastulu 10,84 eurot (RMK 2018. ja 2019. aasta majandusaasta aruanded).

Tabelis 2.14 on esitatud raiestsenaariumitele vastava puidu müügi mahule vastava metsamajanduse netotulu suurus, st tulu, mida metsaomanikud metsa majandamisest saavad.

Tabel 2.14 Metsa majandamise netotulu, mln eurot aastas

Raiestsenaarium	Periood		
	2021–2030	2031–2040	2041–2050
R1 – ühtlane kasutus	112	111	107
R2 – arvestuslank	142	122	106
R3 – küpsuslank	209	95	101
R4 – uuendusraie 5 mln m ³	78	76	75

Stsenaariumide raiemahud 2021.–2030. aastal erinevad üksteisest märkimisväärselt, näiteks küpsuslanki raiemaht on 1,87 korda suurem kui ühtlase kasutuse raiemaht. Samasuguses proportsioonis erineb ka metsaomanike teenitav tulu.

2.2.4.4 Bioloogilise vara väärtus

Eespool esitatud näitajad nagu lisandväärtus ja netotulu sõltuvad otseselt raiemahust, mille suurenedes nii netotulu kui ka lisandväärtuse summa suureneb, raiemahu vähenedes muutuvad samuti summad väiksemaks. Kuna raietega realiseeritakse aastakümnete jooksul puistutesse kogunenud puitu, on oluline jälgida metsa tagavara ja selle väärtusega toimuvaid muutusi. Majandustegevusele hinnangu andmisel on otstarbekas jälgida nii kasutuselevõetud kui ka allesjääva varu summaarset väärtust.

Kasvav mets kuulub ettevõtete bioloogilise vara hulka, mida kajastatakse ettevõtte bilansis. Puidu kui bioloogilise vara väärtus on arvatud Riigimetsa Majandamise Keskuse (RMK) 2018. ja 2019. aasta bioloogilise vara väärtuse põhjal ühe m³ puidu väärtuse, majandatavate puistute pindala ja keskmise hektaritagavara kaudu. Tulemuseks saadi 5,75 eurot m³ kohta. Bioloogilise vara väärtus riigimetsas sõltub kümneaastase perioodi ennustatavast puidu müügi hinnast, kuludest, intressimäärast ja inflatsioonimäärast. Võrreldes varasemate aastatega, on bioloogilise vara ühe kuupmeetri arvestuslik väärtus vähenenud, kuna prognoositav puidu hind perioodiks 2020–2029 on võrreldes perioodiga 2019–2028 ca 10% madalam, keskmine metsamajandamise

³⁷ Finantsmaailm OÜ (2016). Erametsade majandamise 2013. ja 2014. aasta kattetulu analüüs. Lõpparuanne. 39 lk.

³⁸ Riigimetsa Majandamise Keskus. Majandusaasta aruanded 2018 ja 2019.

https://media.rmk.ee/files/RMK_majandusaasta_aruanne_2018.pdf,

https://media.rmk.ee/files/rmk_majandusaasta_aruanne_2019.pdf

tulu metsamaterjali ühiku kohta oli prognoosi kohaselt 5,74 eurot madalam kui eelmisel perioodil.

Tabel 2.15 Bioloogilise vara väärtus perioodi lõpus, mln €

Raiestsenaarium	Aasta		
	2030	2040	2050
R1 – ühtlane kasutus	2358	2346	2369
R2 – arvestuslank	2168	2076	2128
R3 – küpsuslank	1748	1863	1995
R4 – uuendusraie 5 mln m ³	2530	2680	2823

Tegemist on biomassi raamatupidamisliku väärtusega, mille juures ei ole arvesse võetud puuliikide turuhinna erinevusi, aastakümnete jooksul toimuvat puuliikide osakaalu muutust ega muutusi puidu kvaliteedis.

2.2.4.5 Süsiniku sidumise väärtus

Stsenaariumide rakendumisest tulenev süsiniku sidumise ja heite rahaline väärtus on tuletatud ühe tonni CO₂ ekvivalendi kauplemisshinna ning raiestsenaariumidest tuleneva metsamaa ning puittoodete süsinikubilansi põhjal (vt ptk 2.2.3.1–2.2.3.4). Tulemusi on kõrvutatud 2021.–2025. aastaks Eestile määratud metsamaa võrdlustasemega, mis on -1,33 Mt CO₂ ekv ja koos puittoodetega -1,75 Mt CO₂ ekv³⁹. Kauplemisshinnana arvestati 25 eurot ja 50 eurot ühe tonni CO₂ ekvivalendi kohta. Juhul kui riik ei suuda sellele määratud võrdlustaset (metsa puhul süsiniku netosidumine) saavutada, on võimalik kauplemissühikuid juurde osta.

Tabel 2.16 Võrdlustasemest erineva CO₂ ekv kogus ja väärtus 2030. ja 2050. aastal

Raiestsenaarium	2030		2050	
	Kogus, kt	Väärtus*, mln €	Kogus, kt	Väärtus*, mln €
R1 – ühtlane kasutus	1 548	39–77	511	13–26
R2 – arvestuslank	-2 324	-58 – -116	1 054	26–53
R3 – küpsuslank	-10 926	-273 – -546	2 717	68–136
R4 – uuendusraie 5 mln m ³	5 096	127–255	2 626	66–131

*t CO₂ ekv hindade 25 ja 50 €/t juures.

Märkus. Miinusmärk tähistab võrdlustasemest vähem seotud kogust ja väärtust.

Prognoosnäitajate kõrvutamine võrdlustasemega annab realistlikke tulemusi esimese kümnendi kohta, sest praegune LULUCFi metsamajanduse ja puidu võrdlustase -1,75 Mt CO₂ ekv kehtib aastani 2025. Raiestsenaariumide süsinikubilanss näitab, et arvestuslangi stsenaariumi realiseerumisel võib riigil kuni 2030. aastani tekkida täiendav kauplemissühikute ostu vajadus maksumusega 34–68 mln eurot ja küpsuslangi korral 249–498 mln eurot aastas (vt tabel 2.17). 2050. aastal aga annavad kõik neli stsenaariumit suurema süsinikusidumise kui on praegune võrdlustase, kusjuures küpsuslangi ja uuendusraie 5 miljonit m³ stsenaariumi süsiniku sidumine on küllaltki sarnane.

³⁹ Metsanduse arvestuskava 2021-2025. <https://envir.ee/media/1032/download>

2.2.4.6 Raiestsenaariumide sotsiaalmajandusliku analüüsi kokkuvõte

Tabelitesse 2.17 ja 2.18 on koondatud raiestsenaariumide analüüsi tulemused vastavalt 2030. aastal ja 2050. aastal.

Tabel 2.17 Metsasektori prognoositavad näitajad 2030. aastal

Näitaja	Ühik	Raiestsenaarium			
		R1 – ühtlane kasutus	R2 – arvestuslank	R3 – küpsuslank	R4 – uuendusraie 5 mln m ³
Metsasektori otsene ja kaudne lisandväärtus kokku	mln €/a	1277	1630	2413	885
Otsene ja kaudne tööhõive kokku	1000 töötajat	41,1	45,8	51,7	36,6
Metsamajanduse netotulu	mln €/a	112	142	209	78
Bioloogilise vara väärtus	mln €	2358	2168	1748	2530
Süsinikubilansi väärtus* võrreldes võrdlustasemega	mln €/a	39–77	-58 – -116	-273 – -546	127–255
Võimalik kauplemisühikute müügi võimalus/ostmise vajadus	mln €/a	24–48	-34 – -68	-249 – -498	12–24

*t CO₂ ekv hindade 25 ja 50 €/t juures

miinusmärk tähendab väiksemat sidumist võrreldes võrdlustasemega.

Aastaks 2030 saavutatakse metsamajanduse ja puittoodete süsinikusidumise võrdlustase neljast stsenaariumist kahega: ühtlase kasutuse ja 5 mln m³ uuendusraie mahuga. Sotsiaalmajanduslikku mõju silmas pidades tuleks eelistada ühtlast kasutust, mille rakendumisel on prognoositav metsasektori lisandväärtus 392 mln euro ja tööhõive 5500 hõivatut ehk ca 12% suurem kui stsenaariumi 5 mln m³ uuendusraie mahu korral.

Ühtlase kasutuse ja 5 mln m³ uuendusraie korral on süsinikusidumine võrdlustasemest suurem ja võib tekkida võimalus kauplemisühikute müügiks. LULUCF reeglites (vt ptk 1.2) tulenevalt ei ole võimalik kogu võrdlustaset ületava süsinikukogusega kaubelda. Prognoosi kohaselt on 5 mln m³ uuendusraie korral võrdlustaset ületava netosidumise väärtus ligikaudu kolm korda suurem kui ühtlase kasutuse korral. Samal ajal potentsiaalselt kaubeldav väärtus on suurem ühtlase kasutuse korral. Põhjus peitub LULUCFi arvestusreeglites, mille kohaselt saab liikmesriik kompenseerimisel või kauplemisel arvestada vaid 3,5% 1990. aasta netosidumisest (138 kt CO₂). Piirangut ei kohaldata surnud puidu ning saematerjali ja puitplaatidesse seotud süsiniku kogusele. Ühtlase kasutuse korral seotakse saematerjali ja puitplaatidesse 698 kt CO₂ ja 5 mln m³ uuendusraie korral 243 kt CO₂.

Kauplemisühikute müügi võimalust ja ostmise vajadust 2050. aastal ei ole hinnatud, sest võrreldes praegusega võivad olulisel määral muutuda nii metsamajanduse ja raietoodete võrdlustase kui ka LULUCFi süsinikukaubanduse põhimõtted.

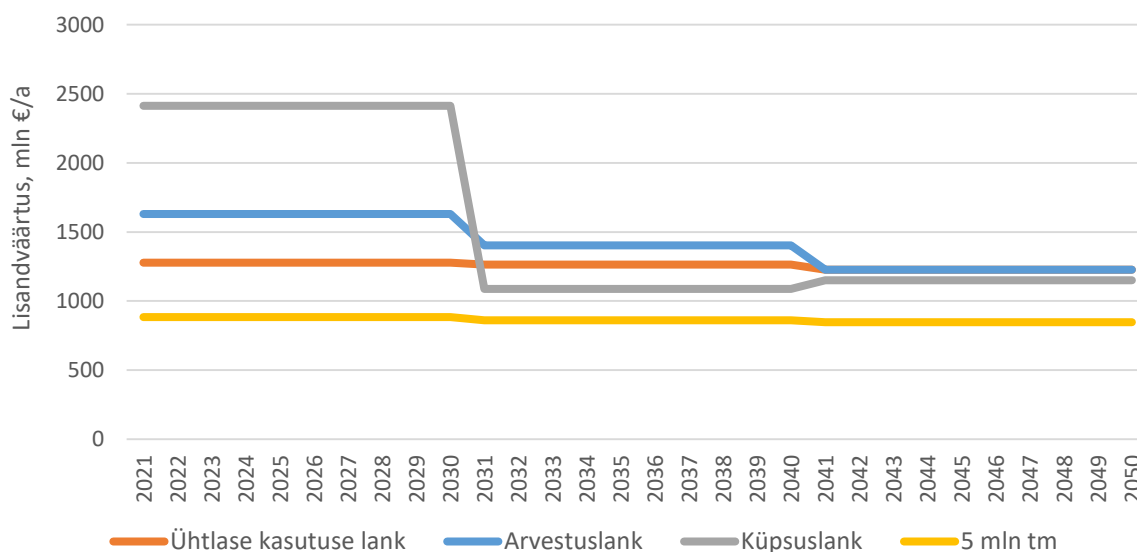
Tabel 2.18 Metsasektori prognoositavad näitajad 2050. aastal

Näitaja	Ühik	Stsenaarium			
		R1 – ühtlane kasutus	R2 – arvestuslank	R3 – küpsuslank	R4 – uuendusraie 5 mln m ³
Metsasektori otsene ja kaudne lisandväärtus kokku	mln €/a	1226	1213	1150	847
Otsene ja kaudne tööhõive kokku	1000 töötajat	41,5	41,3	40,5	36,0
Metsamajanduse netotulu	mln €	107	106	101	75
Bioloogilise vara väärtus	mln €	2369	2128	1995	2823
Süsinikubilansi väärtus* võrreldes võrdlustasemega	mln €/a	13–26	26–52	68–136	66–132

*t CO₂ ekv hindade 25 ja 50 €/t juures.

Nii metsasektori otsese ja kaudse lisandväärtuse kui ka tööhõive prognoosväärtused on 2050. aastal stsenaariumide R1, R2 ja R3 jaoks küllaltki sarnased. Prognoosides sisalduv määramatus ei luba väita, et üks stsenaarium oleks eelnimetatud näitajate põhjal teisest parem. Metsade tagavara ja selle baasil arvutatud bioloogilise vara väärtus on ühtlase kasutuse korral 11–18% suurem kui arvestuslankil ja küpsuslankil. Raiestsenariumi uuendusraie 5 mln m³ korral on metsade bioloogilise vara väärtus võrreldes teiste stsenaariumidega 20–40% suurem, kuid võrreldes ülejäänud stsenaariumidega luuakse puidukasutuse baasil 35–40% vähem lisandväärtust.

Joonis 2.11 illustreerib raiemahu ja sellele baseeruva lisandväärtuse muutust kolmekümne aasta jooksul. 2040.–2050. aastal stsenaariumide R1–R3 raiemahud ja lisandväärtus sisuliselt võrdsustuvad. R4 puhul jääb metsasektori sotsiaalmajanduslik panus väiksemaks, näiteks ühtlase lanki (R1) raiemahuga võrreldes väheneb prognoositav hõivatute arv 2050. aastaks 5500 töötaja võrra ja aastane lisandväärtus on 379 mln euro võrra väiksem.



Joonis 2.11 Raiestsenariumide lisandväärtus 2021.–2050. aastal

2.2.4.7 Riskid ja uuringuvajadused

Ootus metsamajanduse järjest suuremale panusele kliimamuutuste leevendamisel, eelkõige teiste sektorite heite tasakaalustamisel raiemahu olulise piiramise kaudu vähendab metsa- ja puidusektori senist sotsiaalmajanduslikku rolli.

Raiemahtude suurendamisel ja vähendamisel on metsamaa süsinikubilansile kiire ja märkimisväärne lühiajaline mõju, aga juba kahekümne aasta möödudes (joonis 2.5.1) nii puidu- kui ka süsinikuvaru suurus ühtlustub (v.a raiestsenaariumi Uuendusraie 5 miljonit m³ korral). Samal ajal mõjutab administratiivne raiemahu muutmine ühele või teisele poole kujunenud turutasakaalu ja ei toeta sektori jätkusuutlikku arengut.

Ainult süsinikusidumise ja sotsiaalmajanduslikele mõjude optimeerimisel jäävad tähelepanuta metsade struktuurne ja puuliigiline mitmekesisus, elurikkus, metsade tervislik seisund ja puidu kvaliteet. Nimetatud näitajatega tuleks tulevaste optimeerimisülesannete määratlemisel ja lahendamisel samuti arvestada.

Käesolevas sotsiaalmajanduslikus analüüsis ei ole arvesse võetud raiemahu puuliigilist jaotust. Täpsemate sotsiaalmajanduslike prognooside tegemiseks tuleks edaspidi arvestada metsavaru puuliigilise jaotumise ja puidu alternatiivsete kasutusvõimalustega.

2.2.4.8 Kokkuvõte

Pikaajalised raiestsenaariumid lähtuvad puistute tagavarast, praegusest ja tulevases seisundist ning metsa majandamise regulatsioonidest. Esimese paarikümne aasta jooksul on stsenaariumide raiemaht ja sellest tulenev mõju märkimisväärselt erinevad. Seejärel aga alternatiivsed raiemahud ühtlustuvad ja sotsiaalmajanduslikud mõjudki hakkavad üksteisele lähenema.

Valdavalt on raiemahu ja sotsiaalmajanduslike näitajate vahel tugev positiivne korrelatsioon, käesolevas uuringus kinnitab seda puidu väärimisega loodava lisandväärtuse kujunemine. Tööhõive seos raiemahuga on küll positiivne, kuid eelmise näitajaga võrreldes nõrgem. Metsamajanduse netotulu aga sõltub otseselt varutud puidu mahust.

Aastaks 2030 saavutatakse metsamajanduse ja puittoodete süsinikusidumise võrdlustase neljast stsenaariumist kahega: ühtlase kasutuse ja uuendusraie 5 miljonit m³ stsenaariumiga. Sotsiaalmajanduslikku mõju silmas pidades tuleks eelistada ühtlase kasutuse lanki, mille rakendamisel on prognoositav sektori lisandväärtus 392 mln euro võrra ja tööhõive 5500 hõivatut ehk 12% võrra suurem kui 5 mln m³ uuendusraie mahu korral.

Küpsuslangi raiemahu rakendamisel muutuvad metsamaa ja raietooted perioodil 2021–2030 süsiniku emiteerijateks, ületades praegust võrdlustaset 10,9 Mt CO₂ ekvivalendi võrra. Kehtivaid kliimakokkuleppeid arvestades võib see kaasa tuua täiendava kauplemisühikute ostmise vajaduse, mis CO₂ ekvivalendi hinna juures 25 €/t on 249 mln eurot aastas. Arvestuslangi stsenaariumi korral on metsamajandus ja raietooted samuti netoheitjad, ületades võrdlustaset 2,3 Mt CO₂ ekvivalendi võrra. Täiendavaks kauplemisühikute ostmiseks kuluks ühikuhinna 25 €/t korral 34 mln eurot aastas. Ühtlane kasutus ja 5 mln m³ raiemaht võimaldaksid kauplemisühikute müüki vastavalt 24 mln ja 12 mln euro väärtuses.

2040.–2050. aastal kolme stsenaariumi – ühtlase kasutuse, arvestuslangi ja küpsuslangi – võimalikud raiemahud ja lisandväärtus sisuliselt võrdsustuvad. 5 miljoni m³ suuruse uuendusraie mahu juures jääb metsasektori sotsiaalmajanduslik panus võrreldes kolme ülejäänuga oluliselt väiksemaks.

Kahe esimese kümnendi raiemaht muudab 2050. aastaks puistute vanuselist struktuuri ja koos sellega nende süsinikusidumise võimet, nii et kõigi nelja stsenaariumi korral on sidumine suurem kui praegune metsamaa ja puittoodete võrdlustase.

2.3 Metsamaa pindala

2.3.1 Metsamaa määratlus

LULUCFi metsamaa määratlus on võrreldes Eesti metsaseaduses sätestatuga leebem, mistõttu on ka LULUCFi metsamaa kategooria pindala ja tagavara natuke suuremad (2019. aastal pindala ca 118 kha, tagavara 10 miljoni m³ võrra). LULUCFi metsamaa pindala hõlmab lisaks Eesti metsamaa kategooriale ka osalt puisrabasid, põõsastikke ja metsastuvaid rohumaid (vt tabel 2.19).

Tabel 2.19 Eesti ja LULUCFi maakategooriate pindalade võrdlustabel SMI 2019 andmetel, kha (NIR 2021)

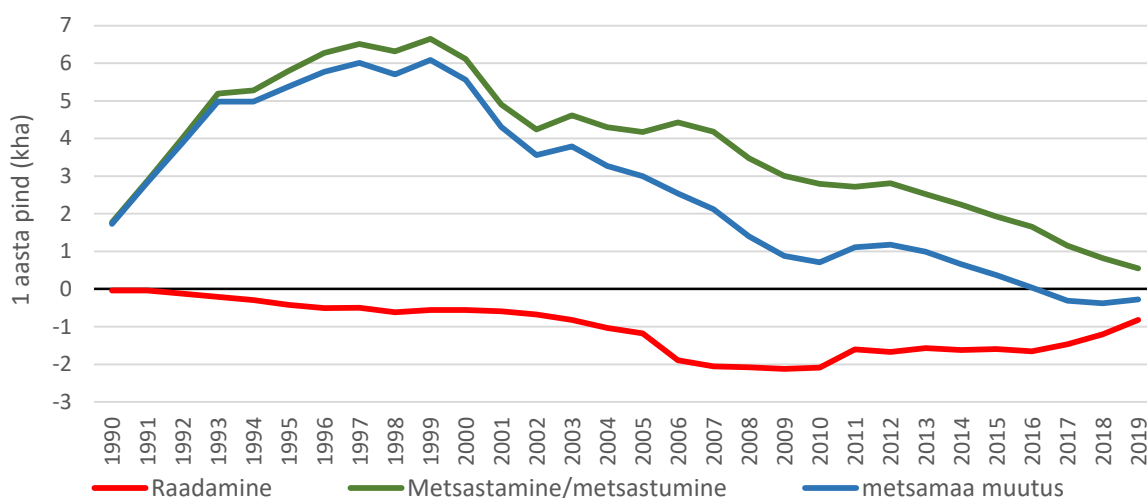
LULUCF maakategooria	Metsamaa	Põllumaa	Rohumaa	Märgalad	Asulad	Muu maa
Eesti maakategooria						
Metsaga metsamaa (M)	2 142,02					
Metsata metsamaa (MM)	190,56					
Haritav põllumaa (PM, v.a PK, PR)		650,35				
Püskikultuurid (PK)		1,25				
Pikaajaline kultuurrohumaa (PR)		333,95				
Põõsastik (P)	20,12		45,45			
Looduslik rohumaa (RM)	35,27		204,96			
Soo (S)	58,13		22,77	139,63		
Siseveed (SV)				262,80		
Turbakarjäärid (KT)				21,47		
Karjäärid (K, v.a KT)					8,38	
Asulad (A, v.a T, TR)					202,88	
Teed ja raudteed (T)					67,31	
Trassid (TR)					78,86	
Kasutuskõlbmatu mineraalmaa (KK)	4,06		2,81			34,70
Muu maa (Y)						6,20
Kokku	2 450,14	985,55	275,98	423,90	357,43	40,91

2.3.2 Metsamaa pindala muutumine

Eesti metsa pindala on viimase 80 aasta jooksul olnud kasvutrendis. Erinevatel aegadel on aktiivselt tegeletud metsastamisega või on kasutuseta põllu- ja rohumaid ise metsastunud. Viimasel kümnendil on aga metsamaa pinna kasv aeglustunud ning alates 2017. aastast on metsamaa pind LULUCFi tähenduses isegi natuke kahanenud. Selle põhjuseks on nii metsastumise (nii inimtekkeline kui ka looduslik) vähenemine kui ka raadamiste suurenemine (vt joonis 2.12).

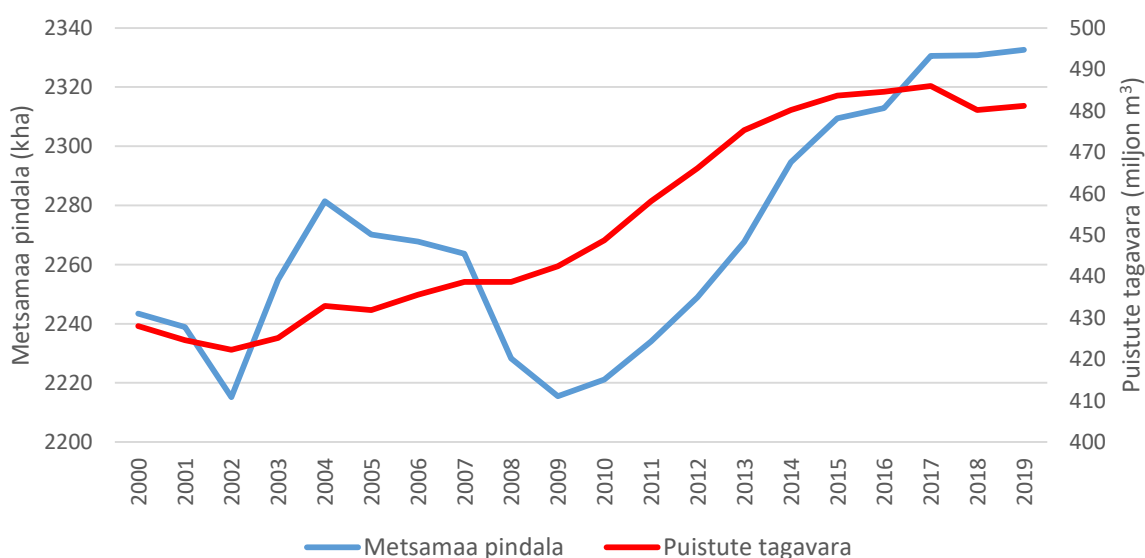
1990ndate aastate alguses sotsialistlik põllumajandussüsteem lagunes ja märgatav osa põllumajandusmaast langes kasutusest välja. Osalt hakkas see metsastuma, mistõttu metsamaa

pindala suurenes. Kasvas ka metsa tagavara, seda eelkõige 1990ndate aastate esimese poole madala raieintensiivsuse tõttu. Olukord hakkas muutuma pärast sajandivahetust, kui Eesti sai Euroopa Liidu liikmeks. Põllumajandus kosus eelkõige toetuste najal ja metsastumine pidurdus, sest osa vahepeal metsastunud põllu- ja rohumaid võeti taas kasutusele. Samas täielikult põllumajandusmaa metsastumine lõppenud ei ole, on ka selliseid põllu- ja rohumaid, mida oma asukoha või mullaviljakuse tõttu ei ole otstarbekas kasutada. Lisaks pidurdab metsamaa pindala kasvu ka muul eesmärgil raadamine, näiteks valglinnastumise (uusarendused endisel metsamaal) või erinevate taristuobjektide loomise või laiendamise (teed, liinitrassid) käigus (vt joonis 2.12). Metsa tagavara suurenemine on pidurdunud suhteliselt kõrge raie mahu tõttu viimasel kümnendil. Tulemus on näha ka joonisel 2.13 – nii metsamaa pindala kui ka tagavara on viimastel aastatel stabiliseerunud – oluliselt see ei suurene, kuid ka ei vähene.



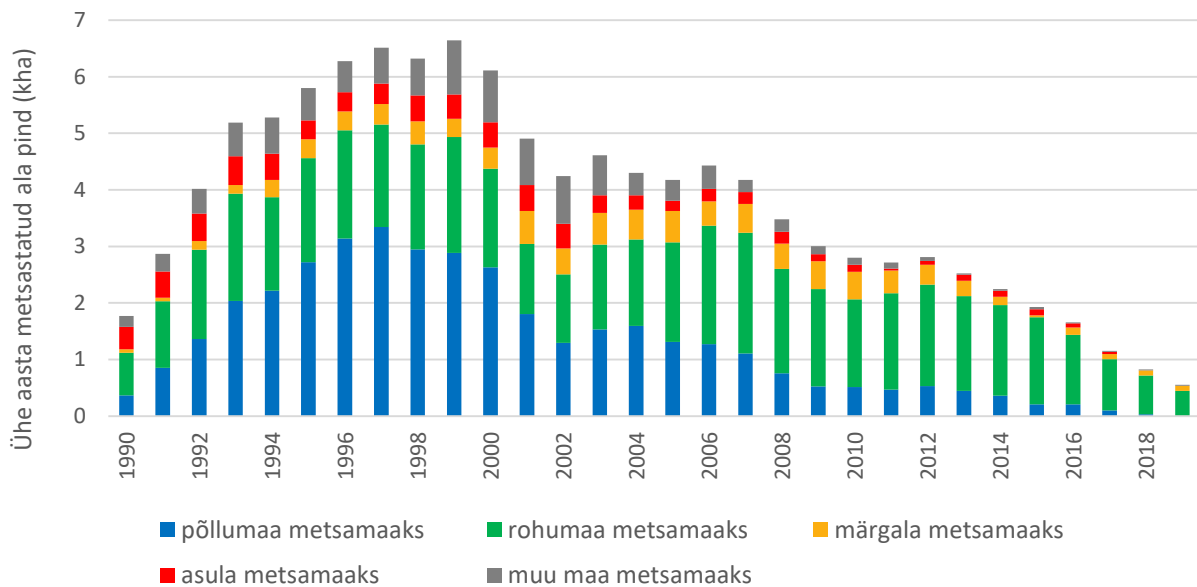
Joonis 2.12 Metsamaa pindala muutumine (raadamine, metsastumine ja bilanss ha/a) 1990.–2019. aastal (NIR 2021)

Metsamaa pindala ja puistute tagavara muutumist viimasel 20 aastal kajastab joonis 2.13.



Joonis 2.13 Metsamaa pindala ja puistute tagavara 2000.–2019. aastal (allikas: SMI, Eesti metsadefinitsiooni alusel)

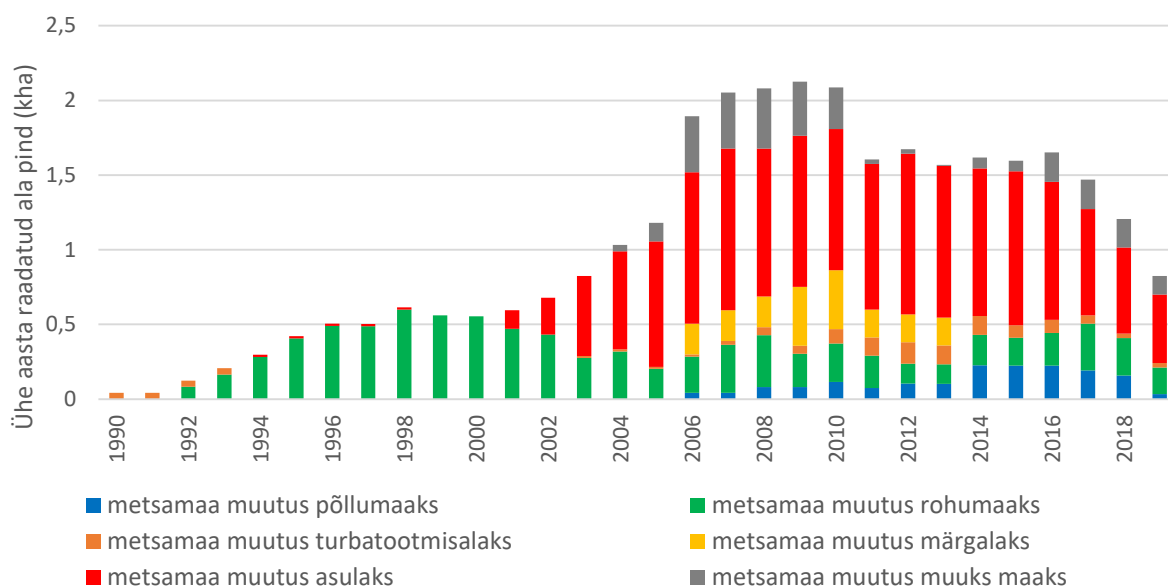
Kui uurida milliste alade arvelt metsamaa pind on suurenenud, siis peamiselt on see toimunud põllumaa või rohumaa arvelt. Väiksema osakaaluga on olnud märgalade, asulate ja muu maa kategooriate metsastumine (vt joonis 2.14).



Joonis 2.14 Metsastunud ala aastane jaotus varasema maakategooria järgi (LULUCFi määratlus)

Raadamise tõttu aastased maakategooria muutused on esitatud joonisel 2.15. Tavaliselt mõeldakse raadamise all eelkõige metsamaa muutust asustusmaaks, tegelikkuses moodustab aga raadamine asustusmaaks kogu raadamise mahust alates 1990. aastast alla poole. Sealjuures hoogustus raadamine asustusmaaks 2000. aastate keskel. Teiseks suuremaks raadamise tulemiks on rohumaa. Rohumaaks raadamise põhjuseks on nii poollooduslike koosluste taastamine kui ka metsastunud põllumaade taas püsirohumaa muutmine. Analoogne stsenaarium on samuti kategooria „Metsamaa muutus põllumaaks“ korral, kinnikasvanud põllumaad raiutakse lagedaks ja võetakse uuesti põllumaana kasutusse. Tähelepanu tasub ka pöörata kategooriale „Metsamaa muutus muuks maaks“, mille suhteliselt suure muutumise taga 2006.–2010. aastal on sõjaväepolügoonide rajamine.

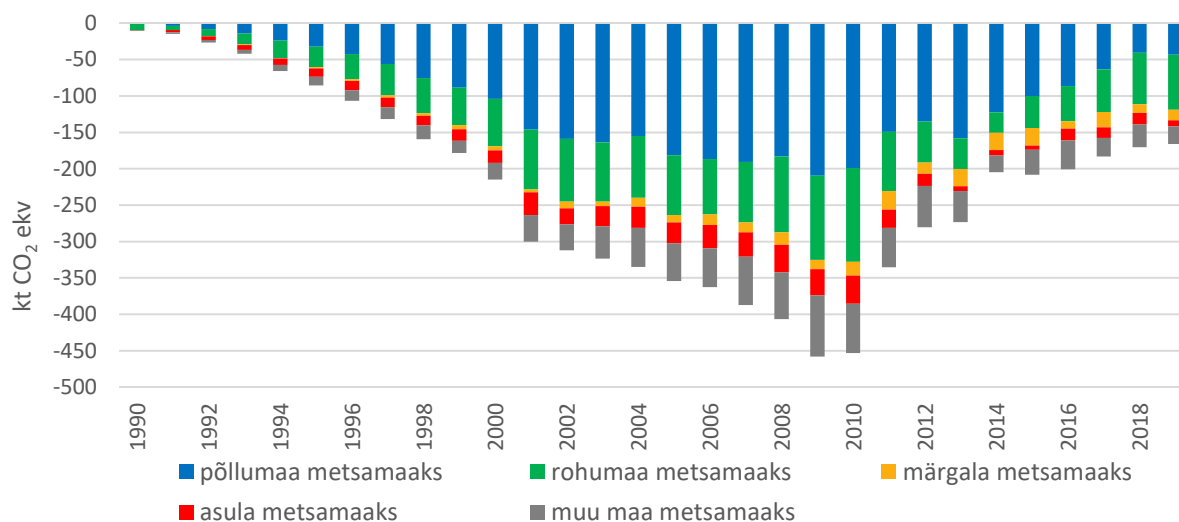
Nii raadamise kui ka metsastumise üksikasjalikul aastasel vaatlusel on tegemist SMI proovitükkidel põhineva statistilise hinnanguga, mitte absoluutväärtusega. Järelduste tegemiseks tuleks analüüsida mitme aasta keskmist ning trendi.



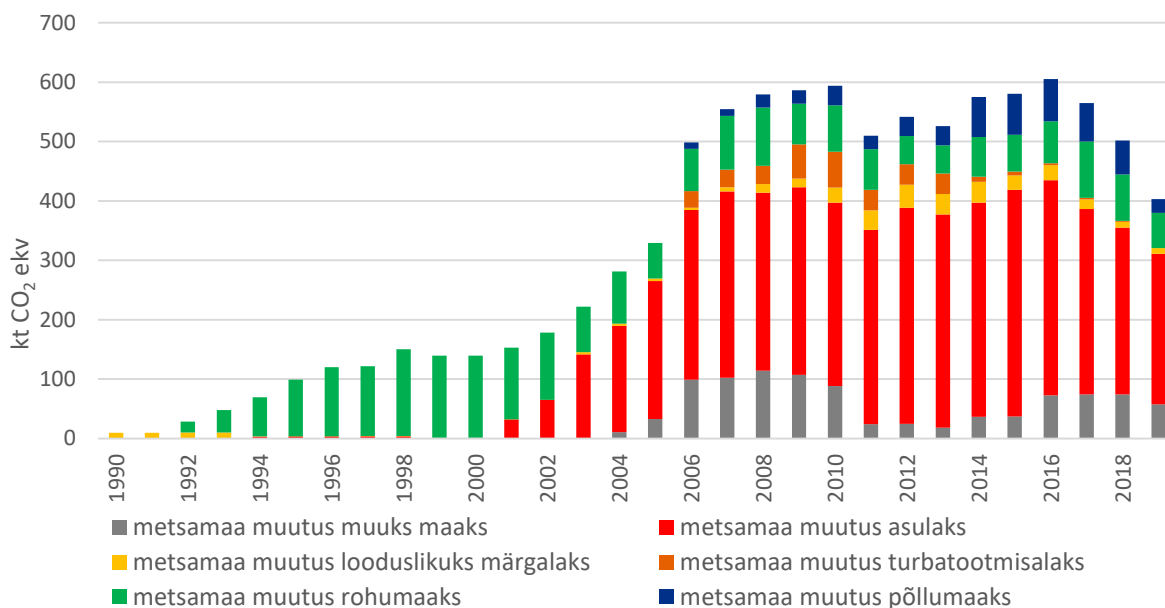
Joonis 2.15 Raadatud metsamaa jaotus hilisema maakatgoria järgi (LULUCFi määratlus)

Kui raadamiste kogupindala alates 1990. aastast on jäänud metsastumise ja metsastamise pindalale alla, siis tekkinud heite/sidumise osas on tulemus vastupidine. Siiski ei ole ühe aasta pindala muutus ja tekkinud heite/sidumine LULUCFi arvestuses otseselt võrreldavad näitajad. Pindala muutus on ühekordne, heidet arvestatakse aga 20 aasta jooksul. Näiteks metsa raadamisel põllumaaks raiutakse puud ja sellest tulenev heide arvestatakse ühekordselt, mullastikus toimuvad muutused nii kiired ei ole, seepärast arvestataksegi mullast tulenevat heidet pikema ajavahemiku jooksul.

Metsastumisel/metsastamisel toimub sidumise arvestamine samamoodi, kuid lisaks aeglasele muutusele mullastikus on metsastamisel/metsastamisel algul aeglane ka süsiniku sidumine puitsesse biomassi. Metsastumise/metsastamise ja raadamise jaotuvus muutuva maakatgoria kohaselt on esitatud joonistel 2.16 ja 2.17. Tulenevalt eespool kirjeldatud 20 aasta reeglist ei näita jooniste esimesed 20 aastat heite ja sidumise tegelikku suurust, aastad on otse võrreldavad alates 2010. aastast.



Joonis 2.16 Metsastunud ala KHG aastane netosidumine varasema maakatgoria järgi (LULUCFi määratlus)



Joonis 2.17 Raadatud ala KHG aastane netoheide hilisema maakategooria järgi (LULUCFi määratlus)

2.3.3 Raadamise kompenseerimine

Raadamisel tekitatud heite kompenseerimisel tuleb kindlasti arvestada pikaajalise mõjuga (minimaalselt raiering). Kindlasti on olulised ka küsimused: mida raadatakse ja milleks raadatakse. Näiteks on erinev mõju põlise metsamaa raadamisel või esimese metsapõlvkonnana rajatud või isetekkelisel noore metsa raadamisel. Mõju erineb nii süsiniku sidumise kui ka ökoloogilisest aspektist tulenevalt. Oluline on ka raadamise tulemus, näiteks võib tekkida hoopis poollooduslik kooslus. Kui süsiniku sidumise vaatest erilist vahet ei olegi, siis kindlasti kaasneb erisus ökoloogilisest aspektist lähtuvalt.

Kindlasti ei piisa kui raadamisel kompenseeritakse vaid uue metsa rajamise kulud. Kahtlemata ei kata see kulu ökoloogilist kaotust (eriti põlise metsamaa kadumisel), samuti on lühemas ja keskpikas perspektiivis suur kaotus süsiniku sidumise vähenemine. Samuti ei pruugi tegelikkuses leiduda piisavalt sama väärtusega maad, mida metsastada.

Süsiniku sidumise aspektist tulenevalt tuleks kompenseerida keskmine talletatud süsiniku kogus. Keskmisi hinnanguid tuleks kasutada eeskirjade pahatahtliku ärakasutamise vältimiseks. Näiteks kui raielangid raadamine oleks odavam kui vana metsa raadamine, siis oleks odavam teha kõigepealt legaalne raie ning siis maksta väiksem summa raadamise kompenseerimiseks. Sisuline tulemus oleks aga sama kohe tehtava raadamisega. Arvestades, et Eestis on keskmiseks hektaritagavaraks ca 200 m³/ha, on ühel hektaril nii maa-alusesse kui ka maapealsesse elusasse biomassi talletatud keskmisena 254 t CO₂. Lisaks on metsamaal surnud puitu ca 20 m³/ha, millesse on talletatud ca 10 t CO₂/ha.

Arvestades eelkirjeldatud oleks keskmiseks metsa biomassi varutud CO₂ koguseks 264 t/ha. Kui see korrutada läbi heitkoguse ühikuhinnaga 25 eur/CO₂ t, siis saaksime 1 hektari raadamise hinnaks 6400 eurot.

Kindlasti toimuvad muutused ka mulla heitest ja sidumisest tulenevalt, näiteks raadamisel karjäärriks või tee-ehituseks eemaldatakse kogu mineraalne pinnas. Raadamisel niiduks või pargiks mulda varutud süsiniku osas kiiret muutust aga ei kaasne. Raadamise kompenseerimise

arvutamisel võiks eelkõige arvestada muutusega tuleviku süsiniku sidumise potentsiaali suhtes. Samas on siin ka probleemkohad, kuna näiteks kuivendatud turvasmuldadel metsad on süsiniku heitjad, siis muldade tõttu raadamine hoopis odavneks. Arvestades eelkirjeldatud ja võttes mineraalmuldadel sidumise koefitsiendiks $-0,63 \text{ t CO}_2/\text{ha}$, ning arvestades raieringiga 80 aastat, suureneks raadamise kompenseerimise väärtus 1260 euro võrra. Seega arvestades pikaajaliselt nii puitsesse biomassi kui ka mulda seotud süsiniku kadu ning võttes heitkoguse ühikuhinnaks 25 eur/ $\text{CO}_2 \text{ t}$ tuleks 1 hektari raadamise hinnaks 7660 eurot.

Raadamise kompenseerimise kohustust pannes oleks mõistlik arvestada ka metsamaaks oldud ajaga. Ilmselt ei ole kompenseerimise kohustus asjakohane esimese põlvkonna noore metsa (kuni 20 aastat vana) raadamisel.

2.3.4 Metsastamine

Uuringus „Eesti kliimaambitsiooni tõstmise võimekuse analüüs“⁴⁰ tõdeti, et metsastamine meetmena annab võimaliku väljundi aktiivsest kasutusest väljas olevale maale ja suurendab süsinikutagavara. Uuring esitas konservatiivse metsastava pindala hinnanguna 110 000 ha looduslikke rohumaid perioodil 2020–2050. Samas rõhutati täiendatavate uuringute vajadust metsastamisprogrammi väljatöötamiseks.

Seni pole kokku lepitud, kui suur on maade pindala, mida võiks kliimaeesmärkide täitmise toetamiseks metsastada. Maaeluministerium on käivitanud projekti „Põllumajandusliku maakasutuse muutuse analüüs sõltuvalt tulevikustsenaariumitest“, mille eesmärk on luua erinevad stsenaariumid põllumajandusliku maakasutuse võimalike muutuste kohta ja analüüsida mõjutegureid. Projekti kava kohaselt luuakse 2021. aasta jooksul kaardikihid, kus on esitatud põllumajandusmaade ja potentsiaaliga maade paiknemine ning alad, mille võiks metsastada või mis on sobilikud energia tootmiseks.

Metsastamismeetme puhul eeldatakse, et looduslikud rohumaad on aktiivsest majandustegevusest väljas ning neil ei ole looduskaitselisi piiranguid. 2019. aastal analüüsis Keskkonnaagentuur SMI, EELIS ja PRIA andmeid kasutades looduslike rohumaaade olemist ning leidis, et metsastamiskõlbulikke alasid on kokku *ca* 160 kha. Varasemalt on hinnatud metsastamiskõlbulike maade olemist SMI proovitükkidel. Viimane hinnang on SMI 2010. aasta andmetel⁴¹, mille alusel sobiks metsastamiseks kokku 90 kha (7 kha põõsastikke ja 83 kha looduslikke rohumaid valdavalt eramaadel). Tollastel andmetel sobis metsastamiseks ligikaudu 9% põõsastikest ja 30% looduslikest rohumaaadest. 45% tuvastatud aladest oleks metsakultiveerimine hädavajalik ehk ilma selleta uut metsapõlve ei tekiks. Lisaks sobivate alade olemasolule mõjutavad metsastamist ka istutusmaterjali saadavus ning maaomanike motivatsioon (sh kohaste toetusmeetmete olemasolu) ja konkureerivad maakasutusviisid (eelkõige põllumajandussektor). Metsakasvatuse eripärast tulenevalt on esimestel aastatel ja aastakümnetel tegemist kuludega, mida teeb maaomanik või metsastamisprogrammi algataja. Arvestades eespool esitatud asjaoludega, otsustati ekspordihinnangu alusel metsastatava ala pindalaks arvestada 75 kha looduslikke rohumaid.

⁴⁰ SEI Tallinn (2019). Eesti kliimaambitsiooni tõstmise võimekuse analüüs. 120 lk.

<https://www.sei.org/publications/eesti-kliimaambitsiooni-tostmise-voimaluste-analuus/>

⁴¹ Keskkonnateabe Keskus (2012). Eesti metsad 2010, lk 143. <https://keskkonnaagentuur.ee/media/900/download>

2.3.4.1 Metsastamismeede

Kokku metsastatakse 75 kha mittemetsamaad.

Analüüsitakse kahte stsenaariumi:

M1 – metsastamine 2500 ha aastas 30 aasta jooksul (2021–2050);

M2 – metsastamine 5000 ha aastas 15 aasta jooksul (2021–2035).

Metsastatava ala puuliigiliseks jaotuseks kavandati: 40% kuuse-, 40% kase-, 20% männikultuure. Metsastatud alad on üldjuhul kõrge boniteediga (Ia–II). Metsastatud alade kasvu prognoosides on kasutatud SMI 2019 hektaritagavarasid. Kuna need hinnangud sisaldavad kaudselt ka harvendusraieid, siis võib harvendusraiena arvestada ca 60 m³ hektari kohta.

Keeruliseks teemaks on metsastamisel mulla süsinikubilanss. Metsastamise mõju pikaajaline prognoos mulla süsinikubilansile on suure määramatusega. Palju sõltub konkreetsest alast: kas tegemist on turvasmulla või mineraalmullaga, kas ala on kuivendatud või mitte, millist puuliiki kasutatakse kultiveerimisel jne. Lisaks varieeruvad oluliselt ka teaduskirjanduses esitatud heitetegurid, mis kehtivad üldjuhul vaid konkreetsele puuliigile (nt arukask⁴², hall lepp⁴³, hübriidhaab⁴⁴). Käesoleva meetme puhul jäeti mulla süsinikubilansi mõju arvestamata. Lähenedamine on pigem konservatiivne, sest võib eeldada, et Eestis keskmisena toimub täiendav CO₂ sidumine ka mulda. Üksnes biomassi sidumise arvestamise positiivseks aspektiks on asjaolu, et seda saab käsitleda täiendava sidumisena LULUCFi koondarvestuses, st nn võiduna võrreldes eelneva maakasutusega.

Puuliigiline jaotus mõjutab nii metsastamiskulusid (erinev taimede arv pindalaühiku kohta, taimede ja töö hind) kui ka puistu raiumisel saadavat tulu. Arvutuses on kasutatud RMK 2020. aasta metsamajanduslike tööde ühikuhindasid ja puidu keskmiste hindade⁴⁵ põhjal arvutatud kasvava metsa hinda. Metsastamiskuluna arvestatakse 1780 eurot/ha ning metsakultuuri ja noore metsa hooldamise kuludeks 790 eurot/ha. Tulude poolelt arvestatakse ühe harvendusraiega 40 aastases puistus (netotulu 1490 eurot/ha) ning küpse puistu uuendusraiest saadava netotuluga (13270 eurot/ha). Metsastamismeetmel prognoositud enamuspulliigi ja kasvukoha boniteedi alusel arvutati metsastatud alade puistutele küpsusvanus (keskmiselt 66 aastat). Esimestel aastatel rajatud puistutes alustatakse harvendusraietega 2060ndatel aastatel. Uuendusraietega saab alustada 2080ndate aastate lõpus, raietest saadav tulu on vaadeldaval perioodil suurim 2091.–2100. aastal. Samal ajal alustatakse uue metsapõlvkonna rajamise ja hooldamisega. Raietest saadav tulu võimaldab rahastada järgmisi metsamaa uuendamise ja noore metsa hooldamisega seotud kulusid. Metsastamisprogrammi elluviimisega kaasnevad kulud ja tulud on kümnendite kaupa esitatud tabelis 2.20.

⁴² Varik, M., Kukumägi, M., Aosaar, J., Becker, H., Ostonen, I., Lõhmus, K., Uri, V. (2015). Carbon budgets in fertile Silver birch (*Betula pendula* Roth) chronosequence stands. *Ecological Engineering*, 77, 284–296.

⁴³ Aosaar, J., Varik, M., Lõhmus, K., Ostonen, I., Becker, H., Uri, V. (2013). Long-term study of above- and below-ground biomass production in relation to nitrogen and carbon accumulation dynamics in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on former agricultural land. *European Journal of Forest Research*, 126, 495–506.

⁴⁴ Lutter, R., Tullus, A., Kanal, A., Tullus, T., Tullus, H. (2016). The impact of former land-use type to above- and below-ground C and N pools in short-rotation hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.) plantations in hemiboreal conditions. *Forest Ecology and Management*, 378, 179–90.

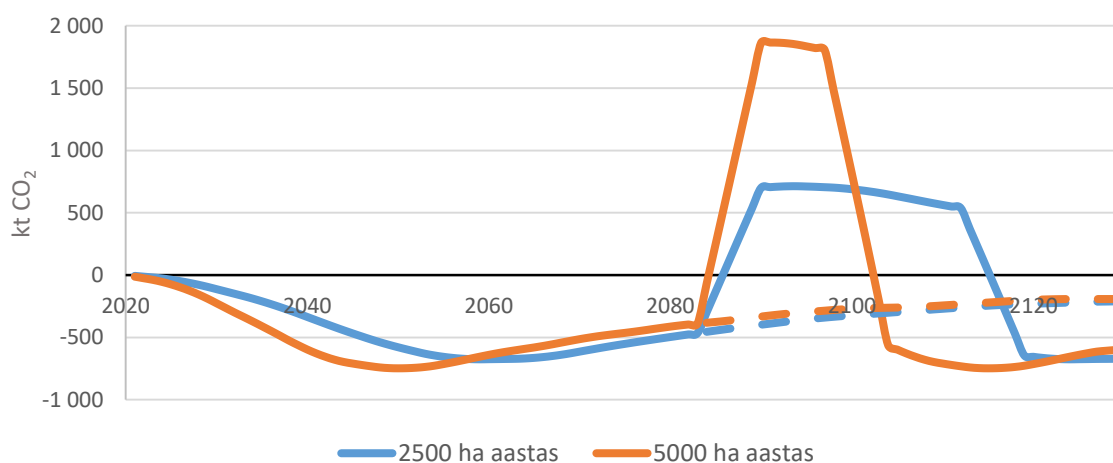
⁴⁵ Tark Mets OÜ (2021). Ülevaade 2020. aasta IV kvartali puiduturust. <https://www.eramets.ee/wp-content/uploads/2021/02/Puiduhinnad-2020-IV-kv.pdf>

Tabel 2.20 Metsastamisprogrammi kulud ja tulud, mln eurot

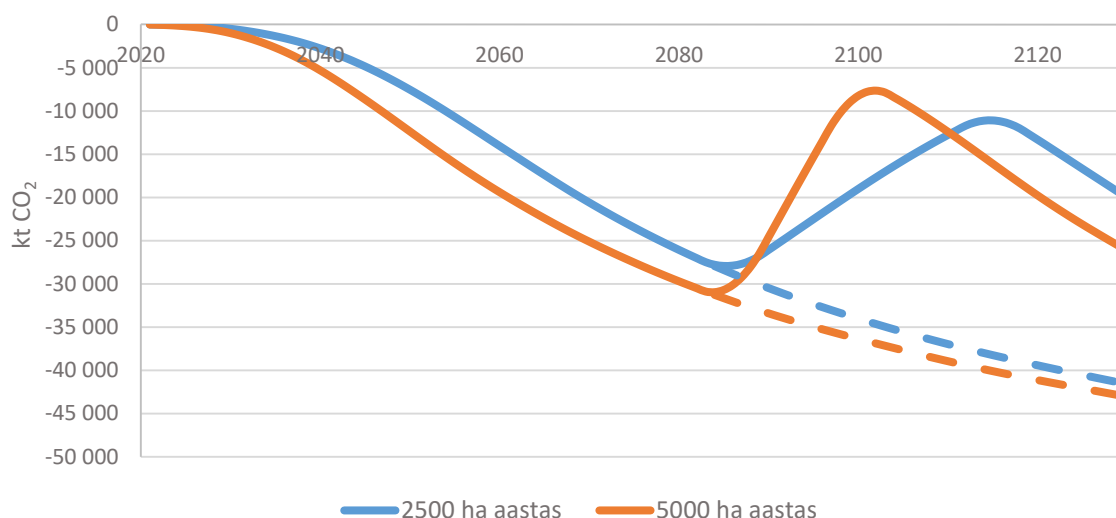
Tegevus	Periood							
	2021– 2030	2031– 2040	2041– 2050	2051– 2060	2061– 2070	2071– 2080	2081– 2090	2091– 2100
M1 Metsastamine 2500 ha aastas								
Rajamiskulu	-44	-44	-44				-9	-44
Hooldamiskulu	-9	-20	-20	-13			-1	-13
Harvendus- raiate netotulu					37	37	37	0
Uuendusraiate netotulu							133	332
M1 kokku	-53	-64	-64	-13	37	37	160	275
M2 Metsastamine 5000 ha aastas								
Rajamiskulu	-89	-44					-18	-89
Hooldamiskulu	-18	-27	-13				-2	-26
Harvendus- raiate netotulu					75	37		
Uuendusraiate netotulu							265	664
M2 kokku	-107	-71	-13	0	75	37	245	549

Metsastamisprogrammi käivitamise esimestel aastakümnetel tuleb teha kulusid metsakultiveerimisele, metsakultuuride ja noorte puistute hooldamisele. Harvendusraietest saadav netotulu hakkab metsastamisega seotud kulusid katma, kuid mitte täies mahus. Metsastamismeede tasub ennast ärimajanduslikult ära 2080ndate aastate teisel poolel, mil esimesed puistud saavutavad küpsusvanuse ja tehakse uuendusraied. Kasutatud metsakasvatuse mudelite kohaselt on prognoositav raiemaht M1 puhul 0,85 mln m³ aastas ja M2 puhul 1,7 mln m³ aastas.

Joonisel 2.18 ja tabelis 2.21 on esitatud metsastamisprogrammiga saavutatav täiendav CO₂ sidumine ning joonisel 2.19 biomassis akumulatsioon CO₂ kogus.



Joonis 2.18 Metsastamisprogrammi CO₂ sidumine (kt CO₂) (punktirjoon näitab ilma uuendusraieteta aegrida)



Joonis 2.19 Metsastatud alade CO₂ varu (kt CO₂)

Tabel 2.21 Metsastamise meetme mõju LULUCF netoheitele aastail 2021–2050

Näitaja		Kümnend 21. sajandil							
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Stsenaarium M1 (2500 ha/a)									
Täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	keskmise aastas	-50	-227	-477	-651	-654	-548	-2	705
	kumulatiivne	-500	-2 769	-7 538	-14 045	-20 588	-26064	-26080	-19027
Pindala	perioodil kokku (kha)	25	25	25					
Stsenaarium M2 (5000 ha/a)									
Täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	keskmise aastas	-100	-431	-706	-702	-573	-458	509	1 635
	kumulatiivne	-1 000	-5 305	-12 366	-19 389	-25 114	-29 697	-24 609	-8 260
Pindala	perioodil kokku (kha)	50	25						

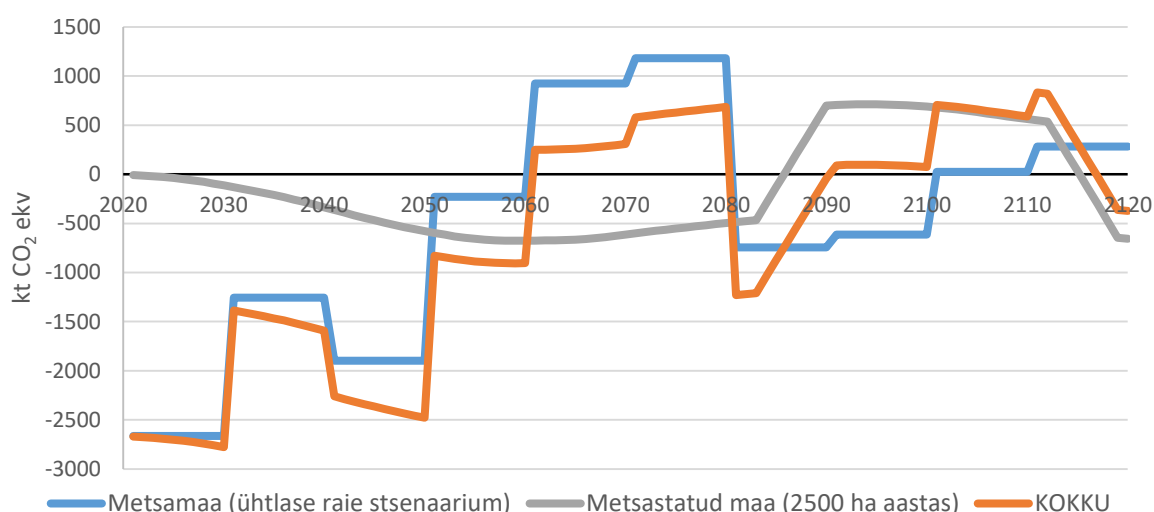
Tabelisse 2.22 on koondatud metsastamisprogrammi kirjeldavad näitajad: pindala, investeeringuvajadus, metsa majandamisega kaasnevad rahavood. LULUCFi seisukohast on oluline metsastamisega kaasnev süsiniku sidumine, aastate jooksul täiendavalt seotud süsiniku kogus ning selle rahaline väärtus.

Tabel 2.22 Metsastamisprogrammi tulemused

Näitaja	Aastaks	Ühik	Metsastamise stsenaarium	
			M1 2500 ha/a	M2 5000 ha/a
Metsastatud ala pindala kokku		ha	75 000	75 000
Investeeringuvajadus	2030	mln €	52	104
	2050	mln €	168	181
Metsa majandamise netotulu	2100	mln €	381	404
CO ₂ kumulatiivne täiendav sidumine biomassi*	2030	kt CO ₂ ekv	-500	-1 000
	2050	kt CO ₂ ekv	-7 538	-12 366
	2100	kt CO ₂ ekv	-19 027	-8 260
CO ₂ kumulatiivse täiendava sidumise väärtus*	2030	mln €	12,5–25	25–50
	2050	mln €	188–377	309–618
	2100	mln €	476–951	207–413

*t CO₂ ekv hindade 25 ja 50 €/t juures.

Vaatlusaluse perioodi viimastel aastatel saavutavad puistud uuendusraiet lubava vanuse, uuendusraietega väheneb seotud süsiniku kogus ja arvestuslik väärtus. M2 (5000 ha) stsenaariumi korral avaldub muutus varem (vt joonis 2.19).



Joonis 2.20 Metsastatud alade CO₂ sidumise mõju ühtlase raie stsenaariumile (ilma puittoodeteta)

Võrreldes kogu metsamaa pindalaga moodustab metsastatud ala pindala (75 kha) vaid väikese osa (~3%). Samas on mõju kogu metsamaa sidumisele käesoleval sajandil siiski suur (vt joonis 2.20)

2.3.4.2 Riskid ja uurimisvajadused

Valdavalt on potentsiaalselt metsastavad maad eraomandis, kuid maaomanikel ei pruugi olla huvi mittemetsamaid metsastada. Huvi tekitamiseks peab riik näitama üles initsiatiivi metsastamisprogrammi käivitamiseks. Meetme jaoks on vaja pikaajalist (15–30 aastat) programmi.

Metsastamisprogrammi elluviimisel võib saada takistuseks metsataimede olemasolu, sest neid lihtsalt ei jätku vajalikus koguses. Kui metsastada 2500 ha aastas, on selleks vajaminev täiendav vajadus ca 7 mln taime aastas.

2.3.4.3 Kokkuvõte

Pikas perspektiivis jõuavad kaks metsastamisstsenaariumi sarnase tulemuseni, sest metsastamise kogumaht on ühesugune. Kui aga võrrelda 2030. aastat ja 2050. aastat, siis ilmneb erinevus nii vajalikus investeeringute mahus kui ka mõjus süsinikubilansile. Mida kiiremini maa-ala metsastatakse, seda kiiremini hakkavad kasvavad puud CO₂ siduma ja LULUCFi koondbilanssi mõjutama. Kuigi metsastamise mõju CO₂ sidumisele ei saabu koheselt, on tegemist siiski ühe kiirema ja mõjusama meetmega. 2030. aastaks on esimese stsenaariumi korral seotud 500 kt CO₂ ekv ja teise stsenaariumi korral 1000 kt CO₂ ekv. 2050. aastaks on esimese stsenaariumi korral seotud 7538 kt CO₂ ekv ja teise stsenaariumi korral 12 366 kt CO₂ ekv. Tulemus peegeldab programmi rakendamise kiiruse ja mahu olulisust 2050. aastat kui strateegilist tähtaega silmas pidades.

2050. aastaks on mittemetsamaa metsastamise abil seotud CO₂ väärtus ületanud maade metsastamiseks tehtud kulude suuruse.

2.4 Metsakasvatust

Majandusmetsades on mõtestatud metsakasvatusega võimalik kaasa aidata ka süsiniku sidumise võimekuse suurendamisele. Uuendusraie järgne või metsakahjutuste tagajärjel lagedaks jäänud alade kiire uuendamine kasvukohale sobilike puuliikidega, oskuslik hooldusraiate (valgustus-, harvendus- ja sanitaarraied) kasutamine ja hõredate puistute õigeaegne raie panustavad nii metsade tervisliku seisundi, elujõulisuse kui ka vastupidavuse tõstmisse kui ka metsa majandamise tulukuse tagamise. Terved, elujõulised ja mitmekesised metsad on ka stabiilselt kõrge süsiniku sidumise võimega.

Lagedate alade kiire uuendamise järel muutub metsaosa rutem süsiniku sidujaks. Sobiv algtihedus, puuliigi valik ja uuendusmaterjali kvaliteet tagavad pikemas perspektiivis ka suurema süsiniku varu (hektaritagavara) ja sidumise võimekuse (juurdekasvu). Valgusraietega kujundatakse sobiva koosseisuga puistud ning antakse noortele puudele piisavalt kasvuruumi. Harvendusraiate tagajärjel kiireneb allesjäävate puude kasv ning suureneb hilisem tarbesortimentide väljatulek, mis suurendab võimalusi pikaajaliste toodete valmistamiseks. Hooldatud puistute koguproduktioon on enamasti suurem võrreldes hooldamata puistutega. Harvendusraietel võetakse kasutusse ka konkurentsivõimeliseks alla jäävate puude puitu. Sanitaarraiate põhieesmärgiks on puistute tervisliku seisundi parandamine, raiete käigus varutud puit leiab kasutust energia või puittoodete tootmisel. Hõredate puistute õigeaegne raie ja ala taasmetsastamine võimaldab pikemas perspektiivis metsaosa süsiniku sidumise potentsiaali paremine ära kasutada.

2.4.1 Metsakultiveerimine

Viimaste aastate uuendusraiate pindala erametsas on olnud ca 26 000 ha, millest kultiveeriti ca 30%. Kultiveeritud okaspuupuistute ning looduslikult uuenenud puistute hektaritagavara võrdlus näitab, et kultuurpuistud on võrreldes loodustekkelistega produktiivsemad (vt tabel 2.24). Mäni enamusega kultuur- ja looduslikult uuenenud puistute tagavara võrdluses on küpsete

kultuurpuistute tagavara 2–12% suurem. Sarnane võrdlus kuusikutes näitab kultiveeritud kuusikute suuremat hektaritagavara (2–18%) (vt tabel 2.23).

Tabel 2.23 Okaspuu kultuurpuistute ja loodusliku tekkega puistute hektaritagavarad metsaregistri andmetel (majandatavad metsad)

Enamus- puuliik	Boni- teet	Vanusklass							
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Okaspuu kultuurpuistud									
mänd	Ia	151	230	286	309	350	382	410	432
	I	122	175	221	270	300	334	368	395
	II	89	142	185	218	248	277	307	327
	III	67	107	146	173	199	221	251	264
kuusk	Ia	136	211	272	314	346	364		
	I	87	156	207	257	299	316	333	
	II	55	113	156	199	238	265	282	
	III	35	73	105	144	189			
Loodusliku tekkega puistud									
kask	Ia	166	220	282	328	359	375		
	I	131	179	225	255	287	310		
	II	94	138	169	195	220	239	261	
	III	59	94	122	146	165	182	198	
haab	Ia	181	258	301					
	I	137	194	232	249				
	II	103	147	165	180				
	III	54	102	113	133	145			
sanglepp	Ia	180	243	275	376	377	430		
	I	147	208	252	291	320	346		
	II	103	159	192	221	245	265		
	III	60	103	136	158	181	197		
hall lepp	Ia	196	278	321					
	I	159	207	240					
	II	117	154	181					
	III	63	100	122					
mänd	Ia	152	230	280	316	351	378	402	428
	I	121	183	232	265	293	314	348	370
	II	84	146	189	217	240	260	280	303
	III	65	102	145	170	189	207	225	240
kuusk	Ia	121	198	257	294	339	356		
	I	78	138	194	235	269	285	297	
	II	53	96	142	176	208	229	246	
	III	30	67	96	128	160			

Looduslikul uuenemisel ei teki enamasti okaspuupuistu. Okaspuu kultuurpuistute võrdlemisel kõikide looduslikult tekkinud puistutega tuleb arvesse võtta kogu raieringi. Puistute raieringi keskmisena on kultiveeritud puistute tagavara ca 27 m³/ha suurem. Metsaregistris olevate metsainventeerimisandmete alusel on riigimetsamaa majandatavate puistute erinevus väiksem kui tervikuna kõigis metsades. Põhjuseks võib olla riigimetsade kõrgem harvendusraiate tase, mille käigus puistute tagavara langeb. Samas on riigimetsade taasmetsastamistöõde osakaal uuendusraiate pindalast olnud kõrgem kui teiste omanike metsades.

Metsakultiveerimist on otstarbekas teha ja praktikas seda tehaksegi parema boniteediga kasvukohtades. Mida viljakam kasvukoht, seda suurem on kultiveeritud puistute osakaal. Näiteks kõigist Ia boniteediklassi 21–80-aastastest kuusikutest on 77% kultuurpuistud, RMK põlisel metsamaal koguni 84%.

RMK 2020. aasta kultiveerimisandmete kohaselt rajati kõige enam kuusekultuure jänesekapsa-mustika, jänesekapsa ja sinilille metsakasvukohatüüpides, männikultuure mustika, jänese-kapsa-mustika ja karusambla-mustika metsakasvukohatüüpides. Nende kasvukohatüüpide raievanuse saavutanud puistute võrdlus näitab, et kultiveeritud puistute hektaritagavara on võrreldes looduslikult uunenud puistutega 19–28% (keskmiselt 25%) võrra suurem.

Tabel 2.24 Kultuur- ja looduslikult uunenud küpsete puistute keskmine hektaritagavara (m³/ha) enamkultiveeritud kasvukohatüüpides

Kasvukoha-tüüp	Enamus-puuliik	Hektaritagavara			
		Kultuur-puistu, m ³ /ha	Looduslikult uunenud puistu, m ³ /ha	Erinevus, m ³	Suhteline erinevus, %
Jänesekapsa-mustika	KU	286	241	45	19
Jänesekapsa	KU	312	247	65	26
Sinilille	KU	260	202	58	28
Mustika	MA	316	250	66	26
Jänesekapsa-mustika	MA	326	266	60	22
Karusambla-mustika	MA	293	232	61	26
Keskmine				59	25

Tekkeviis mõjutab oluliselt nende metsakasvukohatüüpide puistute liigilist koosseisu (vt tabel 2.25). Metsaregistri andmetel on vaadeldud kasvukohatüüpide kultiveeritud kuusikutes okaspuude osakaal 82–85%, kõigis looduslikult uuenemisega tekkinud 60 aasta vanuste puistute koosseisus okaspuid keskmiselt 21–22%. Kultiveeritud männikutes on okaspuid 86–89% ja kõigis looduslikult uunenud 90 aasta vanuste puistute koosseisus okaspuid keskmiselt 43–53%. Kuna okaspuidu hind on kõrgem kui lehtpuidul (erandiks on kasepuistud tänu vineeripakkude kõrgele hinnale), siis saadakse kultiveeritud puistutest suuremat tulu nii suurema tagavara kui ka kallima puidu tõttu. Metsakultiveerimise majanduslik mõju avaldub viljakates kasvukohatüüpides tugevamalt kui metsades keskmisena.

Tabel 2.25 Kultuur- ja looduslikult uuenenud puistute keskmiste koosseisude võrdlus kasvukohatüübi lõikes

Kasvukohatüüp	Puistute keskmine koosseis (puuliigi osakaal)	
	Kultuurpuistu	Looduslikult uuenenud puistu
Jänesekapsamustika	78KU 10KS 8MA 3HB 1LV	48KS 25HB 16KU 6MA 3LV 2LM*
Jänesekapsa	73KU 11KS 9MA 4LV 3HB	54KS 19HB 17KU 6LV 4MA*
Sinilille	81KU 9KS 5LV 4MA 1HB	46HB 26KS 17KU 7LV 4MA*
Mustika	77MA 11KU 10KS 2HB	44MA 27KU 19KS 8HB 2LM**
Jänesekapsamustika	72MA 14KU 11KS 3HB	32KU 30KS 20MA 15HB 2LM**
Karusamblamustika	80MA 9KU 8KS 3HB	40MA 26KS 23KU 9HB 2LM**

KU – kuusk, MA – mänd, KS – kask, HB – haab, LV – hall lepp, LM – sanglepp

* Looduslikult uuenenud puistute keskmine puuliigiline koosseis küpsetes puistutes

** Looduslikult uuenenud puistute keskmine puuliigiline koosseis küpsetes puistutes

2.4.1.1 Meede

Käesolevas töös käsitletakse võimaliku meetmena kultiveerimise pindala tõstmist mitteriigimetsamaal 1500 hektari võrra aastas ehk ca 10% uuendusraiate pindalast. Lähtuti eeldusest, et ühtlase kasutuse raieetsenaariumi korral on uuendusraiate pindala kokku ca 25 000 ha, sh teiste omanike metsamaal ca 16 000 hektarit. Kultiveerimise tõhususe hindamiseks võrreldi sama boniteediga puistute hektaritagavarasid kultiveeritud puistutes ja looduslikult uuenenud puistutes. Võrdluseks kasutati metsaregistri majandatavate metsade Ia–III boniteedi puistute andmeid (vt tabel 2.25). Arvutati raieringi keskmised tagavarad boniteedi ja enamuspüüliigi kaupa. Raieringina arvestati „Metsa majandamise eeskirjas“ sätestatud puuliigi raievanuseid⁴⁶, millele liideti juurde 10 aastat. Metsa raieringi keskmisena on kultiveeritud okaspuupuistute hektaritagavara ca 27 m³/ha kõrgem looduslikult uuenenud puistute keskmisest hektaritagavarast. Sellest tulenevalt on CO₂ varu hektari kohta suurem 32 t raieringi keskmisena.

Tabel 2.26 Metsakultiveerimise mahu tõstmise meetme mõju LULUCFi netoheitele aastatel 2021–2100

Näitaja	Metsakultiveerimise mahu tõstmine 10% võrra erametsamaadel								
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	keskmine aastas	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60
	kumulatiivne	-600	-1200	-1800	-2400	-3000	-3600	-4200	-4800
Pindala	perioodil kokku, kha	15	15	15	15	15	15	15	15

Arvestades keskmiseks täiendavaks kultiveerimise pindalaks 1500 ha aastas, oleks keskmiseks täiendavaks tagavaraks aasta kohta raieringi keskmisena ca 41 000 m³ ning keskmiseks täiendavaks CO₂ varuks 48 kt CO₂. Täiendav tagavara võimaldab ka suuremat CO₂ sidumist puittoodetesse, samuti suurendab kultiveerimine tööstusliku ümarpuidu osakaalu. Käesolevas töös suurendati puittoodetesse seotud süsiniku arvutamisel kultiveeritud puistute tööstusliku ümarpuidu osakaalu 10% võrra. Arvesse võttes eelnevat, suureneks CO₂ sidumine puittoodetesse

⁴⁶ Metsa majandamise eeskiri (RT I, 06.04.2021, 8). <https://www.riigiteataja.ee/akt/12771900?leiaKehtiv>

kokku ca 12 kt/a ehk kokku koos metsamaa sidumisega 60 kt CO₂ aastas (vt tabel 2.26). Nimetatud täiendav sidumine puittoodetes ei võta arvesse puittoodete lagunemist, vaid on puhas sidumine (täpsemalt on raietoodetes seotud CO₂ arvestusest kirjutatud 3. peatükis „Puittooted“).

2.4.1.2 Sotsiaalmajanduslikud mõjud

Metsanduse arengukavas aastani 2020 seati eesmärgiks uuendada (kultiveerida) 40% erametsades tehtud uuendusraiate pindalast. Keskkonnaministeeriumi andmetel tehti 2018. aastal metsauuendustöid kokku 51,5% uuendusraialadest⁴⁷. Investeeringuid uue tootliku metsapõlve saamiseks tehti rohkem riigile kuuluvates metsades (2018. aasta metsaistutus ja -külvi 77% uuendusraialadel), erametsaomanike huvi on madalam, metsaistutust ja -külvi tehti 30% uuendusraialadel. Metsakultiveerimise mõju hindamisel lähtuti ühtlase kasutuse raiestsenaariumist ning selle lageraielankide pindalast. Eeldatakse, et kultiveeritakse täiendavalt 10% ehk 1500 ha erametsamaade raiesmikest.

Metsakultiveerimise netotulu hindamisel kasutati metsauuendustööde kulusid ning metsakultiveerimise mõjul puistute suurema tagavara ja okaspuude suurema osakaalu tõttu tekkivat uuendusraiate lisatulu võrreldes looduslikult uuenenud puistutega. Sisenditena kasutati RMK 2020. aasta metsamajanduslike tööde ühikuhindasid. Analüüsis arvestati maapinna ettevalmistamise, metsakultiveerimise, kultuuride täiendamise ja metsakultuuride hooldamise kuludega, mis on kokku keskmiselt 1770 eurot/ha.

Kuna hinnangu aluseks on kultiveeritud ja looduslikult uuenenud puistute võrdlus, siis noore metsa hooldamise kulude ega harvendusraiate kulude-tuludega ei arvestata, sest neid tehakse nii kultiveeritud kui ka looduslikes puistutes.

Kui võrrelda metsakultiveerimise tasuvust looduslikult uuenenud puistu majandamisega, siis mõjutavad tulemust ennekõike kultuuri rajamise ja hooldamise kulud, majandamise käigus saadud täiendav took ja kõrgem puidu hind. Ärimajanduslikku tasuvust mõjutab majandamis-tsükli lühenemine: raiesmik uueneb kiiremini kui loodusliku uuenemise korral. Geneetiliselt paremate seemnete ja taimede abil on võimalik suurendada puistu tagavara ja puidu kvaliteeti. Nii ajategur kui ka kultiveerimismaterjali valik mõjutavad positiivselt metsamaa ja metsa süsinikubilanssi. Metsaregistri andmetele tuginedes saab öelda, et kultiveeritud puistute suurem tagavara on ühtlasi okaspuu. Puidu hinnainfo ja raieküpsete puistute sortimenteeringisandmete põhjal saadud okaspuudu keskmine kasvava metsa hind 50 eurot m³ kohta annab metsakultiveerimise majanduslikuks lisatuluks 12,6 kha kultiveerimisel looduslike puistutega võrreldes 36 mln eurot aastas.

Meetme hindamise aluseks olnud metsakasvukohatüüpides (jänsekapsa-mustika, jänsekapsa ja sinilille mustika ja karusambla-mustika) saadakse kultiveeritud puistute majandamisel võrreldes looduslikult uuenenud puistutega ühe hektari kohta 1875 euro võrra suurem puhastulu. Laiendades selle täiendavalt kultiveeritavale pindalale 1500 ha, on iga-aastane metsakultiveerimise netotulu 2,8 mln eurot aastas raieringi jooksul.

Metsakultiveerimise eesmärk lageraieladel on metsamaa uuendamine nii kasvukohatüübile kui ka metsaomaniku eesmärkidele sobivate puuliikidega.

⁴⁷ Keskkonnaministeerium (2021). Eesti metsanduse arengukava aastani 2020 täitmise aruanne 2011–2018.

Tabel 2.27 Metsakultiveerimise meetme mõju võrreldes loodusliku uuenemisega (metsakultiveerimise täiendav maht 1500 ha aastas)

Näitaja	Kogus
Metsakultuuride rajamise ja hooldamise kulud, mln €/aastas	2,7
Metsakultiveerimisest saadav täiendav puidu kogus, 1000 m ³ aastas	40,5
Metsakultiveerimisest tulenev täiendavalt seotud kogus (koos puittoodetega), kt CO ₂ ekv aastas	60
CO ₂ väärtus, mln € (t CO ₂ ekv hindade 25 ja 50 €/t juures)	1,5–3,0
Metsakultiveerimise netotulu, mln € aastas	2,8

Tulemused näitavad, et nii ärimajanduslikust aspektist kui ka süsinikubilansist tulenevalt on metsakultuuride rajamine viljakates metsakasvukohatüüpides tulemuslik tegevus. Pelgalt täiendava süsinikusidumise eesmärki silmas pidades oleks metsakultiveerimise puhul tegu küllaltki kalli meetmega, sest raiesmikud uuenevad ka looduslikult. Looduslikul uuenemisel kulub võrreldes metsakultiveerimisega rohkem aega ja puistute liigiline koosseis kujuneks kultuurpuistutest teistsuguseks. Metsakultiveerimise põhieesmärk on seega jätkuvalt okaspuistute kasvatamine, okaspuidu saamine ja selle väärimise kaudu täiendava lisandväärtuse loomine. Biomassi kiirema formeerumise ja selle suurema mahu kaudu suurendab see tegevus ka metsamaa süsiniku sidumisvõimekust.

2.4.2 Harvendusraied

Harvendusraiate tegemise eesmärk on puistu tootlikkuse suurendamine, kasvama jäävate puude kvaliteedi parandamine ning puude loodusliku suremuse ennetamine, kasutades looduslikult väljalangevad puud ära puiduna. Harvendusraiate tegemine on võrreldes uuendusraietega keerulisem ja ajamahukam, raiutav puit aga enamasti odavam. Üldtunnustatud on seisukoht, et peale hooldusraiet allesjäävate puude juurdekasv suureneb tänu paranenud valgus- ja toitumistingimustele. Arvamused aga lahknevad selle kohta, kas allesjäänud puude juurdekasvu suurendamine kompenseerib ja ületab väljaraiutud puude juurdekasvu.

Aastaraamatu „Mets 2018“ andmetel on harvendusraiate keskmine väljaraie olnud viimastel aastakümnetel vahemikus 40–50 m³ hektari kohta. Riigimetsas on väljaraie märkimisväärselt suurem kui erametsades. Alates 2013. aastast on väljaraie riigimetsas olnud stabiilselt üle 70 m³ hektari kohta, erametsades püsinud 37–38 m³ juures. Järvelja õppe- ja katsemetskonnas 2015.–2017. aastal tehtud harvendusraietel oli keskmine väljaraie 41,2 m³/ha, keskmine puhastulu hektari kohta 344 eurot⁴⁸. Kuna Järvelja õppe- ja katsemetskonnas tehti harvendusraiet alameetodil, siis saadi peamiselt küttepuitu (45% kogu puidu mahust). Rohkem kui kolmandiku puidust moodustasid paberipuit ja latid.

Niemistö jt⁴⁹ tehtud uuringus analüüsiti keskmise viljakusega kasvukoha männipuistus erinevas vanuses puistutes tehtud harvendusraiate tulu ja tulusust, ning tõdeti, esimese harvendusraie tulu 30aastases puistus jäi vahemikku 400–440 eurot hektari kohta, hilisem harvendusraie 40aastases puistus aga andis ligikaudu neli korda suurema tulu. Hilisema harvendusraie suuremat tulusust

⁴⁸ Kaimre, P., Vellak, P., Teder, M. (2020). Harvendusraiate tasuvuse analüüs ja pikaajalise mõju simulatsioonid Järvelja õppe- ja katsemetskonnas. *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 72, 54–63. DOI: [10.2478/fsmu-2020-0005](https://doi.org/10.2478/fsmu-2020-0005)

⁴⁹ Niemistö, P., Kilpeläinen, H., Poutiainen, E. (2018). Effect of first thinning type and age on growth, stem quality and financial performance of a Scots pine stand in Finland. *Silva Fennica*, 52, 7816. <https://doi.org/10.14214/sf.7816>

kinnitab käesolevas uuringus käsitletud metsastamisprogrammi analüüs, milles 40aastasessa puistusse modelleeritud harvendusraie arvestuslik tulu on 1490 eurot hektari kohta.

Järvelja õppe- ja katsemetskonna uuringus võrreldi simulatsiooniprogrammi MOTTI abil kolme erinevat majandamismudelit: harvendusraied Soome põhimõtete järgi, „Eesti metsa majandamise eeskirja“ kohaselt ja puistu majandamine harvendusraieid tegemata. Tulemuste kõrvutamine näitas, et puistute tootlikkus (puidu kogus) oli raieteta simulatsioonides suurim, kuid metsa majandamise eeskirja kohaselt harvendusraieid simuleerides saadi kõrgema hinnaga sortimente rohkem, mis andis raieringi pikkuselt perioodilt 21% suurema puhas-nüüdisväärtuse (intressimäär 3%) võrreldes harvendusraieteta simulatsioonidega⁴⁸.

Simulatsioonide tulemused kinnitasid varasemates töödes esitatud seisukohta, et hooldusraieid tehes väheneb puude looduslik suremus. Õigemini küll ennetatakse harvendusraietega puude suremust ja madala hinnaga küttepuidu teket, kasutades ära puistu puidutootmise potentsiaali paberipuiduna. Sarnaseid tulemusi on esitatud ka teistes kirjutistes. Soome Loodusvarade Uurimiskeskuses LUKE avaldatud uuringu⁵⁰ kohaselt saadakse puistutes suurim puidu kogus neid harvendamata. Hooldamata puistutest saadakse aga palju sellist puitu, mida ei suudeta puidutöötlemisettevõtetes tõhusalt väärindada.

Aun jt⁵¹ artiklis avaldatud uurimistulemuste kohaselt on harvendusraie mõju süsinikuvoogudele lehtpuupuistutes mitmetahuline. Ökosüsteemi netotoodang vähenes noores (20aastas) ja keskealises puistus vastavalt 1,2 ja 1,6 t C hektarile aastas, mõlemad puistud aga jäid süsiniku säilitajateks. Vähenenud puistu tagavara ja selle aastane juurdekasv vähendab allesjäävate puude summaarset CO₂ sidumist. Harvendusraie mõjul kasvas rohttaimede akumulatsioon, kuid see ei kompenseerinud puude vähenenud CO₂ sidumist. Mulla süsinikuvoog ei muutunud olulisel määral, heterotroofse hingamise väike tõus 0,33–0,68 t C võrra hektarile oli tõenäoliselt seotud aktiivse kasvuperioodi mulla kõrge temperatuuriga. Autorid järeldavad, et viljakatel muldadel kasvavate arukaasikute kõrge tootlikkus ja CO₂ sidumise kiire taastumine viib tasakaalustatud süsinikubilansini lühikese harvendusjärgse perioodi jooksul.

Lati- ja keskealises männikus tehtud uuringu⁵² kohaselt vähendas harvendusraie puistu süsinikuvaru 21–24% võrra, väljaraiutud puidu koguse taastumist oodatakse raiete järgnevatel aastatel. Puude vähenenud biomass oli mõju puistu primaarproduksioonile, mis vähenes 9 – 11% võrra. Ökosüsteemi netoproduksioon vähenes harvendatud puistus 0,7 tonni C hektarile aastas, kuid puistu säilitas CO₂ siduja staatuse.

Kokkuvõte

Harvendusraied ei suurenda puistute puiduvaru (biomassi) ja puudesse seotud süsiniku hulka. Harvendusraietega kaasneb vahetult raie tegemise järel CO₂ sidumise vähenemine, sest siduvaid

⁵⁰ Lehtonen, A., Aro, L., Haakana, M., Haikarainen, S., Heikkinen, J., Huuskonen, S., Härkönen, K., Hökkä, H., Kekkonen, H., Koskela, T., Lehtonen, H., Luoranen, J., Mutanen, A., Nieminen, M., Ollila, P., Palosuo, T., jt. (2021). Maankäyttösektori ilmastotoimenpiteet: Arvio päästövähennysmahdollisuudesta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 7/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 121 lk.

⁵¹ Aun, K., Kukumägi, M., Varik, M., Becker, H., Aosaar, J., Uri, M., Buht, M., Uri, V. (2021). Short-term effect of thinning on the carbon budget of young and middle-aged silver birch (*Betula pendula* Roth) stands. *Forest Ecology and Management*, 480, 118660

⁵² Aun, K., Kukumägi, M., Varik, M., Becker, H., Aosaar, J., Uri, M., Morozov, G., Buht, M., Uri, V. (2021). Short-term effect of thinning on the carbon budget of young and middle-aged Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. *Forest Ecology and Management*, 492, 119241. DOI: [10.1016/j.foreco.2021.119241](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119241)

puid on pindalaühiku kohta vähem, samuti suureneb teatud ajaks CO₂ heitkogus mullast. Samas ei muutu puistu süsiniku emiteerijaks.

Harvendusraied suurendavad uuendusraietelt saadavat kvaliteetpuidu osakaalu, mistõttu suureneb puidutulu võrreldes harvendamata puistuga ligikaudu viiendiku võrra.

2.4.3 Hõredad puistud

Puistu võime kasvatata puiduvaru (sh siduda CO₂) sõltub lisaks puuliigile ja kasvukoha headusele olulisel määral ka puistu täiusest. Normaalse täiusega olevaks võib lugeda puistut, mille esimese rinde täius on 70–80%, kuid Ia-II boniteediklassi metsad võivad edukalt kasvada ka täiusel 90–100%. Puistuid, mille täius on väiksem kui 60%, võib lugeda hõredateks. Eriti kehtib see kõrge ja keskmise viljakusega metsade korral. Selline puistu ei suuda kasutada kasvukoha viljakusest tulenevat kasvupotentsiaali, juurdekasv on võimalikust oluliselt väiksem. Noore metsa puhul on võimalus, et puistu suudab end taastada ja raieküpseks eaks normaalse tagavara saavutada. Hõredad keskealised ja valmivad metsad seda üldjuhul ei suuda ja soovitatav on need enne küpsusvanuse saabumist raiuda ning uus metsapõlvkond rajada. Oluline on rõhutada, et hõredust saab probleemina käsitleda vaid majandusmetsas, range kaitsega metsas on see metsa loomuliku arengu osaks.

Hõredad puistud võivad olla tekkinud väga erinevatel põhjustel. Hõredus võib olla kujunenud looduslikel põhjustel, samas võib hõre puistu tekkida ka inimeste tehtud valede otsuste tagajärjel. Looduslikult tekkinud hõreduse põhjused on näiteks: tuulemurd, tulekahju, põdrakahjustus, ürasekahjustus, juurepess, mittemetsamaa looduslik metsastumine. Samuti võib hõreduse tekkimise põhjuseks olla metsa suksessioon, seda eriti viljakamates metsakasvukohatüüpides. Näiteks vana metsa suremise järel muutub ala sarapuuvõsaks, millest vaid üksikud pikemaajalised puuliigid on suutelised läbi kasvama.

Puistu hõredus võib olla tekkinud ka inimeste tehtud valede otsuste tagajärjel. Näiteks võib olla põhjuseks ebakvaliteetne harvendusraie, mille tulemusena on kaasnud suur põdrakahjustus, tuulemurd, tüve- või juurevigastused. Eesti spetsiifilisemate põhjustena võib välja tuua veel 90ndate aasate lõpus ja 2000ndate aastate alguses toimunud röövraiet. Sel ajal võis juhtuda, et välja raiuti vaid majanduslikult väärtuslikumad puud ning alles jäid vähemväärtuslikud ja tihti ka vigastatud puud, mis konkurentsi tõttu ei lasknud edaspidi looduslikul metsauuendusel tekkida.

Majanduslikult ei ole otstarbekas lasta kümme või enam aastat kasvada puistul, mille kasvupotentsiaal ei realiseeru ja puistu hektaritagavara jääb keskmisest ca 100 m³ väiksemaks (vt tabel 2.30).

Tegemaks otsust raiuda puistu hõreduse järgi on koostatud vastav abitabel (vt tabel 2.28). Tabeli koostamisel on abiks „Metsa majandamise eeskirja“ lisa 1: puistu esimese rinde rinnaspindala alammäär pärast harvendusraiet⁵³. Abitabeli koostamisel arvestati, et harvendusraietega ei oleks võimalik puistut nii hõredaks raiuda. Tabelis on esitatud enamuspuuliigist ja puistu kõrgusest tulenev I rinde täiuse väärtus, millest alates (vähenemise suunas) on otstarbekas puistu hõreduse tõttu raiuda. Tabeli väljatöötamisel lähtuti eeldusest, et Ia-I boniteedi valmivaid okaspuupuistuid ei ole enam otstarbekas edasi kasvatada, kui I rinde täius on võrdne või madalam kui 60%, lehtpuupuistutel 50%. Mida noorem (madalam) on mets, seda väiksem on ka täiuse number, sest

⁵³ „Keskonnaministri 27. detsembri 2006. a määruse nr 88 „Metsa majandamise eeskiri“ lisa 1. https://www.riigiteataja.ee/akti/isa/1060/4202/1008/KKM_27122006_m88_Lisa1.pdf#

puistu võib veel taastuda. Alampiiriks on I rinde täius 40%, sest selle ja madalama täiusega puistuid võib seadusandlusest tulenevalt uuendusraietega olenemata vanusest või kõrgusest raiuda.

Tabel 2.28 Abitabel hõredate puistute leidmiseks

Enamus- elemendi H m	I rinde täius kuni ... %				
	Mänd	Kuusk	Kask	Haab	Sanglepp
13,0–13,4	40	40			
13,5–14,4	42	43			
14,5–15,4	43	44	40	40	40
15,5–16,4	45	47	41	42	42
16,5–17,4	47	49	43	44	44
17,5–18,4	48	51	44	45	45
18,5–19,4	50	52	46	47	47
19,5–20,4	51	54	47	48	48
20,5–21,4	53	56	48	50	50
21,5–22,4	55	57	49	50	50
22,5–23,4	57	58	50	50	50
23,5–24,4	58	60	50	50	50
24,5–25,4	60	60	50	50	50
25,5–26,4	60	60	50	50	50
26,5–27,4	60	60	50	50	50
27,5–28,4	60	60	50	50	50
28,5–29,4	60	60	50	50	50
29,5 ja kõrgem	60	60	50	50	50

Eestis on arvestatav kogus hõredaid puistuid. Metsaregistri kuni 10 aasta vanustel andmetel on keskealistes, majandatavates ja küpsetes majandusmetsades (arenguklassi järgi) hõredaid puistuid 90 000 ha (vt tabel 2.29) (tabel sisaldab männikuid, kuusikuid, kaasikuid, haavikuid ja sanglepikuid). Kuna metsaregistri kuni 10 aasta vanuste andmetega on majandatavas metsas eelnimetatud arenguklassidest kaetud ca 70%, siis võib eeldada, et tegelikult on hõredaid puistuid rohkem.

Tabel 2.29 Hõredate puistute pindala enamuspuliigiti (metsaregistri väljavõte tabel 2.28 alusel)

Arenguklass			Mänd	Kuusk	Kask	Haab	Sanglepp	Kokku
Keskealised	Kokku	kha	183,0	88,7	126,0	4,0	4,9	406,6
	Hõredad	kha	6,6	5,7	5,0	0,2	0,2	17,6
	Osakaal	%	3,6	6,4	4,0	5,3	3,3	4,3
Valmivad	Kokku	kha	32,4	15,3	65,7	2,4	4,3	120,1
	Hõredad	kha	1,6	2,1	3,5	0,2	0,2	7,5
	Osakaal	%	4,9	13,6	5,3	6,3	4,2	6,2
Küpsed	Kokku	kha	130,4	68,5	126,1	34,3	14,9	374,1
	Hõredad	kha	19,5	28,0	11,4	4,6	1,2	64,7
	Osakaal	%	15,0	40,9	9,0	13,4	7,9	17,3
Kokku	Kokku	kha	345,8	172,5	317,8	40,7	24,0	900,8
	Hõredad	kha	27,7	35,8	19,8	5,0	1,5	89,8
	Osakaal	%	8,0	20,8	6,2	12,2	6,3	10,0

Vaadeldes tabelis 2.30 esitatud normaalse täiusega puistute ja hõredate puistute hektaritagavarasid võib märgata, et nende vaheline erinevus hilisemates arenguklassides ei suurene. Selle põhjuseid on kaks, esmalt eelmises lõigus kirjeldatud abitabeli hõredaks määramise reegel. Ning teiseks see, et küpsete ja hõredate puistute keskmist tagavara suurendab hilisem hõredaks jäämine (st normaaltihedusega puistutest tekib hõredaid juurde). Seega võib arvata, et juba keskeas hõredaks jäänud puistute osas on tegelik erinevus küpseks jõudmisel ilmselt isegi suurem.

Tabel 2.30 Normaalsete ja hõredate puistute hektaritagavara (m³/ha) (metsaregistri väljavõte tabel 2.28 alusel)

Enamus-puuliik	Keskealised		Valmivad		Küpsed	
	Norm	Hõre	Norm	Hõre	Norm	Hõre
Mänd	201	119	255	163	295	202
Kuusk	202	115	265	163	293	207
Kask	156	69	199	105	241	151
Haab	124	74	177	87	265	160
Sanglepp	175	68	213	89	242	127
Kokku	187	103	222	133	270	191

Mida võiks hõredate puistute raiest „võita“ või „kaotada“? Hõredate puistute õigeaegse raie korral on võimalik tõsta puistu keskmist tagavara pikema ajaperioodi keskmisena. Olemasolevate andmete põhjal saame arvutada seni saadud „kaotuse“. Arvestades arenguklasse on seni kaotatud õigeaegse raie tegematajätmise tõttu *ca* 1,4 m³ hektari kohta aastas. Seda kaotust otse tuleviku võiduks nimetada ei saa, kui tulevikus hõredate puistute raied õigeaegselt teha. Samas annab see siiski hea hinnangu tulevikus hõredate puistute õigeaegse raie korral saadava võidu suurusjärgu kohta.

Käsitledes eelnevat kaotust tuleviku võiduna, saaksime suurendada majandatavate puistute keskmist hektaritagavara ja ka keskmist CO₂ sidumist. Hõredate puistute õigeaegsel raiumisel oleks hinnanguliseks võiduks metsa CO₂ sidumisel *ca* 1,8 t CO₂ /ha/a. Kui arvestada ka CO₂ sidumist puittoodetesse, siis oleks hinnanguliseks võiduks *ca* 1,9 t CO₂ /ha/a.

Senise kogukaotuse või koguvõidu tõlgendamisel peab olema ettevaatlik, kuid kui laiendada tabelis 2.29 esitatud metsaregistri väljavõtet kogu majandatavale metsale, siis oleks aastaseks kogukaotuseks *ca* 240 kt CO₂. Arvestades ainult majandusmetsa (tulundusmetsa) oleks kaotuseks *ca* 200 kt CO₂ aastas. Loomulikult ei ole realistlik eeldus, et kogu seda kaotust annaks vältida. Erametsade majandamine/mittemajandamine on omanike vaba valik, aga kaotuse teadvustamine on vajalik. Omanik võiks näiteks kaaluda ka metsakaitselise ekspertiisi tellimist. Kindlasti võib hõredate puistute eelisraiet majandusmetsades soovitada aga RMKle. Vaadeldes hõredate puistute omandivormilist jaotust, siis näeme, et vaid *ca* 25% sellest majandab RMK. Konservatiivselt hinnates võiks tulevikus majandusmetsades kaotusest välditav olla umbes pool ehk *ca* 100 kt CO₂ aastas, mis tähendaks hõredate puistute ennakraiet *ca* 580 hektarit aastas (st hõredate puistute raiega asendataks mittehõredate puistute raiest saadav puit, vt tabel 2.31).

Tabel 2.31 Hõredate puistute ennakraie meetme mõju LULUCFi netoheitele aastail 2021–2100

Näitaja	Hõredate puistute ennakraie (580 ha/a)								
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	keskmise aastas	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100
	kumulatiivne	-1000	-2000	-3000	-4000	-5000	-6000	-7000	-8000
Pindala	perioodil kokku, kha	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8

2.4.4 Kuivendamine

23% Eesti metsamaast (LULUCFi määratluse kohaselt) ehk 575 kha paikneb turvasmuldadel ja 50% (289 kha) neist on kuivendatud⁵⁴. Kuivendamise tagajärjel suureneb metsade produktsioon, samas soodustab veetaseme alanemine turba lagunemist ning sellega seotud CO₂ ja N₂O heitkoguste kasvu. CH₄ heitkogused on kuivendatud muldadest üldiselt oluliselt madalamad võrreldes loodusliku veerežiimiga turbaaladega. Eesti kõdusoometsades läbi viidud uuringu⁵⁵ põhjal võivad kuivendatud puistud olla väga produktiivsed metsakooslused. 55–58 aasta vanustes kõdusookuusikutes ja 65–110 aasta vanustes kõdusoomännikutes kompenseeris puistu produktsioon CO₂ jt kasvuhoonegaaside lendumise atmosfääri, mistõttu olid need kooslused kliima jahendajad, sidudes keskmiselt vastavalt -11,65 ja -8,61 t CO₂ ekv/ha/a. Uuritud 30–38 aasta vanustest kõdusookaasikutest olid kaks ala süsiniku emiteerijad ja ühel toimus sidumine, seega kokkuvõttes hinnati kõdusookaasikud süsiniku-neutraalseteks (keskmise heitkogus 3,65 t CO₂ ekv/ha/a). Uri jt⁵⁶ leidsid, et kõdusookaasikute süsinikubilanss sõltub puistu vanusest ja sellega seotud biomassi produktsioonist: viljakal kuivendatud turvasmullal kasvavad noored ja keskealised metsad olid netosidujad, samas kui küpsusvanuse ületanud alal oli ülekaalus orgaanilise aine lagunemisest tingitud CO₂ heide. Uuendusraiate planeerimisel ja uue metsapõlve puuliikide valikul tuleks seega kuivendatud aladel arvestada ka CO₂ sidumise aspektiga.

Kuivendussüsteemi mõju puistu kasvule sõltub väga paljudest faktoritest, sh metsakasvukoha tüübist, puistu praegustest takseerandmetest, puistu kaugusest kraavini, kraavi sügavusest, kuivendussüsteemi hooldamisintervallist, turbahorisoni tusedusest jne⁵⁷. Alekand jt⁵⁸ jaotavad kasvukohatüübid kuivenduse efektiivsuse järgi järgmistesse rühmadesse:

- 1) lodumetsad, madalsoometsad ja siirdesoometsad, mille kuivendamisel võib puidu juurdekasv olla 4–5 m³/ha aastas;
- 2) siirderaba- ja rabametsad – puidu juurdekasv kuni 2–3 m³/ha aastas;
- 3) kidura männiga rabad – kuivendamine annab vähe tulemusi;
- 4) angervaksa, soostuva sõnajala, karusambla, osja-tarna, tarnaluite, rabastuva kanarbiku ja rabastuva mustika kasvukohatüübid – puidu juurdekasv vaid kuni 0,5–1,0 m³/ha aastas;

⁵⁴ NIR (2021). Greenhouse Gas Emissions in Estonia 1990–2019. National Inventory Report

⁵⁵ Projekt „Süsiniku ja lämmastikuringe muudetud veerežiimiga metsades“. Projekti lõpparuanne on kättesaadav: https://media.rmk.ee/files/Rakendusuuringu%20lopparuanne_Kodusoometsad.pdf

⁵⁶ Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Morozov, G., Karoles, K. (2017). Ecosystems carbon budgets of differently aged downy birch stands growing on well-drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 399, 82–93.

⁵⁷ Padari, A., Kiviste, K. (2005). Metsa kuivendusjärgse kasvu modelleerimine. *Metsanduslikud Uurimused* 43, 58–83.

⁵⁸ Alekand, K., Jürimäe, A., Kuum, J., Laurand, J., Paalmäe, V., Sepp, M., Tamm, V. (1982). *Maaparandus*. Tallinn: Valgus. 356 lk.

- 5) kõdusoo kasvukohatüüp – puidu juurdekasvu võib anda olemasoleva kraavivõrgu hea korrashoid ja madala boniteediga puistutes lisakraavide rajamine.

Muude võrdsete tingimuste korral on kuivendusefekt suurim IV ja V boniteedi puistutes; I ja II boniteediklassi kuuluvaid metsi tavaliselt ei kuivendata, kuid tuleb hoida korras varem rajatud kuivendusvõrk⁵⁸.

Turvasmuldadel kasvavate metsade põhiline süsinikuvaru paikneb reeglina mullas (nt Uri jt, 2017⁵⁶), seega on vajalik eraldi tähelepanu pöörata ka sellele, kuidas kuivendamine mõjutab mulla süsinikubilanssi. Juhul kui kuivendamise tagajärjel jätkub turba mineraliseerumine, võib pikaajaline mulla süsinikuvaru vähenemine oluliselt ületada puurinde sidumisvõime. On leitud, et boreaalses vööndis on kuivendamine kliimaatilisel jätkusuutlik toitainetevaestes kasvukohatüüpides, kus muld ka peale kuivendamist toimib CO₂ sidujana; viljakatel aladel süsinikuvaru pikas ajaskaalas vältimatult väheneb, kui biomassi seotud süsinikuvaru ei suudeta peale raiet talletada, nt pikaealistes puittoodetes⁵⁹. Turbavarude säilitamiseks tuleks veetase kuivendatud metsades hoida optimaalsena, nt on Soomes hinnatud, et keskmise veetaseme tõstmise 40 cm sügavuselt 30 cm kõrgusele võimaldaks vähendada CO₂ heitkoguseid metsadest umbes 0,5 t/ha/a, samas ei ohustaks see oluliselt puude kasvu ega suurendaks metaani heitkogust⁶⁰. Seejuures on veetaseme mõju suurem just viljakate kasvukohatüüpide puhul⁶¹.

2020. aastal käivitus EL LIFE OrgBalt projekt⁶², kus osalevad lisaks Eestile ka Läti, Leedu, Soome ja Saksamaa. Projektiga täpsustuvad heitkogused kuivendatud toitainerikastelt turvasmuldadelt. Lisaks hinnatakse erinevaid meetmeid turvasmuldadel kasvavate metsade heitkoguste vähendamiseks. Eestis algavad 2021. aastal mõõtmised siirdesoo ja raba baasil kujunenud kõdusoometsades, et täpsustada kuivendatud metsamaa turvasmuldade KHG heitkoguseid ja mulla süsinikuvaru dünaamikat.

⁵⁹ Ojanen, P., Minkkinen, K., Penttilä, T. (2013). The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands. *Forest Ecology and Management* 289, 201–208.

⁶⁰ Ojanen, P., Minkkinen, K. (2020). Rewetting offers rapid climate benefits for tropical and agricultural peatlands but not for forestry-drained peatlands. *Global Biogeochemical Cycles* 34, e2019GB006503.
<https://doi.org/10.1029/2019GB006503>

⁶¹ Ojanen, P., Minkkinen, K. (2019). The dependence of net soil CO₂ emissions on water table depth in boreal peatlands drained for forestry. *Mires and Peat* 24, 27.

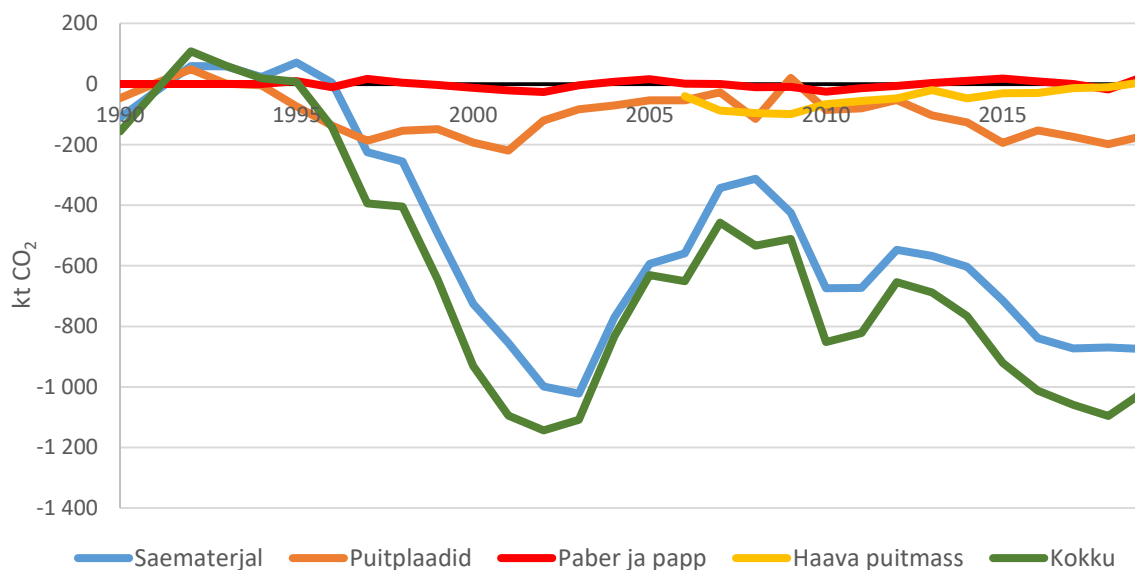
⁶² <https://www.orgbalt.eu/>

3. Puittooted

Olulise osa LULUCFi sektori sidumisest moodustavad puittooted (HWP – *harvested wood products*). Metsamaa ja puittooted on olnud siiani LULUCFi sektori ainukesed siduvad kategooriad. Puittoodete osa metsa ja puittoodete sidumisest on olnud küllalt varieeruv, 2015.–2019. aasta keskmiseks puittoodete osakaaluks on olnud 28% (vt joonis 2.1).

Puittoodete heidet ja sidumist LULUCFi aruandluses on arvatud vastavalt 2013. aasta IPCC juhendile⁶³ (vt ptk 2.8). Puittoodetesse seotud süsiniku muut arvestatakse pooltoodete tasemel, eeldades, et iga lõpptoode läbib ka pooltoote staadiumi. Puittooted on jaotatud kolme (pooltoote) kategooriasse, millel igal ühel on oma poollagu aeg ehk aeg kui toode kaotab poole oma esialgsest kogusest: saematerjalil on see 35 aastat, puitplaatidel 25 aastat ning paberil ja papil kaks aastat. Eesti eripärana on neljanda pooltoote kategooriana täiendavalt puittoodete arvestusse lisatud AS Estonian Cell tehases toodetav kemi-termo-mehaaniline haava puitmass. Vastavalt IPCC metoodikale võetakse arvesse ainult neid pooltooteid, mis on toodetud Eestist pärit puidust. Seotud süsiniku aastane muut arvutatakse igale raietoote rühmale, arvestades talletatud süsinikku ja samaaegset toodete lagunemist.

Kõige suurema osakaaluga puittoodete süsiniku sidumisest moodustab saematerjal (2015.–2019. aasta keskmisena 82%, seda nii pikema poollaguaja kui suurima toodetud koguse tõttu). Väikseima osakaaluga süsiniku sidumisest moodustavad lühikese poollaguajaga paber ja papp ning puitmass (vt joonis 3.1).

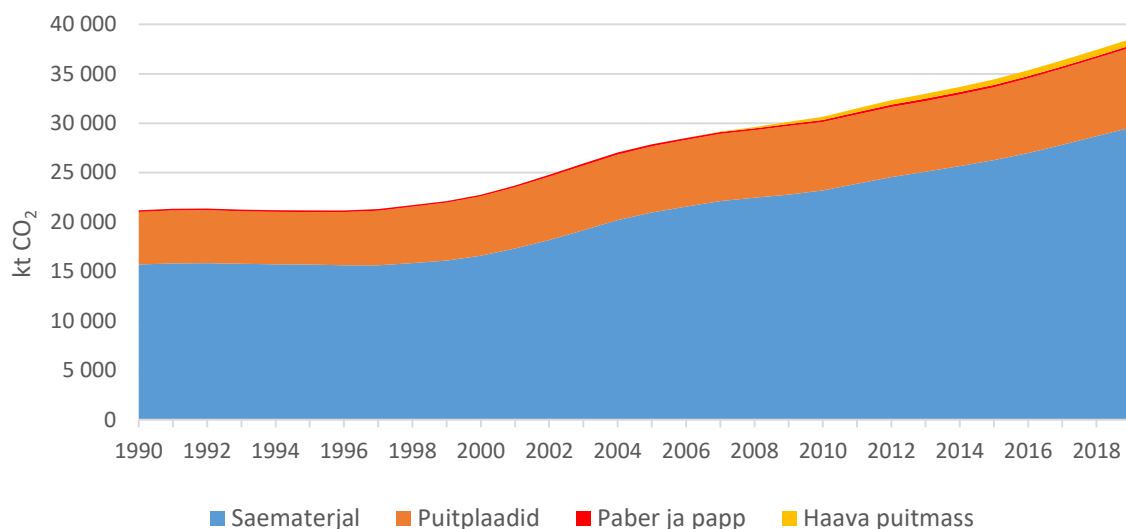


Joonis 3.1 Puittoodetesse süsiniku sidumine (kt CO₂) 1990.–2019. aastal (NIR 2021)

Puittoodete kategooria abil on hea näitlikustada süsiniku sidumisega seotud erinevaid aspekte (sidumist, heidet ja puittoodetes seotud süsinikku.). Vastavalt IPCC metoodikale käsitletakse süsiniku sidumise all netosidumist (ehk netoheidet), st süsiniku sidumist/heidet raporteeritakse vastavalt puittoodetesse seotud süsiniku muudule. Joonis 3.2 näitab aga puittoodetes kokku seotud süsinikku (jooniste võrreldavuse huvides on seotud süsinik kõikides järgnevates

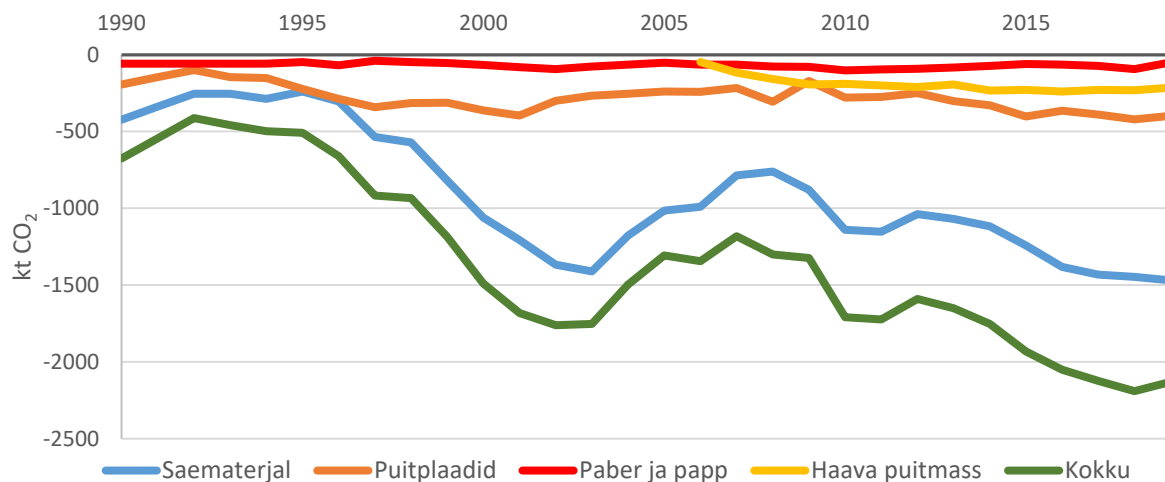
⁶³ IPCC (2014). 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/KP_Supplement_Entire_Report.pdf

puittoodetes seotud süsinikku näitlikustavas joonistes üle viidud CO₂-le). Seotust näitavates joonistes võib IPCC metoodika eripära tõttu eeldada mõningast seotuse alahindamist esimesel kümnendil (1990–2000).



Joonis 3.2 Puittoodetes seotud süsinik 1990.–2019. aastal (kt CO₂)

Joonistelt on näha, et nii paberi ja papi kui ka haava puitmassi süsiniku sidumine on nullilähedane. Selle põhjuseks on nende toodete kiire lagunemine. Kui arvestada igal aastal puittoodetes seotud süsiniku hulka ning jätta olemasolevate toodete lagunemine arvestamata, siis on paberi ja papi ning puitmassi süsiniku sidumine võrreldav puitplaatidega (vt joonis 3.3). Kui võrrelda saematerjali muutust näitavat joont joonisel 3.1 ja joonisel 3.3, siis näeme, et jooned on sarnase kujuga, kuid ainult joone kõikumise osakaal on hilisemal joonisel väiksem. Selle põhjuseks on hilisemal joonisel lagunemise mitteamarvestamine. 2000ndate aastate alguses kasvas saematerjali tootmine kiiresti, millele omakorda järgnes aga kiire tootmise langus. Kui varasemalt suures mahus toodetud saematerjali lagunemise suhe hilisemalt väiksemas mahus toodetud saematerjali sidumisse kasvas, siis tõi see järgnevatel aastatel kaasa netosidumise kiirema languse võrreldes sidumisega, kus lagunemist ei arvestata.



Joonis 3.3 Puittoodetes süsiniku sidumine aastatel 1990.–2019. aastal (kt CO₂ aastas) (lagunemist arvestamata)

Metsamaa pindala samaks jäämise korral ja üldise majandamisviisi jätkumisel on metsa süsiniku sidumine pikas perspektiivis vaadeldav nullina. Erandi moodustavad turvasmuldadel metsad (nende pikaajalises kasvuhooaegade bilansil on veel täiendavaid mõjutajaid). Samamoodi on ka süsiniku sidumine raietoodetes pikaajalises vaadeldav nullina – kõik, mis toodetakse, ka lõpuks laguneb. Täiendav sidumine saab tulla tootmismahude kasvust (eeldab suuremat raiemahtu), toodete struktuuri muutumisest (pikemaajaliste toodete osakaalu suurenemine) või toodete eluea pikenemisest. Käesolevas peatükis on käsitletud erinevaid stsenaariume, kus on keskendunud eelkõige kahele viimasele võimalusele.

Käsitletud stsenaariumid on järgmised:

- 0) baasstsenaarium (ühtlase kasutuse stsenaariumi järgi) – PT0–BAU;
- 1) täiendav tselluloosi tootmine 1 miljonist m³ puidust (paberipuidu ja puiduhakke eksport väheneb 1 miljoni m³ võrra) – PT1–Cel+1M;
- 2) täiendav tselluloosi tootmine 2 miljonist m³ puidust (paberipuidu ja puiduhakke eksport väheneb 2 miljoni m³ võrra) – PT2–Cel+2M;
- 3) täiendav puitplaatide tootmine 0,5 miljonist m³ puidust (puit pärineb paberipuidu ja puiduhakke ekspordist) – PT3–Board+0,5M;
- 4) saematerjali tootmise kasv (+ 0,5 miljonit m³ palki) (puit pärineb paberipuidu ekspordist) – PT4–SW+0,5M;
- 5) saematerjali tootmise vähenemine (- 0,5 miljonit m³ palki) (ülejääv puit eksporditakse paberipuuna) – PT5–SW-0,5M.

Nagu enamuse Euroopa riike kasutab ka Eesti puittoodetes seotud süsiniku arvestamiseks 2013. aasta IPCC juhendi peatükis 2.8 kirjeldatud meetodikat. Selline lähenemisviis ei ole siiski ainuvõimalik. Teistest võimalustest on pikemalt kirjutatud IPCC 2006 juhendis⁶⁴. Erinevate meetodikate põhiliseks erinevuseks on nn süsteemi piirid ja arvestamise keerukus. Vastavalt Eesti kasutatavale meetodikale võetakse arvesse ainult pooltooteid, mis on toodetud Eestist pärit puidust ning samas pole oluline, kus riigis puittooteid kasutatakse. Kasutades näiteks IPCC 2006 juhendis olevat varude muutuse meetodit (*stock-change-approach*), saaks arvesse võtta ka imporditavad puittooted, kuid välja jääks eksporditavad puittooted. Arvestades Eesti arenenud puidutööstust ei oleks selline lähenemine mõistlik ning väga keeruline oleks ka imporditavates ja eksporditavates lõpptoodetes oleva puidu koguse arvestamine.

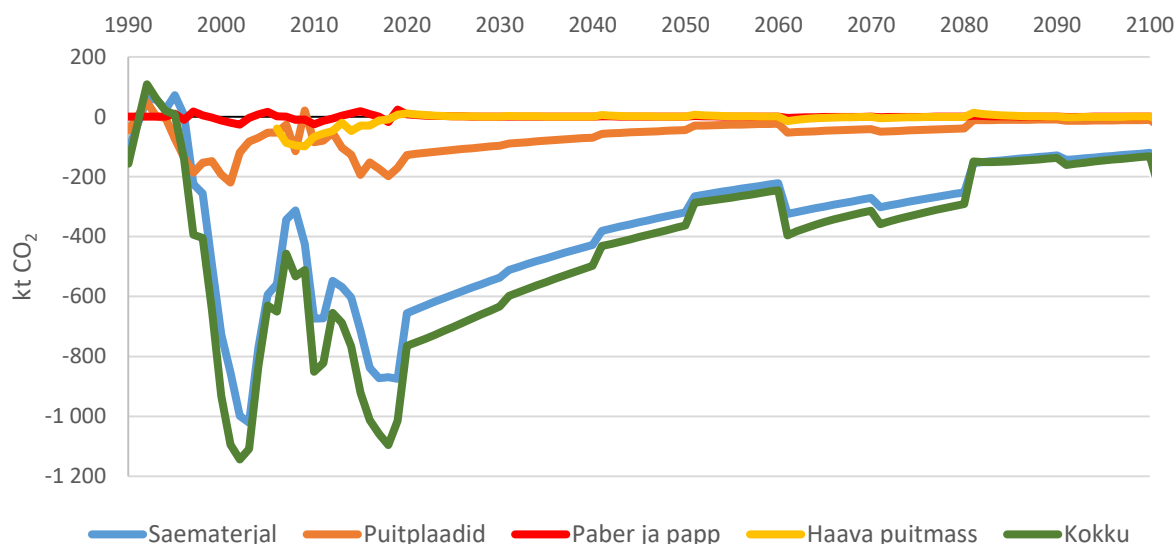
3.1 Baasstsenaarium (PT0–BAU)

Puittoodete stsenaariumite aluseks puiduvarumise seisukohalt on võetud ühtlase kasutuse raiestsenaarium (vt selgitust peatükist 2.2.3 „Raiestsenaariumid“). Kõikide käsitletavate puittoodete stsenaariumite korral jääb raiemaht sellele raiestsenaariumile vastavaks, muutub vaid puidukasutus. Erinevate raiestsenaariumite koondmõju süsiniku sidumisele on käsitletud raiestsenaariumite peatükis (vt joonis 2.9).

Puittoodete süsiniku sidumise tulevikuprognoside tegemiseks on vaja ennustada tuleviku tootmis- ja väliskaubandusmahte (viimased on olulised Eestimaise puidu osakaalu arvutamiseks). Tootmismahude leidmiseks ühtlase kasutuse raiestsenaariumi korral kasutati viimase viie aasta keskmise raiemahu (2015–2019) ja seniste tootmismahude suhteid.

⁶⁴ IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

Väliskaubanduse suhtarvudena (kohaliku puidu kasutus, IPCC juhendist valem 2.8.1) kasutati samuti viimase viie aasta keskmist (2015–2019). Eeldati, et jätkub samasugune puidukasutus sisemiselt ning samasugune palgi ja paberipuu (tööstuslik ümarpuit) väljatulek (ca 70%) raiest ja sama efektiivsus tööstustes, nagu seda on olnud viimase viie aasta keskmiselt (vt joonis 3.4).



Joonis 3.4 Puittoodetesse süsiniku sidumine 1990.–2100. aastal (kt CO₂) (ühtlase kasutuse stsenaarium PT0–BAU)

Vastavalt eelnevalt kirjeldatud meetodikale jaguneb süsiniku aastane sidumine (lagunemist arvestamata) puittoodetesse 2015.–2019. aastal järgmiselt: saematerjal 67%, puitplaadid 19%, paber ja pabertooted 3%, puitmass 11% (vt joonis 3.3). Kui teha jaotus puittoodetes kokku talletatud süsiniku põhjal 2019. a seisuga, siis oleksid osakaalud: saematerjal 76%, puitplaadid 21%, paber ja pabertooted 1%, puitmass 2% (vt joonis 3.2). On tõenäoline, et tootmine muutub tulevikus efektiivsemaks, ja seega võib arvata, et tootmismahte ja sellest tulenevalt ka süsiniku sidumist on sellise lähenemisiivi korral arvestatud pigem konservatiivselt.

3.2 Puidu keemiline töötlemine paberi ja papi tootmiseks (PT1-Cel+1M ja PT2-Cel+2M)

Selles peatükis on kirjeldatud puidu keemilise töötlemisega seotud puittoodete stsenaariume:

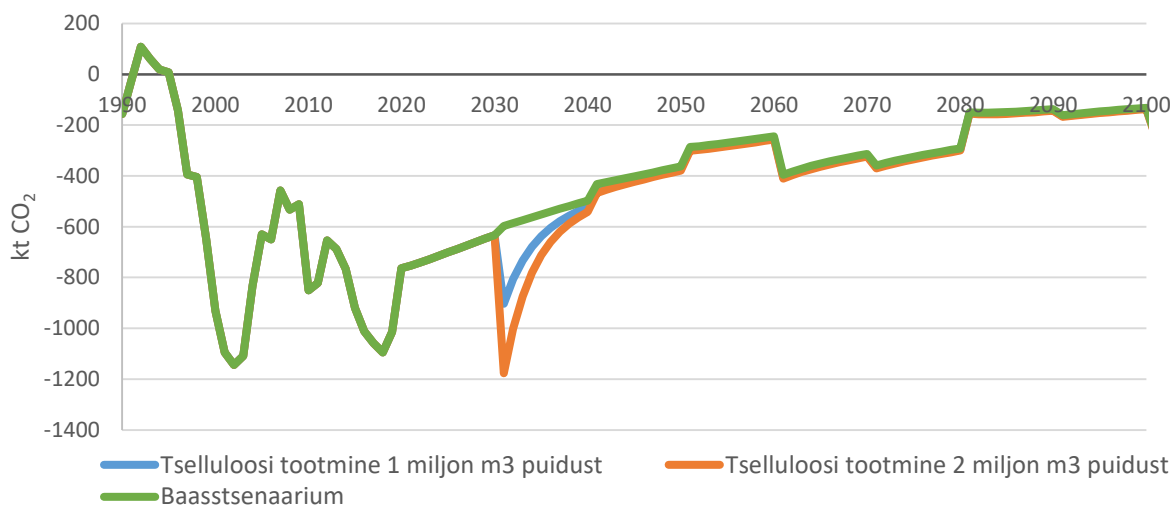
- 1) täiendav tselluloosi tootmine 1 miljonist m³ puidust (puit pärineb paberipuidu ja puiduhakke ekspordist) – PT1-Cel+1M;
- 2) täiendav tselluloosi tootmine 2 miljonist m³ puidust (puit pärineb paberipuidu ja puiduhakke ekspordist) – PT2-Cel+2M.

Puiduallikaks on seni eksporditud paberipuidu ja puiduhakke (puitlaastud ja pilpad) koguse vähenemine. Vastavate kategooriate senised ekspordimahud 2019. aastal olid ca 2 mln m³ paberipuitu ja ca 1 mln m³ puiduhaket. Eeldatakse, et puidu (keemilise, mehhaanilise või biotehnoloogilise) töötlemise tulemusena tekib lõpptootena paberile või papile sarnane lõpptoode (sarnane nii süsinikusalduse kui ka toote eluea mõistes). Eestis on tselluloosi toodetud 60 000–70 000 tonni aastas. Mõlema stsenaariumi korral suureneksid tselluloosi

tootmismahud. 1 miljoni m³ kasutamisel võiks toodanguks olla ca 212 000 tonni tselluloosi⁶⁵. Seega stsenaariumi PT1–Cel+1M korral suureneks tselluloosi tootmismahut 270 000 tonnini, stsenaariumi PT2–Cel+2M korral aga 480 000 tonnini. Kuna sellise tehase käivitamine on ajamahukas, siis arvutustes on tootmise algusaastaks võetud 2031. aasta. Paberi ja papi poollaguajaks on ainult kaks aastat, pikema elueaga tooted avaldavad mõju süsiniku sidumisele ja seotud süsiniku kogusele oluliselt rohkem. Joonisel 3.5 ja tabelist 3.1 on näha, et oluline mõju (neto)sidumisele on ligikaudu 10 aastat, suurema tehase käivitamisel suureneks sidumine 10. aasta keskmisena ca 200 kt CO₂ aastas.

Tabel 3.1 Täiendava tselluloositootmise (2 mln m³ paberipuidu ja hakke kasutamine) mõju LULUCFi netoheitel aastail 2021–2100

Näitaja	Täiendav tselluloositootmine								
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
2 miljonist m ³ puidust – PT2–Cel+2M									
Täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	keskmise aastas	0	-205	-23	-14	-12	-10	-7	-6
	kumulatiivne	0	-2052	-2279	-2414	-2538	-2637	-2703	-2764
Tehase tootmismahut	tselluloosi perioodil, kt/a	0	420	420	420	420	420	420	420
1 miljonist m ³ puidust – PT2–Cel+1M									
Täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	keskmise aastas	0	-109	-13	-8	-8	-6	-4	-4
	kumulatiivne	0	-1092	-1221	-1300	-1376	-1435	-1471	-1507
Tehase tootmismahut	tselluloosi perioodil, kt/a	0	210	210	210	210	210	210	210

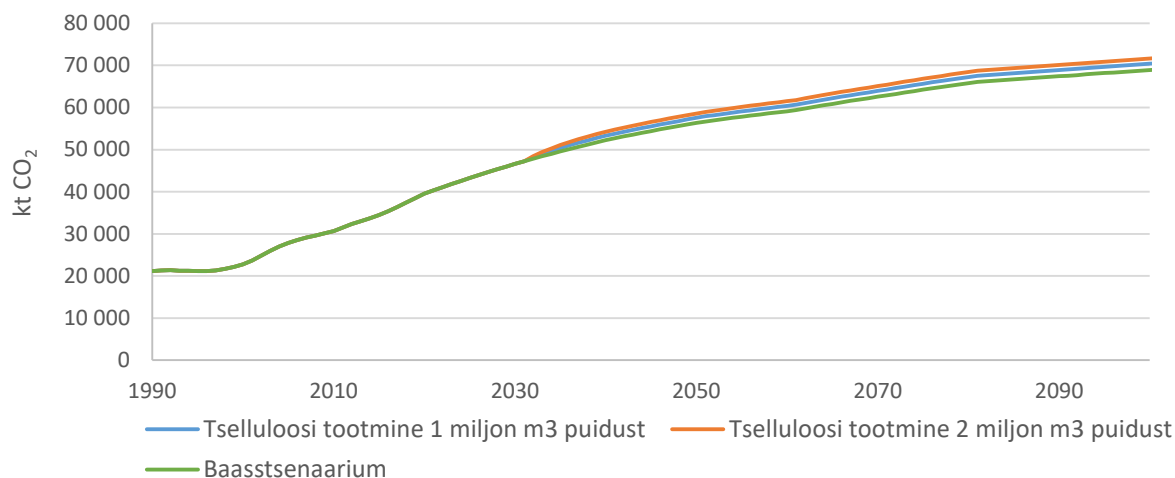


Joonis 3.5 Puittoodetes süsiniku sidumine 1990.–2100. aastal (kt CO₂) (stsenaarium PT0–BAU, PT1–Cel+1M ja PT2–Cel+2M)

Kui eelnev joonis näitas tselluloosi tootmise lühiajalist mõju CO₂ netosidumisele, siis mõju Eestis toodetud toodete süsiniku seotusele on tuntav ka pikaajaliselt, näiteks tõstaks 2 miljonit m³

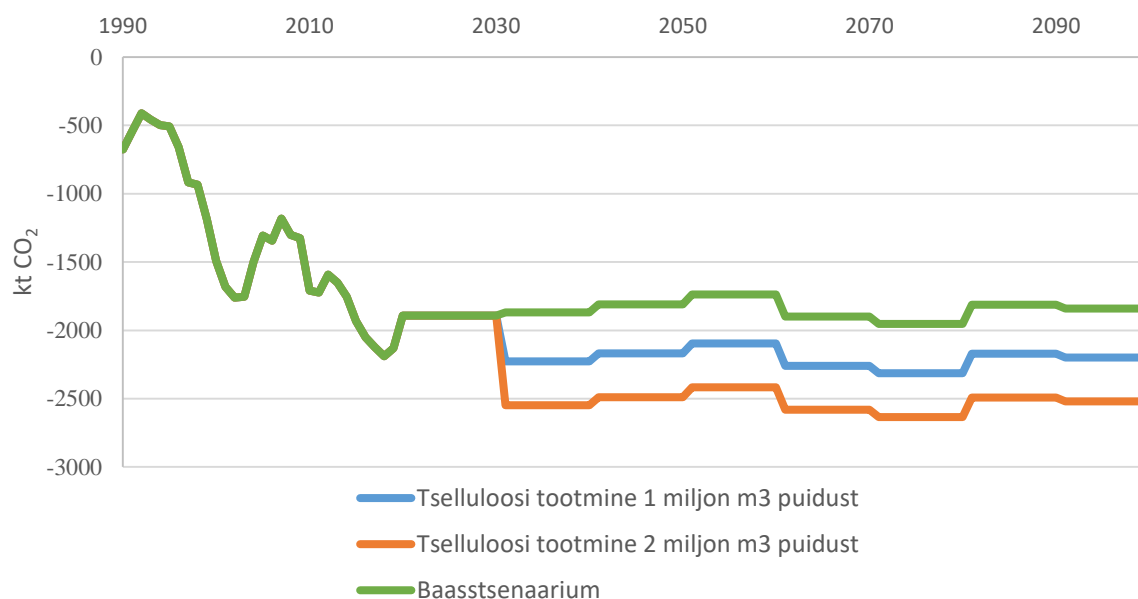
⁶⁵ Keskkonnaagentuur (2019). Puidubilanss. Ülevaade puidukasutuse mahtudest 2017. <https://keskkonnaagentuur.ee/media/886/download>

puitu kasutatav tselluloositehas 2050. aastaks Eestis toodetud raietoodetes seotud süsiniku kogust võrreldes baasstsenaariumiga 4% (2100. aastaks 4%, vt joonis 3.6).



Joonis 3.6 Puittoodetes seotud süsinik 1990.–2100. aastal (kt CO₂) (stsenaarium PT1–BAU, PT1–Cel+1M ja PT2–Cel+2M)

Kui aga jätta paberi ja papi lühike eluiga arvestamata, st vaadeldes puhast CO₂ sidumist, siis on muutus vägagi suur – 38% (vt joonis 3.7).



Joonis 3.7 Puittoodetes süsiniku sidumine 1990.–2100. aastal (kt CO₂) (lagunemist arvestamata) (stsenaarium PT0–BAU, PT1–Cel+1M ja PT2–Cel+2M)

Antud stsenaariumite juures täiendavat raiemahtu ei eeldata, toote järgmisele väärtusastmele väärdamine toimuks teiste riikide asemel Eestis. Kuigi ka mõju meie CO₂ sidumisele LULUCFi arvestuses on tehase rajamisele järgneva kümne aasta jooksul oluline, on puidu kohapealse (keemilise) väärdamise olulisem mõju siiski panuses majandusse.

Sotsiaalmajanduslik mõju avaldub puidu väärdamisest tuleneva lisandväärtuse kaudu. Eesti Rakendusuuringu Keskuse Centar 2017. aastal koostatud puidurafineerimistehase

investeeringu sotsiaalmajandusliku mõju analüüsist⁶⁶ on tuletatud 2,0 mln m³ paberipuidu töötlemisega kaasnev täiendav lisandväärtus ca 160–170 mln eurot aastas.

Võttes aluseks Statistikaameti 2016. ja 2017. aasta andmed paberi ja pabertoodete tegevusvaldkonnas loodud lisandväärtuse ning puidubilansis² esitatud info valdkonnas kasutatud puidukoguse suhte, saame tulemuseks 45–57 €/m³. Stsenaariumi PT2–Cel+2M korral kujuneb 2 mln m³ puidu keemilise töötlemise korral otseseks lisandväärtuseks 89–113 mln eurot, koos kaudse lisandväärtusega 148–188 mln eurot aastas.

Tuletades lisandväärtuse kasvu tselluloosi tootmiseks kuluva tooraine mahu ja hinna kaudu, selgub, et ühe m³ puidu väärtus suureneb ligikaudu 4,2 korda. Ehk kui aastas eksporditakse paberipuitu ca 100 mln euro eest, siis samast kogusest puidust tselluloosi puhul oleks ekspordi väärtus ca 420 mln eurot.

Puidu keemilise töötlemise positiivne majandussmõju võiks avalduda puiduturu ja puiduhindade stabiliseerijana. Võimalikku mõju kirjeldab kasepaberipuidu ja haavapaberipuidu hindade dünaamika võrdlus Eesti turul 2011.–2020. aastal. Haavapaberipuidule on teatavasti Kundas kodumaine tarbija AS Estonian Cell, kasepaberipuit eksporditakse. Haavapaberipuidu hind jäi 2011.–2020. aastal vahemikku 26,88–39,03 €/m³. Keskmise hind 32,12, standardhälve 3,77 €/m³. Kasepaberipuidu hind varieerus vahemikus 30,28–54,90 €/m³. Keskmise hind oli 38,85 €/m³ ja standardhälve 7,69 €/m³.

Positiivset mõju saab veelgi suurendada jääkide kasutamisel energia tootmiseks. Energiat (soojus ja elekter) saab kasutada nii omatarbeks kui ka müüa energiavõrkudesse (oluline on soojuse kasutamise võimalus, vt ptk 6.1).

3.3 Puitplaatide tootmine (PT3–Board+0,5M)

Käesoleva stsenaariumiga on käsitletud täiendavat puitplaatide tootmist 0,5 miljonit m³ puidust (stsenaarium PT3–Board+0,5M). Potentsiaalne puiduallikas on sama eelneva alapunktiga, st allikaks on muidu eksporditav paberipuit ja/või eksporditav puiduhake (puitlaastud ja pilpad). Süsiniku sidumise mõju arvutustes on eeldatud, et tegemist on OSB plaate tootva tehasega (süsiniku üleminekufaktor õhkuiva toote kohta 0,265 Mg C/m³)⁶⁷. Siiski võib eeldada, et kui tehase toodanguks on teist tüüpi plaadid (puitlaastplaat, puitkiudplaat), on mõju CO₂ sidumisele samas suurusjärgus (eeldades tooraine mahu samaks jäämist). OSB tehase käivitamisajaks on arvestatud 2025. aasta.

LULUCFi arvestuses haarab laia tooteriingi puitplaatide alamkategoria. Siia alla kuuluvad väga erinevat tüüpi puitkiud- ja puitlaastplaadid, samuti spoon ja vineer. Kõikide nende poollaguajaks on vastavalt IPCC juhendile 25 aastat. Eestis on erinevat tüüpi puitplaatide tootmine aeglaselt kasvav, toormena kasutatakse nii ümarpuitu kui ka saetööstuste jääke. LULUCFi arvestuse puitplaatide toormena on siiani kasutatud ligi 1 miljon m³ puitu (ilma kooreta)⁶⁸. Arvestades, et OSB tootmise jäägiks on peamiselt koor, suurendaks täiendava 0,5 miljoni m³ puidu kasutamine puitplaatide kategooria sisendit ca 50% võrra.

⁶⁶ Eesti Rakendusuuringute Keskus Centar (2017). Puidurafineerimistehase sotsiaalmajanduslike mõjude analüüs.

⁶⁷ 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch12_HarvestedWoodProducts.pdf

⁶⁸ Keskkonnaagentuur (2019). Puidubilanss. Ülevaade puidukasutuse mahtudest 2017. <https://keskkonnaagentuur.ee/media/886/download>

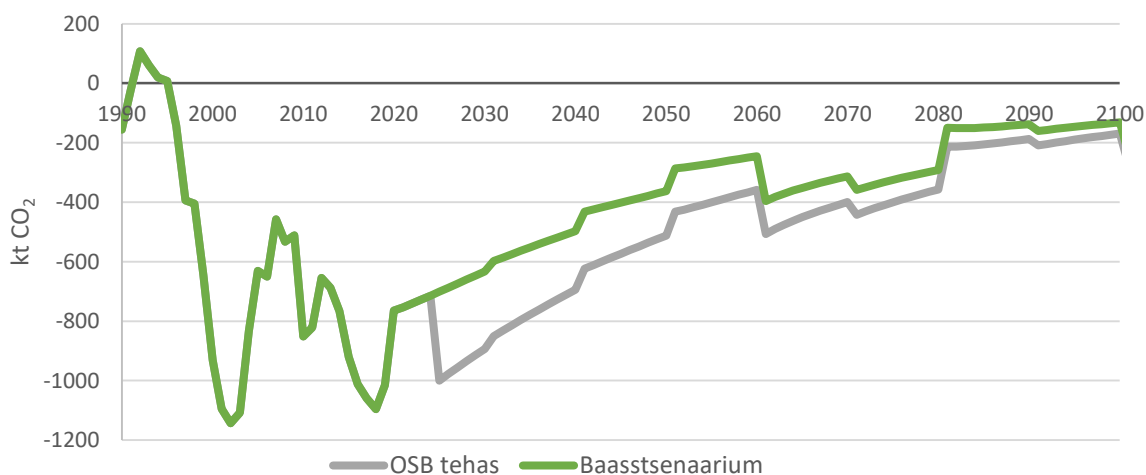
Nagu eelnevas peatükis kirjeldatud, on potentsiaalset tooret Eestis piisavalt (paberipuidu ja saetööstuste jääkidest hakke eksport). Siiski on teada, et vaatamata piisavale toormepotentsiaalile on antud stsenaariumi olulisemaks probleemkohaks konkurents lähiriikide tehastega. Samuti tuleb konkurendina arvestada Skandinaavia tselluloositehastega. Eriti suur konkurents on puitlaastplaatide turul, kuna moodsaid tehaseid leidub nii Venemaal, Lätis, Leedus kui ka Poolas⁶⁹.

Stsenaariumi sotsiaalmajandusliku mõju hindamiseks on võimalik kasutada plaaditööstusettevõtete finantsaruandeid. Nende kohaselt loodi 2017. aastal tootmises kasutatava 1 m³ puittooraine kohta 18 eurot lisandväärtust. Poole miljoni m³ puidukasutuse juures teeks see 9 mln eurot lisandväärtust aastas. Suurima osakaaluga, ligikaudu 70–75%, on lisandväärtuses töötasu ja tööjõumaksud.

LULUCFi arvestuse seisukohast oleks antud stsenaariumil oluline mõju. Kümne aasta jooksul alates tehase käivitamisest saaksime täiendava sidumise võrreldes baasstsenaariumiga ca 250 kt CO₂ (vt joonis 3.8 ja tabel 3.2).

Tabel 3.2 Puitplaatide tootmise meetme (stsenaarium PT3–Board+0,5M) mõju LULUCFi netoheitele aastail 2021–2100

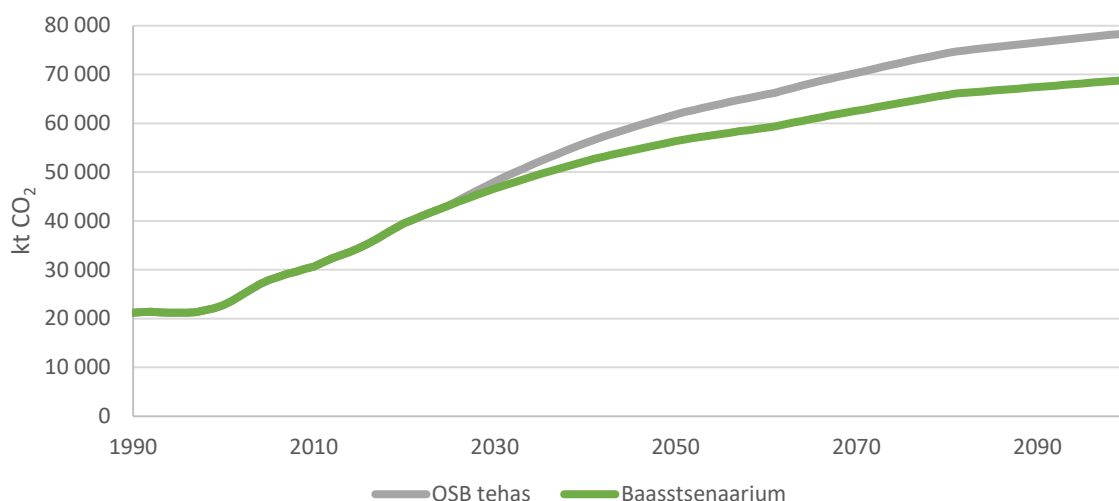
Näitaja	OSB plaatide tootmine (0,5 miljonist m ³ puidust)								
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	keskmine aastas	-167	-224	-170	-129	-98	-74	-57	-43
	kumulatiivne	-1674	-3912	-5611	-6902	-7881	-8625	-9191	-9620
Tehase tootmismah	OSB plaat 1000 m ³ /a	315	315	315	315	315	315	315	315



Joonis 3.8 Puittoodetesse CO₂ sidumine 1990.–2100. aastal (kt CO₂) (stsenaarium PT0–BAU ja PT3–Board+0,5M)

⁶⁹ Tallinna Tehnikaülikool (2020). Lisandväärtuse tõstmine ja toorme tõhusam kasutamine Eesti biomajanduses ja selle sektorites. Vahearuanne.

Oluliselt kasvaks ka seotud süsiniku kogus, 2050. aastaks tõuseks puittoodetesse seotud süsiniku kogus Eestis toodetud puittoodetes võrreldes baasstsenaariumiga 10% võrra (2100. aastaks 14%, vt joonis 3.9).



Joonis 3.9 Puittoodetesse seotud süsinik 1990.–2100. aastal (kt CO₂) (stsenaarium PT0–BAU ja PT3–Board+0,5M)

3.4 Saematerjali tootmine (PT4–SW+0,5M ja PT5–SW-0,5M)

LULUCFi puittoodete kategooria kõige olulisemaks tooteks on saematerjal, ca 70% puittoodete tooraineks olevast puidust kasutatakse esmalt saetööstustes saematerjali toorainena. 2019. aastal toodeti Eestis 1,9 miljonit m³ saematerjali, kasutades selleks ca 4 miljonit m³ palki.

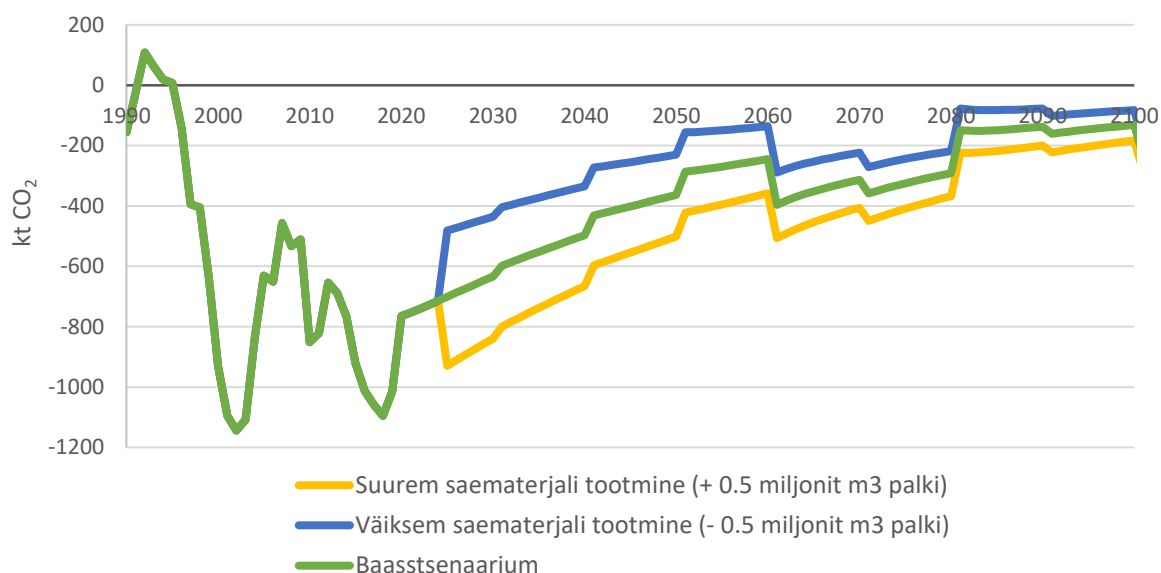
Käesolevas peatükis vaadeldakse stsenaariume PT4–SW+0,5M ja PT5–SW-0,5. Neljandas (PT4–SW+0,5M) stsenaariumis suurendatakse saematerjali tootmissisendit 0,5 miljoni m³ võrra kasutades selleks seni paberpuiduna kasutatavat puitu, st peenemat, lühemat ja muudel põhjusel madalakvaliteedilisemat tooret. Samuti on võimalus saematerjali toodangut suurendada kasutades suuremal määral lehtpuitu. Pikemas perspektiivis on metsakasvatuslike võtetega võimalik suurendada ka palgi väljatulekut raieist. Viies stsenaarium näitab aga, mis juhtub kui saematerjali toodang mingi põhjusel väheneb (saematerjali tootmiseks kasutatakse 0,5 miljonit m³ vähem puitu). Eeldatakse, et seni saetööstustes kasutatud puit eksporditakse paberipuiduna. Mõlema siin käsitletava stsenaariumi algusajaks on 2025. aasta.

Saematerjali tootmine võib väheneda majanduslikel põhjustel. Samuti võib väheneda palgi väljatulek raiutud puidukogusest puidu kvaliteedi tõttu. 2017. aasta puidubilansi alusel moodustas okaspuupalgi osakaal metsast väljatoodavast puidust 31% (väljatoodavast ümarpuidust 33%). Palgi väljatuleku vähenemisel langeb ka saematerjali toodang. Saematerjali tootmiseks kasutatakse eelkõige okaspuud (lehtpuu saematerjali tootmise osakaal on alla 10%). Lehtpuu palgi suurem kasutamine on võimalus tootmise suurendamiseks, ehkki nõudlus ja lehtpuupalgi kvaliteet seavad kasvule oma piirid. Okaspuu palgi väljatuleku osakaalu säilitamiseks ja suurendamiseks on tarvilikud õiged metsakasvatuslikud võtted: okaspuu puht- ja okaspuu osalusega segapuistute kultiveerimine, noorendike hooldus, õigeaegsed harvendus ja sanitaarraied.

Kümne aasta keskmisena oleks mõlema stsenaariumi mõju süsiniku sidumisele absoluutväärtusena ca 200 kt CO₂ (vt joonis 3.10 ja tabel 3.3).

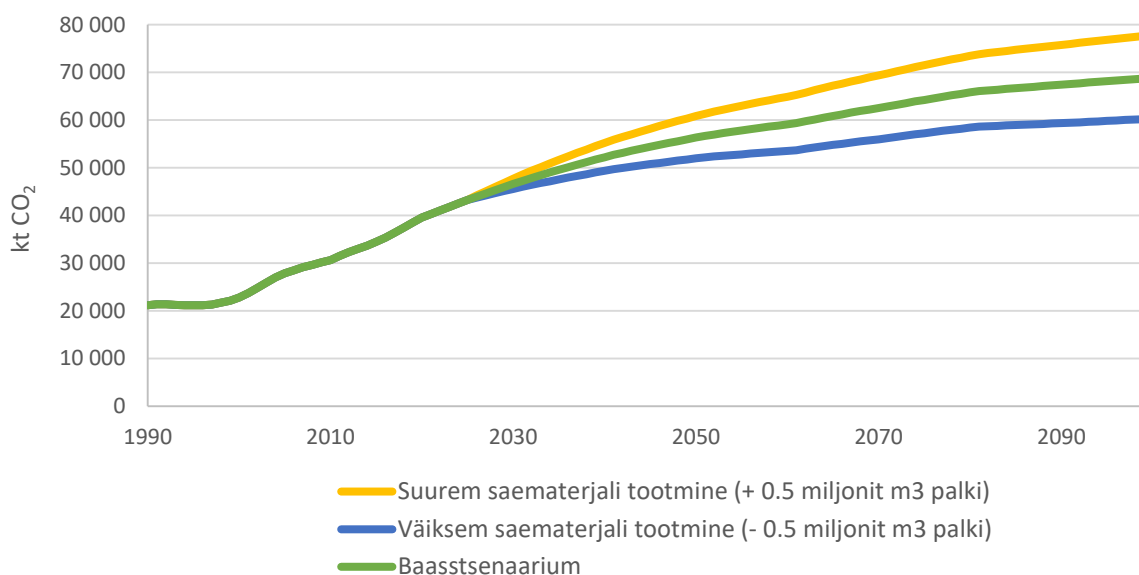
Tabel 3.3 Saematerjali tootmise kasvu meetmete mõju LULUCFi netoheitele aastail 2021–2100

Näitaja	Saematerjali tootmine								
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Saematerjali tootmise kasv (stsenaarium PT4–SW+0,5M)									
Täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	keskmine aastas	-130	-185	-151	-124	-102	-83	-68	-56
	kumulatiivne	-1300	-3147	-4661	-5902	-6920	-7754	-8439	-9000
Täiendav saepalgi maht	saepalgi maht perioodil kokku, mln m ³	3	5	5	5	5	5	5	5
Saematerjali tootmise vähenemine (stsenaarium PT5–SW-0,5M)									
Sidumise vähenemine, kt CO ₂ ekv	keskmine aastas	125	178	146	119	98	80	66	54
	kumulatiivne	1 251	3 027	4 482	5 675	6 653	7 455	8 112	8 652



Joonis 3.10 Puittoodetes süsiniku sidumine 1990.–2100. aastal (kt CO₂) (stsenaarium PT0–BAU, PT4–SW+0,5M ja PT5–SW-0,5M)

Mõju puittoodetes seotud süsinikule on mõlemas suunas samaväärne, olenevalt saematerjali tootmise suurendamisest või vähendamisest, suureneks või väheneks seotud süsiniku kogus võrreldes baasstsenaariumiga 2050. aastaks 8% võrra (2100. aastaks 13%, vt joonis 3.11).



Joonis 3.11 Puittoodetes süsiniku sidumine 1990.–2100. aastal (kt CO₂) (stsenaarium PT0–BAU, PT4–SW+0,5M ja PT5–SW-0,5)

Suurema koguse saematerjali tootmise jaoks vajalik alginvesteering on 60 miljonit eurot, sellega rajataks kaks uut saetööstust. Tõenäoliselt on järgmistel aastakümnetel tarvis täiendavalt investeerida seadmete uuendamisse. Saetööstusettevõtete finantsaruannete põhjal tehtud analüüsi kohaselt luuakse saematerjali tootmisega ligikaudu 38 eurot lisandväärtust 1 m³ saematerjali kohta. Kui aastas toodetakse peenemõdulisest puidust täiendavalt ca 200 000 m³ saematerjali, kaasneb sellega ühtlasi 7,6 mln eurot lisandväärtust aastas.

Peenemõdulisest puidust saematerjali tootmine võiks aidata kaasa sellise puidu hinna tõusule ja stabiliseerumisele. 2021. aasta jaanuaris ostis Toftan 2 peenemõdulist männi- ja kuusematerjali hinnaga 33–34 eurot m³ kohta, mis oli sarnane männi- ja kuusepaberipuidu 1 m³ ostuhinnaga sadamates. Seni eksporditava puidu kohapealse kasutamise korral väheneksid transpordikulud ja metsaomanikud teeniksid selle võrra suurema müügitulu. Samuti väheneb puidu transpordiga kaasnev negatiivne keskkonnamõju.

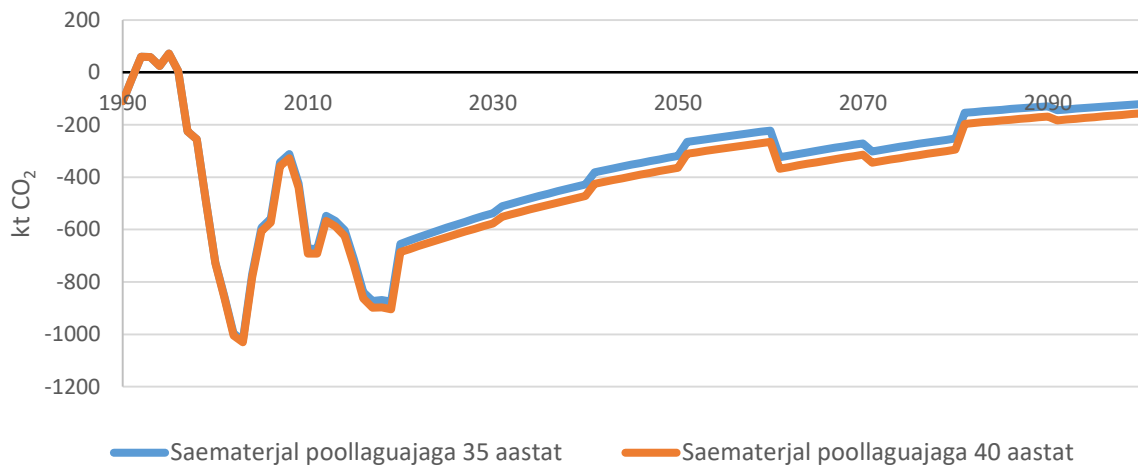
3.5 Uurimisvajadused

Puittoodetes seotud süsiniku arvestus eeldab, et kõik toodetavad puittooted läbivad pooltoodete etapi (saematerjal, puitplaadid, paber ja papp). Kahjuks puudub kindlus, et kõik pooltooted jõuavad korrektselt statistikasse. Kui puit läbib pooltoote faasi ettevõttesiseselt, siis on võimalik, et toode tootmisstatistikas ei kajastu. Samuti on võimalik, et leidub tooteid, mis pooltoote faasi ei läbi, näiteks ümarpalgist palkmajad. Mõlemad eelkirjeldatud probleemkohad vajaksid täiendavat uurimist.

Toote eluea hindamiseks on Eestis kasutusel IPCC poollaguaja vaikeväärtused (saematerjal 35 aastat, puitplaadid 25 aastat ning paber ja papp 2 aastat). Erinevates riikides tehtud täiendavad uuringud on näidanud kõrvalekaldeid mõlemale poole⁷⁰. Poollaguaja mõju näitab joonis 3.12.

⁷⁰ Riistop, M. (2012). Ülevaade puidutoodetes sisalduvast süsinikuarust ning selle suurendamise võimalustest.

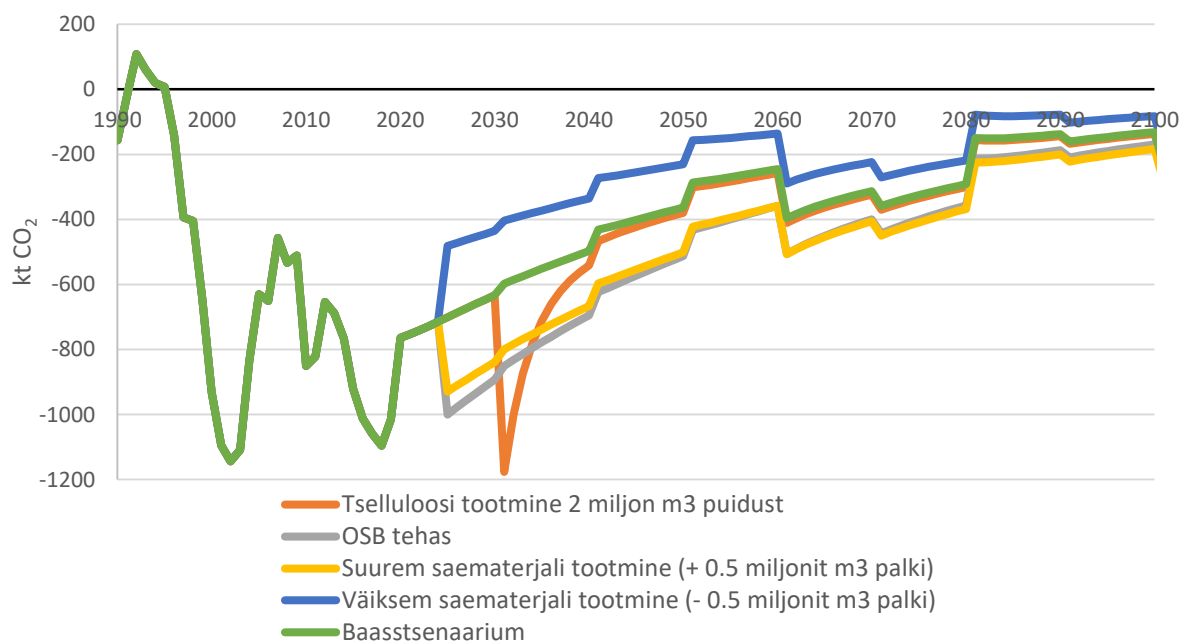
Eelnimetatud uuringuvajadused on ka heakskiidu saanud ning lähevad loodetavasti lähiaastatel töösse.



Joonis 3.12 Saematerjali poollaguaja muutmise (+5 aastat) mõju puittoodetesse süsiniku sidumisele 1990.–2100. aastal (kt CO₂)

3.6 Kokkuvõte

Stsenaariume võib ka omavahel kombineerida, kuid arvestada tuleks toormaterjali kättesaadavust. Näiteks on paberipuit toormeks nii tselluloosi- kui ka plaatidehasele, samas saetööstuste toodangu jäätmed võivad olla tooreks nii tselluloosile kui ka plaatidele (puitkiudplaat, puitlaastplaat). Võimaliku arengusuunana on mõistlik koos käsitleda stsenaariume, mille sisendiks on erinev puidusortiment. Käesolevas töös on võimalike meetmetena käsitletud tselluloositehase ehitust ja saematerjali tootmise kasvatamist. Erinevaid stsenaariume on võrreldud joonisel 3.13.



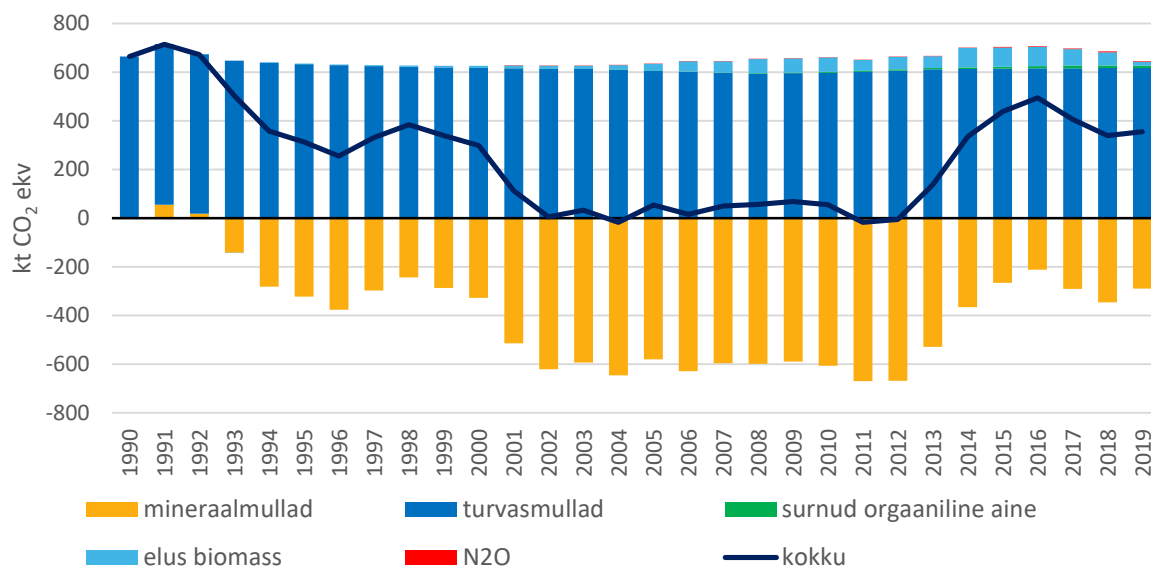
Joonis 3.13 Puittoodetesse süsiniku sidumine erinevate stsenaariumite alusel 1990.–2100. aastal (kt CO₂)

4. Põllumaad ja rohumaad

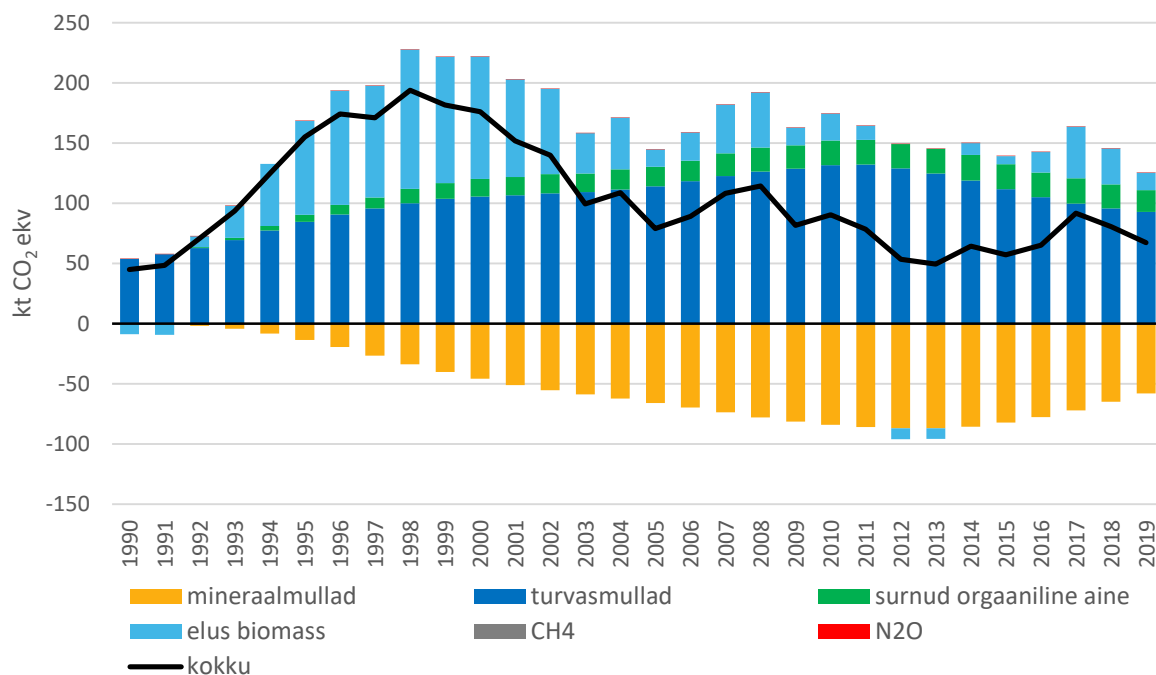
Uuringus vaatleme põllumaid ja rohumaaid koos, kuna põllu- ja rohumaade muldade süsiniku (C) sidumise suurendamise ja KHG heite vähendamise meetmed suuresti kattuvad.

LULUCFi aruandluses kuuluvad põllumaa kategooriasse põllumaad, püsikultuuride all olev maa, pikaajalised kultuurrohumaad ja põllumajanduslikust kasutusest kõrvale jäänud maad, millel on veel säilinud haritava maa tunnused. Rohumaade alla loetakse loodusliku rohukamaraga niitmis- või karjatamiskõlblik maa, ka väiksema pinnaga haritava maa tunnused minetanud söödid ja endised kultuurrohumaad, samuti põdsastikud ning niidetavad puisniidud, mille põdsa- ja puurinde liitus jääb alla 50%. 2019. aasta SMI andmetel oli põllumaade pindala 985,5 kha ja rohumaade all 276,0 kha. Põllumaade ja rohumaade pindala on alates 1990. aastast vähenenud vastavalt 6,5% ja 5,9%, eelkõige põllumajandusmaade kasutusest välja jäämise tõttu pärast Nõukogude Liidu lagunemist. Alates Euroopa Liiduga liitumisest on maakasutusmuutus põllumaaks kasvanud, peamiselt rohumaade arvelt. Ka rohumaade maakategooriasse on maad lisandunud kõige enam põllumaa kategooriast (vt tabel 1.1).

Viimase, 2021. aasta KHG inventuuri alusel olid mõlemad kategooriad heite poolel, seda eelkõige turvasmuldadest tulenevate kõrgete CO₂ heitkoguste tõttu (vt joonised 4.1 ja 4.2). Mineraalmuldades on üldiselt toimunud C sidumine. Põllumaa kategoorias mõjutab C sidumist mineraalmuldades kasutuses oleva põllumaa osakaal, kasvatatavad kultuurid ning erinevate maaharimisvõtete kasutamine. Rohumaa kategoorias kasvavad mineraalmuldade C varud aladel, kus on viimase 20 aasta jooksul toimunud maakasutusmuutus rohumaaks. Kokku emiteeris põllumaa kategooria 2019. aastal 354,9 kt CO₂ ekv ja rohumaad 67,5 kt CO₂ ekv.



Joonis 4.1 Põllumaade maakategooria KHG heitkogused 1990.–2019. aastal (NIR 2021)



Joonis 4.2 Rohumaade maakategooria KHG heitkogused 1990.–2019. aastal (NIR 2021)

Uuringus vaadeldakse viite põllu- ja rohumaa muldade C sidumise suurendamise ja kasvuhoonegaaside heite vähendamise meetet. Hinnangute koostamise aluseks on varasemalt avaldatud teadusartiklid ja -aruanded. Täiendavalt kasutati mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) varu muutuse hindamiseks Uppsala Ülikoolis välja töötatud mudelit ICBM (*Introductory Carbon Balance Model*) ning Eesti Maaülikoolis arendatud huumusbilansi kalkulaatorit. Mulla C_{org} varu suurenedes süsinik mullas säilib või seotakse, ent mulla C_{org} varu vähenedes lendub süsinik CO_2 -na mullast õhku. Meetmete valikul sai määravaks mõju ulatus ehk millised meetmed võivad mõjutada kõige enam põllumajandusmaade süsinikuvahu dünaamikat ning meetmete sobivus Eesti tingimustesse. Vaadeldud on järgmisi meetmeid:

- 1) PM 1: orgaaniliste väetiste kasutamine (sh. taimejäänuste mulda jätmine);
- 2) PM 2: mitmekesisemad ja pikemad külvikorrad;
- 3) PM 3: püsiva taimeestikuga alade loomine (haritava maa muutmine püsirohumaaks, puittaimestiku ribad, hekid ja agrometsandus);
- 4) PM 4: heitkoguste vähendamine turvasmulladel paiknevatest haritavatest maadest;
- 5) PM 5: happeliste muldade neutraliseerimine.

2019. aastal Stockholmi Keskkonnainstituudi (SEI) Tallinna Keskuse koostatud aruandes (SEI Tallinn, 2019) käsitleti mõnda nendest meetmetest (turvasmullade viimist looduslikuks rohumaaks ja happeliste muldade neutraliseerimist), kuid peamiselt kulutõhususe eesmärgist lähtuvalt.

Põllumajandusmaa muldade süsiniku sidumise võimel on oma selged piirid ning kõigi hinnatud meetmete tegelik mõju süsiniku- ja KHG-ringele avaldub kohtspetsiifiliste tegurite kompleksina. Tänaused hinnangud ja KHG inventuur rahvusvaheliste või regioonispetsiifiliste heitetegurite ja C_{org} varude alusel on seotud väga suure määramatusega. Sellest tulenevalt on meetmete mõjuhinnanguteks ja rakendamiseks vaja jõuda kaasaegsesse geoinfosüsteemi seostatud mudelprognosid tugineva lahenduseni. See võimaldaks KHG inventuuri LULUCFi sektoris

kasutusele võtta kõrgeima taseme arvutusmetoodika (*Tier 3*) ning annaks väärtuslikku teavet selle kohta, millised meetmed on konkreetse maakasutuseüksuse tasemel kõige otstarbekamad. Eestis on olemas sellise lahenduse välja arendamiseks piisavalt detailsed aluskaardid (osad alusandmestikud vajavad veel mõningast korrastamist). Mulla C_{org} varu ja selle muutuste mudelprognooside hinnanguid on vaja asjakohase seire- ja pikaajaliste katsete andmetega järjepidevalt valideerida, et leida meie kohalikesse tingimustesse sobivaimad lahendused. Asukohapõhise C_{org} varu ja muutuste hindamissüsteemi välja arendamine eeldab ministeeriumite ja ametkondade, teadus- ja arendusasutuste ning erasektori ülest koostööd ning ühist visiooni.

Praegu kehtivad riigipoolsed põllumajanduse toetusmeetmed on kokku lepitud „Eesti maaelu arengukava (MAK) 2014–2020“ raames. Kuna hetkel on nende meetmete üleminekuastad, siis pikendatakse kuni 2022. aastani nende rakendamist. Üleminekuperioodil jätkuvad nii senised otsetoetused kui maaelu toetused. Uued meetmed rakenduvad alates 2023. aastast ning hetkel on käimas nende meetmete väljatöötamine. Rahalisi vahendeid ei saa praeguses etapis veel välja tuua. Samas on teada, et uuel perioodil on plaanis riigil toetada säästlikku ja mitmekesist maakasutust – turvasmuldadega põllumajandusmaa viimist rohumaa alla, liigirikaste rohumaaade säilitamist, maastikuelementide ja põllumajanduslikku elurikkust toetavate alade lõimimist põllumajandusmaastikesse. Muldade kaitseks rakendatakse keskkonnahoidlikke meetmeid, nagu viljavaheldus, talvine taimkate, vahekultuuride ja liblikõieliste kultuuride kasvatamine ning haljasväetiste kasutamine. Samuti plaanitakse toetada rohumaaadel karjatamist, millel võib olla rohumaaale jääva sõnniku tõttu mõju mulla süsinikuvaru suurenemisele. Lisaks kavandatakse toetada hapestunud muldade neutraliseerimist.

4.1 Orgaaniliste väetiste kasutamine (sh taimejäänuste mulda jätmine) (PM 1)

Orgaanilised väetised on loodusliku päritoluga, koosnedes peamiselt lagununud taime- ja loomajäänustest. Nende väetiste kasutamine on positiivse mõjuga mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) varule ja mullaomadustele (Duiker ja Lal, 1999; Nyborg jt, 1999; Campbell jt, 2005; Kauer jt, 2019). C mulda sidumise efektiivsus sõltub orgaanilise väetise omadustest (Chen jt, 2018), mullaomadustest (saviosakeste sisaldus) ja keskkonnatingimustest. Mulla harimise käigus toimub pidev mulla orgaanilise aine lagunemine ning C tasakaal võib muutuda mullas negatiivseks. Orgaaniliste väetistega viiakse mulda nii C kui ka toitained.

Orgaanilised väetised võivad näiteks olla saagikoristusjäätmek (taimejuured (sh juureeritised), põhk), vahekultuurid, haljasväetised (üldjuhul liblikõielised kultuurid), sõnnik, erinevad kompostid ja digestaat ehk kääritusjääk.

Taimejäätmek on varieeruva koostisega ning seetõttu on nende mulda sidumise efektiivsus kõikuv (0–32%). Samas tuleb ka arvestada, et taimejäätmek mulda viimine võib põhjustada N_2O emissiooni (suurem on risk liblikõieliste puhul) (Han jt, 2017; Hu jt, 2018). Kõige suurema efektiivsusega on tahesõnniku ja kompostide viimine mulda, kuna nende viimisel seotakse pikemaajaliselt mulda kuni 30% mulda viidud süsinikust (Henin ja Dupois, 1945; Andren ja Kätterer, 1997). Eesti tingimustes on leitud, et komposteeritud sõnniku puhul on see number 21–22% (Kauer jt, 2019).

Biosüsi on C-rikas ja lagunemisele vastupidav. See ei pruugi toimida alati väetisena, vaid kui mullaparandusaine (Verheijen jt, 2010), mis muudab mulla füüsikalisi ja füüsikaliskemilisi näitajaid (Roberts jt, 2010; de Gryze jt, 2010). Biosöega on võimalik C siduda väga pikaks ajaks mulda stabiilsesse vormi, kus see võib püsida kuni 1000 aastat (Lehmann jt, 2008; Gryze jt, 2010;

Roberts jt, 2010). Mõju hindamisel on aga oluline hinnata kogu olelusringi s.t. palju kulub energiat biosöe tootmiseks ning kui suur on tootmisel tekkivatest kaasproduktidest lõpuks saadav kasu (Gryze jt, 2010; Roberts jt, 2010).

Orgaaniliste väetiste kasutamine on positiivse mõjuga mulla C_{org} varule ja mullaomadustele. Eestis läbiviidud katsed näitasid, et vahekultuuride kasvatamisega on võimalik mulla C_{org} varu suurendada 0,11 t/ha/a, kuid oluliselt rohkem suurendab C_{org} varu komposteeritud tahkesõnniku mulda viimine (vt tabel 4.1).

Tabel 4.1 Orgaaniliste väetiste mõju mulla C_{org} varule (kirjanduse põhjal)

Orgaanilised väetised	C_{org} varu suurenemine	Kommentaar
Poolvedelsõnnik	0,21 t/ha/a	C_{org} varu suurenemine Taani muldades aastatel 1986–2009. Taghizadeh-Toosi jt (2014)
Komposteeritud tahkesõnnik	0,08–1,26 t C/ha/a	Eesti muldades läbi viidud katsete tulemus, Kauer jt, avaldamisel.
Sõnnik	kerge lõimisega muld: 0,13–0,30 t/ha/a raske lõimisega muld: 0,40 t/ha/a	Mõju sõltub algsest mulla C_{org} varust ja mulla lõimisest, Poulton jt (2018).
Põhk	0,23 t/ha/a	Suurendab C_{org} varu 20. aasta jooksul, hiljem väheneb kuni 0,07 t/ha/a-ni, Poeplau jt (2017).
Vahekultuurid	0,11 t/ha/a	Eesti muldades läbi viidud katsete tulemus, Kauer jt, avaldamisel.

4.1.1 Erinevate stsenaariumite võrdlus

Meetme mõju hindamiseks kasutati mulla C_{org} varu muutuse modelleerimist, hinnates prognoosimudelite abil C_{org} varu ja C sidumist erinevatest allikatest pärineva C sisendi kasutamisel kahe erineva lõimisega mulla korral. Maa-alune C sisend moodustub juurtest ja juureeritisest. Teised C sisendid pärinevad kas maapealsest (põhk) või muudest allikatest (sõnnik, digestaat). Prognoositud C sisend ja C_{org} varu muutused on esitatud tabelis 4.2.

Tabel 4.2 Mulla C sisend ja C_{org} varu muutused (0–30 cm kihis) erinevatel stsenaariumitel suvinisu kasvatamise korral perioodil 2021–2050

Stsenaarium	C sisend kokku t C/ha/a	C varu muutus 2021–2050, t/ha/a			
		Kerge liivsavi lõimisega mullad; algne C_{org} varu: 51,1 t/ha		Raske liivsavi lõimisega mullad; algne C_{org} varu: 80,9 t/ha	
		ICBM	Huumus-kalkulaator	ICBM	Huumus-kalkulaator
S1 (–põhk)	1,0	-0,14	-0,21	-0,24	-0,25
S2 (+põhk)	3,3	0,05	-0,07	0,02	-0,10
S3 (+S ¹)	4,3	0,63	0,51	0,7	0,45
S4 (+0,5 S)g	2,7	0,24	0,19	0,23	0,14
S5 (+VS ²)	1,9	-0,02	0,04	-0,1	-0,01
S6 (+0,5 VS)	1,5	-0,08	-0,08	-0,17	-0,13
S7 (+D ³)	2,0	0,01	0,12	-0,06	0,07
S8 (+0,5 D)	1,5	-0,07	-0,04	-0,16	-0,08
S9 (+D)	2,0	0,03	0,12	-0,07	0,07
S10 (+0,5 D)	1,5	-0,06	-0,04	-0,15	-0,08
S11 (+põhk+S)	6,6	0,82	0,65	0,96	0,60
S12 (+VK ⁴)	1,9	-0,05	-0,17	-0,11	-0,21
S13 (+põhk+VK)	4,2	0,14	-0,02	0,15	-0,06
S14 (+põhk+VK+S)	7,5	0,91	0,69	1,09	0,64
S15 (+põhk+VK+0,5 S)	5,9	0,53	0,38	0,62	0,34

¹sõnnik; ²vedelsõnnik; ³digestaat; ⁴vahekultuurid.

Tulemused näitavad, et kui näiteks järgmise 30 aasta jooksul suvinisu keskmine saagikus ei muutu (arvestatud saagikuseks 3,4 t/ha (Statistikaamet)), siis selle kasvatamisel põhku mulda mitte tagastades ja orgaanilisi väetisi kasutamata (S1) C_{org} varu väheneb (-0,14 – -0,24 t/ha/a) aastaks 2050.

Põhuga on võimalik tagastada u 2,3 t C /ha/a ning kui kogu C sisend on 3,3 t C/ha/a (S2), siis on võimalik C_{org} varu tasakaalus hoida. Põhku mitte tagastades, kuid näiteks külvielselt tahesõnniku mulda viimisel (S4) on kogu C sisend 4,3 t C/ha/a ja C_{org} varu võib suurenda keskmiselt 0,23–0,24 t/ha/a.

Vedelsõnniku mõju on mullas väike (S5–6), kuid võimaldab samuti C_{org} varu stabiilsena hoida ka siis, kui maapealset biomassi põhuga mulda tagasi ei viida. Digestaadi mõjul (S7–10) kergema lõimisega mullas C_{org} varu püsib stabiilsena, kuid raske lõimisega mullas C_{org} väheneb. Põhu ja tahesõnniku mõjul (S11) on mulda mineva C sisendi suurus 6,6 t C/ha/a ning C_{org} varu võib suurenda 0,82–0,96 t/ha/a. Mulla C_{org} varu suureneb veelgi, kui nisu järgselt kasvatatakse ka näiteks talviseid vahekultuure (S14) (0,91–1,09 t/ha/a).

C sisendite osas on tundlikumad raskema lõimisega mullad. Ka sõltub C sidumine mulda viidava orgaanilise aine päritolust ja omadusest, sest näiteks viies põhuga 2,3 t C/ha/a ja taimejuurtega 1,0 t C/ha/a mulda (kokku 3,3 t C/ha/a), siis C_{org} varu püsib stabiilsena. Kuid viies mulda taimejuurtega 1 t C/ha/a ja tahesõnnikuga 1,65 t C/ha/a (kokku 2,65 t C/ha/a), siis C_{org} varu suureneb 0,23 t C/ha/a. Siit järeldub, et tahkesõnnik osutub efektiivsemaks.

Analüüsitud stsenaariumitest kõige parema tulemuse andis S14 stsenaarium, mille korral kasutatakse põhku ja sõnnikut ning nisu järgselt kasvatatakse ka talviseid vahekultuure.

4.1.2 Meetme rakendamine

Statistikaameti andmetel kasutati 2019. aastal orgaanilist väetist 126 568 hektaril põllumaal ja 16 086 hektaril püsirohumaal. Trend on olnud tõusev põllumaal, kuid langev püsirohumaal. Orgaanilise väetisega on varustatud vähem kui 1/5 Eesti põllumajandusmaast.

Muldade kaitseks rakendatakse keskkonnahoidlikke meetmeid, nagu viljavaheldus, talvine taimkate, vahekultuuride ja liblikõieliste kultuuride kasvatamine ning haljasväetiste kasutamine. Sõnniku kasutamist otseselt meetmetes sees ei ole. Samuti plaanitakse toetada rohumaadel karjatamist, millel võib olla rohumaale jääva sõnniku tõttu mõju mulla süsinikuvaru suurenemisele.

4.1.3 Riskid ja uuringuvajadused

Orgaaniliste väetistega viiakse mulda lisaks süsinikule ka toitelemente, mistõttu on võimalik vähendada mineraalväetiste kasutamist ja sellest tulenevat N_2O heidet. Kuid tihti ei pruugi toitainete vahekord orgaanilises väetises olla optimaalne. C mulda sidumine sõltub ka mikroobide poolt C kasutamise efektiivsusest ning see väheneb (suurendades samal ajal CO_2 ja N_2O heidet), kui mõni toitelement on orgaanilise aine lagunemisel limiteerivaks (Manzoni jt, 2012). Seetõttu on oluline jälgida toitainete bilanssi ja vastavalt väetistarbele tagada väetistega toitainetega varustus, et suurendada C sidumise efektiivsust.

Mulla C_{org} varu muutus on positiivses seoses mulda viidava C sisendi kogusega. Samas peab arvestama, et C sisendi mõju suurusel on ka piirid. Igal mullal on oma C sidumise/hoiuvõime, mis on seotud peamiselt saviosakeste sisaldusega mullas, seega meede on efektiivne muldades, mis on oluliselt kaotanud oma esialgsest C_{org} varust. Samuti peab arvestama lagunemise käigus tekkiva CO_2 ja N_2O heitkogusega.

Eestis on varasematel aastakümnetel tehtud põldkatseid peamiselt tahesõnnikuga. Tänapäevaks on piimakarjades valdav vedelsõnnik, ent selle mõjust muldade C_{org} varule on meil kohalikke tõenduspõhiseid andmeid veel väga vähe. Samuti oleks vajadus teha süsteemsemalt KHG mõõtmisi erineva mullastikuga põldudel, kus kasutatakse orgaanilisi väetisi või kus karjatatakse. See võimaldaks saada terviklikumat teadmist orgaaniliste väetiste kasutamise mõjust KHG heitkogustele.

4.1.4 Kokkuvõte

Erinevate orgaaniliste väetiste kasutamine (sh taimejäätmete tagastamine, vahekultuurid, talvine taimkate) avaldab positiivset mõju mulla C_{org} varule, kuid mõju ulatust on keeruline ennustada. Modelleeritud tulemuste põhjal võib eeldada, et erinevatest allikatest pärineva C sisendi kogus peaks ületama 4 t C/ha/a, et tagada C_{org} varu suurenemine. Teraviljakasvatamisel põhu tagastamine mulda aitab hoida C_{org} varu stabiilsena, kuid C_{org} varu suurendamiseks on vaja lisaks kasutada orgaanilisi väetisi (nt sõnnikut) ja/või kasvatada külvikorras vahekultuure (ka talviseid vahekultuure). Taimejäätmete mulda viimisel tuleb arvestada võimaliku kaasuva N_2O emissiooniga, seda eriti liblikõieliste vahekultuuride puhul.

4.2 Mitmekesisemad ja pikemad külvikorrad (PM 2)

Mitmekesisemad ja pikemad külvikorrad aitavad tagada kultuuride saagikuse ning säilitada ja parandada mullaviljakust. Seeläbi paraneb taimede varustus toitainete ja veega, hoitakse ära

kahjulike jääkainete kogunemine mulda, väheneb umbrohtude arvukus, pidurdub taimehaiguste ja kahjurite levik ning suureneb bioloogiline mitmekesisus (Tamburini jt, 2020).

4.2.1 Mitmekesistatud külvikorrad (PM 2.1)

Taimede paremad kasvutingimused suurendavad saagikust ja seeläbi mulda minevat C sisendit. Beillouin jt (2020) metaanalüüsil, mis sisaldas andmeid üle 5000 katse kohta, selgus, et mitmekesistatud külvikordades tõusis saagikus mediaanväärtusena 14%. Lisaks väheneb saagiikalduse risk ja suureneb saagikindlus erinevates ekstreemsetes tingimustes (Bowles jt, 2020).

Frelih-Larsen jt (2014) leidsid, et mitmeaastaste kultuuride sisseviimine külvikorda võimaldab suurendada mulla C_{org} varu sidudes õhust 0–1,2 t CO_2 ekv/ha/a ja vähendada põllutöödest pärinevat N_2O ja CO_2 emissiooni keskmiselt 0,7 t CO_2 ekv/ha/a. Positiivset mõju nii üldistele mullaomadustele kui mulla C_{org} varule avaldab ka mitmeaastaste taimede viljelemine külvikorras (nt lühiajalised rohumaad), mis vähendab harimisintensiivsust ning sellest tingitud mulla orgaanilise aine kadu ja KHG heidet muldadest (Conant jt, 2007), sh N_2O heide rohumaadelt on oluliselt väiksem (Lemaire jt, 2015).

Liu jt (2016) leidsid, et 5-aastase 5 põhikultuuriga külvikorra KHG heide oli 3,3 t CO_2 ekv/ha/a, samal ajal kahe kultuuriga külvikorra KHG heide oli 11,8 t CO_2 ekv/ha/a. Siit võib järeldada, et mitmekesistatud külvikorra KHG heide on seda väiksem, mida pikem on külvikord (s.t mitu erinevat kultuuri on külvikorda kaasatud). Ka on leitud, et mitmekesistatud külvikorrad on efektiivsemad kuivemates piirkondades, kus C_{org} varu suurenes keskmiselt 18%, mõõdukas kliimas mitmekesisemaid külvikordi rakendades suurenes C_{org} varu kuni 3,2% (Francaviglia jt, 2019).

4.2.2 Liblikõielised kultuurid (PM 2.2)

Kasutades külvikorras või lühiajaliste rohumaade seemneseedes liblikõielisi, on võimalik vähendada mineraalsete N väetiste kasutamisest tekkivat N_2O emissiooni (Han jt, 2017) ja nende tootmiseks tehtavaid kulutusi ning sellest tulenevat heidet (Davis jt, 2012). Lisaks suurendavad liblikõielised mulla C_{org} varu (Lüscher jt, 2014; Abdalla jt, 2014). Liblikõieliste mulda sisse kündmisel võib kaasneda lämmastiku leostumine, seetõttu tuleks liblikõieliste puhaskülvide sisse kündmist (eriti sügiseti) siiski vältida ja eelistada liblikõieliste-kõrreliste seemnesegeid. Soomes läbi viidud uuringu tulemusena, kus külvikorras kasvatati liblikõielisi taimi, vähenes oluliselt vajadus mineraalse lämmastikväetise järele (Lötjönen jt, 2017). KHG heide vähenes liblikõielistega külvikorras keskmiselt 31%, arvestades lämmastikväetiste kasutamise vähendamist (307–694 kg CO_2 ekv/ha/a sõltuvalt liigist). Arvestades, et 2017. aasta seisuga kasvatati Soomes teravilja 1,2 milj ha ja kui tulevikus hakatakse 30% teravilja all oleval põllumaal külvikorras kasvatama liblikõielisi, siis KHG heide võib väheneda 253 800 t CO_2 ekv (Lötjönen jt, 2017).

4.2.3 Vahekultuurid (PM 2.3)

Külvikorras võib kasvatada kahe põhikultuuri vahel ka vahekultuure (või nn püüdurkultuure), mis vähendavad taimestikuta põllupinna osakaalu ja/või kestvust. Selle tulemusena võib KHG heide väheneda keskmiselt -2,06 t CO_2 ekv/ha/a (Abdalla jt, 2019).

On leitud, et vahekultuurid võivad vähendada põhikultuuri saagikust kuni 4%, kuid kombineerides liblikõielisi ja mitteliblikõielisi kultuure omavahel ning valides sobiva eelvilja, on võimalik saagikust suurendada kuni 13% (Abdalla jt, 2019).

Eesti Maaülikoolis läbiviidud katsed näitasid, et mulla C_{org} varu muutus ei sõltunud külvikorrast, kuid see oli tingitud erinevatest teguritest: ühel juhul oli C sisend ebapiisav (Kauer, 2018), teisel juhul oli muld tasakaaluseisundis, kus C sisend ei ületanud ära lagunenud orgaanilise aine kogust (Kauer jt, avaldamisel). Vahekultuuride kasvatamine külvikorras suurendas kümne aasta jooksul C_{org} varu 0,11 t /ha/a (Kauer jt, avaldamisel).

Vahekultuuride kasvatamine talvisel perioodil meie kliimas, kus üha sagedamini esineb lühikese lumikatte perioodiga ja soojasid talvesid, on väga soovitatav. Lisaks võimalikule mulla C_{org} varu suurenemisele, paranevad mulla füüsikalised näitajad (struktuursus, lasuvustihedus, poorsus) ja väheneb toitainete leostumise risk. Vajadus talviste vahekultuuride järele väheneb, kui taimekasvatajatest põllumajandustootjad kasvatavad taliteravilju. Statistikaameti andmetel kasvatakse talivilju järjest rohkem: 2017. aastal kasvatati neid 13 138 hektaril ja 2021. aastal juba 238 137 hektaril.

4.2.4 Mustkesa (PM 2.4)

Mustkesa on põllumajanduskultuuride klassifikaatori kohaselt külvikorras olev maa, kus vegetatsiooniperioodi vältel valmistatakse maa korduva harimisega ette järgmiste kultuuride külviks ning eelkultuure ei kasvatata. Põllumajanduse Registrite ja Informatsiooni Ameti (PRIA) andmetel oli mustkesa 2019. aastal ligikaudu 3000 ha. Mustkesa tuleks harida selliselt, et umbrohutaimed ei kasvaks üle 5 cm pikkuseks, soovitatavalt iga 2–3 nädala tagant. Nii toimides intensiivse mullaharimise käigus toimub suur mulla orgaanilise aine mineralisatsioon ja CO_2 emissioon mullast. Lisaks suureneb mustkesana hoitud põllult CH_4 (Liebig jt, 2010) ja N_2O heide (Han jt, 2017). Samuti leidsid Han jt (2017), et N_2O heide mustkesana hoitud maalt oli 58% suurem võrreldes põllumaaga, kus samal ajal kasvatati vahekultuure.

Mustkesana hoidmine vähendab mulla C_{org} varu ning KHG heide on suurem. Põllu hoidmist mustkesana tuleks vältida ja pigem võiks eelistada mitmekesisemaid külvikordi, kuhu on lisaks erinevatele põhikultuuridele kaasatud ka vahekultuure.

4.2.5 Erinevate stsenaariumite võrdlus

Analüüsimaaks erinevate külvikordade, vahekultuuride ja mustkesa mõju, kasutati Eesti Maaülikooli poolt väljatöötatud huumuskalkulaatorit. Eesti põllumajandustootjate seas on levinud 5-väljaline külvikord, mis sisaldab peamiselt kolme kultuuri: teravilja, talirapsi ja hernest (või uba või ristikut). Arvestades statistikaameti 2017. aasta erinevate kultuuride saagiandmeid, siis erinevate kultuuride saagikused olid järgmised: talinisu 4,7 t/ha, suviuder 4,1 t/ha, taliraps 2,7 t/ha, hernes 1,3 t/ha. Modelleeritud tulemused näitasid, et kõige rohkem suurenes mulla C_{org} varu erinevate agrotehniliste tegevuste juures külvikorras, mis sisaldas 1/3 osas liblikõielisi (tabel 4.3).

Tabel 4.3 Erinevate 5-väljaliste külvikordade mõju prognoositud C_{org} varu muutusele

Agrotehnilised tegevused	Külvikorra järgselt prognoositud C_{org} varu muutus, t/ha/a		
	Talinisu-taliraps- talinisu-suvioder- hernes	Talinisu-taliraps- ristik-suvioder- hernes	Talinisu-taliraps- talinisu-suvioder- mustkesa
Põhk viiakse põllult ära	-0,17	0,12	-0,21
Põhk küntakse mulda	-0,07	0,19	-0,10
Põhk küntakse mulda ja kasvatatakse vahekultuure suviodra järgselt	-0,06	0,20	-0,09
Põhk küntakse mulda ja tehakse allakülv suviodra eelselt	-0,04	0,22	-0,08
Põhk küntakse mulda ja antakse sõnnikut (40 t/ha) talirapsi järgselt	0,07	0,33	0,04
Põhk küntakse mulda ja antakse sõnnikut (40 t/ha) talirapsi ja suviodra järgselt	0,22	0,47	0,18

Ühe külvikorra järgselt külvikorras ainult tera- ja õlikultuure kasvatades ning ühel aastal ka põllu mustkesas hoidmisel või herne kasvatamisel C_{org} varu pigem vähenes. Ühekordse sõnniku viimine mulda eelpool nimetatud külvikordades ei olnud piisav mulla C_{org} varu suurendamiseks, kuid sõnniku viimine mulda kaks korda külvikorra jooksul suurendas mulla C_{org} varu kõigis võrreldud külvikordades.

C_{org} varu suurendab enim põhu kündmine mulda ja sõnniku kasutamine nii talirapsi kui suviodra järgselt.

4.2.6 Meetme rakendamine

„Eesti maaelu arengukava (MAK) 2014–2020“ keskkonnasõbraliku majandamise (KSM) ning mahepõllumajanduse (MAHE) toetuse raames on taotlejal kohustus toetusõiguslikul maal kasvatada liblikõieliste sugukonda kuuluvaid põllumajanduskultuure. Liblikõieliste kultuuride (sh allakülvid ja kaunviljad) pindala on alates eelmise MAK perioodi lõpust järjepidevalt suurenenud ning on võrreldes 2009.–2013. aasta keskmisega kahekordistunud. Võrreldes 2019. aastaga on liblikõieliste pindala kasvanud 1625 ha, kogupind oli 2020. aastal 119 997 hektarit (Põllumajandusuuringute Keskus (PMK), 2021). Uuel perioodil jätkatakse lämmastikku siduvate kultuuride kasvatamise soodustamist.

Riigipoolse sekkumisena toetatakse põllumajanduskultuuride mitmekesistamist, mis on üks rohestamise toetuse nõudest. Rohestamise eesmärk on vähendada põllumajanduse mõju keskkonnale, kasutades selleks keskkonnasäästlikke tegevusi. Samuti toetatakse maaelu arengukava põllumajanduse keskkonnameetmete kaudu viljavaheldust, mis on üks keskkonnasõbraliku majandamise (KSM) põhitegevuse nõuetest.

Mustkesa kasutamise soodustamine ei ole kasulik, kuna sellega kaasneb märkimisväärne huumuse kadu ja mullastruktuuri lõhkumine intensiivse mullaharimise tagajärjel. Lisaks esineb suurem toitainete leostumise oht, sest puuduvad taimed, mis neid seoksid. Seega võib lugeda positiivseks, et mustkesa pindala on taotlusalusel põllumaal valdavalt vähenenud. PRIA andmetel oli 2010. aastal mustkesana kasutusel ligikaudu 16 000 ha põllumajandusmaad, 2015. aastal vähenes see ligi 11 500 ha-ni ja 2019-ndal aastal juba natuke üle 3000 ha.

Uuel ÜPP perioodil on plaanitud toetada lämmastikkultuuride ja vahekultuuride kasvatamist ning soodustada talvise taimkatte rakendamist.

4.2.7 Riskid ja uuringuvajadused

Lühiajaliste rohumaade ja vahekultuuride sissekündmisel viiakse mulda suur kogus orgaanilist ainet, mis on oma koostiselt labiilne ja võib mullas kiiresti laguneda. Kui muld on orgaanilise ainega küllastunud, siis C seotakse mulda lühiajaliselt ning suur osa mulda viidavast C emiteerub. Lisaks võib taimejätmete mulda viimisel suureneda N₂O emissioon, mis on seda suurem, mida labiilsema koostisega ja kitsama C/N suhtega taimejätmed on (nt. liblikõielised, C/N suhe 15–20). Seda saab vältida, kui eelistada orgaanilisi väetisi, mis on läbinud orgaanilise aine lagunemise esimese etapi, mille käigus on labiilse fraktsiooni osakaal vähenenud, nagu näiteks komposteerunud sõnnik ja kompost. Lisaks, kui mullas pole lagundajatele piisavalt lämmastikku, siis võib mulda viidud orgaaniline aine põhjustada algselt mullas olnud orgaanilise aine lagunemise ning C sidumine mulda väheneb veelgi.

Mitmekehisemad külvikorrad, mis sisaldavad külvikorras lühiajalisi rohumaaid, sobivad rohkem põllumajandustootjale, kes lisaks taimekasvatusele tegelevad ka loomakasvatusega ning kes saab lühiajalistelt rohumaadelt toota väärtuslikku loomasööta. Põllumajandustootja, kes tegeleb ainult taimekasvatusega, peab arvestama sel juhul saamata jäänud tuluga. Lühiajalisi liblikõieliste-kõrreliste rohumaaid võib asendada teiste üheaastaste liblikõieliste kultuuridega, mis võimaldab koguda ka saaki müügiks (nt hernes, uba), kuid need võivad olla tundlikumad erinevate kasvutingimuste osas, mistõttu tulu võib jääda loodetust oluliselt väiksemaks. Lisaks vajavad hernes ja uba pikemat kasvuperioodi võrreldes suviteraviljadega, mis võib takistada külvikorras järgmiseks kultuuriks oleva talivilja külvi.

Eestis on käimasolevaid külvikorrakatseid väga vähe uuritud ja need suudavad katta ainult piiratud kombinatsioone külvikorra mitmekehisestamise võimalustest. Rõhku tuleb panna olemasolevate katsetega rahvusvahelistes võrgustikes osalemisele, et saada paremaid üldistusi meie piirkonda sobivate külvikordade kohta. Olemasolevate külvikorrakatsete väärtust saaks märkimisväärselt tõsta kui laiendada neil mõõdetavate näitajate osa, mõõtes neis otseselt ja järjepidevalt toitainete- ja KHG kadusid ning süsiniku sidumist. Lisaks on vaja läbi viia täiendavaid uuringuid, et analüüsida mulla süsinikuvaru muutust Eestis, sh lühiajaliste külvikorras olevate rohumaade puhul.

Lämmastikku siduvate kultuuride puhul on vaja erinevate kategooriate lõikes (kaunviljad, ristikud ning liblikõieliste-kõrreliste segud) läbi viia uuringud, mis näitaksid mõju KHG heite vähenemisele ja süsiniku sidumisele. Samuti on vajalik uurida ja omavahel võrrelda vahekultuuride ja talvise taimkatte mõju muldade orgaanilise süsiniku sisaldusele.

4.2.8 Kokkuvõte

Mitmekehisemad külvikorrad avaldavad positiivset mõju mulla C_{org} varule ja külvikorra keskmisena väheneb ka KHG heide. Soovitav on vähendada mustkesa olemasolu külvikorras. Meetme mõju ulatuses on palju teadmatust, kuid isegi, kui mulla C_{org} varu ei suurene märkimisväärselt, siis mitmekehisemate külvikordade rakendamisel paranevad mulla teised näitajad (mulla struktuursus, taimede varustatus toitainete ja veega, väheneb kahjulike jääkainete kogunemine mulda jt).

4.3 Püsiva taimestikuga alade loomine (haritava maa muutmine püsirohumaaks, puittaimestiku ribad, hekid ja agrometsandus) (PM 3)

Haritava maa viimine püsitaimestiku alla vähendab mullaharimise intensiivsust. Selle kaudu väheneb KHG heitkogus, kuna orgaanilise aine lagunemine aeglustub, samuti väheneb põllutööde eesmärgil fossiilsete kütuste kasutamine.

4.3.1 Mineraalmullal haritava maa muutmine püsirohumaaks (PM 3.1)

Püsirohumaade rajamise meetme efektiivsus sõltub paljudest teguritest, peamiselt mulla algsest C_{org} varust, saviosakeste sisaldusest, põllumaa eelnevast majandamisest ja väetamisest ning rajatud rohumaa edasisest majandamisest.

Eesti KHG inventuuris raporteeritakse haritava maa muutmist püsirohumaaks „Põllumaa rohumaa” alamkategorias, kus seda hoitakse 20 aastat. Seejärel liigub maa rohumaa jääva rohumaa kategooriasse. Sellise maakasutusmuutuse tagajärjel mineraalmulla C_{org} varu suureneb hinnanguliselt 0,56 t C /ha/a, kuid seda vaid 20 aasta jooksul, sest rohumaa jääva rohumaa kategooria puhul eeldatakse, et mulla C_{org} varu ei muutu. Soomes on alamkategoria „Põllumaa rohumaa” mineraalmulla jaoks kasutusel C_{org} varu muutuse tegur 0,14 t C /ha/a, mis on modelleeritud mudeliga Yasso07. Eesti KHG inventuuris kasutatav heitetegur vajab üle vaatamist ja korrigeerimist, kuna see tõenäoliselt ülehindab sellise maakasutusmuutuse positiivset mõju.

Post ja Kwon (2000) poolt teostatud metanalüüsil selgus, et maakasutusmuutuse „Põllumaa rohumaa” käigus mulla C_{org} varu suurenes keskmiselt 0,33 t C /ha/a, C_{org} varu suurenemist 0,87 t C /ha/a on leidnud ka Conant jt (2017). Samas Inglismaal läbiviidud uuringud 14-l alal ei näidanud 17 aasta jooksul C_{org} varus olulist muutust (Gosling jt, 2017). Sama kinnitavad ka Šveitsi 250 uurimisala tulemused, kuigi esines suure varieeruvusega mulla C_{org} varu suurenemise tendents rohumaaal, mis olid põllumajanduslikust kasutusest täiesti väljas (Guillaume jt, 2021). C sidumine mulda on kiirem esimestel aastatel pärast maakasutusmuutust, seejärel hakkab C sidumine vähenema, sest muld hakkab lähenema uuele tasakaalupunktile. O'Mara (2012) hinnangul jõuab muld uude tasakaalupunkti, kus C_{org} sisaldus enam ei muutu, 30–40 aastaga. Seega meetme tegelik mõju ilmneb alles aastakümnete pärast.

4.3.2 Puittaimestiku ribad ja hekid (PM 3.2)

Eesti maaelu arengukava kliimat ja keskkonda säästvate põllumajandustavade ehk rohestamise toetus näeb ette 5% ökoala olemasolu ehk ühe põllumajandusmaa hektari kohta võiks olla ühe võimalusena 0,05 hektaril näiteks puu- või põõsaribadega kaetud ala, mis on 5 m laiune ja 100 m pikkune riba. Otsetoetusõiguslikud põllud on alad, millel ei kasva rohkem kui 50 puud hektari kohta. Eesti arukaasikud seovad 3,7–4,9 t C /ha/a (Varik jt, 2015). RMK soovib kasepuid istutada 2,5 m reavahega ja 2,0 m taimede vahega (1800 puud hektarile)⁷¹. Seega 50 puud hektaril seovad biomassi 0,10–0,14 t C /ha/a. Peatükis 4.1 modelleeritud tulemustega (vt tabel 4.2) võrreldes aitab puudesse seotud C kompenseerida teraviljakasvatamisel põhu eemaldamisel (S1) tekkivat mulla C_{org} varu vähenemist (-0,14 t/ha/a), avaldades stsenaariumiga S13 (põhu tagastamine koos vahekultuuride kasvatamisega) samaväärset mõju. Lisaks võib eeldada, et ka

⁷¹ RMK. Korduvad küsimused taimede ja seemnete kohta.
<https://www.rmk.ee/organisatsioon/pressiruum/kkk/taimed-ja-seemned>

puuriba all toimub mulla C_{org} varu suurenemine, seega C sidumine ühe hektari põllu kohta suureneb.

4.3.3 Agrometsandus (PM 3.3)

Agrometsandus on levinud troopilises ja vahemere piirkonnas, kuid mõõduka kliimaga piirkonnas on seda vähem rakendatud (Beillouin jt, 2019), mistõttu vastavaid uuringuid meie lähipiirkonnas tehtud pole. Kuigi möödunud sajandi keskpaigas oli agrometsandus levinud nii Soomes kui Rootsis, on nüüdseks see osakaal ka neis riikides oluliselt vähenenud.

Põllumajandusmaade C sidumist on võimalik suurendada põllumajanduse ja metsanduse omavahelisel kombineerimisel ehk rakendades agrometsandust. See meede sisaldab endas puu- ja/või põõsaste ribade rajamist põllumajandusmaadele (nii põllu- kui rohumaaadele) kas ribadena põldudele või põlluäärtesse ning kus kasvatatakse põllukultuure, heina või karjatatakse loomi. Samuti hõlmab agrometsandus hõreda puittaimestikuga aladel (puisniidud, kadastikud) loomade karjatamist või heina tootmist. Eesti KHG inventuuris hetkel kasutatav meetodika ei võimalda eristada agrometsanduse elemente, vaid need liidetakse põllu- või rohumaa osaks. Seetõttu nende heidet/sidumist KHG inventuuris eraldi ei hinnata.

Agrometsanduse peamine mõju seisneb selles, et puud ja põõsad seovad võrreldes põllukultuuridega ja rohumaaainemetega pikemaajaliselt rohkem C oma biomassi. Seeläbi suureneb maa-alune biomass ning C sisend mulla orgaanilisse ainesse. Samas mõju ulatust C sidumisele on keeruline hinnata, sest see sõltub puude/hekkide ribade osakaalust, istutustihedusest, kestvusest ja põõsa- või puuliikidest. Hekipõõsaste kasv on algul kiirem, kuid kui nad jõuavad küpsesse kasvufaasi, siis CO_2 sidumine biomassi oluliselt väheneb, mistõttu ühe võimalusena tuleks küpsed hekipuud ja -põõsad uuendada. Suurekasvuliste puude mõju on pikemaajalisem, sest enamik puid saavutavad CO_2 sidumise maksimumi umbes 30 aastaga. Kui puud on jõudnud küpsesse kasvufaasi, siis CO_2 sidumine väheneb. Maha lõigatud puit on üldjuhul suuremas osas sobilik vaid põletamiseks, mis omakorda vabastab biomassi seotud C uuesti atmosfääri, elimineerides eelmiste aastate jooksul toimunud positiivse mõju.

Agrometsanduse meetme mõju mulla C_{org} varule on laiemal amplituudiga, sest mõju avaldavad ka konkreetsel põllul rakendatud maakasutus (nt rohumaa) ja maahooldus ning harimisvõtted (sh karjatamine, külvikord). Mulla C_{org} varu suureneb rohkem puu- ja/või põõsariba vahetus läheduses ja mullaprofiili sügavamates horisontides (Guillaume jt, 2021; Viaud ja Kunnemann, 2021). Feliciano jt (2018) ülevaateartiklis leiti, et puud/põõsad põllumajandusmaa süsteemis mõjutasid mulla C_{org} varu, varieerudes vahemikus -8,0 kuni 3,7 t /ha/a ja puud/põõsad rohumaa süsteemis vahemikus -0,4 kuni 9,4 t /ha/a. Muutus sõltus kliimatilistest tingimustest ja eelnevast majandamisest rohkem, kui konkreetsest agrometsanduse süsteemist (Feliciano jt, 2018). Frelih-Larsen jt (2014) andmetel on agrometsanduse süsteemide sisseviimisel põllumajandusmaale võimalik mulda siduda põllumajandusmaa keskmisena 0,14 t /ha/a.

4.3.4 Meetme rakendamine

Jätakuvalt toetatakse ÜPP raames püsirohumaaade rajamist ja säilitamist, eesmärgiga suurendada eelkõige liigilist mitmekesisust ja leevendada kliimamuutuseid.

Kliima- ja keskkonnatoetuse ehk nn rohestamise toetuse saamise üks nõudeid on kohustus püsirohumaid säilitada. Püsirohumaaade osakaal riigis tervikuna ei tohi väheneda üle 5% võrreldes 2015. aastal kindlaks määratud võrdlusarvuga (iga aasta 15. detsembriks tuleb teavitada

Euroopa Komisjoni püsirohuma sailitamise suhtarvust). 2020. aasta pindalatoetuste taotlemisel esitatud andmete põhjal on Eestis kindlaks tehtud püsirohuma sahtarvu vähenemine üle 5% võrreldes 2015. aastal kehtestatud võrdlussuhtarvuga, täpsemalt 5,93%. Sellest tulenevalt peavad 2021. aastal hakkama püsirohuma tagasi rajama põllumajandustootjad, kelle kasutuses on viimasel kahel aastal ülesharitud püsirohuma ning kellele kohalduvad rohestamise nõuded. Selleks, et täita riigi kohustust ning säilitada püsirohuma sahtarv järgnevateks aastateks, kuulub 2021. aastal tagasi rajamisele PRIA andmetel 2538 hektarit püsirohuma.

Rohestamise ökoala nõude täitmisel on 2020. aastal toetatud PRIA andmete järgi hekke kokku 10 ha, puuderidasid 3,7 ha ja metsasiile 7 ha. Uuel ÜPP perioodil kaalutakse investeringu- toetuse kaudu puudesalude ja hekkide rajamise toetamist, et suurendada elurikkust ning ümbritsevate loodusala sidusust.

4.3.5 Riskid ja uuringuvajadused

Eesti KHG inventuuris arvestatakse, et põllumaa rohumaaks maakasutusmuutumise käigus mulla C_{org} varu suureneb. C sidumine mulda sõltub algsest mulla C_{org} varust, seega meetme mõju efektiivsuse hindamiseks tuleks kaardistada, kui palju on Eestis põllumajanduslikus kasutuses olevaid muldi, mis on kaotanud osa antud mullaliigile iseloomulikust C_{org} varust. Hetkel osaleb Eesti Maaülikool koos Põllumajandusuuringute Keskusega Horisont 2020 projektis *EJP Soil*⁷², mille üheks väljundiks on üleeuroopalise C sidumisvõime kaardi koostamine, mis võimaldab hinnata muldade C sidumisvõimet ja loob aluse mulla C_{org} varu prognoosimise erinevate meetmete mõju hindamiseks.

Lisaks on vajalik kasutusele võtta detailsemad aluskaardid, mis võimaldaks täpsustada puittaimestiku ribade ja hekkide alusandmeid, et nende heidet/sidumist saaks KHG inventuuris eraldi hinnata. Hetkel liidetakse need alad põllu- või rohuma osaks.

4.3.5 Kokkuvõte

Haritavatel mineraalmuldadel paiknevate maade viimine püsirohumaade alla on efektiivne meede siis, kui seda viiakse läbi muldadel, mis on kaotanud oma esialgsest viljakusest ja C_{org} varust olulise osa. Heas seisundis muldadel, kus C_{org} varu ei ole märkimisväärselt harimise käigus vähenenud, ei pruugi maakasutuse muutus mõju avaldada. Seetõttu tuleks kaardistada olemasolevate põllumaade C sidumisvõime ja selgitada välja, millistes piirkondades/ mullaliikide põllumaade viimine püsirohumaade alla suurendaks muldade C_{org} varu. Lisaks võiks pigem soodustada mitmekesisemaid külvikordi, mille kaudu suurendada mulda mineva C sisendi kogust ja parendada mulla teisi omadusi. Puu- ja/või põõsaribade rajamine ja säilitamine põllumajandusmaadel on KHG heite vähendamise osas positiivse mõjuga, sest puud ja põõsad seovad rohkem C biomassi võrreldes põllukultuuride ja rohumaataimedega, kuid sidumine ei pruugi olla pikema aja jooksul püsiv.

4.4 Heitkoguste vähendamine turvasmuldadel paiknevatest haritavatest maadest (PM 4)

Turvasmuldade harimise ja turbaalade kuivendamise tagajärjel väheneb CH_4 , kuid suureneb CO_2 ja N_2O heide mullast (Frolking jt, 2011). Haritavate turvasmuldadelt pärinevad KHG heitkogused moodustavad viimastel aastatel ligi 40% põllumajandusega seotud heitest, võttes

⁷² Horisont 2020 projekt *EJP Soil*. <https://projects.au.dk/ejpsoil/>

viimase puhul arvesse kogu põllumajandussektori ja LULUCFi sektori põllu- ja rohumaa kategooria heitkogused (NIR 2021). Seejuures CO₂ heitkogused raporteeritakse LULUCFi sektoris (heitetegur 22,37 t CO₂/ha/a⁷³) ja N₂O põllumajandussektoris (heitetegur 3,75 t CO₂ ekv/ha/a⁷⁴). Kraavidest pärinevat CH₄ heitkogust hetkel Eesti KHG inventuuris ei arvestata, kuna kehtiva inventuuri koostamise meetodika (IPCC, 2006) alusel ei ole see riikidele kohustuslik ning Eestis puuduvad selleks veel vastavad uuringud. Ligikaudselt on CH₄ heitkoguseid võimalik hinnata IPCC märgalade juhendis (IPCC, 2014) toodud heitetegurite põhjal (vt tabel 4.4). Kuna Eesti asub parasvöötme põhjapiiril, siis parasvöötme jaoks mõeldud tegurid, mis on välja töötatud põhiliselt Kesk-Euroopas läbi viidud mõõtmiste põhjal, ilmselt ülehindavad meie turvasmuldade heitkoguseid. Keskkonningimuste poolest oleme lähedasemad boreaalsele vööndile, mistõttu on ka boreaalse vööndi tegurid tabelis välja toodud, ent täpsemateks hinnanguteks on soovitatav välja töötada riigipõhised heitetegurid.

Tabel 4.4 CO₂, CH₄ ja N₂O heitetegurid (emission factor – EF) põllumaadel, rohumaaadel ja taastatud märgaladel (IPCC, 2014), t CO₂ ekv/ha/a (negatiivne väärtus näitab CO₂ sidumist)

Maakategooria	EF _{CO2} *	EF _{CH4} **	EF _{N2O}	Kokku	Erinevus turvasmuldega põllumaa heitkogusest	
Põllumaa (parasvööde)	30,10	1,46	6,09	37,65	-	
Põllumaa (boreaalne vöönd)	29,41	1,46	6,09	36,95	-	
Rohumaa (toitaineterikas, parasvööde)	Sügavalt kuivendatud	23,50	1,84	3,84	29,18	-8,47
	Madalamalt kuivendatud	14,34	1,59	0,75	16,67	-20,98
Rohumaa (toitaineterikas, boreaalne vöönd)	21,31	0,69	4,45	26,48	-10,47	
Märgala, märgalaviljelus (toitaineterikas, parasvööde)	2,71	7,20	0	9,91	-27,73	
Märgala, märgalaviljelus (toitaineterikas, boreaalne vöönd)	-1,72	4,57	0	2,84	-34,11	
Metsamaa (parasvööde)	10,67	0,20	1,31	12,18	-25,47	
Metsamaa (toitaineterikas, boreaalne vöönd)	3,85	0,18	1,50	5,53	-31,42	

*Sisaldab lahustunud orgaanilist ainet (DOC).

**Mulla ja kraavide heitetegurite kaalutud keskmine, kraavid moodustavad 5% pinnast.

Olemasoleva Eesti mullastikukaardi alusel on PRIA põllumassiividel (sh püsirohumaad) Eestis turvastunud ja turvasmuldade osatähtsus 10,7% (105 562 ha)⁷⁵. Arvesse võttes põlde (mitte massiive), kus turvasmuldade osakaal on üle 90%, siis vastav pindala on 42 529 ha. See on pindala, mis kvalifitseerub Eesti maaelu arengukava raames väljatöötatud mullakaitse toetuse maksmiseks, millega toetatakse turvasmuldadega põllumaade viimist püsirohumaade alla. Mullakaitse toetust ei saa taotleda mahepõllumajandusega tegelevad ettevõtjad, mistõttu on see

⁷³ Rootsi NIR, põhineb Rootsis, Soomes ja Norras läbi viidud teadusuuringutel

⁷⁴ 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

⁷⁵ Projekti „Turvas- ja turvastunud muldade kordusmääramised mullastikukaardi täpsustamiseks“ lõpparuanne. <https://www.pikk.ee/wp-content/uploads/2019/10/Turvas-ja-turvastunud-muldade-kordusm%C3%A4%C3%A4ramised-mullastikukaardi-t%C3%A4psustamiseks.pdf>

osa turvasmuldadega põllumaast kaardistamata ning tegelik turvasmuldadega põllumaa pindala võib olla suurem. SMI andmetel paiknes 2019. aastal kuivendatud turvasmuldadel ligi 28 000 ha põllumaadest ja 11 000 ha rohumaadest (NIR 2021).

Turvasmuldade intensiivne harimine on oluliseks KHG heitkoguste allikaks, kuna see põhjustab turbakihi kiirema lagunemise ja KHG emissiooni. Seetõttu on oluline turvasmuldi võimalikult vähe töödelda. Antud töös käsitletakse kolme alternatiivi: haritavate turvasmuldade viimine püsirohumaaks, märgalana taastamine ja metsastamine.

4.4.1 Haritavate turvasmuldade viimine püsirohumaaks (PM 4.1)

Turvasmuldadega rohumaade puhul tuleb arvestada, et KHG heitkoguseid sõltuvad kuivendamise ehk veetaseme sügavusest (vt tabel 4.4). Sügavalt kuivendatud (*deep drained*) turvasmullad emiteerivad soodsamatest orgaanilise aine lagunemistingimustest tingituna rohkem KHG võrreldes madalamalt kuivendatud (*shallow drained*) turvasmuldadega.

Tiemeyer jt (2019) andmetel oli mulla C_{org} varu muutus turvasmuldadega põllumaadelt -9,5 ja rohumaadelt -8,0 t C/ha/a. Inglismaa turvasmuldadega põllu- ja rohumaal C_{org} varud muutusid eelpool nimetatutega vähem, vastavalt -7,2 ja -5,0 t C/ha/a (Evans jt, 2017). Rootsisis leitud tulemused (Berglund, Ö. ja Berglund, K., 2010) turvasmuldade C_{org} varu muutuse osas olid põllumuldades -5,2 t C/ha/a ja rohumaal turvasmuldades -3,5 t C/ha/a.

SEI Tallinn (2019) aruandes toodi välja, et turvasmuldade viimisel püsirohumaade alla võib KHG heidet väheneda 16,7 t CO₂ ekv/ha/a. See väärtus võib olla ülehinnatud, sest eespool nimetatud uuringutes on KHG heite vähenemine antud maakasutusmuutuste juures olnud ligikaudu 2 korda väiksem, varieerudes vahemikus 6,0–8,2 t CO₂ ekv/ha/a. Samas tuleb arvestada, et KHG heitkogus turvasmuldadega rohumaadelt sõltub kuivendussügavusest, mistõttu on IPCC heitetegureid kasutades hinnanguline heitkoguse vähenemine võrreldes turvasmuldadel põllumaadega toitainerikaste sügavalt kuivendatud rohumaade puhul 2,5 korda väiksem kui madalalt kuivendatud rohumaade korral (vt tabel 4.4).

Vaadeldud täiendavate meetmete mõjustenaariumis (vt ptk 7.1.7) on hinnatud, et perioodil 2021–2040 viiakse igal aastal 1000 ha haritavaid turvasmuldi püsirohumaal alla. Kokku viiakse püsirohumaal alla 20 000 ha maad. Heite vähendamise hinnang on koostatud, kasutades naaberriikide andmete alusel leitud keskmist heite vähendamise koefitsienti 7,1 t CO₂ ekv/ha/a. Kumulatiivne heitkoguste vähendamise mõju 2050. aastaks on 355 kt CO₂ ekv (vt tabel 4.5).

Tabel 4.5 Haritavatel turvasmuldadel põllumaa viimine püsirohumaaks, heitkoguse vähenemine võrreldes põllumaaga perioodil 2021–2100

Meede	Heitkoguse vähenemine perioodil 2021–2100 (kt CO ₂ ekv)								
	näitaja	21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Haritavatel turvasmuldadel põllumaa viimine püsirohumaaks (1000 ha aastas perioodil 2021–2040, kokku 20 000 ha)	keskmise aastas	-7	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14
	kumulatiivne	-71	-213	-355	-497	-639	-781	-923	-1065

Tabel 4.6 Haritavatel turvasmuldadel põllumaa viimine püsirohumaaks, kulutõhususe hinnang perioodil 2021–2050

	2021–2030	2031–2040	2041–2050
Meetme rakendamise kumulatiivne kulu, mln € (põllumajanduse kattetulu väheneb 50 €/ha aastas)	2,8	10,5	20,5
Kumulatiivne heitkoguse vähenemine, kt CO ₂ ekv	-71	-213	-355
Kulu €/tonn CO ₂ ekv	39	49	58
CO ₂ väärtus, mln € (hind 25 ja 50 €/t CO ₂ ekv)	1,9–3,7	5,3–10,6	8,9–17,7

Tabelis 4.6. on esitatud meetme kulutõhususe hinnang, mis tugineb Finantsakadeemia OÜ (2018) analüüsile, milles turvasmuldadel asuva põllumaa muutmise majandusmõjuna käsitletakse põllumajanduse kattetulu vähenemist 50 eurot/ha aastas. Põllumajandustootjate kattetulu vähenemine sõltub olulisel määral sellest, milline on tootmise struktuur ja põhitoodang. Teraviljatootjate jaoks on mõju tõenäoliselt suurem ja võrdeline tootmismahu vähenemisega. Loomakasvatases aga on mõju väiksem, sest tootmises kasutatakse ka rohumaid.

4.4.2 Märgalade taastamine, sh märgalaviljelus (PM 4.2)

Turvasmuldadega aladelt vähenevad CO₂ ja N₂O heited märkimisväärselt, kui kuivendatud turbaaladele rajada uuesti märgalad või rakendada märgalaviljelust (vt tabel 4.4). See toob endaga kaasa küll suurenenud CH₄ emissiooni, kuid kogu KHG heitkogus jääb taastatud märgaladel väiksemaks võrreldes rohumaadega (Tiemeyer jt, 2019). Saksamaal läbiviidud uuringus leiti, et KHG heide taastatud märgaladelt oli 6,4 t CO₂ ekv/ha/a, mis oli 26,3 t CO₂ ekv/ha/a võrra väiksem kui turvastunud muldadega rohumaadelt. Tuginedes IPCC heiteteguritele, on KHG emissioon parasvöötme taastatud märgaladelt veidi suurem (vt tabel 4.4). Kekkonen jt (2019) hinnangul väheneb taastatud märgaladel KHG emissioon 24,0 t CO₂ ekv/ha/a võrra. Liu jt (2020) on leidnud, et märgalade taastamine kõikidel Euroopa turbaaladel võimaldaks vähendada kumulatiivset N₂O emissiooni 70%. Turvasmuldadel haritava maa taastamine märgalaks küll vähendab heitkoguseid, kuid igal pool pole seda meetet tehniliselt võimalik rakendada. Näiteks kui piirinaabritega ei jõuta kokkuleppele, kuna veetaseme tõstmine võib halvendada naaberkõlvikute seisundit.

Sookoosluste taastamist ja märgalaviljelust on põhjalikumalt käsitletud märgalade peatükis (meetmed Märgala 1.1 ja Märgala 1.3).

4.4.3 Haritavate turvasmuldade metsastamine (PM 4.3)

Haritavate turvasmuldade metsastamise puhul on KHG heitkoguste vähenemine mullast eeldatavasti suurem kui rohumaade alla viimisel (vt tabel 4.4). Peale selle lisandub ka C sidumine puude biomassi. Haritavate turvasmuldade metsastamiseks sobib kõige paremini arukask, kuna kuusk on turvasmuldadel tormihell. Eeldati, et tekkiv puistu on I boniteediga ja kuulub jänesekapsa-kõdusoo kasvukohatüüpi. Metsastamise mõju hindamisel on arvestatud 1000 ha metsastamisega 2025. aastal. Mulla heitkoguste hindamisel on kasutatud IPCC boreaalse vööndi tegureid. Tulemused on toodud tabelis 4.7. Kuna I boniteedi kaasikute küpsusvanuseks on 60

aastat, siis oleks metsastatud aladel enne 2100. aastat võimalik teha ka uuendusraiet. Eeldatavasti võiks nimetatud aladelt raiuda uuendusraietena 300–350 m³/ha.

Tabel 4.7 Endistel haritavatel turvasmuldadel paiknevate metsastatud alade keskmine KHG bilanss, t CO₂ ekv/ha/a

Puistu vanus (alates metsastamisest)	Sidumine biomassis*	Heitkogus mullast**	Kogubilanss	Erinevus haritava turvasmulla*** heitkogusest
5	-3,64	5,53	1,90	-35,06
10	-7,41	5,53	-1,87	-38,82
20	-10,78	5,53	-5,25	-42,20
30	-8,75	5,53	-3,22	-40,17
40	-7,03	5,53	-1,50	-38,45
50	-5,37	5,53	0,17	-36,78
60	-4,38	5,53	1,15	-35,80
70	-3,67	5,53	1,86	-35,09
80	-3,02	5,53	2,51	-34,44

* Metsastamisel kasutatakse arukaske, puistu on I boniteediga.

** IPCC (2014) heitetegurite järgi (kuivendatud toitaineterikkal turvasmullal kasvav boreaalne võõndi mets).

*** IPCC (2014) heitetegurite järgi (boreaalne võõnd).

Meie regioonis varem tehtud hinnangute põhjal on leitud, et põllumajanduslikus kasutuses olevate turvasmuldade metsastamisel on 70 aasta pikkuse raieringi puhul võimalik KHG heitkoguseid vähendada keskmiselt 26 t CO₂ ekv/ha/a ning 40 a raieringi korral 30 t CO₂ ekv/ha/a (Līcīte jt, 2019), mis on veidi madalamad kui tabelis 4.7 toodud väärtused. Viidatud töös toodi ka välja, et metsastamise meetme KHG vähendamise potentsiaal võib olla oluliselt madalam, kuna IPCC heitetegurid ilmselt ülehindavad heitkoguseid haritavatest turvasmuldadest.

4.4.4 Meetme rakendamine

Turvasmuldade kaitseks rakendatakse piirkondlikku mullakaitse meetet (MULD), mis aitab kaitsta harimistundlikke erodeeritud ja turvasmuldi neid püsiva taimkatte all hoides ja samas säilitades nende kasutamise põllumajandusliku maana. Meetet rakendatakse „Eesti maaelu arengukava (MAK) 2014–2020“ raames kuni 2022. aastani ja seejärel on plaanis seda rakendada ka uuel perioodil. Püsirohuma osakaal riigis tervikuna ei tohi väheneda üle 5%. Uuel ÜPP perioodil tegevuse toetamine eeldatavalt jätkub, kuid täpsemad mehhanismid on väljatöötamisel.

Piirkondliku mullakaitse toetuse analüüsi (PMK, 2021) tulemustel leidis 2020. aastal turvas- ja erodeeritud muldi, mis moodustasid vähemalt 90% põllumassiivi pinnast, 49 172 ha. MULD toetust taotleti erodeeritud muldadele 45 ha-le, mis moodustas 0,39% ning turvasmuldadele 11 628 ha-le, mis moodustades 99,61% kogu taotletud maast (11 673 ha). MULD toetust eelistatakse taotleda kõige enam püsirohumaadele (2020. aastal 87%).

Tuginedes Finantsakadeemia (2018) kulutõhusaimate meetmete hinnangutele kliimaeesmärkide täitmiseks, tekitab haritavate turvasmuldade viimine püsirohumaade alla täiendavat kulu põllumajanduses (50 €/ha aastas), kuna kattetulu püsirohumaadelt on eelduse kohaselt madalam kui haritavalt põllumaalt. Marginaalkuluks on hinnatud u 14 €/t CO₂ ekv. Samas on meede ühe olulisema mõjuga KHG heitkoguste vähendamisel. SEI Tallinn (2019) analüüsis on märgitud

põllumeeste (erasektori) lisakuluks 100 eurot/ha. ÜPP meetme MULD puhul on kuluks 211,5 eur/ha/a, millest toetusega kompenseeritakse 33,1%. Kompenseeritakse saamata jäänud tulu, mis tootjal esinevad põllukultuuride asendamisel rohumaa ja rohumaa ning kulud, mis tekivad rohumaa rajamisel, mullaproovide võtmisel ja koolitusel osalemisel.

4.4.5 Riskid ja uuringuvajadused

2015. aastal rajas Põllumajandusuuringute Keskus Eesti maaelu arengukava raames väljatöötatud mullakaitse meetme mõju välja selgitamiseks turvasmuldadele 10 seireala, kus uuritakse mulla C_{org} varu muutust aladel, kus algselt põllukultuuride all olevale maale rajati püsirohumaa, mida võrreldakse aladega, kus jätkus endine maakasutus põlluna (20 ala). 2021. aastal on plaanis teha neil aladel kordusmõõtmised, mille järel saab teha tõenduspõhisemaid järeldusi ka meie kohalike andmete alusel turvasmuldade C_{org} varu muutustest. Antud seirele eelnevalt teostatud uuringus (Penu, 2015), selgus, et Eesti turvasmuldade C_{org} varu põllumaadel vähenes $-2,57$ t/ha/a ja rohumaaal $-0,67$ t/ha/a. Hetkel kasutatavad turvasmuldade põllu- ja rohumaa IPCC heitetegurid võivad olla üle hinnatud, kuid olemasolevaid andmeid ei ole hetkel piisavalt, et kasutusele võtta madalama väärtusega riigispetsiifilised väärtused. Täpsustamist vajab turvasmuldade pind, kuna osad turvasmullad võivad olla osaliselt või täielikult mineraliseerunud, mistõttu heitetegurid võivad olla madalamad.

Viimastel aastatel on meie lähipiirkonnas sageli korrigeeritud turvasmuldadega põllumaade N_2O emissioonifaktoreid ja peamiselt on neid suurendatud. Varasemalt IPCC poolt alahinnatud N_2O emissioonile on tähelepanu juhitud mitmes teadusartiklis (Leppelt jt, 2014; Liu jt, 2020), mistõttu võiks ka Eesti KHG inventuuris vähemalt turvasmuldadega põllumaadel arvestada siiani kasutatud N_2O heitetegurist suuremat väärtust. Turvasmuldadega rohumaa puhul võiks N_2O heitetegurit vähendada. Leppelt jt (2014) hinnangul emiteerisid Euroopa turvasmuldadega põllumaad $9,8$ kg N_2O-N /ha/a ja rohumaa $5,8$ kg N_2O-N /ha/a.

Käimas on EL LIFE OrgBalt projekt⁷⁶, kus osalevad lisaks Eestile ka Läti, Leedu, Soome ja Saksamaa. Projektiga täpsustuvad eeldatavalt heitkogused toitainerikastelt turvasmuldadelt.

4.4.6 Kokkuvõte

Haritavate turvasmuldade viimine püsirohumaa alla, taastamine märgalana (sh märgalaviljelus) või nende alade metsastamine vähendab KHG heitkoguseid, mistõttu on igati õigustatud ja põhjendatud antud meetmete rakendamine KHG heite vähendamise eesmärgil. Eelnevalt on vaja hinnata, millistel aladel neid meetmeid on võimalik rakendada, hinnata nende sotsiaalmajanduslikku mõju ning vajadusel näha ette leevendusmeetmed. Võttes hinnangutes aluseks IPCC vaikeväärtused, on KHG heitkoguste vähendamisele suurem mõju märgalana taastamisel (sh märgalaviljelus) ja metsastamisel. Märgalaks taastamise korral väheneks heitkogus mullast võrreldes haritavate turvasmuldadega $-34,11$ t CO_2 ekv/ha/a, metsastamise meetme korral on see näitaja $-31,42$ t CO_2 ekv/ha/a (vt tabel 4.4). Siinkohal tuleb aga arvestada, et metsastamise meetme puhul avaldub mõju hiljem. KHG heitkoguste vähendamise eesmärgist lähtuvalt on oluline turvasmuldi võimalikult vähe harida, mis põhjustab hapniku juurdepääsu ja seeläbi soodustab orgaanilise aine kiiremat lagunemist ning CO_2 lendumist. Viies 20 000 ha haritavaid turvasmuldi püsirohumaa alla, oleks kumulatiivne heitkoguste vähendamise mõju

⁷⁶ <https://www.orgbalt.eu/>

2050. aastaks 355 kt CO₂ ekv. Suurem C_{org} sisend (näiteks orgaaniliste väetiste kasutamise järgselt või mitmekesistades külvikordi) ei ole haritavatele turvasmuldadele lahenduseks, kuna turvasmullas puuduvad saviosakesed, mis võimaldavad C_{org} mulda siduda. Viies rohkem C_{org} turvasmulda ja jätkates harimist, toimub mullast suurem CO₂ emissioon, mis pärineb nii turbast, kui ka mulda viidud C_{org} sisendist. Käimasolevad projektid annavad võimaluse lähiaastatel täpsustada KHG heitkoguseid turvasmuldadest ja seejärel hinnata täpsemalt antud meetmete KHG heite vähenemise potentsiaali.

4.5 Happeliste muldade neutraliseerimine (PM 5)

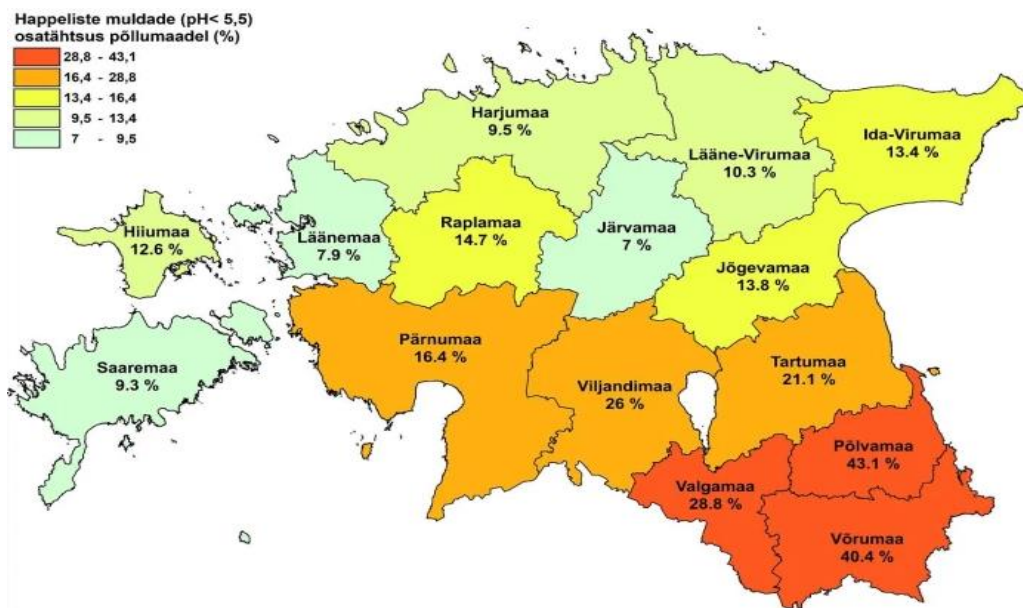
Happelised mullad on välja kujunenud mullatekkeprotsessi käigus, kus mulla lähtekivim on karbonaatide vaene. Happelised mullad on kaltsiumi- ja magneesiumivaesed. Taimede saagikus sõltub taimede toitumistingimustest, mida omakorda mõjutab mulla pH. Kultuurtaimede kasvuks optimaalne mulla pH vahemik on 6,0 kuni 6,5. Tugevasti happelistes muldades väheneb kõikide tähtsamate toitelementide omastatavus. Kui mulla pH langeb alla 6,0, suureneb mullast ka N₂O emissioon.

Viimastel aastatel (2017–2020) on põllumajandusmaade lupjamise pindala püsinud stabiilsena, olles keskmiselt 20 000 ha aastas (Statistikaamet). Lupjamine toimub tavaliselt lubjakiviga, mis sisaldab kaltsiumkarbonaati (CaCO₃) või dolomiitset kaltsium/magneesium karbonaati (CaMg(CO₃)₂). Eestis kasutatakse lubiväetisena ka põlevkivi- ja puutuhka, mis karbonaate ei sisalda. Nendest ei ole kohustus ka lubiväetise kasutamisest tulenevaid CO₂ heitkoguseid arvestada.

Lupjamisjärgselt mulla C_{org} sisalduse suurenemine on peamiselt seotud suurenenud saagikuse ja C sisendiga mulda (Paradelo jt, 2015). C sisend peab aga olema piisavalt suur, et mulla C_{org} varu suureneks. Aye jt (2016) uuringus olnud C sisend (1–1,3 t/ha) ei olnud piisav mulla C_{org} varu suurenemiseks, ehkki mulla teised füüsikalised-keemilised omadused paranesid märgatavalt.

Turvasmuldade lupjamisel toimub mulla C_{org} vähenemine, sest mikroobide aktiivsus suureneb. Samas mulla struktuursus ei parane, mistõttu kaitse mulla orgaanilise aine lagunemise eest puudub (Poulton, 1996; Moore jt, 2012; Paradelo jt, 2015).

Eestis oli happeliste muldade osakaal perioodil 2012–2017 35% Eesti põllumajandusmaast (Loide, 2017). Happeliste põllumuldade osakaal on suurim Kagu- ja Lõuna-Eestis ja Hiiumaal. Samas peab arvestama, et põllumajandustootmiseks liigselt happelisi muldi leidub teatud ulatuses Eesti kõigis piirkondades (vt joonis 4.3).



Joonis 4.3 Happeliste muldade osatähtsus põllumaadel 2012.–2017. aastal (Põllumajandusuuringute Keskus)

Eestis on lupjamist vajavad mullad eelkõige kerge lõimisega. Seetõttu ei pruugi lupjamise mõju muldade C_{org} varule avalduda ja pigem tuleks arvestada võimalusega, et suurendades lupjamisega selliste muldade produktiivsust ja C sisendit mulda, võib sellega kaasneda suurem CO_2 ja N_2O emissioon. Seetõttu tuleb suhtuda kriitiliselt ka Põllumajandusuuringute Keskuse (PMK) üldistatud hinnangusse, et C_{org} sisaldus (%) suureneb 0,1 pH ühiku suurenemisel keskmiselt ligikaudu 0,02–0,03 ühikut. Seda põhjusel, et isegi, kui kergema lõimisega muldade pH-d on võimalik suurendada 7-ni, siis nende muldade C sidumisvõime madala saviosakeste sisalduse tõttu ei pruugi olla nii suur. Antud PMK hinnang oli välja toodud ka 2019. aastal Stockholmi Keskkonnainstituudi (SEI) Tallinna Keskuse poolt koostatud aruandes. PMK on oma hinnangus ka esile toonud, et mulla pH ja C_{org} sisalduse vaheline seos sõltub mulla lõimisest. Seega peaks nende seoste sisukaks hindamiseks teostama analüüsi konkreetsete mulla erimite ja piirkondade kaupa.

Lupjamise mõju mulla C_{org} varule ja C sidumisele mulda on keeruline ennustada, sest mõju avaldavad algne mulla pH, mulla teised omadused, lupjamise norm ja sagedus/kestvus, kliima ja mulla harimisvõtted (Kunhikrishnan jt, 2016).

4.5.1 Erinevate stsenaariumite võrdlus

Kirjeldamiseks lupjamise võimalikku mõju mulla C_{org} varule, kasutati prognoosimudelit ICBM. C sisendi leidmiseks toetuti Statistikaameti andmetele, mille alusel oli 2017. aasta suvinisu saak 3,4 t/ha. Algoritmiliste valemite kaudu arvutatud C sisend mulda koos taimejäätmete ja põhuga oli u 3,3 t/ha, mis prognoosimudeli järgi ei ole piisav oluliseks C_{org} varu suurendamiseks perioodi 2021–2050 ja C_{org} varu muutus 0,05 t/ha/a (vt tabel 4.8).

Tabel 4.8 Proгноositud lupjamise mõju mulla C_{org} varule kerge lõimisega mullas perioodil 2021–2050

Lupjamisega saagikuse suurendamine	Algne C_{org} varu 51,1 t/ha, varu muutus 0,05 t/ha/a	
	C sisend mulda, t C /ha/a	Lupjamisest tingitud C_{org} varu suurenemine, t C /ha/a
Saagikuse suurendamine 10%	3,5	+0,02
Saagikuse suurendamine 20%	3,9	+0,06
Saagikuse suurendamine 40%	4,5	+0,12

Need üldistatud tulemused aitavad kirjeldada suundumisi ja näitavad, et kui lupjamisega kaasneb oluline saagikuse kasv, siis võib avalduda positiivne mõju mulla C_{org} varule. Kuid kindlasti ei tohi neid tulemusi absoluutväärtustena võtta, sest antud juhul ei ole arvestatud lupjamisest tingitud paremaid tingimusi orgaanilise aine lagunemisele ning tegelik C_{org} varu suuremine võib olla oluliselt väiksem.

4.5.2 Meetme rakendamine

Lupjamist tuleks teha happeliste muldadega põldudel iga 4-5 aasta järel. Mulla happesust tuleb neil aladel regulaarselt ka seirata. SEI Tallinn (2019) uuringus oli hinnatud lupjamise meetme maksumuseks hinnanguliselt 155 eurot/ha, sellest suurema osa moodustab lubiväetise transport. Meetme rakendamise maksimaalseks pinnaks (maksimaalne vajadus) hinnati 545 kha, mida ei ole reaalne täita tulenevalt piiratud tehnilisest võimekusest. Reaalne maht võiks olla 2050. aastaks 275 kha. Meetme rakendamiseks vajalik lubiväetise kogus aastas oleks ligikaudu 70,8 kt.

ÜPP raames on planeeritud lupjamise toetamist, kuid täpsemad mehhanismid on välja töötamisel. Turvasmuldadel lupjamist ei toetata.

4.5.3 Riskid ja uuringuvajadused

Kuigi lupjamine parandab taimekasvutingimusi (toitainete omastamist, mulla struktuursust) ja suurendab produktiivsust ning seeläbi ka mulda mineva orgaanilise aine kogust, siis mulla C_{org} sisaldus (varu) ei pruugi suurened, sest samal ajal suureneb mullamikroobide aktiivsus ja mikroobide poolt ära tarbitud orgaanilise aine ning emiteerunud CO_2 kogus. Et mulla C_{org} varu suureneks, peab C sisend mulda ületama ära lagunenu orgaanilise aine koguse. Kui C sisend pole piisav, siis võib ka lupjamisjärgselt C bilanss olla mullas negatiivne ning kokkuvõtvalt võib hoopis kaasned suurem CO_2 emissioon. Samas tuleb arvestada, et kui lubiväetisena kasutatakse kaltsiumkarbonaati ($CaCO_3$), põhjustab see samuti CO_2 emissiooni, kuna kaltsiumkarbonaat lahustub pärast maapinnale laotamist ja selle käigus emiteerub lubjast pärinev CO_2 . Erinevate tuhmade (nt põlevkivituhk) kasutamisel see oht puudub. Paranenud toitainete omastamine suurendab lämmastiku kasutamiseefektiivsust, mis võimaldab vähendada mineraalsete lämmastikväetiste kasutamist ja N_2O emissiooni.

Otsesed põllu tingimustes KHG heitkoguste mõõtmised lubiväetiste kasutamisel Eestis veel puuduvad. Enamkasutatavate lubiväetise tervikmõju hindamiseks oleks seda vajalik teha.

Mulla pH ja C_{org} sisalduse vaheline seos sõltub mulla lõimisest, seega peaks nende seoste sisukaks hindamiseks teostama analüüsi konkreetsete mulla erimite ja piirkondade kaupa.

4.5.5 Kokkuvõte

Happeliste muldade neutraliseerimine KHG heite vähendamisel ei ole universaalne meede. Suurema tõenäosusega võib positiivne mõju avalduda siis, kui algselt on mullad väga madala pH-ga ja mitte väga kerge lõimisega, mis soodustab C mulda sidumist. Samas peab C sisend olema piisavalt suur, et C_{org} varu mullas suureneks. Samuti tuleb jälgida teiste toitelementide tasakaalu ning arvestama peab kogu külvikorda. Eestis on happelised mullad peamiselt kerge lõimisega ja neile on iseloomulik ka madal C_{org} sisaldus. Nende muldade C sidumisvõime on üldiselt väike ning lupjamise tulemusel saadav saagi kasv ja suurem C sisend ei pruugi tagada olulist C_{org} varu suurenemist. Ka tuleb arvesse võtta lubiväetise transpordi ja laotamisega kaasnevat KHG heidet.

4.6 Lühikese raieringiga istandused

Lühikese raieringiga metsade majandamine on tegevus, kus enamasti on eesmärgiks maksimaalne biomassi produktsioon bioenergia ja tselluloosi tootmiseks. Lühikese raieringi ajaline pikkus on üldjuhul alla 30 aasta. Võrreldes teiste bioenergia kultuuridega, näiteks rohttaimedega, on kiirekasvuliste puude kasvatamine suurema kasuteguriga, sest sellega kaasneb suurem süsiniku sidumine biomassi ja väiksem fossiilkütuste kulu saagi koristamisel (kord 3–5 aasta tagant võrreldes iga-aastase rohttaimede koristusega).

LIFE OrgBalt raames läbi viidud analüüsis (Līcīte jt, 2019) on hinnatud, et lühikese raieringiga puittaimede rajamine 100 kha-l seob 20. aastasel perioodil kokku 29 mln t CO₂. Antud uuringus vaadeldi hübriidhaaba, paplit ja hall-leppa (raiering 15–20 aastat) ning paju (raiering 3–7 aastat). Puitmassi kasutamine toob kaasa täiendava positiivse mõju ka energeetikasektoris. Uuringu autorite hinnangul võib 30 kha pindalal kiirekasvuliste istanduste biomassi kasvatamine ja kasutamine LULUCFi ja energeetikasektoris (asendusefekt) 20. aastasel perioodil täiendavalt siduda 7,2 milj t CO₂.

Pajuistandike rajamise eesmärgiks on enamasti hakkpuidu tootmine koostootmisjaamadele. Pajuistandike rajamine (raieringina 3–5 aastat) Eestis põllumajanduskultuurina sai alguse 1990ndatel aastatel, kuid tänaseni pole see suuremat kasutust leidnud. Lõuna-Rootsi erinevatel mullatüüpidel kasvavatest energiavõsa istandustest on hinnatud pajude puiduproduktsiooni keskmiseks saagiks 5–9 tonni absoluutset kuiva biomassi hektarilt aastas (Heinsoo jt, 2019) ja alates teisest kasvutsüklist 12–15 tonni kuivainet hektari kohta aastas (Energiavõsa, 1993). Eesti praktika näitab, et kolmeaastase vitspaju taimedel mõõdeti aastaseks puidu biomassi produktsiooniks üle 22 tonni kuivmassi hektarilt (Heinsoo jt, 2001). Produktsioon sõltub mulla omadustest, istutusmaterjali geneetilisest potentsiaalist, konkurentsist umbrohtudega, kahjustajatest (külm, kuivus, seenhaigused, putukkahjurid) ja kliimateguritest (sademed ja temperatuur). Pajud vajavad kasvamiseks üsna palju vett, näiteks 12 tonni biomassi (kuivkaalus hektari kohta) jaoks on vaja 500 mm transpireerivat vett (Energiavõsa, 1993). Pajuistandiku rajamisel tuleb aga arvestada, et väga happelisel turvasmullal ilma eelneva lupjamiseta pistikud surevad.

Pajukultuuri eripäraks on selle omadus korjata enda kasvavasse biomassi (eriti puukoorde) mitmeid reoaineid, näiteks raskemetalle (Dimitriou jt, 2006). Samuti kasvatab paju maapinnalähedase juurevõrgustiku, mis eraldab mullastikukihti pidevalt hapnikku.

Pajukultuuride biomassi seotakse küll lühiajaliselt süsinikku, kuid produktsiooni suurendamiseks on vajalik pajuistandusi pidevalt hooldada, mis nõuab intensiivset pestitsiidide kasutamist,

keemilist umbrohutõrjet ja väetamist. See omakorda toob kaasa aga suuremad KHG heitkoguseid. Samas on ka leitud, et olmereovesi (majapidamise reovesi ja vihmavesi) ja selle jääkmuda on tõhusad väetiseallikad toiduks või söödaks mittekasutatavate lühikese raieringiga kultuuride jaoks (Energiavõsa, 1993). Pajuistanduste elueaks arvestatakse keskmiselt 20 aastat.

Hall lepp on kodumaistest puuliikidest kõige kiirekasvulisem. Põllumaale rajatud halli lepa istandike mahuküpsus saabub umbes 10 aasta vanuselt (Tullus, 2005). Mitmete uurijate arvates on halli lepa puhul optimaalne raieringi pikkus aga 15–20 aastat (Aosaar, 2012). Juhul kui hall-lepikut majandada 10-aastase raieringiga, võib tihedates puistutes saavutada halli lepa tüvedesse akumulieritud biomassiks 40 tonni kuivainet hektaril ja lisaks annavad oksad ligi 5 tonni kuivainet biomassi hektari kohta (Tullus, 2005).

Noore hall-lepiku biomassi tootlikkus endisel põllumaal on kõrge. On hinnatud, et 16-aastases puistus ulatus puitunud biomassi (koos okstega) aastane koguproduktioon 18,8 t/ha, mis on Eesti metsanduses väga kõrge näitaja, ning võrreldav paju energiavõsaistanduste produktiooniga (Uri jt, 2010).

Halli lepa kasvatamine avaldab positiivset mõju muldade viljakusele, kuna lepad on võimelised sümbioosis kiirikbakteriga siduma õhulämmastikku ja seeläbi suurendama mulla lämmastiksisaldust. Lisaks suureneb kasvuperioodil mulda salvestatud süsinikukogus märkimisväärselt. Mulla ülemises 10 cm laiuses kihis suurenes süsinikuvaru 17 aasta jooksul 6,30 t/ha (Aosaar, 2012). Hall-lepikute nooremad puistud, mis kasvavad endistel põllumaadel, seovad 10 cm mullakihi keskmiselt 1,1–1,2 t C /ha/a ja vanemad puistud 0,97–0,84 t C /ha/a (Uri jt, 2014). Hilisemas uuringus (Uri jt, 2017) hinnatud keskmine tulemus 0,65 t C /ha/a jääb sarnasele tasemele. On leitud, et kogu süsinikubilanss 9–40-aastastes hall-lepikutes jäi vahemikku -1,98 kuni 4,14 t C /ha/a (Uri jt, 2017).

Hall lepp on looduslikult asustanud kasutusest välja jäänud endiseid põllumaid. SMI 2019. aasta andmetel moodustavad hall-lepikud 9% kogu metsamaa pindalast. Samas puiduressursi kasutusel lisaks puitenergiale head lahendused puuduvad. Halli lepa puidukiudude omadused on sobivad tselluloosi ja paberi tootmiseks, kuid takistuseks on puidu tume värvus, mis on tingitud suurest parkainete sisaldusest. Seega, enne kui toetada hall-lepikute rajamisse ja hooldamisse tehtavaid investeeringuid, tuleks leida lahendused olemasoleva ressursi kasutuselevõtuks.

Võrreldes halli leppa pajuga, on halli lepa eeliseks suurem haiguskindlus ja vastupidavus erinevatele kahjustajatele, samuti õhulämmastiku sidumise võime. Paju energiavõsade produktioon on küll suurem, kuid pajuistandike rajamiseks vajalik maapinna ettevalmistus, umbrohtude keemiline tõrje, istandike väetamise vajadus ja mitmesuguste seenhaiguste ning putukkahjurite masspaljunemise riskid annavad ökoloogilise eelise hallile lepale.

Põhja-Euroopas on üheks kiirekasvulisemaks puuliigiks osutunud **hübriidhaab** (hariliku haava ja ameerika haava hübriid). Senised tulemused näitavad, et see liik on kaks korda produktiivsem kui harilik haab (Lutter jt, 2017). Eestis on kasvanud hübriidhaavikute istandike pindala ca 1000 hektarini ning eeldatavasti on lähiaastatel oodata jätkuvat pindala suurenemist (Tullus, 2018). Hübriidhaava raieringiks soovitatakse 20–30 aastat.

Eestis on rajatud 58 hübriidhaava püsikatseala (51 ala endisel põllumajandusmaal ja 7 Aidu põlevkivikarjääris)⁷⁷. Nende põhjal leidsid Lutter jt (2016), et 5–15 aasta vanused

⁷⁷ SA Keskkonnainvesteeringute Keskuse 2012 aasta Metsanduse programmi projekti nr 4397 „Hübriidhaava istandikud süsiniku sidujana ja energiapuidu tootjana“ lõpparuanne

hübriidhaavikud sidusid endistel põllumaadel keskmiselt 3,17 t C /ha/a ja endistel rohumaadel 2,56 t C /ha/a. 15-aastaste põllumajandusmaadele rajatud hübriidhaavikute keskmine süsinikuvaru maapeelses biomassis oli 24,1 t C/ha ja ei sõltunud olulisel määral eelnevast maakasutusest, küll aga oli C_{org} varu muutus ökosüsteemi maa-aluses osas oluliselt suurem endistel põllumaadel (Lutter jt, 2016).

Tullus jt (2018) on teinud mõõtmisi hübriidhaava teise põlvkonna kontrollaladel Eestis. Tulemused näitavad, et hübriidhaab suudab edukalt uueneda juure- ja kännuvõsust ning esimese nelja aasta jooksul kiirelt kõrgust kasvatada. Keskmine kõrgus pärast 4. kasvuaastat jäi vahemikku 3,9–4,5 m. Pärast 4. kasvuaastat oli kontrollala keskmine maapealne biomass koos okstega 6,2 t/ha/a ja maapealse biomassi jooksev juurdekasv 7–7,5 t/ha/a. Maapeelses biomassis hinnati peale 4. kasvuaastat 11,8 tonni seotud C/ha (Tullus jt, 2018).

Eesti Maaülikoolil on pooleli uurimisprojekt, mille raames on plaanis kõik hübriidhaava püsiproovitükid üle mõõta ja käsitleda ka muutusi mullas ning elurikkuses⁷⁸. Eesmärgiks on anda kogu raieringil põhinev hinnang produktsiooni, mulla toitainete, süsinikusisalduse, raskemetallide jt näitajate kohta.

Teiste meil majanduslikku tähtsust omavate puuliikide kultiveerimisega võrreldes on hübriidhaava istikud kallimad. Hübriidhaava puitu saab tõhusamalt kasutada toormaterjalina tselluloosi- ja paberitööstuses, sealhulgas on võimalik tüve alaosast saada väärtuslikumat saepalki (Tullus jt, 2018).

Turvasmullad seavad kiiresti kasvavatele liikidele omad piirangud. Mineraalmullal on võimalik tõsta liikide saagikust väetamisega, kuid turvasmuldi väetades võivad toitained sattuda looduskeskkonda (Heinsoo jt, 2019). Istandustes kasutatavad kiiresti kasvavad sordid ei ole võimelised turvasmullal piisavalt tugevat juurestikku kasvatama, kuna seal aset leidvate looduslike protsessidega võib kaasned anaeroobsed tingimused, mis mõjuvad aktiivselt kasvavate taimede juurtele ebasoodsalt (Energiavõsa, 1993). Seega võivad areneda küll kõrged ja tugevad võsud, aga juurestik on nõrk ning taimed võivad tormiga ümber kukkuda. Turvasmulladel on raskendatud saagikoristus raskemasinatega.

4.6.1 Meetme sotsiaalmajanduslik mõju

Lühikese raieringiga puuistandike majandamise tasuvusele on raske hinnangut anda, sest praktilist kogemust on väga vähe. Halli lepa enamusega puistusid on Eestis küll palju, 208 500 ha (Keskkonnaagentuur, 2020), kuid valdavalt on need looduslikult tekkinud, mitte kultuurpuistud. Hübriidhaava puistute majandamisega on Eestis tegeletud veidi enam kui 20 aastat, puistute pindala on suurusjärgus 1000 hektarit. Samal ajal on toimunud uurimistöo paljudes puistutes üle kogu Eesti. Praeguseks ajaks on hübriidhaava puistutes tehtud ka esimesed uuendusraied. Teadusliku põhjalikkusega on uuritud üksikuid katsealana rajatud pajuistandikke ja halli lepa kultuurpuistuseid.

Lühikese raieringiga puuistandike kulude ja tulude napi andmestiku tõttu on majandamise tasuvuse hinnang pigem teoreetiline, soovituslikele majandamismudelitele tuginev. Kuna eeldatakse, et istandik rajatakse põllu- või rohumaale, arvestatakse kultiveerimise ja puutaimede

⁷⁸ Projekt „Hübriidhaavaistandike biomajanduslik potentsiaal ja pikaajaline mõju elurikkusele ning keskkonnale (1.01.2021–31.12.2025)“. <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/bb325ae4-df61-4911-9a25-b8ec9936a222>

kasvu toetavate tegevustega. Need on maapinna ettevalmistamine, umbrohutõrje, pajuistandikes väetamine, halli lepa ja hübriidhaava puhul ka noore metsa hooldamine.

Pajuistandikega tegelemine ei erine olemuselt palju põllukultuuride majandamisest. Vajalik on maapinna ettevalmistamine, väetamine, pistokste istutamine, umbrohutõrje, taimekahjurite tõrje. Kõigi nende tegevuste kulu kokku on ligikaudu 1500–1600 eurot/ha. Lühikese raieringi tõttu majandatakse pajuistandikke väga intensiivsete võtetega. Lõikust tehakse suhteliselt tihti: iga kolme kuni viie aasta tagant. Lõikuse intervalli mõjutab oluliselt pajude kasv.

Eestis tehtud uuringu (Heinsoo jt, 2002) kohaselt saadi pajuistandikust sõltuvalt mulla viljakusest 5,2–6,2 tonni kuivainet. Väetamine suurendas kuivaine saaki 11,2 tonnini hektarile.

Kasutades nelja-aastast tsüklit, võiks ühe lõikusega saada väetatud istandikust hektarilt kuivainena ca 45 tonni biomassi, millele vastab ligikaudu 180 puistekuupmeetrit hakkpuitu. Ettevõtjad on valmis maksma kasvavate peenemõõduliste puude (võsa) hakkpuidu puistekuupmeetri eest üks kuni kaks eurot. Eelpool esitatud andmete põhjal saadakse esimesel lõikusel neli aastat pärast istandiku rajamist kuni 270 eurot hektari kohta. Nelja-aastast tsüklit arvestades saadakse istandiku rajamise kulu tagasi kahekümne nelja aasta möödudes. Alles järgmiste tsüklitega saadakse istandiku majandamisest netotulu. Võrreldes põllumajanduskultuuridega ei ole paju energiakultuuri kasvatamine praegustes turutingimustes ärimajanduslikult konkurentsivõimeline. Kuigi pajuistandikest võib saada õige kasvatamistehnoloogia korral märkimisväärses koguses biomassi, pole energiapaju kasvatamine saavutanud Eestis laiaulatuslikku levikut.

Hall lepp on kodumaistest puuliikidest kõige kiirekasvulisem, hall-lepikute keskmine aastane juurdekasv on Eestis 7,2 m³/ha. Kultuurpuistutes on keskmine juurdekasv suurem, seda kinnitavad uurimistööde tulemused (nt Aosaare (2012) uuritud 17. aastases puistus oli see 15,7 m³/ha/a ja tagavara 265 m³/ha).

Halli lepa korral on puistu kultiveerimiskulud sarnased teiste metsapuuliikidega, arvestada tuleks maapinna ettevalmistamise, kultiveerimise ja esimestel aastatel kultuuri hooldamise kuludega kokku 1270 eurot/ha. Hall-lepiku majandamise netotulu pindalaühiku kohta sõltub suuresti realiseeritava puidu sortimentatsioonist. Kui jämedamad tüveosad suudetakse müüa palkidena, on tulu oluliselt suurem kui pelgalt küttepuitu müües. Palkidest saematerjali valmistamine on kasulik ka CO₂ sidumise mõttes.

Arvestades 30-aastase puistu uuendusraie mahuks 184 m³/ha, saadakse kogu puidu küttepuiduna müügist tulu 1470 eurot/ha, mis on 200 euro võrra suurem puistu rajamise kulust. Juhul kui õnnestub osa puitu, näiteks 20% palkidena müüa, võib uuendusraiest saadav tulu küündida ca 1900 euronit hektarilt. 30-aastase majandamisperioodi kohta on sel juhul keskmine netotulu 21 eurot/ha/a.

Hübriidhaava puistute rajamine on võrreldes pajuistandike ja hall-lepikutega kallim, sest istikute hind on märkimisväärselt kõrgem. Hübriidhaaviku kultuurpuistu rajamise ja hooldamise maksumus praegustes hindades on ligikaudu 1900 €/ha. 20-aastases puistus tehtud uuendusraiest on saadud netotulu ca 2300 eurot hektarilt. Seega katab uuendusraie tulu puistu rajamise kulu, pikaajaline keskmine puistu majandamise tulu 20 €/ha/a. Esimesele raieringile järgneb puistu looduslik uuenemine, mis loob eeldused suuremaks netotuluks järgmisel raieringil, samas nõuab tarka majandamist ja riskidega (nt põdrakahjustus) arvestamist.

Kokkuvõtteks võib öelda, et vaadeldud puuliikide istandike rajamise korral teenitakse esialgsed kulud tagasi 20–30 aastaga. Analüüs näitab, et nii istandiku majandamise netotulu kui ka süsinikubilansi mõttes on otstarbekas lühikese raieringiga istandikes kasutada metsapuid, mille tüvedest on võimalik saada võrreldes energiapuiduga kallemaid sortimente.

4.7 Kokkuvõtte riskidest ja uuringuvajadustest

Vaadeldud põllumajandusmaa meetmed avaldavad positiivset mõju mulla C_{org} varule ning seeläbi süsiniku sidumisele ja heitkoguste vähendamisele, kuid mõju ulatus avaldub kohtspetsiifiliste tegurite kompleksina. KHG raporteerimise seisukohalt on oluline arendada ja jõuda kaasaegsesse geoinfosüsteemi seostatud mudelproгноosidel tugineva lahenduseni, mis võimaldaks oluliselt täpsemalt meetmete mõju hinnata ja hinnangute määramatust vähendada. Seeläbi on võimalik kasutusele võtta kõrgeima taseme arvutusmetoodika (*Tier 3*), mis annaks ka väärtuslikku teavet selle kohta, millised meetmed on konkreetse maakasutuseüksuse tasemel kõige otstarbekamad. Oluline on, et mulla C_{org} varu ja selle muutuste mudelproгноoside hinnanguid on vaja asjakohase seire- ja pikaajaliste katsete andmetega järjepidevalt valideerida, et leida meie kohalikesse tingimustesse sobivaimad lahendused.

Soovitused uuringuvajadustest:

1. Orgaaniliste väetiste kasutamine on positiivse mõjuga mulla C_{org} varule ja mullaomadustele, kuid samas tuleb arvestada, et C sisendi mõju suurusel on ka piirid. Igal mullal on oma C sidumise/hoiuvõime, seega meede on efektiivne muldades, mis on oluliselt kaotanud oma esialgsest C_{org} varust. Samuti peab arvestama lagunemise käigus tekkiva CO_2 ja N_2O heitkogusega. Seetõttu oleks vajalik teha süsteemsemalt KHG mõõtmisi erineva mullastikuga põldudel, kus kasutatakse orgaanilisi väetisi või kus karjatatakse. Piimakarjades on valdavalt kasutusel vedelsõnnik, ent selle mõjust muldade C_{org} varule on meil kohalikke tõendus põhiseid andmeid veel väga vähe. Antud uuring võimaldaks saada terviklikumat teadmist orgaaniliste väetiste kasutamise mõjust KHG emissioonile.
2. Mitmekesisemad ja pikemad külvikorrad aitavad tagada kultuuride saagikuse ning säilitada ja parandada mullaviljakust. Seeläbi suureneb mulda minev C_{org} sisend ja külvikorra keskmisena väheneb ka KHG heide. Külvikorrakatseid on aga vähe uuritud ja need suudavad katta ainult piiratud kombinatsioone külvikorra mitmekesistamise võimalustest. Olemasolevate külvikorrakatsete väärtust saaks märkimisväärselt tõsta kui laiendada neil mõõdetavate näitajate osa, mõõtes neis otseselt ja järjepidevalt toitainete- ja KHG kadusid ning süsiniku sidumist. Lisaks on vaja läbi viia täiendavaid uuringuid, et analüüsida mulla süsinikuvaru muutust, sh lühiajaliste külvikorras olevate rohumaade puhul. Lämmastikku siduvate kultuuride puhul on vaja erinevate kategooriate lõikes (kaunviljad, ristikud ning liblikõieliste-kõrreliste segud) läbi viia uuringud, mis hindaksid mõju KHG heite vähenemisele ja süsiniku sidumisele. Samuti on vajalik uurida ja omavahel võrrelda vahekultuuride ja talvise taimkatte mõju muldade C_{org} sisaldusele.
3. Haritava mineraalmuldadega maa viimine püsitaimestiku alla vähendab mullaharimise intensiivsust ning selle kaudu väheneb KHG heitkogus. C sidumine mulda sõltub algsest mulla C_{org} varust, seega meetme mõju efektiivsuse hindamiseks tuleks kaardistada, kui palju on Eestis põllumajanduslikus kasutuses olevaid muldi, mis on kaotanud osa antud mullaliigile iseloomulikust C_{org} varust. Lisaks on vajalik kasutusele võtta detailsemad

aluskaardid, mis võimaldaks täpsustada puittaimestikuga ribade ja hekkide alusandmeid, et nende heidet/sidumist saaks KHG inventuuris eraldi hinnata.

4. Turvasmuldade intensiivne harimine on oluliseks KHG heitkoguste allikaks, seetõttu on oluline turvasmuldi võimalikult vähe töödelda. Täpsustamist vajab turvasmuldade pind, kuna osad turvasmullad võivad olla osaliselt või täielikult mineraliseerunud, mistõttu heitkogused võivad olla madalamad.
5. Happeliste muldade neutraliseerimine lupjamise kaudu parandab küll taimekasvu tingimusi (näiteks toitainete omastamist, mulla struktuursust) ja suurendab produktiivsust ning seeläbi ka mulda mineva orgaanilise aine kogust, kuid mulla C_{org} sisaldus (varu) ei pruugi suurened, sest samal ajal suureneb mullamikroobide aktiivsus ning emiteerunud CO_2 kogus. Enamkasutatavate lubiväetise tervikmõju hindamiseks oleks vajalik läbi viia põllu tingimustes lubiväetiste kasutamisega kaasnevad KHG heitkoguste mõõtmised. Mulla pH ja C_{org} sisalduse vaheline seos sõltub mulla lõimisest, seega peaks nende seoste sisukaks hindamiseks teostama analüüsi konkreetsete mulla erimite ja piirkondade kaupa.

4.8 Kasutatud kirjandus

- Abdalla, M., Hastings, A., Cheng, K., Yue, Q., Chadwick, D., Espenberg, M., Truu, J., Rees, R.M., Smith, P. (2019). A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. *Global Change Biology*, 25, 2530–2543.
- Abdalla, M., Hastings, A., Helmy, M., Prescher, A., Osbourne, B., Lanigan, G., ... Jones, M. B. (2014). Assessing the combined use of reduced tillage and cover crops for mitigating greenhouse gas emissions from arable ecosystem. *Geoderma*, 223, 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.01.030>
- Aosaar, J. (2012). Endisele põllumaale rajatud hall-lepikute areng, biomassi produktsioon ja lämmastiku –ning süsiniku dünaamika. Doktoritöö, Tartu, Eesti Maaülikool, 155 lk.
- Aye, N. S., Sal, P.W.G., Tang, C. (2016). The impact of long-term liming on soil organic carbon and aggregate stability in low-input acid soils. *Biology and Fertility of Soils* 52, 697–709. DOI 10.1007/s00374-016-1111-y
- Beillouin, D., Ben-Ari, T., Makowski, D. (2019). Evidence map of crop diversification strategies at the global scale. *Environmental Research Letters*, 14(12), 123001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4449>
- Beillouin, D., Ben-Ari, T., Malézieux, E., Seufert, V., Makowski, D. (2021). Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. *BioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.09.30.320309>
- Berglund, Ö., Berglund, K. (2010). Distribution and cultivation intensity of agricultural peat and gyttja soils in Sweden and estimation of greenhouse gas emissions from cultivated peat soils. *Geoderma*, 154(3–4), 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.11.035>
- Bowles, T. M., Mooshammer, M., Socolar, Y., Calderón, F., Cavigelli, M. A., Culman, S. W., ... Grandy, A. S. (2020). Long-term evidence shows that crop-rotation diversification increases agricultural resilience to adverse growing conditions in North America. *One Earth*, 2(3), 284–293. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.02.007>
- Campbell, C.A., Janzen, H.H., Paustian, K., Gregorich, E.G., Sherrod, L., Liang, B.C., Zentner, R.P. (2005). Carbon storage in soils of the North American Great Plains: effect of cropping frequency. *Agronomy Journal*, 97, 349–363.
- Chen, Y., Camps-Arbestain, M., Shen, Q., Singh, B., Cayuela, M.L. (2018). The long-term role of organic amendments in building soil nutrient fertility: a meta-analysis and review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 111, 103–125. <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9903-5>

- Conant, R.T., Easter, M., Paustian, K., Swan, A., Williams, S. (2007). Impacts of periodic tillage on soil C stocks: a synthesis. *Soil and Tillage Research* 95, 1–2.
- Davis, A. S., Hill, J. D., Chase, C. A., Johanns, A. M., Liebman, M. (2012). Increasing Cropping System Diversity Balances Productivity, Profitability and Environmental Health. *PLoS ONE*, 7(10), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047149>
- De Gryze, S., Cullen, M., Durchinger, L. (2010). Evaluation of the Opportunities for Generating Carbon Offsets from Soil Sequestration of Biochar. Terra Global Capital LLC.
- Dimitriou, I., Eriksson, J., Adler, A., Aronsson, P., Verwijst, T. (2006). Fate of heavy metals after application of sewage sludge and wood-ash mixtures to short-rotation willow coppice. *Environmental Pollution* 142 (1), 160-169.
- Duiker, S.W., Lal, R. (1999). Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a luvisol in central Ohio. *Soil and Tillage Research*, 52, 73–81.
- Energiavõsa. Väike käsiraamat. Lisbeth Sennerby – Forsse, Hakan Johansson. Originaal: *Energiskog – handbok i praktisk odling*. Sveriges Landbruksuniversitet, Uppsala, 1989. Tõlge eesti keelde ja eessõna: Eesti TA Zooloogia ja Botaanika Instituut, 1993. 40 lk.
- Evans, C., Artz, R., Moxley, J., Smyth, M.-A., Taylor, E., Archer, N., Burden, A., Williamson, J., Donnelly, D., Thomson, A., Buys, G., Malcolm, H., Wilson, D., Renou-Wilson, F. (2017). Implementation of an Emission Inventory for UK Peatlands. Report to the Department for Business, Energy and Industrial Strategy, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, pp. 88.
- Feliciano, D., Ledo, A., Hillier, J., Nayak, D. R. (2018). Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 254(November 2017), 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.032>
- Finantsakadeemia OÜ (2018). Riigi üldine energiatõhususkohustus aastatel 2021-2030 ning taastuvenergia eesmärkide täitmine.
- Francaviglia, R., Álvaro-Fuentes, J., Di Bene, C., Gai, L., Regina, K., Turtola, E. (2019). Diversified arable cropping systems and management schemes in selected european regions have positive effects on soil organic carbon content. *Agriculture (Switzerland)*, 9(12), 1–18. <https://doi.org/10.3390/agriculture9120261>
- Frelüh-Larsen, A., MacLeod, M., Osterburg, B., Eory, A. V., Dooley, E., Kätsch, S., Naumann, S., Rees, B., Tarsitano, D., Topp, K., Wolff, A., Metayer, N., Molnar, A., Povellato, A., Bochu, J.L., Lasorella, M.V. and Longhitano, D. (2014). Mainstreaming climate change into rural development policy post 2013. Final report. Ecologic Institute, Berlin.
- Frolking, S., Talbot, J., Jones, M.C., et al. (2011). Peatlands in the earth's 21st century climate system. *Environ Rev.* 19, 371–396.
- Han, Z., Walter, M. T., Drinkwater, L. E. (2017). N₂O emissions from grain cropping systems: a meta-analysis of the impacts of fertilizer-based and ecologically-based nutrient management strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 107(3), 335–355. <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9836-z>
- Heinsoo, K., Melts, I. (2019). Märgalaviljeluseks sobivad kultuurid Eestis. http://media.voog.com/0000/0037/1265/files/Heinsoo_Melts2019_Lisa3.pdf
- Heinsoo, K., Sild, E., Koppel, A. (2001). Pajuistandused energiaallikana ja vegetatsioonifiltrina. – Tiit, V. (toim) *Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine II*. Tartu.
- Heinsoo, K., Sild, E., Koppel, A. (2002). Estimation of shoot biomass productivity in Estonian *Salix* plantations. *Forest Ecology and Management*, 170, 67–74.
- Hu, N., Chen, Q., Zhu, L. (2019). The responses of soil N₂O emissions to residue returning systems: A meta-analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 11(3), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su11030748>

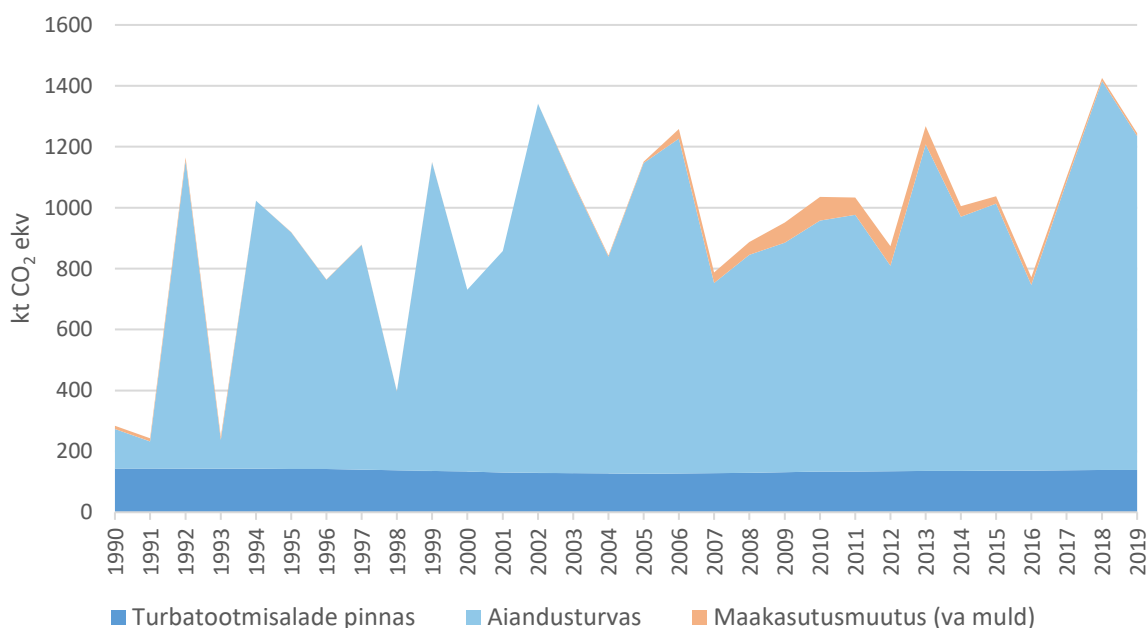
- IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. [Eggelston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (toim)]. IGES, Hayama
- IPCC (2014). 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., Troxler, T.G. (toim). IPCC, Šveits
- Kauer, K. (2018). Eesti põllumajandusmuldade süsinikuvaru ja selle muutuste modelleerimine riikliku kasvuhoonegaaside inventuuri jaoks. Aruanne. Eesti Maaülikool, Põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Tartu.
- Kauer, K., Astover, A., Viiralt, R., Raave, H., Kätterer, T. (2019). Evolution of soil organic carbon in a carbonaceous glacial till as an effect of crop and fertility management over 50 years in a field experiment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 283, 106562. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.06.001>
- Kekkonen, H., Ojanen, H., Haakana, M., Latukka, A., Regina, K. (2019). Mapping of cultivated organic soils for targeting greenhouse gas mitigation. *Carbon Management*, 10(2), 115–126. <https://doi.org/10.1080/17583004.2018.1557990>
- Keskkonnaagentuur (2020). Aastaraamat Mets 2019. <https://keskkonnaagentuur.ee/media/882/download>
- Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Bolan, N. S., Xu, Y., Mandal, S., Gleeson, D.B., Seshadri, B., Zaman, M., Barton, L., Tang, C., Luo, J., Dalal, R., Ding, W., Kirkham, M. B., Naidu, R. (2016). Functional relationships of soil acidification, liming, and greenhouse gas flux. *Advances in Agronomy*, 139, 1–71.
- Lehmann, J., Skjemstad, J.O., Sohi, S., Carter, J., Barson, M., Falloon, P., Coleman, K., Woodbury, P., Krull, E. (2008). Australian climate-carbon cycle feedback reduced by soil black carbon, *Nature Geoscience*, 1, 832–835.
- Lemaire, G., Gastal, F., Franzluebbers, A., Chabbi, A. (2015). Grassland–Cropping Rotations: An Avenue for Agricultural Diversification to Reconcile High Production with Environmental Quality. *Environmental Management*, 56(5), 1065–1077. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0561-6>
- Leppelt, T., Dechow, R., Gebbert, S., Freibauer, A., Lohila, A., Augustin, J., ... Strömgren, M. (2014). Nitrous oxide emission budgets and land-use-driven hotspots for organic soils in Europe. *Biogeosciences*, 11(23), 6595–6612. <https://doi.org/10.5194/bg-11-6595-2014>
- Līcīte, I., Lupiķis, A., Peters, J., Butlers, A., Armolaitis, K., Soosaar, K., Laiho, R., Čiuldienė, D., Jauhiainen, J. (2019). Demonstration of climate change mitigation measures in nutrient rich drained organic soils in Baltic states and Finland, lk. 78-79. [https://www.orgbalt.eu/wp-content/uploads/2020/01/2019-A1-3-1-LIFEOrgBalt-A1.3-Climate-change-mitigation-measures .pdf](https://www.orgbalt.eu/wp-content/uploads/2020/01/2019-A1-3-1-LIFEOrgBalt-A1.3-Climate-change-mitigation-measures.pdf)
- Liebig, M.A., Tanaka, D.L., Gross, J.R. (2010). Fallow Effects on Soil Carbon and Greenhouse Gas Flux in Central North Dakota. *Soil Science Society of America Journal*, 74, 358–365.
- Liu, C., Cutforth, H., Chai, Q., Gan, Y. (2016). Farming tactics to reduce the carbon footprint of crop cultivation in semiarid areas. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(4), 69. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0404-8>
- Liu, H., Wrage-Mönnig, N., Lennartz, B. (2020). Rewetting strategies to reduce nitrous oxide emissions from European peatlands. *Communications Earth & Environment*, 1(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00017-2>
- Loide, V. (2017). Lupjamine eile, täna, homme. Konverents VII Mullapäev, ettekanne: http://taim.etki.ee/taim/public/images/Ettekanded/Mullapaev2016/2_LupjamineV_Loide.pdf
- Lutter, R., Tullus, A., Kanal, A., Tullus, T., Tullus, H. (2016). The impact of former land-use type to above- and below-ground C and N pools in short-rotation hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *P.*

- tremuloides* Michx.) plantations in hemiboreal conditions. *Forest Ecology and Management* 378, 79–90.
- Lutter, R., Tullus, A., Kanal, A., Tullus, T., Tullus, H. (2017). Above-ground growth and temporal plant-soil relations in midterm hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.) plantations on former arable lands in hemiboreal Estonia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 8, 688–699.
- Lötjönen, S., Ollikainen, M. (2017). Does crop rotation with legumes provide an efficient means to reduce nutrient loads and GHG emissions? *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies*, 98(4), 283–312. <https://doi.org/10.1007/s41130-018-0063-z>
- Manzoni, S., Taylor, P., Richter, A., Porporato, A., Ågren, G. I. (2012). Environmental and stoichiometric controls on microbial carbon-use efficiency in soils. *New Phytologist*, 196(1), 79–91. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04225.x>
- Moore, J.-D., Ouimet, R., Duchesne, L. (2012). Soil and sugar maple response 15 years after dolomitic lime application. *Forest Ecology and Management*, 281, 130–139.
- NIR (2021). Greenhouse Gas Emissions in Estonia 1990–2019. National Inventory Report.
- Nyborg, M., Malhi, S., Solberg, E., Izaurralde, R. (1999). Carbon storage and light fraction C in a grassland dark gray chernozem soil as influenced by N and S fertilization. *Canadian Journal of Soil Science*, 79, 317–320. <https://doi.org/10.4141/S98-048>
- O'Mara, F.P. (2012). Review: part of a highlight on breeding strategies for forage and grass improvement The role of grasslands in food security and climate change, *Annals of Botany*, 110, 1263–1270.
- Ots, K. (2018). Eksperthinnang erinevate puuliikide kasvatamiseks ennistatud veerežiimiga turbaaladel Eesti ja Läti tingimustes. http://media.voog.com/0000/0037/1265/files/ELF%20aruanne_t%C3%A4iendustega_nov-2018.pdf
- Paradelo, R., Virto, I., Chenu, C. (2015). Net effect of liming on soil organic carbon stocks: a review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 202, 98–107. <https://doi.org/10.1016>
- Penu, P. (2015). Põllumajandusmaadel paiknevate turvas- ja turvastunud muldade (*Histosols*) orgaanilise aine ja süsinikusisalduse muutuste hindamine. Aruanne. Põllumajandusuuringute Keskus, Saku.
- PMK (2021). Eesti maaelu arengukava 2014-2020 4. ja 5. prioriteedi meetmete ja 3. prioriteedi loomade heaolu meetme hindamisaruanne 2020. aasta kohta. https://pmk.agri.ee/sites/default/files/2021-04/Aruanne_meetmed_2021.pdf
- Poeplau, C., Reiter, L., Berti, A., Kätterer, T. (2017). Qualitative and quantitative response of soil organic carbon to 40 years of crop residue incorporation under contrasting nitrogen fertilisation regimes. *Soil Research*, 55(1), 1–9.
- Post, W. M., Kwon, K. C. (2000). Soil carbon sequestration and landuse change: processes and potential. *Global Change Biology*, 6, 317–327.
- Poulton, P., Johnston, J., Macdonald, A., White, R., Powlson, D. (2018). Major limitations to achieving “4 per 1000” increases in soil organic carbon stock in temperate regions: Evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, United Kingdom. *Global Change Biology*, 24, 2563–2584.
- Roberts, K.G., Gloy, B.A., Joseph, S., Scott, N.R., Lehmann, J. (2010). Life cycle assessment of biochar systems: Estimating the energetic, economic and climate change potential, *Environmental Science and Technology*, 44, 827–833.
- RUP (2019). Mulla süsinikuvarude seis ja dünaamika. Aruanne. Maaeluministeriumi rakendusuringute projekt.

- Rytter, L. (2006). A management regime for hybrid aspen stands combining conventional forestry techniques with early biomass harvests to exploit their rapid early growth. *Forest Ecology and Management*, 236, 422–426.
- SA Keskkonnainvesteeringute Keskuse 2012 aasta Metsanduse programmi projekti nr 4397 „Hübriidhaava istandikud süsiniku sidujana ja energiapuidu tootjana“ lõpparuanne. <https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/6326/KIK%204397%20aruanne.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SEI Tallinn (2019). Eesti kliimaambitsiooni tõstmise võimekuse analüüs. 120 lk. <https://www.sei.org/publications/eesti-kliimaambitsiooni-tostmise-voimaluste-analuuus/>
- Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J.E., Kristensen, K., Elsgaard, L., Østergaard, H.S., Lægdsmand, M., Greve, M.H., Christensen, B.T. (2014). Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils during 1986–2009: effects of management. *European Journal of Soil Science*, 65, 730–740.
- Tiemeyer, B., Freibauer, A., Borraz, E. A., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., ... Drösler, M. (2020). A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators*, 109 (June 2019), 105838. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>
- Tullus, H. (2005). Kiirekasvuliste metsakultuuride kasvatamine kui alternatiivne maakasutusviis. https://www.agri.ee/sites/default/files/public/juurkataloog/MAAELU/lisa_001.pdf
- Tullus, H. (2008). Põllumaade metsastamise ökonoomilised, regionaalpoliitilised (regionaalsed), maakasutuspoliitilised (maakasutuslikud), keskkonnakaitsetilised ja sotsiaalsed aspektid ning riikliku suunamise vajalikkus ja võimalused. https://www.eramets.ee/static/files/154.Aruanne_Tullus.pdf
- Tullus, H., Tullus, L., Lutter, R. (2018). Hübriidhaava teise põlvkonna puistute majandamine ja keskkonnamõjude hinnang. KIK projekt nr. 12076. https://www.kik.ee/sites/default/files/uuringud/kik_12076_emu.pdf
- Uri, V., Aosaar, J., Varik, M., Kund, M. (2010). Mõningate kiirekasvuliste lehtpuupuistute kasv ja produktioonivõime endisel põllumaal. *Metsanduslikud Uurimused*, 52, 18–29.
- Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik M., Becker, H., Soosaar, K., Morozov, G., Ligi, K., Padari, A., Ostonen, I., Karoles, K. (2017). Carbon budgets in fertile grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) stands of different ages. *Forest Ecology and Management*, 396, 55–67.
- Varik, M., Kukumägi, M., Aosaar, J., Becker, H., Ostonen, I., Lõhmus, K., Uri, V. (2015). Carbon budgets in fertile silver birch (*Betula pendula* Roth) chronosequence stands. *Ecological Engineering*, 77, 284–296.
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A.C., van der Velde, M. and Diafas, I. (2010). Biochar application to soils. A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. EUR 24099 EN. European Commission, Luxembourg. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC55799>
- Viaud, V., Kunnemann, T. (2021). Additional soil organic carbon stocks in hedgerows in crop-livestock areas of western France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 305, 107174. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107174>

5. Märgalad

Märgalade maakategooria pindala on statistilise metsainventuuri alusel olnud alates 1990. aastast suhteliselt stabiilne ning vähenenud vaid 1,3% (vt tabel 1.1). Eelkõige on vähenemise põhjuseks märgalade muutumine metsamaaks. 2019. aastal katsid märgalade maakategooriasse kuuluvad alad 9,3% Eesti maismaast (NIR 2021). Suurema osa sellest moodustasid siseveekogud (262,8 kha) ja sood, mis ei kuulu metsa- või rohumaa maakategooriate alla (139,6 kha). Aktiivsete ja mahajäetud taimestumata turbatootmisalade pindala oli 2019. aastal kokku 21,5 kha. Kuna riiklikus kasvuhoonegaaside inventuuris raporteeritakse ainult inimtekkelisi kasvuhoonegaaside heitkoguseid, siis looduslikel märgaladel toimuvat KHG sidumist ja heidet inventuuri raames ei hinnata. Märgalade maakategooria CO₂, N₂O ja CH₄ emissioonid on seetõttu valdavalt seotud turba kaevandamisega (vt joonis 5.1). Heitkoguste suur varieeruvus aastate vahel on tingitud erinevustest turba kaevandamise mahtudes, mis omakorda sõltuvad ilmastikutingimustest. 2019. aastal oli kategooria summaarne heitkogus 1244,9 kt CO₂ ekv, sellest aiandusturbast tulenes 1095,7 kt CO₂ ja turbatootmisalade pinnasest 139,1 kt CO₂ ekv (NIR 2021). Väike CO₂ heide tekib ka turbatootmisalade laiendamise eesmärgil teostatud raadamisest või metsamaa ja rohumaa muudel põhjustel märgalaks muutumisest. KHG heitkogused, mis tulenevad turvasmuldade kuivendamist metsa-, põllu- ja rohumaaadel või asulates arvestatakse vastavate maakategooriate all.



Joonis 5.1 Märgalade maakategooria KHG heitkogused 1990.–2019. aastal (NIR 2021)

Selles töös käsitletakse kahte meetet, mis on suunatud heitkoguste vähendamiseks KHG raporteerimise raamistikus käsitletavate märgalade kategoorias:

- 1) Märgala 1: mahajäetud turbatootmisalade korrastamine;
- 2) Märgala 2: aiandusturbast tulenevate heitkoguste vähendamine.

5.1 Mahajäetud turbatootmisalade korrastamine (Märgala 1)

Selles töös käsitletakse jääksoodena kitsalt endiseid turbatootmisalasid. Korrastamist vajavad eelkõige ammendatud freesturbaväljakud, kus taimkatte looduslik taastumine on keeruliste keskkonningimuste tõttu väga aeglane. Eesti Geoloogiakeskuse poolt aastatel 2005–2008 läbi viidud revisjoni käigus tuvastati 81 mahajäetud freesturbaväljakut kogupindalaga ligi 8880 ha (Ramst jt, 2005, 2006, 2007, 2008). Neist 2000 ha sobisid esialgse hinnangu järgi kaevandamise taaslustamiseks, u 500 ha soovitati jätta isetaastumisele ja u 6000 ha vajasis korrastamist. 2020. aasta lõpuks oli neist 1043 ha korrastatud märgalaks ning aastaks 2023 on eesmärgiks veerežiim taastada ligi 2000 ha jääksoodes⁷⁹. Põhiliseks korrastamistöode elluviijaks on olnud RMK.

Kaevandamislubadega kaetud mäeeraldisi on hetkel ligikaudu 22 000 ha. Sellest kasutuses on u 11 500 ha, ammendatud on u 1500–2000 ha, ettevalmistamata u 1500 ha ja ettevalmistamisel alla 2000 ha (Eesti Turbaliit). Hinnangute järgi võivad seniste turbakaevandamise mahtude jätkumisel 2050. aastaks ammenduda ja korrastamist vajada 11 000–17 000 ha jääksoid ning 2100. aastaks täiendavalt 5000 ha (Salm ja Sell, 2015).

Salm jt (2012) on hinnanud KHG heiteks jääksoodest keskmiselt 10,52 t CO₂ ekv/ha/a⁸⁰. Sellele lisandub CH₄ heide kraavidest ja lahustunud orgaanilise süsiniku väljakanne veega (DOC – *dissolved organic carbon*), mida on võimalik hinnata IPCC poolt välja töötatud heitetegureid kasutades. Need on esitatud dokumendis *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands* (IPCC, 2014). IPCC juhendite alusel kohalduvad Eestile parasvöötme tegurid, ent keskkonningimuste poolest oleme lähedasemad boreaalsele vööndile, mistõttu metsa heitkoguste arvutustes kasutatakse Eesti KHG inventuuris boreaalse vööndi tegureid. Seetõttu on antud töös ka märgalade jaoks võetud aluseks boreaalse vööndi heitetegurid. Koos kraavide ja DOC-ga on arvestuslik heitkogus jääksoodes hinnanguliselt 11,64 t CO₂ ekv/ha/a (vt tabel 5.1).

KHG mõõtmisi Eesti jääksoodes ja turbakaevandusaladel on tehtud siiski vähe. Kuna heitkogused varieeruvad aastate lõikes palju, sõltudes väga palju ilmastikust, veetaseme sügavusest ja pindmise turbakihi turba tüübist ja lagunemisastmest, oleks vajalik pikaajaline ja ulatuslikum KHG voogude hindamine nii jääksoodes kui ka aktiivsetel turbakaevandusaladel, sh arvestades heitkoguseid kraavidest ning süsiniku väljakannet tuule- ja vee-erosiooniga.

Jääksoodede korrastamiseks ja kasutamiseks on erinevaid võimalusi (Paal, 2011; Priede ja Gancone, 2019):

- korrastamine märgalaks;
- metsastamine;
- põllu- või rohumaa rajamine;
- marjakasvatus;
- märgalaviljelus;
- veekogu rajamine;
- jääksoodede kasutamine turbakaevandamisalade kuivendusvee puhastamiseks (puhastuslodu rajamine).

⁷⁹ RMK projekt „Kuivendatud, ammendatud ja hüljatud turbaalade korrastamine“.

<https://www.rmkk.ee/organisatsioon/el-fondid-1/uhtekuuluvusfond/kuivendatud-ammendatud-ja-huljatud-turbaalade-korrastamine>

⁸⁰ Eesti KHG inventuuris ei eristata aktiivselt kasutuses olevaid turbatootmisalasid ja taimestumata jääksoid ning kasutatakse nende jaoks samu eriheitetegureid, kokku 6,48 t CO₂ ekv/ha/a

Uuringus „Eesti võimalused liikumaks konkurentsivõimelise madala süsinikuga majanduse suunas aastaks 2050“ (Espenberg jt, 2013) toodi välja, et esmane eesmärk on jääksoodes luua tingimused soode taastekkeks ning CO₂ sidumiseks turbana. Teiseks võimalikuks korrastamise alternatiiviks on metsastamine, mis võimaldab teatud määral kompenseerida turba lagunemisest tekkivat CO₂ heitkogust, kuid põllu- või rohumana kasutamine välistati, kuna see toob kaasa jätkuvalt suured emissioonid (Espenberg jt, 2013). Põllumajanduslik tegevus koos KHG heitkoguste vähendamisega oleks siiski võimalik rakendades märgalaviljelust.

2017. aastal vastu võetud „Kliimapoliitika põhialustes aastani 2050“ lepiti kokku, et säilitatakse või suurendatakse soolade turbas seotud süsinikuvaru, välditakse soode edasist kuivendamist ning juba kuivendatud turbaaladel taastatakse võimaluse korral looduslähedane veerežiim või välditakse alade edasist degradeerumist.

5.1.1 Jääksoode korrastamine märgaladeks (Märgala 1.1)

Jääksoode korrastamisel märgaladeks luuakse tingimused veetaseme tõusuks, et turba mineraliseerumine peatuks, tekiks sobiv niiskusrežiim sootaimestiku, sh turbasammalde, kasvama hakkamiseks ning taastuksid soostumisprotsessid. Wilson jt (2016) metaanalüüs näitab, et taassoostatud alad muutuvad üldiselt CO₂ emiteerijatest süsiniku sidujateks, samuti väheneb vees lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) väljakanne. N₂O heitkogused on taastatud soodes väikesed, samas veetaseme tõstmisel kasvavad oluliselt CH₄ emissioonid.

Jääksoode turba keemilised ja füüsikalised omadused sõltuvad sellest, millise kihini turba kaevandamine ulatus (raba-, siirdesoo- või madalsooturbani) ning võivad seega suuresti varieeruda (Paal jt, 2011; Orru jt, 2016). Jääkturba omadustest (pH, paksus, lagunemisaste, toitainete sisaldus jm) sõltuvad nii korrastamisel eesmärgiks seatavad taimekooslused kui ka prognoositavad heitkogused taastatud alal.

Tabelis 5.1 on esitatud IPCC vaikeväärtused heitkoguste hindamiseks toitaineterikastelt (madalsooturbaga) ja toitainetevaestelt (rabaturbaga) boreaalses vööndis ja parasvöötmes asuvatelt taastatud märgaladelt ning võrdlusena hinnangud jääksoode jaoks (Salm jt, 2012; IPCC, 2014). IPCC tegurite põhjal KHG voogusid hinnates on ka märgaladeks korrastatud alad jätkuvalt KHG emiteerijad. Kuna Eesti asub parasvöötme põhjapiiril, siis keskkonnatingimuste poolest on meile arvatavasti sobivamad boreaalse vööndi heitetegurid. Nende alusel on jääksoo taassoostamisel saavutatav KHG heitkoguste arvestuslik vähenemine 11,2 t CO₂ ekv/ha/a toitainetevaestel ja 8,8 t CO₂ ekv/ha/a toitaineterikastel aladel. Endiste freesturbaväljakute puhul on enamasti tegu toitainetevaeste aladega.

Eesti KHG inventuuris ei ole taastatud märgalade heidet/sidumist raporteeritud ning hetkel ei ole see ka riikide jaoks kohustuslik. Vastavalt IPCC reeglitele tuleks Eestil riigipõhise meetodika puudumisel heitkoguste hindamiseks kasutada parasvöötme heitetegurite vaikeväärtusi, mis suure tõenäosusega ülehindavad meie tegelikke emissioone. Lisaks on IPCC vaikeväärtused väga suure määramatusega, kuna varieeruvus erinevate alade gaasivoogudes on suur (Wilson jt, 2016). Seetõttu on taassoostunud alade jaoks soovitatav välja töötada riigipõhised emissioonifaktorid, mis arvestavad KHG heidet ja sidumist mõjutavaid olulisemaid tegureid. Eestis on seni taastatud veerežiimiga jääksoode KHG vooge uuritud ja teadusajakirjades avaldatud selleks veel ebapiisavalt. Tässi jääksoos sai Järveoja jt (2016) kolm aastat pärast soo taastamist KHG aastaseks bilansiks 3,8–4,1 t CO₂ ekv/ha. Purre jt (2019) mõõtsid CO₂ vooge kolmes korrastatud jääksoos ning leidsid, et olenevalt aastast võis sama ala olla nii süsiniku siduja kui ka emiteerija, kuna süsinikubilans sõltus veetasemest ja ilmastikutingimustest. Lisaks näidati, et CO₂ sidumine

on suurem edukamalt taimestunud aladel (Purre jt, 2019). Ka Purre ja Ilomets (2021) leidsid, et taimeistiku areng taastatud veerežiimiga endistel freesturbaväljadel mõjutab süsiniku akumulatsioon: kui mõned aastad tagasi korrastatud alad olid veel CO₂ emiteerijad, siis vanematel (15 ja 35 a) väljakujunenud turbasamblakattega aladel toimus juba CO₂ sidumine. Hetkel on töös teadusprojekt⁸¹, mille tulemusena täpsustuvad nii Eesti jääksoode kui ka märgaladeks korrastatud alade KHG vood. Samas peab arvesse võtma, et kuna looduslikule soole iseloomuliku taimkatte ja gaasivoogude taastumine võtab aega, on vajalik korraldada ka pikemaajalisi uuringuid.

Tabel 5.1 CO₂, DOC, CH₄ ja N₂O heitetegurid (emission factor – EF) taastatud märgaladel (IPCC, 2014) ja jääksoodes (Salm jt, 2012; IPCC, 2014), t CO₂ ekv/ha/a (negatiivne väärtus näitab CO₂ sidumist)

Maakategooria		EF _{CO₂}	EF _{DOC}	EF _{CH₄}		EF _{N₂O}	Kokku	Erinevus jääksoo heitkogusest*
Taastatud märgala (parasvööde)	Toitainete-vaene	-0,84	0,88	3,07		-	3,10	-8,53
	Toitainete-rikas	1,83		7,20		-	9,91	-1,72
Taastatud märgala (boreaalne vöönd)	Toitainete-vaene	-1,25	0,29	1,37		-	0,41	-11,22
	Toitainete-rikas	-2,02		4,57		-	2,84	-8,79
Jääksood				Pinnas (95%)	Kraavid (5%)			
		10,43	0,44	0,002	13,55	0,08	11,64	-

*Heitkoguse vähenemine võrreldes korrastamata alaga.

5.1.2 Jääksoode metsastamine (Märgala 1.2)

Jääksoode korrastamine sookeskkonna taastamiseks ei ole alati võimalik või mõistlik, näiteks kui veetaseme tõstmine mõjutab piirnevaid maaparandusobjekte ja halvendab naaberkölvikute seisundit. Takistusi võib tekkida ka piirinaabritega kokkulepetele jõudmisel. Teise võimaliku maakasutusviisina jääksoodes on nähtud ka metsastamist (Espenberg jt, 2013). Metsakasvatuseks sobivad kõige enam õhukese ja viljaka jääkturbaga alad, kus veerežiim on puude kasvuks soodne (Pikk, 2011). Ots (2018) on leidnud, et metsastamise puhul on oluline eelkõige turba keemiline koostis. Üldiselt on jääkturbas piisavalt lämmastikku, aga liiga madal fosfori- ja kaaliumisisaldus ning taastamiseks võib osutuda vajalikuks väetamine (nt puutuhaga). Toitainete vaeguse kõrval mõjutab puude kasvu jääksoodes esimestel aastatel märkimisväärselt ka ebasoodne mikrokliima (Pikk, 2011).

Endistel turbatootmisaladel kasvavad metsad liigitatakse turbase puistangu kasvukohatüüpi. Metsaregistri andmetel (2021. aasta märtsi seis) on selliste puistute pindala kokku 1674 ha, millest suurema osa moodustavad kaasikud (913 ha) ja männikud (740 ha). Jääksoodes kasvavate kaasikute produktiivsus on väga varieeruv (boniteet Ia–Va), kuid suurem osa neist kuulub boniteediklassi III. Männikud on valdavalt boniteediga IV–Va. Turbase puistangu kasvukohatüüp ei kata siiski kõiki mahajäetud turbatootmisaladel kasvavaid metsi. Näiteks Eesti

⁸¹ „Ammendatud turbamaardlate veerežiimi taastamise kompleksuuringu meetodika väljatöötamine ja uuringu läbiviimine (24.04.2017–01.09.2023)“. <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/d63bdbff-cf5b-49f2-8caf-c61c6cf40b32>

suurimal, endisel Tootsi turbaväljal kasvav mets on märgitud nii turbase puistangu kui ka jänesekapsa- või mustika-kõdusoo tüüpi. Seal kasvava metsa boniteet jääb vahemikku I–IV. Üldiselt on jääksoodes kujunenud puistud tekkinud loodusliku uuenemise teel. Ammendatud freesturbaväljakute metsastamist on Eestis seni katsetatud väikestel aladel, kuid suuremaskaalalist katset, mis võimaldaks välja selgitada sobivad metsamajanduslikud võtted ning majanduslikud aspektid, seni tehtud ei ole. Küll on aga metsastamine olnud kõige levinum jääksoode korrastamise võte Soomes.

Kuna metsastatud jääksoodes kraave ei suleta, jätkub turba mineraliseerumine ja sellega kaasnevad KHG heitkogused. Samas seob taimestik fotosünteesi käigus süsinikku, mis pärast taimede surma lisandub varisena mulda ning osaliselt kompenseerib lagunemisest tekkiva CO₂ emissiooni (Ojanen jt, 2013). Mulla süsinikubilanss kuivendatud turvasmuldadel kasvavates metsades sõltub mullaviljakusest, veetasemest ja enamuspoolsusest. Projekti LIFE REstore⁸² käigus uuriti KHG heitkoguseid korrastatud Läti jääksoodes ning leiti, et keskmine 20-aastaste ja vanemate puistute netoemissioon mullast oli 4,3 ja 5,5 t CO₂ ekv/ha/a vastavalt harilikku männi ja arukase puhul (Lazdiņš ja Lupiķis, 2019). Ka IPCC (2014) heitetegurite⁸³ põhjal on KHG heitkogus jääksoos kasvava metsa pinnasest (sh CH₄ emissioon kraavidest) nende tulemusel sarnane: 5,53 t CO₂ ekv/ha/a.

Oluliselt suuremaid CO₂ heitkoguseid mõõtsid Soomes 18–40 aasta vanustes puistutes Mäkiranta jt (2007), keskmiselt ligi 14 t CO₂ ekv/ha/a. Kõrge CO₂ emissioon metsastatud aladel oli tingitud pinnase väetamisest ja maapinna ettevalmistamisest, samuti soodustas värske varise lisandumine mulda lagundajate tegevust. Samas ei näita heterotroofne ehk mikroobne hingamine mulla süsinikuvaru vähenemist, kuna süsinikubilansi (ja heiteteguri) leidmiseks on vajalik arvestada ka varise sisendit mulda, mida antud töös ei mõõdetud. Soomes uuritud metsastatud jääksoode pinnas oli keskmiselt metaani neelaja (-0,4 kg C/ha/a); N₂O emissioon oli okaspuupuistutes keskmiselt 1,1 ja lehtpuupuistustes 0,8 kg N/ha/a (Mäkiranta jt, 2007).

Edukalt metsastatud jääksoodes on üldiselt puude juurdekasv piisavalt suur, et kompenseerida emissioone mullast (Lazdiņš ja Lupiķis, 2019; Silvan ja Hytönen, 2016). Seetõttu võib eeldada, et 2050. aasta perspektiivis on metsastatud alad kliimanetraalsed või madala KHG heitkogusega alad. Samas, kui turba kuivendamine ja lagunemine jätkub, on pikaajalises vaates turvasmuldade metsastamisel negatiivne kliimamõju (Ojanen jt, 2013; Uri jt, 2017) ning sellest aspektist tuleks jääksoode korrastamisel eelistada soostumiseks sobilike tingimuste loomist.

Nagu eelnevalt kirjeldatud, on jääksoodes kasvutingimused väga varieeruvad ning kõikide alade metsastamine ei olegi mõistlik. Puude kasvu mõjutavad oluliselt eelkõige veetase, turba jääklasundi paksus ja omastatavate toitainete sisaldus turbas. Sobivate alade metsastamise tulemusena kujunevad jääksoodes jänesekapsa kõdusoo või mustika kõdusoo kasvukohatüüpi kuuluvad puistud. Jääksoode metsastamisel võiks eelistada vastavatele kasvukohatüüpidele sobivaid puuliike – harilikku mändi ja arukaske. Antud töös eeldati puitse biomassi produktsiooni hindamisel, et mändi ja kaske istutatakse võrdselt (50% aladest mänd ja 50% aladest kask), puistu rajamisel segatakse turbasse puutuhka ning tekkiv puistu kuulub III boniteediklassi (vt tabel 5.2). Kõrgema boniteedi saavutamise eeldaks arvatavasti täiendavat väetamist, mis samas võib kaasa tuua KHG heitkoguse suurenemise mullast. Metsaseaduse kohaselt on metsade väetamine mineraalväetistega keelatud, ent alternatiiviks on erinevate jätmete (reoveesete, puutuhk,

⁸² „Sustainable and responsible management and re-use of degraded peatlands in Latvia“ (LIFE REstore, LIFE14 CCM/LV/001103). <https://restore.daba.gov.lv/public/eng/>

⁸³ Kuivendatud toitaineterikkal turvasmullal kasvav boreaalse vööndi mets.

põlevkivituhk jm) kasutamine. Väetiste kasutamise mõju puistute süsinikubilansile ning majanduslikule tulususele vajab kindlasti edasist uurimist.

Tabel 5.2 Metsastatud jääksoo keskmine KHG bilanss, t CO₂ ekv/ha/a

Puistu vanus (alates metsastamisest)	Sidumine biomassis*	Heitkogus mullast ja kraavidest**	Kogubilanss	Erinevus jääksoo heitkogusest***
5	-0,49	5,53	5,04	-6,60
10	-2,51	5,53	3,02	-8,62
20	-5,45	5,53	0,08	-11,56
30	-4,96	5,53	0,58	-11,06
40	-4,45	5,53	1,08	-10,55
50	-3,75	5,53	1,78	-9,85
60	-3,28	5,53	2,25	-9,39
70	-2,74	5,53	2,79	-8,84
80	-2,33	5,53	3,21	-8,43

* Metsastamisel kasutatakse 50% mändi ja 50% kaske, puistu on III boniteediga.

** IPPC (2014) heitetegurite järgi (kuivendatud toitaineterikkal turvasmullal kasvav boreaalne vööndi mets).

*** Heitkoguse vähenemine võrreldes korrastamata alaga.

5.1.3 Märgalaviljelus (Märgala 1.3)

Märgalaviljelus on märgade või taastatud veerežiimiga turbaalade mis tahes põllumajanduslik või metsanduslik kasutamine (Wichtmann jt, 2016). Märgalaviljelus võimaldab kasutada jääksoid majandustegevuseks, samal ajal kui turvas säilib või moodustub isegi juurde, kuna veetase hoitakse kõrgena. Märgalaviljeluseks sobivad kultuurid sõltuvad jääkturba omadustest: rabamuldadel on võimalik kasvatada turbasamblaid, marju, villpead, huulheina jt ning madalsoomuldadele sobivad pilliroog, hundinui, luhaniitude rohttaimed ja metsakasvatus (Haberl jt, 2019). Heinsoo ja Melts (2018, 2019) on andnud eksperthinnangu Eesti tingimustes märgalaviljeluseks sobivate liikide kohta, nende hulgas on näiteks pilliroog, päideroog, paju, hundinui, kõrvenõges ja erinevad ravimtaimed. Erinevate puuliikide sobivust Eestis loodusliku ja ennistatud veerežiimiga turbaaladel kasvatamiseks on analüüsinud Ots (2018). Lähitulevikus märgalaviljeluseks sobivaid alasid on Eestis hinnanguliselt 14 639 ha, mis hõlmavad kuivendatud turbaalale rajatud põllu- ja rohumaid; ammendatud turbakaevandusaladest loeti märgalaviljeluseks potentsiaalselt sobivaks 5492 ha, tingimusel et võimalikke piiranguid on põhjalikult hinnatud (Piirimäe, 2019).

Märgalaviljeluse mõju mulla KHG voogudele on seni uuritud peamiselt Kesk-Euroopas ning leitud, et KHG heitkogused sõltuvad veetasemest ja koosluses kasvavatest taimeliikidest (Couwenberg jt, 2011; Martens jt, 2021). Eesti jääksoodes on seni katsetatud päideroo kultiveerimist (Lavassaare jääksoos) ning marjakasvatust. Sõltuvalt aastast oli sama päideroo niit nii CO₂ siduja kui ka emiteerija: KHG bilanss varieerus väetatud katsealal -6,0 kuni 3,6 t CO₂ ekv/ha/a ja väetamata alal -3,9 kuni 7,9 t CO₂ ekv/ha/a, vastavalt sademeterikkal ja kuival aastal (Järveoja, 2015). Rootsisis tehtud katsed näitasid, et päideroo biomassi tootmine erinevate veetasemete korral oluliselt ei erine, küll aga on KHG heitkogused seda väiksemad, mida kõrgemal on veetase (Karki jt, 2014). Seega varasematele uuringutele tuginedes on KHG vähendamise seisukohast mõistlik päideroo kasvatamine märjemates tingimustes. Lätis

jääksoodesse rajatud jõhvikaistandustes on hinnatud mulla aastaseks netoemissiooniks 5,2 ning mustikaistandustes 6,4 t CO₂ ekv/ha/a (Lazdiņš ja Lupiķis, 2019).

Veetaseme taastamist koos metsastamisega ei ole seni Eestis ja meie lähiriikides teadaolevalt tehtud. Soomes on näidatud, et kuivendatud turvasmuldadel kasvavates metsades suureneb CO₂ netoheide mullast lineaarselt veetaseme sügavusega, kusjuures seos on tugevam toitaineterikastel aladel (Ojanen ja Minkkinen, 2019). Samas, kui veetase kerkib 30 cm sügavuselt kõrgemale, peab arvestama suureneva metaani heitkogusega (Ojanen jt, 2010), lisaks väheneb kõrgema veetaseme juures puidu produktsioon. Eestis on taastatud veerežiimiga jääksoodes majanduslikult tulusaks hinnatud sookase ja sanglepa viljelemine, ent saadavast tulust olulisemaks eesmärgiks võib olla maa-ala keskkonnaseisundi parandamine, sh jääksoo süsinikuemissiooni peatamine (Kaimre, 2019). Nimetatud puuliikide puhul on majandamise tasuvus väga madal ja tegevus seetõttu majanduslikult väheatraktiivne.

Kuna Eestis ja meie naaberriikides on märgalaviljelusega veel väga vähe kogemusi, on meetme rakendamisega kaasnevat KHG heitkoguste vähenemist keeruline hinnata. Kõrge veetaseme (10–30 cm maapinnast) korral tuleks selliseid alasid KHG inventuuris raporteerida samas kategoorias kui taassoostatud alasid (*Rewetted organic soils*) ning pinnasest tekkivate KHG heitkoguste hindamiseks on võimalik kasutada tabelis 5.1 esitatud IPCC (2014) heitetegureid.

5.1.4 Meetme sotsiaalmajanduslik mõju

Sotsiaalmajanduslikku mõju analüüsiti kahe alameetme, jääksoodes märgalana korrastamise ja metsastamise jaoks. Märgalaviljelust on Eestis siiani ebapiisavalt praktiseeritud ja uuritud. Sotsiaalmajandusliku kasuna (tuluna) vaadeldakse nii tulevases majandustegevusest saadavat tulu (metsastamise korral) kui ka süsinikuemissiooni vähenemist, mille väärtust on võimalik hinnata väheneva CO₂ ekv koguse ja ETS kauplemissüsteemi hinna abil.

Majandusliku hinnangu andmisel kasutatakse mahajäetud freesturbaalade süsinikuemissiooni algtasemena 11,64 t CO₂ ekv/ha/a. Meetmete rakendamise järel emissioon teatud mahu jätkub. Toitainevaese boreaalse vööndi taastatud märgala süsinikuheiteks on hinnatud 0,4 t CO₂ ekv/ha/a. Taastamise mõju suuruseks kujuneb 11,2 t CO₂ ekv/ha/a. Ka metsastamise korral jätkub KHG emissioon mullast, kuid suurema osa sellest kompenseerib puudesse seotud süsiniku maht (vt tabel 5.2).

Sotsiaalmajandusliku mõju hinnang on esitatud 1000 ha suuruse maa-ala kohta. Eeldatakse, et taastamine tehakse 2021. aastal ning tegevuse positiivne mõju süsinikubilansile avaldub täiel määral järgmistel kümnenditel. Looduslikkuse taastamise ligikaudne kulu on saadud RMK teostatud sookoosluste taastamise projektidest. Sõltuvalt tegevustest on kulu olnud 500–1400 €/ha, käesolevas töös kasutatakse keskmisena 1000 €/ha. Ühe tonni CO₂ ekvivalendi väärtusena on arvestatud alternatiivsete võimalustena 25 ja 50 eurot tonni kohta.

Eestis puudub jääksoodes suurepindalaliste metsastamistöde kogemus. Eelnevatel aastakümnetel on tehtud küll katsed ja avaldatud nende kohta uurimistulemusi, kuid need on väikeste pindalade ja üksikute puistute kohta. Metsastamiseks sobivad puuliigid on harilik mänd ja arukask, siinkohal on kulude hindamisel lähtutud just neist liikidest, nende kasvatamistehnoloogiast ja puistu kasvumudelitest.

Et metsastamine oleks edukas, tuleb jääksoodes olevat kuivendussüsteemi sõltuvalt selle seisundist, kas korrastada või rekonstrueerida. Kraavide hooldamine ja kuivendussüsteemi toimimine tuleb tagada ka järgnevatel aastakümnetel. Kuivendussüsteemi rekonstrueerimise

kuludena on majandusarvestuses kasutatud 320 €/ha, mis on RMK poolt viimastel aastatel rekonstrueeritud maaparandussüsteemide keskmine ühikukulu. Toimiva kuivendussüsteemi positiivne mõju puude kasvule on arvesse võetud puistu boniteedi kaudu, arvutused on tehtud III boniteedi männikute ja kaasikute kohta. Metsastamise ühikulu 1900 eurot ha kohta sisaldab pinnase ettevalmistamist 120 €/ha, puutuhaga väetamist 80 €/ha ja taimede istutamist 1700 €/ha. Kuivendussüsteemi rekonstrueerimist prognoositakse regulaarselt iga 30 aasta järel. Kuna meetme terviklik majandusmõju avaldub alles aastakümnete pärast, on tehtud arvutus ka metsamajanduse tulu kohta. Harvendusraiate tulu on hinnanguliselt 570 eurot ha kohta perioodil 2060–2070, uuendusraie tulu aga saadakse 8260 €/ha pärast 2100. aastat.

Arvutused näitavad, et kahe alternatiivi rakendamisest tulenev positiivne mõju süsinikubilansile 2030. aastaks on märgala taastamise kasuks. Pikemas perspektiivis erinevus väheneb, sest metsa CO₂ sidumine avaldub veidi hiljem (vt tabel 5.3). Metsastamise maksumus on võrreldes märgala kujundamisega 2,2 korda suurem, sest sisaldab nii puistute kultiveerimise kui ka jääksoo kuivendussüsteemide rekonstrueerimisega seotud kulusid. Tulevikus on võimalik puidu realiseerimisest teenida tulu, vähesel määral harvendusraiest ning suuremas mahus uuendusraiest pärast 2100. aastat. Liites KHG heitkoguse vähendamise väärtusele metsa majandamise tulu, on kahe meetme pikaajalise tasuvusarvutuse tulemus küllaltki sarnane, kuid seda alles pärast 2100. aastat. Seepärast tuleb ühe või teise meetme eelistamisel lähtuda ala eripärast: praegusest seisukorrast, veetaseme tõstmise reaalsetest võimalustest ja mõjust naaberkiinnistutele ning ala metsakasvatustlikust potentsiaalst. Lisaks tuleb arvestada, et metsastamisel kuivenduse jätkumise tõttu võib turbakiht pikaajalises perspektiivis kaotada rohkem süsinikku kui puurinne suudab siduda ning turba pikaajaline säilimine on tagatud ainult kõrge veetaseme korral.

Tabel 5.3 Ammendatud freesturbaväljade korrastamisalternatiivide sotsiaalmajandusliku mõju hinnang 1000 ha suuruse ala kohta, mis on korrastatud 2021. aastal

Tegevus	Ühik	Märgala taastamine	Metsastamine
Korrastatav pindala	ha	1000	1000
Meetme rakendamise kulu pindalaühiku kohta	€/ha	1000	1900
Kuivendussüsteemi rekonstrueerimine	€/ha	-	320
Meetme rakendamise kulud aastaks 2030	mln €	1,0	2,2
Heite kumulatiivne vähenemine aastaks 2030	kt CO ₂ ekv	-112	-74
Heite kumulatiivne vähenemine aastaks 2050	kt CO ₂ ekv	-337	-278
Heite kumulatiivne vähenemine aastaks 2100	kt CO ₂ ekv	-898	-762
Heite vähenemise väärtus* aastaks 2030	mln €	2,8–5,6	1,9–3,7
Heite vähenemise väärtus* aastaks 2050	mln €	8,4–16,8	7,0–13,9
Heite vähenemise väärtus* aastaks 2100	mln €	22–45	19–38

*Ühikuhinnaga 25 ja 50 eurot t CO₂ ekvivalendi kohta.

5.1.5 Jääksode korrastamise stsenaarium

Tabelis 5.4 on esitatud sotsiaalmajanduslike mõjude hinnang korrastamist vajavate jääksode prognoositava pindala kohta, millest esimese kümnendi jooksul 2030. aastaks korrastatakse 6000 ha. Pool sellest alast ehk 3000 ha taastatakse eksperdihinnangu kohaselt märgalaks ja 3000 ha metsastatakse. Arvestades turba kaevandamislubade lõpptähtaegu hinnati keskmiseks korrastatavaks pindalaks perioodil 2031–2060 750 ha/a, millest märgalana taastatakse 500 ha aastas ja metsastatakse 250 ha aastas.

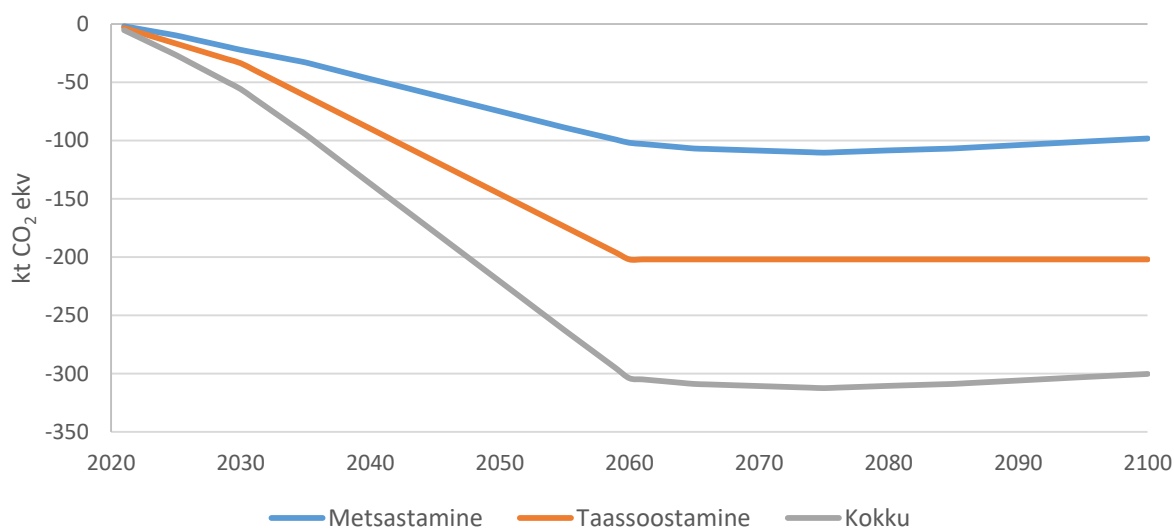
Tabel 5.4 Jääksoode korrastamise tulemused prognoositud stsenaariumi alusel

Näitaja	Aastaks	Ühik	Märgala taastamine	Metsastamine
Korrastatud ala pindala kokku		ha	18 000	10 500
Investeeringuvajadus	2030	mln €	3	6,7
	2040	mln €	8	12,2
	2050	mln €	13	17,8
Metsa majandamise netotulu	2100	mln €		2
KHG heitkoguse kumulatiivne vähenemine*	2030	kt CO ₂ ekv	-185	-116
	2040	kt CO ₂ ekv	-830	-467
	2050	kt CO ₂ ekv	-2 037	-1 091
	2100	kt CO ₂ ekv	-11 884	-6 221
KHG heitkoguse kumulatiivse vähenemise väärtus**	2030	mln €	4,6–9,3	2,9–5,8
	2040	mln €	21–42	12–23
	2050	mln €	51–102	27–55
	2100	mln €	297–594	156–311

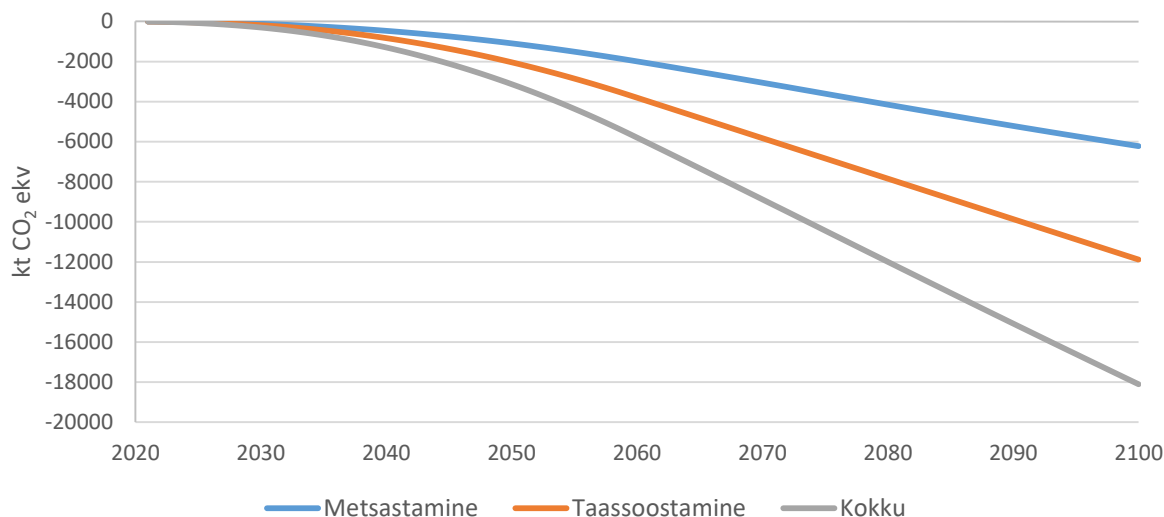
*KHG heite vähenemine võrreldes kaevandusalade korrastamata jätmisega.

** Ühikuhinnaga 25 ja 50 eurot t CO₂ ekvivalendi kohta.

Joonistel 5.2 ja 5.3 on näidatud jääksoode korrastamisega saavutatav aastane ja kumulatiivne KHG heitkoguse vähenemine aastani 2100 prognoositud stsenaariumi korral.



Joonis 5.2 KHG heitkoguse aastane vähenemine prognoositud korrastamisstsenaariumi korral



Joonis 5.3 KHG heitkoguse kumulatiivne vähenemine prognoositud korrastamisstsenaariumi korral

5.1.6 Riskid ja uuringuvajadused

Kasvuhoonegaaside heitkogused nii jääksoodes kui ka korrastatud turbaaladel sõltuvad jääkturba omadustest, veetasemest, korrastamise edukusest ja teistest teguritest ning varieeruvad seetõttu suurtes piirides. Sellest tulenevalt on ka antud töös kasutatud IPCC (2014) heitetegurid suure määramatusega ning ei pruugi olla Eesti kliimatingimuste jaoks sobivad. Riigipõhiste heitetegurite väljatöötamiseks ning korrastamiseks sobivate meetodikate leidmiseks on vajalik läbi viia laialdasem KHG voogude, keskkonningimuste ja taimestiku arengu seire nii jääksoodes kui ka korrastatud aladel. Lisaks on vajalik koostada piisavalt üksikasjalikud aluskaardid, mis võimaldaks täpsustada korrastamist vajavate alade pindala ning KHG inventuuris raporteerida eraldi ka jääksoode ja märgaladena taastatud alade heiteid.

5.1.7 Kokkuvõte

Jääksoode korrastamine võimaldab olulisel määral vähendada nendest tulenevaid KHG heitkoguseid, kuigi töös välja toodud hinnangute puhul tuleb arvestada suure määramatusega. Meetme potentsiaalse mõju täpsemaks hindamiseks ja KHG inventuuris raporteerimiseks on vajalik täpsustada korrastamist vajavate alade pindala ning välja töötada riigispetsiifilised heitetegurid käsitletud turbaalade jaoks.

Antud analüüsi tulemuste järgi võimaldab märgalaks korrastamine oluliselt suuremat KHG heitkoguste vähendamist võrreldes metsastamisega, eriti arvestades pikaajalist kuivenduse mõju turba süsinikuvarule. Metsa majandamise majanduslik eelis väljendub selles, et uuendusraietest saadav tulu katab jääksoo metsastamiseks tehtud kulud. Süsinikuheite vähendamise rahaline väärtus katab märgala taastamiseks tehtud investeeringu juba 2030. aastaks. Metsastamise korral võtab see rohkem aega, kuid ka selle meetme juures katab prognoositav kasu kulud 2040. aastaks. Jääksoo korrastamisel tuleb sobiva alternatiivi valimiseks hinnata selle praegust seisukorda, võimalusi seal looduslikkuse taastamiseks veetaseme tõstmise abil ning ala metsakasvatustlikku potentsiaali.

5.2 Aiandusturbast tulenevate heitkoguste vähendamine (Märgala 2)

Kasvuhoonegaaside arvestusel kasutatava IPPC (2006) meetodika alusel raporteeritakse kõik aiandusturba kaevandamisest ja kasutamisest tekkivad CO₂ heited tootjariigis. Eestis moodustavad aiandusturbaga seotud heitkogused valdava osa majandatavate märgalade summaarsest KHG emissioonist (2019. aastal 88%). Alates 2026. aastast liidetakse majandatavad märgalad LULUCFi määruse raames riiklikku KHG arvestusse: ajavahemiku 2026–2030 summaarset heitkogust võrreldakse baasperioodi (2005–2009) heitega ning vastava tehte tulemusena tekib antud kategoorias kas arvestuslik heitkogus või sidumine.

5.2.1 Analüüsitud stsenaariumid

Kuna Eestis aiandusturba kaevandamise kohta riiklikul tasandil andmeid ei koguta, hinnatakse KHG inventuuris aastaseid aiandusturba kaevandamismahtusid kogu kaevandatud turba ja toodetud küttureturba vahena (andmed Statistikaametist). Alates 1990. aastast on hinnangulised kaevandatud aiandusturba kogused varieerunud vahemikus 61–871 kt aastas. Seejuures on märgata väikest kasvutrendi, kuna madalamad väärtused jäävad 1990ndatesse aastatesse. Aastatevahelised kõikumised kaevandatud turba kogustes on siiski väga suured, kuna turba kaevandamine sõltub otseselt ilmastikutingimustest. Algväärtusena võeti seetõttu aluseks viimase viie raporteeritud aasta (2015–2019) keskmine aiandusturba kaevandamise maht, mis on KHG inventuuris kasutatava meetodika põhjal 655,2 kt. Analüüsi kolme stsenaariumi:

- 1) S1: Keskmine kaevandamismaht jääb samaks;
- 2) S2: Mahu vähendamine tasemeni, mille juures majandatavate märgalade heitkogus ei ületaks perioodi 2005–2009 keskmist ehk võrdlustaset;
- 3) S3: 25% vähendamist võrreldes aastate 2015–2019 keskmisega.

Kõigi stsenaariumite puhul eeldati, et turbatootmisalade pindala ja sellega seotud heitkogused jäävad tulevikus 2019. aasta tasemele (NIR 2021).

Prognoositud aiandusturba kaevandamismahud ning majandatavate märgalade kategoorias tekkivad heitkogused on esitatud tabelis 5.5. Ühe tonni aiandusturba kaevandamine toob hetkel inventuuris kasutatava meetodika järgi kaasa 1,47 t CO₂ emissiooni. Senises mahus aiandusturba kaevandamise jätkumisel tekib LULUCFi määruse kohaselt perioodil 2026–2030 majandatavate märgalade kategoorias arvestuslik heide, keskmiselt 131,6 kt CO₂ ekv aastas. Võrdlustaseme saavutamiseks tuleks kaevandamise mahtusid vähendada 13,7% võrra, keskmiselt 89,7 kt aastas. Veelgi suurem vähendamine tooks kaasa arvestusliku KHG sidumise majandatavatel märgaladel, kuna keskmine aastane heitkogus jääb baasperioodi keskmisest madalamaks.

Tabel 5.5 Prognoositud heitkogused majandatavate märgalade kategooriates vastavalt erinevatele aiandusturba kaevandamismahtudele

Stsenaarium	Aiandusturba keskmine kaevandamise maht, kt/a	Keskmine prognoositud heitkogus majandatavate märgalade kategoorias perioodil 2026–2030, kt CO ₂ ekv/a	Võrdlus baasperioodi (2005–2009) keskmisega*, kt CO ₂ ekv/a
S1	655,2	1100,0	131,6
S2	565,5	968,5	0
S3	491,4	859,8	-108,7

*Positiivne väärtus näitab arvestuslikku heidet ja negatiivne sidumist.

5.2.2 Meetme sotsiaalmajanduslik mõju

Sotsiaalmajandusliku mõju hindamise sisendid olid järgmised:

- 1 tonni CO₂ ekv väärtus 25 eurot ja 50 eurot;
- eksporditud turba hind oli 2015.–2019. aastal ekspordistatistika kohaselt 70–100 eurot/tonn, 1 tonni kaevandatud turba kohta on eksporditud turbatoodete väärtus keskmiselt 95 eurot;
- vähelagunenud turba kaevandamisõiguse tasumäär riigile kuuluvatelt kaevandamisaladelt on 2021. aastal 1,70 eurot/t, 2025. aastaks on kavandatud tasumäära kasv 2,15 euronit/t (RT I, 2016, 26).

Tabel 5.6 Turba kaevandamise mahu vähendamise sotsiaalmajanduslik mõju

Stsenaarium	Kaevandamismahu muutus võrreldes baasperioodiga, kt/a	Eksporditulu muutus, mln €	Heitkoguse väärtus ETS süsteemis*, mln €
S1	0	0	-3,3 – -6,6
S2	-89,7	-8,5	0
S3	-163,8	-12,3	6,0 –12,0

*Ühikuhinnaga 25 ja 50 eurot t CO₂ ekvivalendi kohta.

Kuna 97–99% aianduses kasutatavast turbast eksporditakse, on oluline majanduslik näitaja eksporditud kauba rahaline väärtus. 89,7 kt aiandusturba kaevandamise mahu vähendamisel (S2) väheneb eksporditulu 8,5 mln euro võrra aastas (tabel 5.6). Lisandväärtuse (töötasud ja sellega seotud maksud, ettevõtete kasum, amortisatsioon) osa on selles ligikaudu kolmandik. Riigi ja kohalike omavalitsuste eelarvetesse laekuv kaevandamisõiguse tasu väheneb 0,152–0,193 mln euro võrra. Aastatel 2015–2020 maksti turba kaevandamisõiguse tasu Eestis keskmiselt veidi alla ühe miljoni euro, täpsemalt 981 600 eurot aastas. S2 rakendumisel väheneb kaevandamistasude laekumine võrreldes praeguse tasemega 15–20%. Tööjõukulude osakaal kogukulus on turba kaevandamise ja töötlemisega tegelevates ettevõtetes 17–18%, seega vähenevad tööjõukulud aiandusturba väärtusahelas 0,95–1 mln euro võrra. 2020. aasta keskmise brutopalga kaudu arvatuna väheneb tööhõive turbatööstuse väärtusahelas ca 40 töökoha võrra. Kaevandamismahu vähendamisel seniselt tasemelt 25% võrra (stsenaarium S3) on süsinikusidumise arvestuslik väärtus 6–12 mln eurot, aga see toob kaasa ekspordi vähenemise enam kui 12 mln euro võrra.

Maailmas nähakse vaeva, leidmaks aiandusturbale aseainet, kuid nõudlus turbal põhinevate kasvusegude järele kasvab jätkuvalt. Kuna Eesti sisenõudlus tõenäoliselt olulisel määral ei suurene, jääb turvas ka edaspidiselt peamiselt eksporditoodanguks.

5.2.3 Riskid ja uuringuvajadused

Aiandusturbaga seotud heitkoguste täpsemaks hindamiseks oleks vajalik arendada arvutusmetoodikat, eelkõige võtta kasutusele riigispetsiifiline turba süsinikusisalduse väärtus ja hinnata turbast mulda jääv süsiniku kogus, mis atmosfääri ei lendu. Turba kaevandamise ja kasutamise vähendamiseks on vajalik olemasoleva asjakohaste õigusaktide (Säästva arengu seadus ja Maapõueseadus, määrus nr 87 nimekirjad) ülevaatamine ja muutmine.

5.2.4 Kokkuvõte

Aiandusturba tootmise ja kasutamise seotud CO₂ heitkogused moodustavad valdava osa Eesti KHG inventuuri märgalade maakategooria koguheitest. Aiandusturbaga seotud CO₂ heited vajavad lõplike järelduste tegemiseks veel täiendavat analüüsi. 97–99% Eestis toodetud aianduses kasutatavast turbast eksporditakse ning nõudlus turbal põhinevate kasvusegude järele kasvab jätkuvalt. Seetõttu toob aiandusturba kaevandamismahu vähendamine kaasa ekspordipotentsiaali ja müügitulu kahanemise. Märgalade kategooria võrdlustaseme saavutamisel väheneb eksporditulu 8,5 mln euro võrra aastas.

5.3 Kasutatud kirjandus

- Couwenberg, J., Thiele, A., Tanneberger, F., Augustin, J., Bärtsch, S., Dubovik, D., Liashchynskaya, N., Michaelis, D., Minke, M., Skuratovich, A., & Joosten, H. (2011). Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy. *Hydrobiologia* 674, 67–89.
- Espenberg, S., Kuhi-Thalfeldt, R., Lahtvee, V., Jüssi, M., Moora, H., Laht, J., Mander, Ü., Salm, J.-O., Parts, K. (2013). Eesti võimalused liikumaks konkurentsivõimelise madala süsinikuga majanduse suunas aastaks 2050. Lõppraport. Tartu Ülikool RAKE, SA SEI Tallinn, SA Eestimaa Looduse Fond. https://www.envir.ee/sites/default/files/lopprawort_2050.pdf
- Haberl, A., Peters, J., Salm, J.-O., Wichtmann, W. (2019). Teostatavusuuring. Märgalaviljeluse rakendamine Baltimaades. <https://media.voog.com/0000/0037/1265/files/Feasibility%20study%20EE%202020%2003.2020.pdf>
- Heinsoo, K., Sild, E., Koppel, A. (2001). Pajuistandused energiaallikana ja vegetatsioonifiltrina. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Tartu.
- Heinsoo, K., Melts, I. (2018). Eestis taastatud veerežiimiga turvasmuldadele soovitatud taimsed monokultuurid. Ekspert hinnang. http://media.voog.com/0000/0037/1265/files/Ekspert_hinnang_vahearuanne%20KHeinsoo%20IMelts%2022.10.2018-1.pdf
- Heinsoo, K., Melts, I. (2019). Märgalaviljeluseks sobivad kultuurid Eestis. Ekspert hinnang Eestimaa Looduse Fondi tellimusel. http://media.voog.com/0000/0037/1265/files/Heinsoo_Melts2019_Lisa3.pdf
- IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. [Eggelston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K (toim)]. IGES, Hayama.
- IPCC (2014). 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., Troxler, T.G. (toim). IPCC, Šveits.
- Järveoja, J. (2015). Fluxes of the greenhouse gases CO₂, CH₄ and N₂O from abandoned peat extraction areas: Impact of bioenergy crop cultivation and peatland restoration (Kasvuhoonegaaside CO₂, CH₄ ja N₂O vood päiderooga rekultiveeritud ja turbasambлага taastatud jääkturbasoodest). Tartu Ülikool, Loodus- ja tehnoloogiateaduskond, Tartu Ülikooli Ökoloogia- ja Maateaduste Instituut, Geograafia osakond.
- Järveoja, J., Peichl, M., Maddison, M., Soosaar, K., Vellak, K., Karofeld, E., Teemusk, A., Mander, Ü. (2016). Impact of water table level on annual carbon and greenhouse gas balances of a restored peat extraction area. *Biogeosciences* 13, 2637–2651.
- Kaimre, P. (2019). Puistute kasvatamise tasuvus jääksoos. Ekspert hinnang. https://media.voog.com/0000/0037/1265/files/PKaimre2019_Lisa4.pdf

- Karki, S., Elsgaard, L., Audet, J., Lærke, P. E. (2014). Mitigation of greenhouse gas emissions from reed canary grass in paludiculture: Effect of groundwater level. *Plant and Soil* 383, 217–230.
- Lazdiņš, A., Lupiķis, A. (2019). LIFE REstore project contribution to the greenhouse gas emission accounts in Latvia. – Priede A., Gancone A. (toim.) Sustainable and responsible afteruse of peat extraction areas. *Baltijas Krasti*, Rīga, 21–52.
- Martens, M., Karlsson, N.P.E, Ehde, P.M., Mattsson, M., Weisner, S.E.B. (2021). The greenhouse gas emission effects of rewetting drained peatlands and growing wetland plants for biogas fuel production. *Journal of Environmental Management* 277, 111391.
- Mäkiranta, P., Hytönen, J., Aro, L., Maljanen, M., Pihlatie, M., Potila, H. Shurpali, N.J., Laine, J., Lohila, A., Martikainen, P.J., Minkkinen, K. (2007). Soil greenhouse gas emissions from afforested organic soil croplands and cutaway peatlands. *Boreal Environment Research* 12, 159–174.
- NIR (2021). Greenhouse Gas Emissions in Estonia 1990–2019. National Inventory Report.
- Ojanen, P., Minkkinen, K., Alm, J., Penttilä, T. (2010). Soil–atmosphere CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 260, 411–421.
- Ojanen, P., Minkkinen, K., Penttilä, T. (2013). The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands. *Forest Ecology and Management* 289, 201–208.
- Ojanen, P., Minkkinen, K. (2019). The dependence of net soil CO₂ emissions on water table depth in boreal peatlands drained for forestry. *Mires and Peat* 24, 27.
- Ots, K. (2018). Eksperthinnang erinevate puuliikide kasvatamiseks ennistatud veerežiimiga turbaaladel Eesti ja Läti tingimustes. <http://media.voog.com/0000/0037/1265/files/KOts%20Eksperthinnang.pdf>
- Paal, J, Lode E., Triisberg, T. (2011). Jääksoo ja turba jääklasund. – Paal, J. (koost.) Jääksood, nende kasutamine ja korrastamine. Eesti Turbaliit, Tartu, lk 41–45.
- Piirimäe, K. (2019). Märgalaviljelus Eestis. GIS analüüs. <https://media.voog.com/0000/0037/1265/files/GIS%20Anal%C3%BC%C3%BCs%20Lisa%201-1.pdf>
- Pikk, J. (2011). Metsastamine. – Paal, J. (koost.) Jääksood, nende kasutamine ja korrastamine. Eesti Turbaliit, Tartu, lk 69–81.
- Purre, A.-H., Ilomets, M. (2021). Time since rewetting defines vegetation composition and carbon dioxide fluxes on former milled peatlands – comparison with undisturbed bogs. *Research Square*, Preprint. Version 1, 25. märts 2021. doi: 10.21203/rs.3.rs-323253/v1
- Purre, A.-H., Pajula, R., Ilomets, M. (2019). Carbon dioxide sink function in restored milled peatlands – The significance of weather and vegetation. *Geoderma* 346: 30–42.
- Ramst, R., Orru, M., Halliste, L. (2005). Eesti mahajäetud turbatootmisalade revisjon. 1. etapp: Harju, Rapla ja Lääne maakond. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Ramst, R., Orru, M., Salo, V., Halliste, L. (2006). Eesti mahajäetud turbatootmisalade revisjon. 2. etapp: Ida-Viru, Lääne-Viru, Jõgeva, Järva ja Tartu maakond. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Ramst, R., Orru, M., Salo, V., Halliste, L. (2007). Eesti mahajäetud turbatootmisalade revisjon. 3. etapp: Viljandi, Pärnu, Saare, Hiiu maakond. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Ramst, R., Salo, V., Halliste, L. (2008). Eesti mahajäetud turbatootmisalade revisjon. 4. etapp: Valga, Võru ja Põlva maakond. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Riigile kuuluva maavara kaevandamisõiguse tasumäärad. Vabariigi Valitsuse määrus, jõustu-nud 12.07.2016. Riigi Teataja I, 2016, 26. <https://www.riigiteataja.ee/akt/109072016026>

- Salm, J.O., Sell, I. (2015). Turba kaevandamine. – Suškevičs, M. (koost.) Kliimamuutuste mõjuanalüüs, kohanemisstrateegia ja rakenduskava looduskeskkonna ja biomajanduse teemavaldkondades. Projekti BioClim lõpparuanne (alusuuring). Eesti Maaülikool, Tartu Ülikool, Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskus, Eestimaa Looduse Fond, Islandi Põllumajandusülikool. Tartu, lk 546–592. https://www.kik.ee/sites/default/files/uuringud/bioclim_a_lopparuanne_19.01.16.pdf
- Salm, J-O., Maddison, M., Tammik, S., Soosaar, K., Truu, J., Mander, Ü. (2012). Emissions of CO₂, CH₄ and N₂O from undisturbed, drained and mined peatlands in Estonia. *Hydrobiologia* 692, 41–55.
- Silvan, N., & Hytönen, J. 2016. Impact of ash-fertilization and soil preparation on soil respiration and vegetation colonization on cutaway peatlands. *American Journal of Climate Change*, 5, 178–192.
- Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Morozov, G., Karoles, K. (2017). Ecosystems carbon budgets of differently aged downy birch stands growing on welldrained peatlands. *Forest Ecology and Management* 399, 82–93.
- Wichtmann, W. Schröder, C.& Joosten, H. (toim) (2016). *Paludiculture – productive use of wet peatlands*. Stuttgart: Schweizerbart Science Publisher.
- Wilson, D., Blain, D., Couwenberg, J., Evans, C.D., Murdiyarso, D., Page, S.E., Renou-Wilson, F., Rieley, J.O., Sirin, A., Strack, M., Tuittila, E.-S. (2016). Greenhouse gas emission factors associated with rewetting of organic soils. *Mires and Peat* 17, 1–28.

6. Asendusefekt

6.1 Asendusefekti mõju hindamine

Metsa- ja kliimapolitiika otsuste tegemisel ning biomajanduse suunamisel on tähtsal kohal kasvuhoonegaaside (KHG) sidumise ning nende seotuna hoidmise aspekt. Mets seob atmosfäärist fotosünteesi teel süsinikku ja ladestab seda biomassi ja mulda. Kui metsas toimub raie, siis osa puidus olevast süsinikust seotakse toodetesse, teine osa kasutatakse energia tootmiseks ja kolmas osa jääb jäätmetena metsa. Kui metsa panus süsiniku siduja ja hoidjana on teada, siis puittoodete kogupanust on vähem teadvustatud. Puittoodete panus jaguneb kaheks: 1) otseselt toodetes seotud kasvuhoonegaasid, 2) fossiilsete toodete asendamine ja heite vähendamine teistes sektorites ehk asendusefekt. Asendusefekti hindamisel kasutatav asendusfaktor hindab, kui palju KHG heidet välditakse, kui puidust tooteid kasutatakse sama funktsiooni täitvate fossiilsete toodete asemel.

UNFCCC kliimaaruandlus asendusefekti otseselt ei hõlma. Kui asendusefekti panus kliimamuutuste leevendajana on üldteada, siis selle ühtne hindamine on keeruline ja seepärast ka kokku leppimata (mõju on kliimaaruandluse sektorite ülene). Metsasektori panuse hindamisel kliimamuutuste leevendajana on aga olulise tähtsusega just asendusefekt. Kõik muutused süsiniku talletajates on ajutised, kuna majandamisvõtete samaks jäämisel süsiniku varu lõpuks stabiliseerub (Zubizarreta-Gerendiain jt, 2016). Kliimaeesmärkide saavutamisel on oluline tõsta süsiniku koguhulka, mis on seotud metsa biomassi, metsa mulda ja puittoodetesse, kuid pikas perspektiivis on sellel piirid. Samal ajal on asendusefektist tulenev mõju pidev. Asendusefekt võimendub järjepidevalt, süsinikku saab puitu taas siduda ning sama süsinikukogus jääb ringlema, st puidukasutuse „võit“ võimendub ajas. Kuna ennustatakse puidukasutuse suurenemist, siis kasvab ka asendusefekti kliimaaruandlusse kaasamise vajadus.

Selleks, et hinnata toodete elutsükli mõju keskkonnale, on koostatud vastav meetodika (*Life Cycle Assessment, LCA*). Meetod on struktuurne, laiaulatuslik ja standardiseeritud ning haarab kogu elutsükli toormaterjali varumisest (raie, kaevandamine jmt) kuni jäätmekäitluseni (Giuntoli jt, 2019).

Euroopa Komisjoni Teadusuuringute Ühiskeskuse (JRC) ülevaates (Grassi jt, 2021) on öeldud, et vajalik on süsteemne ja terviklik vaade – oluline on komplekselt hinnata süsiniku sidumist metsa ja puittoodetesse ning samal ajal arvestada ka asendusefektiga. Raie vähendamine näib lihtsa lahendusena metsade sidumisvõime suurendamiseks lühikeses perspektiivis, kuid sellega kaasnevad negatiivsed sotsiaalmajanduslikud mõjud ning see viib ka pikemas perspektiivis küllastumiseni. Kasvab ka oluliselt oht looduslike häiringute tekkeks (tulekahjud, tuuleheide, üraskid), mis toovad kaasa süsiniku heite (Pilli jt, 2016). Kindermann jt (2013) on võrrelnud majandamisstrateegiaid, kus maksimeeritakse juurdekasvu või tagavara EL tasemel: nende hinnangul on pikaajalises vaates kasulik maksimeerida juurdekasvu. Kui raiete ja puidukasutuse vähenemisel toimub vastupidine asendus, kus puittoodet asendatakse fossiilsete materjalidega, suureneb heide oluliselt (Rüther jt, 2016). Raiemahu liigne kasv viiks küll suurema sidumiseni puittoodetes, millega kaasneks ka suurem asendusefekti mõju, samas ei kompenseeriks see väiksemat süsiniku sidumist metsades (Soimakallio jt, 2021). Jätkusuutlike majandamisotsustega on võimalik kasvatada metsade netojuurdekasvu ning sellega ka puittoodete ja asendusefekti osa sidumisvõime suurendamisel.

Asendusefekti mõjus on ka kahtlejaid. Näiteks Leturcq (2020) leiab, et puidu kasutamist ei tohiks õigustada kliimamuutuste leevendamiseks, vaid puidu kasutus on lihtsalt vastus tehnilistele, majanduslikele, sotsiaalsetele või ühiskondlikele vajadustele.

Eesmärk ei peaks olema asendusefektist tuleva kasu maksimeerimine, vaid KHG heite vähendamine. Komplekssel asendusefekti arvestaval KHG heite hindamisel tuleb leida kompromiss lühi- ja pikaajaliste eesmärkide vahel. Gustavsson jt (2021) leiavad, et pikaajalisi KHG heite vähendamise eesmärke aitab paremini täita aktiivne metsandus. Põhiküsimus on, kas aktiivne majandamine, suur raiemaht ja efektiivne tootmine annab suurema efekti kui raie vähendamine (Gustavsson jt, 2017). Teatud hetkest ei kompenseeri asendusefekt enam metsa majandamisest tulevat heidet (Seppälä jt, 2019; Lin, Ge 2020), ka puittoodetes seotud süsiniku hulk ei saa lõputult kasvada (Pilli jt, 2015). Asendusefekti tuleviku mõju sõltub oluliselt eeldustest, mis tehakse fossiilsete kütuste kasutuse kohta. Kui väheneb fossiilsete kütuste kasutus, siis väheneb ka asendusefekti mõju (Böttcher jt, 2021; Brunet-Navarro jt, 2021).

Maksimeerida tuleks talletatud süsiniku hulka metsas ja puittoodetes, arvestades samal ajal ka asendusefektiga. Oliver jt (2014) on soovitanud subsideerida nii metsaomanikku CO₂ hoiustamisel metsas kui ka ehitussektorit puitehitiste rajamisel, mille tulemusena kasvab puidu hind ning see omakorda motiveerib metsaomanikku hoidma nii süsinikku seotuna kui ka kasvatama kvaliteetset puitu.

Ühtset hinnangut ja ka lähenemist asendusefekti hindamiseks maailmas ei ole. Mõjuhinnangud erinevad kordades. Kui näiteks 2019. aastal sidusid Euroopa Liidu (EL27 + ÜK) metsad 358 Mt CO₂, millele lisandus puittoodetes seotud kogus 41 Mt CO₂, siis hinnangud asendusefekti mõjule jäävad vahemikku 40–400 Mt CO₂ (Grassi jt, 2021; Holmgren, 2020).

Suure erinevuse põhjuseid on palju. Üldistatuna saab öelda, et põhilised erinevused esinevad nn süsteemi piiride hindamisel, mille tulemusena erinevad hinnangud nii puitsete kui ka fossiilsete toodete eluea heitele (Geng jt, 2017). Erinevused tulenevad nii detailsuse astmest kui ka sellest, kui võrd laiahaardeliselt toote heidet hinnatakse. Arvestada on vaja nii toodete tootmist, transporti, eluiga, kasutust kui ka jäätmeäitlust/taaskasutust. Erinevused tulenevad sellest, kui komplekselt iga eelnimetatud punkti vaadelda suudetakse. Enamik rahvusvahelisi mudeleid põhinevad mingitel kokkulepitud eeldustel ja suure määramatusega sisenditel ning seetõttu nõrgeneb asendusefekti sisu (Brunet-Navarro jt, 2016). Kokkulepitud eeldused põhinevad tavaliselt mingite tingimuste külmutamisel (muutus raiemahus ei muuda turgu) või arvestatakse hoopis lihtsa lineaarse muutumisega (raiemahu muutumise % muudab samavõrra tootmismahet). Sellised eeldused suurendavad hinnangu määramatust (Howard jt, 2021).

Samuti on küsimus selles, kui võrd laialt tuleks toote heite arvestamisel hinnata tegevusvaldkonna heidet või ka selle võimalikku asendamist. Näiteks tuleb kaaluda, et kui puidu kättesaadavus väheneb, siis millise tööstusharuga puidutööstus asendatakse, st vajalik on ka majanduslike mõjudega arvestamine (Bösch jt, 2019). Majanduslike mõjude ja kuludega tuleks arvestada ka siis, kui tahetakse majandustegevust ümber suunata väiksema keskkonnamõjuga tegevuse suunas (Bösch jt, 2017). Võimalik on ka vastupidine asendamine, kus puitne toode asendub fossiilse tootega. Tööstus areneb kiiresti ning turule võib tulla tooteid, millel fossiilset analoogi polegi. Küsimuseks jääb, kas ja kuidas nende toodete mõju hinnata. Kindlasti tuleks arvestada ka puidu päritolu, sest kohalikul ja imporditud puidust tootel on erinev asendusefekt (Kayo jt, 2014). Mida komplekssemalt mõju hinnatakse, seda sisulisem tulemus saadakse. Samas on laiema hinnangu andmisel võimalus suuremal määral eksida.

Hinnangute kümnekordse erinevuse põhjus ei ole mitte eelnimetatud, tihti kättesaadavate andmete kvaliteedile taandatavad põhjused – suuremaid erinevusi põhjustab küsimus, kas arvestada tuleks vaid täiendavat asendust või saab arvestada ka juba olemasolevat tootmist. Kahe variandi vahel ei ole tegelikult põhimõttelist vastuolu – olenevalt hinnangute edasistest kasutusest võivad mõlemad õiged olla.

6.1.1 Asendusfaktorid

Asendusefekti mõju hindamiseks leitakse asendusfaktorid (*substitution factor*), mille üldtunnustatud valem (Sathre, O’Connor, 2010) on:

$$SF = \frac{GHG_{non-wood} - GHG_{wood}}{WU_{wood} - WU_{non-wood}}$$

$GHG_{non-wood}$ ja GHG_{wood} on kasvuhoonegaaside emissioonid puitsetel ja mittepuitsetel alternatiividel. WU_{wood} ja $WU_{non-wood}$ on kasutatud puidu kogus puitsetel ja mittepuitsetel alternatiividel. Asendusefekt on ühikuta suhtarv, kõik valemi sisendid on teisendatud süsiniku ekvivalendiks.

Asendusfaktor peaks kaasama kõiki olulisi fossiilseid heiteid nii puitsetest kui ka mittepuitsetest toodetest, sisaldades heidet kaevandamisest, raiest, esmasest transpordist, tööstusest, teisest transpordist, kasutusest, hooldusest, taaskasutusest ja jäätmekäitlusest. Enamasti on teaduskirjanduses esitatud käsitlustes mõnes osas tehtud üldistusi või midagi üldse välja jäetud. Kui kõiki neid staadiume ei arvestata, siis tuleks need selgelt välja tuua (Leskinen jt, 2018).

Asendusfaktorid leitakse võimalikult paljude erinevate toodete kohta. Mida detailsem jaotus tehakse, seda sisulisem tulemus saadakse. Euroopa metsainstituudi koostatud raportis (Leskinen jt, 2018) on teaduskirjanduse põhjal hinnatud erinevaid asendusfaktoreid. 95% faktoritest jäi see -0,7 ja 5,1 vahele. Raport hindab keskmiseks asendusfaktoriks 1,2. See tähendab, et iga süsiniku kg kohta puitse tootes, mis asendab fossiilset toodet, vähendatakse heidet 1,2 kg. Euroopa Komisjoni Teadusuuringute Ühiskeskuse (JRC) ülevaates (Grassi jt, 2021) hinnatakse, et kõikide toodete peale keskmistatud asendusfaktor on vahemikus 1,1–2,1. Kui vaadelda asendusfaktorit puuliigiti, siis Soome näitel (Poljatschenko, 2019) on oodatavalt suurem asendusfaktor okaspuudel.

Tabel 6.1. Keskmised asendusfaktori hinnangud teaduskirjanduse põhjal (Grassi jt, 2021)

Allikas	Aasta	Asendusfaktor	Asendusfaktori detailsem jaotus
Rüther jt, Sathre, O’Connor 2010 põhjal	2016	2,1	–
Seppälä jt	2019	1,1	–
Leskinen jt	2018	1,2	1,3 konstruktsioonelemendid
			1,6 mittestruktuursed konstruktsioonelemendid
			2,8 tekstiilid
			1–1,5 muu (kemikaalid, mööbel, pakend)
Knauf jt	2015	1,5	1,30–2,40 konstruktsioonelemendid
			1,10–1,62 mittestruktuursed konstruktsioonelemendid
			1,66–1,62 mööbel
			1,35–1,62 muu

Asendusfaktor on ajas ja asukohas muutuv ehk dünaamiline näitaja, st kui muutub koht või tootmisprotsessid, siis muutub ka faktor. Samuti on soodne mõju toote kestvuse pikenedes (Skoq, 2008). Asendusfaktori võib eraldi arvutada elutsükli erinevate staadiumite kohta, sealjuures on oluline positiivne mõju jääkide kasutamisel energeetikas. Kui vaadelda asendusfaktorit piki ajatelge, siis saab eristada tootmist, transporti, kasutust, taaskasutust ja jäätmekäitlust (Leskinen jt, 2018). Tavaliselt on asendusfaktor suurem tootmise, transpordi ja jäätmekäitluse faasis. Puittoodete tootmiseks kulutatakse vähem energiat kui alternatiivsete toodete tootmiseks ning väga tihti on võimalus kasutada ka energiat, mis tekib tootmisprotsessi jääkide ärakasutusel (Rüter jt, 2016). Transpordifaasis saavad puittooted eelise kaalu arvelt, kuid samuti tuleneb võit lühematest vahemaadest (eriti metsarikastes riikides). Pikemate vahemaade puhul võib see aga oluliselt vähendada fossiilsete materjalide asendamisest saadavat kasu (Ingerson 2011). Faktori täpsust tõstab oluliselt riigi kohta käivate väliskaubandusandmete kasutamine (Werner jt, 2013). Kasutusfaasi võrdluses on oluline sisend toote eluiga, näiteks pikemaajase süsiniku sidumine konstruktsioonelementidesse (Geng jt, 2019). Toote elutsükli lõppfaasis on puittoodetel tihti veel energeetiline väärtus, mida tuleks eelistada prügilatesse ladustamise asemel (Verkerk jt, 2020). See ei ole siiski ainuvõimalik lahendus – puidu kasutusaega on võimalik pikendada nn kaskaadidena. Näiteks on jäätmetest võimalik toota puitlaastplaati, mis pikendab aega, mil süsinik on seotud (Bates jt, 2017). Varasemalt toimus arvestataval määral ka jäätmete ladustamine jäätmehooldlatesse, näiteks paberi ja papi ladustamisega kaasneb metaani heide (Chen jt, 2018).

Euroopa metsainstituudi koostatud raportis (Leskinen jt, 2018) saadi ehitussektori struktuurielementide keskmiseks asendusfaktoriks 1,3, mittestruktuursete elementide asendusfaktoriks hinnati 1,6. Toodete eelis tuleb välja eelkõige transpordi- ja tootmisfaasis. Toote elutsükli lõppfaasis on puitseid tooteid lihtne kasutada energia tootmisel, samas metalle ja sulameid saab taaskasutada, mis vähendab puitsete toodete eelist. Jäätmekäitluse ja taaskasutuse faasis on puidul suurem eelis aga tsemendi, betooni ja keraamiliste materjalide ees.

Kõrgeks (2,8) hinnati puidu asendusefekti tekstiilitootmises. Puidul põhineva viskoosi, lüotselli ja modali heidet hinnati oluliselt väiksemaks puuvilla või sünteetilise kiu omast.

Puidukasutuse oluline osa on paberi ja papi tootmine. Samas on keeruline arvestada nende toodete asendusefekti. Päril otsest alternatiivi olemas ei ole, näiteks kirjapaberi puhul on heidet võrreldud digitaalse heitega, kuid päril võrreldavad need siiski ei ole. Ka pakkepaberile ja papile pole alati otsest alternatiivi. Seepärast on ka tselluloosi ja paberitööstuste toodete asendusefekti hindamine keeruline (Leskinen jt, 2018). Ka teadustöodes on pabertoodetele lähenetud erinevalt, näiteks Chen jt (2018) sellele tootegrupile asendusefekti juurde ei arvesta.

Arvestades puidukasutust biomajanduse kontekstis, on oodata naftakeemia asemel paljude uute puidul põhinevate biokeemia toodete teket. Selliste toodete asendusefekti pole veel hinnatud. Oluline on asjaolu, et nende toodete teke ei pruugi tähendada raiemahu kasvu. Puidutööstustes on kvaliteetseid jääke, mida seni on kasutatud energeetiliselt otstarbel ning vähenemas on paberipuidu vajadus kirjutuspaberi tootmiseks.

Leskineni jt (2018) raportis tõdetakse siiski teadustöodes avaldatud faktorite suurt varieeruvust. Tihti on tehtud eeldusi või lihtsustusi, mis muudab tööde võrdlemise keerukaks. Üks erinevuste põhjuseid on tööstustes kõrvalsaadusena saadava energia arvestamine. Erinevates puidutööstlustevõtetes tekib peaaegu alati ka jääke, tihti kasutatakse neid jääked energia tootmiseks, seda nii oma tarbeks ja kui ka müügiks. Erinevates töödes esineb erinevusi energiast

tuleneva asendusefekti arvutamisel, näiteks ei ole Seppälä jt (2019) arvestanud oma tarbeks kasutatava energia asendusefektiga.

Juba praegu on asendusefektist saadud kasu väga suur. On tõenäoline, et kui puitu ei oleks käepärast olnud, siis oleks selle asemel kasutatud muid materjale, mille süsinikuheide oleks olnud suurem. Siiski ei saa olukorraga rahule jääda, vaid tuleks keskenduda täiendavatele puidukasutuse võimalustele. Tihti ei olegi küsimus, kas kasutada puitu või teisi materjale, vaid nende optimaalse kombinatsiooni leidmine (Leskinen jt, 2018).

6.1.2 Asendusefekti mõju

Kliimaaruandlus asendusefekti otseselt ei hõlma. Eeldades ülemaailmset ühtset raporteerimist, peaks mõju olema kaudselt arvestatud teistes sektorites, näiteks väiksemad heited terase, plastiku või tsemendi tootmises. Selle tulemusena käsitletakse tihti juba olemasolevat tootmist ilma asendusefekti mõjuta olevaks, kuna ei toimu täiendavat asendamist (Grassi jt, 2021). Selline lähenemisviis peab olemasolevat asendamist juba ette enesestmõistetavaks ega võimalda välja tuua metsasektori kogumõju kliimamuutuste vähendamisse. Arvestades puittoodete panust ainult praeguse kliimaaruandluse ja LULUCFi reeglitest lähtuvalt, jääb tähelepanuta nende tegelik panus kliimamuutuste leevendamisel.

Ülemaailmselt kõiki sektoreid koos vaadata ei ole vale. Küll aga ei saa puittoodete kasulikkude mõju jaotada riikidele. Metsariikid ja metsandusse panustavad riigid kasutavad ja toodavad vähem fossiilseid tooteid, aga nende panust arvestatakse vaid osaliselt. Lisaks ei ole riikidevahelise aruandluse kvaliteet ühtse tasemega. Probleem on ka „süsiniku leketes“ (*carbon leaking*), st „heited viiakse“ riikidesse, kus on leebem kliimapoliitika (Pan jt, 2020). Täiendav puiduvajadus ELs suurendab küll siinset kasu asendusefektist, kuid vähendab süsiniku seotust puittoodetes päritoluriikides (Jonsson jt, 2021). Lisaks tuleb arvestada, et kliimaaruandluses on lubatud erinevad meetodid puittoodetes seotud süsiniku hindamisel, lihtne võrdlus ei ole võimalik (Sato ja Nojiri, 2019).

Kui eesmärged seatakse sektoritest lähtuvalt ja kuna puittoodete panus jaguneb erinevate sektorite vahel, siis võib juhtuda, et otsuste tegemisel jääb metsanduse ja puittoodete kogu panus arvestamata. Sel juhul püstitatakse eesmärk sektorist lähtuvalt, arvestamata ülemaailmset mõju.

Metsasektori kogumõju on uurinud Peter Holmgren (2020). Uuringus leiti, et metsasektor hoidis 2018. aastal Euroopa Liidus (EL27 + 3) ära fossiilsetel materjalidel põhinevaid heiteid koguses 410 Mt CO₂ ekv/a (sh puittooted 323 Mt CO₂ ekv/a ja puiduenergia 87 Mt CO₂ ekv/a). Uuringus anti hinnang ka metsasektori enda põhjustatud fossiilsele heitele, mis hinnati 2018. aastal kohta 51 Mt CO₂ ekv/a.

Kui Eesti andmetele kohandatult ligilähedaselt sama metoodikat rakendada Eesti puidust toodetud puittoodetele ja energiale, siis hinnanguna võime öelda, et 2019. aastal hoidsid Eestis toodetud puittooted ja Eestis kasutatud puiduenergia ära fossiilsetel materjalidel põhinevaid heiteid ca 4,8 Mt CO₂ ekv/a (sh puittooted 2,9 Mt CO₂ ekv/a ja puiduenergia 1,8 Mt CO₂ ekv/a). Kui lisada arvestusse ka eksporditavad pelletid, siis on tulemus 6,3 Mt CO₂ ekv/a.

Kuna eesmärk peaks olema kogu KHG heite vähendamine, siis tuleks asendusefektist tulenev mõju lisada erinevatele majandus- ja puidukasutusenaariumitele. Kahjuks ei saa seda hinnangut otse LULUCFi sektorile lisada, kuna sektorite piirid on erinevad. Probleemiks on see, et kliimaaruandluse numbrite jälgimisel jääb asendusefekti mõju teadvustamata.

6.1.3 Kokkuvõte

Puidust kui taastuvast loodusvarast saadud materjali on võimalik kasutada suure süsiniku jalajäljega materjalide (nt betoon, metall) ja kütuste asemel, mille tagajärjel lisandub ringesse vähem täiendavat süsinikku. Kliiamaesmärkide saavutamisel on oluline tõsta süsiniku koguhulka, mis on seotud metsa biomassi ja puittoodetesse, ning samal ajal arvestada ka asendusefektiga. Asendusefekt võimendub astmeliselt, süsinikku saab puitu taas siduda ning sama süsinikukogus jääb ringlema, st puidukasutuse „võit“ võimendub ajas.

Ühtset lähenemist asendusefekti hindamiseks maailmas ei ole. Mõju hinnangud erinevad kordades. Kui näiteks 2019. aastal sidusid Euroopa Liidu (EL27 + ÜK) metsad 358 Mt CO₂, millele lisandus 41 Mt CO₂ puittoodetesse seotud kogus, siis hinnangud asendusefekti mõjule jäävad vahemikku 40–400 Mt CO₂ aastas. Suure erinevuse põhjus on erinev lähenemine küsimusele, kas arvestada ainult täiendavat asendamist või saab arvestada ka juba olemasolevat tootmist. Väiksemad erinevused tulenevad süsteemi piiride erinevast käsitlusest: kas arvestatakse toote elueaga, toote päritolu- ja kasutuspiirkonnaga või tegevusvaldkonnaga seotud heidet. Mida komplekssemalt mõju hinnatakse, seda sisulisem tulemus saadakse. Asendusefekti hindamisel tuleks arvestada materjalide kogu eluea heidet (sh tootmine, transport, taaskasutus ja jäätmekäitlus) ning asenduse mõlemasuunalist mõju, ehk kui otsustada kasutada vähem puitu, siis hinnata, millega see asendatakse.

Asendusefekti mõju ei saa hetkel kliimaaruandlusesse lisada kuna sektorite piirid on erinevad ning puudub kokkulepe asendusefekti arvestamise meetodika osas. Kliimaaruandluse jälgimisel jääb asendusefekti mõju teadvustamata.

6.1.4 Kasutatud kirjandus

- Bates, L., Jones, B., Marland, E., Marland, G., Ruseva, T., Kowalczyk, T., Hoyle, J. (2017). Accounting for harvested wood products in a forest offset program: Lessons from California. *Journal of Forest Economics* 27, 50–59.
- Brunet-Navarro, P., Jochheim, H., Muys, B. (2016). Modelling carbon stocks and fluxes in the wood product sector: a comparative review. *Global Change Biology*, 22, 2555–2569. <https://doi.org/10.1111/gcb.13235>
- Brunet-Navarro, P., Jochheim, H., Cardellini, G., Richter, K., Muys, B. (2021). Climate mitigation by energy and material substitution of wood products has an expiry date, *Journal of Cleaner Production*, Volume 303, 127026, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127026>.
- Bösch, M., Elsasser, P., Rock, J., Rüter, S., Weimar, H., Dieter, M. (2017). Costs and carbon sequestration potential of alternative forest management measures in Germany. *Forest Policy and Economics*. 78. 88-97. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.01.005>
- Bösch, M., Elsasser, P., Rock, J., Weimar, H., Dieter, M. (2019). Extent and costs of forest-based climate change mitigation in Germany: accounting for substitution. *Carbon Management*, 10, 127–134. <https://doi.org/10.1080/17583004.2018.1560194>
- Böttcher, H., Reise, J., Hennenberg, K. (2021). Exploratory Analysis of an EU Sink and Restoration Target. *Oeko-Institut e.V.*
- Chen, J., Ter-Mikaelian, M.T., Yang, H., Colombo, S.J. (2018). Assessing the greenhouse gas effects of harvested wood products manufactured from managed forests in Canada. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 91, 193–205. <https://doi:10.1093/forestry/cpx056>

- Geng, A., Yang, H., Chen, J., Hong, Y. (2017). Review of carbon storage function of harvested wood products and the potential of wood substitution in greenhouse gas mitigation. *Forest Policy and Economics*, 85, 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.08.007>
- Giuntoli, J., Bulgheroni, C., Marelli, L., Sala, S., Pant, R. (2019). Brief on the use of Life Cycle Assessment (LCA) to evaluate environmental impacts of the bioeconomy. Lusser, M. and Avraamides, M. editor(s), Publications Office of the European Union, Luxembourg, JRC109817.
- Grassi, G., Fiorese, G., Pilli, R., Jonsson, K., Blujdea, V., Korosuo, A. and Vizzarri, M., (2021). Brief on the role of the forest-based bioeconomy in mitigating climate change through carbon storage and material substitution, Sanchez Lopez, J., Jasinevičius, G. and Avraamides, M. editor(s), European Commission, JRC124374.
- Gustavsson, L., Haus, S., Lundblad, M., Lundström, A., Ortiz, C., Sathre, R., Truong, N., Wikberg, P-E. (2017). Climate change effects of forestry and substitution of carbon-intensiv materials and fossil fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 612–624. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.056>
- Gustavsson, L., Truong, N.L., Sathre, R., Tettey, U.Y.A. (2021). Climate effects of forestry and substitution of concrete buildings and fossil energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 136. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110435>.
- Holmgren, P. (2020). Climate effects of the forest-based sector in the European Union. FutureVistas AB. https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2020/07/Cepi_-study.pdf
- Howard, C., Dymond, C.C., Griess, V.C., Tolkien-Spurr, D., Cornelis van Kooten, G. (2021). Wood product carbon substitution benefits: a critical review of assumptions. *Carbon Balance Manage* 16, 9. <https://doi.org/10.1186/s13021-021-00171-w>
- Ingerson, A. (2011). Carbon storage potential of harvested wood: Summary and policy implications. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 16. 307-323.
- Jonsson, R., Rinaldi, F., Pilli, R., Fiorese, G., Hurmekoski, E., Cazzaniga, N., Robert, N., Camia, A. (2021). Boosting the EU forest-based bioeconomy: Market, climate, and employment impacts, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 163, 120478, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120478>
- Kayo, C., Tsunetsugu, Y., Noda, H., Tonosaki, M. (2014). Carbon balance assessments of harvested wood products in Japan taking account of inter-regional flows. *Environmental Science & Policy*, 37, 215–226. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.09.006>
- Kindermann, G.E., Schörghuber, S., Linkosalo, T., Sanches, A., Rammer, W., Seidl, R., Lexer, M.J. (2013). Potential stocks and increments of woody biomass in the European Union under different management and climate scenarios. *Carbon Balance Manage* 8, 2. <https://doi.org/10.1186/1750-0680-8-2>
- Knauf, M., Köhl, M., Mues, V., Olschofsky, K., Frühwald, A. (2015). Modeling the CO₂-effects of forest management and wood usage on a regional basis. *Carbon Balance and Management*, 10: 13. <https://doi.org/10.1186/s13021-015-0024-7>. PMID: 26097501; PMCID: PMC4464641.
- Leskinen, P., Cardellini, G., S, González-García., Hurmekoski, E., Sathre R., Seppälä, J., Smyth, C., Stern, T., Verkerk, P, J. (2018). Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. From science to policy 7. European Forest Institute. https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2019/efi_fstp_7_2018.pdf
- Leturcq, P. (2020). GHG displacement factors of harvested wood products: the myth of substitution. *Scientific Reports*, 10, 20752. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77527-8>

- Lin, B., Ge, J. (2020). To harvest or not to harvest? Forest management as a trade-off between bioenergy production and carbon sink. *Journal of Cleaner Production*, 268, 122219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122219>
- Oliver, C.D., Nassar, N.T., Lippke, B.R, McCarter, J.B. (2014) Carbon, Fossil Fuel, and Biodiversity Mitigation With Wood and Forests, *Journal of Sustainable Forestry*, 33:3, 248-275, <https://doi.org/10.1080/10549811.2013.839386>
- Pan, W., Kim, M-K., Ning., Z., Yang, H. (2020). Carbon leakage in energy/forest sectors and climate policy implications using meta-analysis. *Forest Policy and Economics* 115, 102160.
- Pilli, R., Fiorese, G. & Grassi, G. (2015). EU mitigation potential of harvested wood products. *Carbon Balance Manage* 10, 6. <https://doi.org/10.1186/s13021-015-0016-7>
- Pilli, R., Grassi, G., Kurz, W.A., Moris, J.V., Abad Viñas, R. (2016). Modelling forest carbon stock changes as affected by harvest and natural disturbances. II. EU-level analysis. *Carbon Balance and Management*, 11, 20. <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0059-4>
- Poljatschenko, V. (2019). Substitution effect of Finnish wood products according to dominant tree species. University of Helsinki, Faculty of Agriculture and Forestry.
- Rüter, S., Werner, F., Forsell, N., Prins, C., Vial, E., Levet A-L. (2016). Climate benefits of material substitution by forest biomass and harvested wood products: Perspective 2030. Thünen Report 42. https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_42.pdf
- Sathre, R., O'Connor, J. (2010). Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science & Policy*, 13, 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.12.005>
- Sato, A., Nojiri, Y. (2019). Assessing the contribution of harvested wood products under greenhouse gas estimation: accounting under the Paris Agreement and the potential for double-counting among the choice of approaches. *Carbon Balance Manage* 14, 15. <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0129-5>
- Seppälä, J., Heinonen, T., Pukkala, T., Kilpeläinen, A., Mattila, T., Myllyviita, T., Asikainen, A., Peltola, H. (2019). Effect of increased wood harvesting and utilization on required greenhouse gas displacement factors of wood-based products and fuels. *Journal of Environmental Management*, 247, 580–587. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.031>
- Skog, K.E. (2008). Sequestration of carbon in harvested wood products for the United States. *Forest products journal*, 58, 56–72.
- Soimakallio, S., Kalliokoski, T., Lehtonen, A., Salminen, O. (2021). On the trade-offs and synergies between forest carbon sequestration and substitution. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 26, 4. <https://doi.org/10.1007/s11027-021-09942-9>
- Verkerk, P.J., Costanza, R., Hetemäki, L., Kubiszewski, I., Leskinen, P., Nabuurs, G.J., Potočník, J., Palahí, M. (2020). Climate-Smart Forestry: the missing link, *Forest Policy and Economics*, Volume 115, 2020, 102164, <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102164>
- Werner, F., Taverna, R., Hofer, P., Thürig, E., Kaufmann, E. (2013). National and global greenhouse gas dynamics of different forest management and wood use scenarios: a model-based assessment. *Environmental Science & Policy*, 13, 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.10.004>
- Zubizarreta-Gerendiain, A., Pukkala, T., Peltola, H. (2016). Effects of wood harvesting and utilisation policies on the carbon balance of forestry under changing climate: a Finnish case study. *Forest Policy and Economics*, 62, 168–176 <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2015.08.007>

6.2 Puitkütuste suurem kasutamine koostootmisjaamades (põlevkivi asendamine)

Kuigi metsandus on osa KHG inventuuri LULUCFi sektorist, ei kata LULUCFi sektori CO₂ heite vähendamise võimaluste uurimine kogu metsasektori võimalikku panust süsiniku-neutraalse majanduse suunas liikumisel. Oluline osa Eestis toodetavast primaarenergiast on puitse päritoluga (27%, energiabilanss 2018). Metsa jätkusuutlikult majandades ning puitu efektiivselt kasutades loetakse puiduenergiat kliimanetraalseks. Puitkütuste heide arvestatakse puidu tagavara muudu kaudu LULUCFi sektoris, st heide ei kajastu energeetikasektori arvestuses. Ilmselt ei ole võimalik jätkusuutlikult suurendada puiduenergia osakaalu, küll aga on võimalik muuta puitkütuste kasutuse asukohta.

Eestist eksporditavast puidust üle 3 miljoni m³ leiab otsust kasutust energeetikasektoris (lisaks veel sekundaarne kasutus). Selle ekspordikoguse osaline kasutus Eestis aitaks vähendada meie energeetikasektori heidet. Kuna energeetika ei ole antud töö eesmärk, siis keskendume vaid kõige olulisemale heite vähendamise võimalusele.⁸⁴

Puiduenergia efektiivsuse üle arutledes on palju möödarääkimisi. Näiteks on Auvere elektrijaama elektritootmise kasutegur 40%, koostootmisjaamade kogukasutegur on aga 85% (seejuures ei ole tootmisel arvestatud suitsugaaside kondensaatoritega). Koostootmisjaamade elektrilised nimikasutegurid varieeruvad olenevalt jaama suurusest. Suurematel koostootmisjaamadel on see üle 25% ja väiksematel umbes 15%.

Koostootmisjaamade ehitamise esmane potentsiaal on kohad, kus seni toimub soojatootmine põlevkivitööstusega kaasneva heitsoojusega ja/või põlevkivi baasil elektritootmise jääksoojusega ning lähedal on piisav soojusenergia tarbimisvajadus. Need kohad on Narva, Kohtla-Järve, Ahtme-Jõhvi ja Sillamäe, mille soojusvajaduseks 2020. aastal hinnati ca 950 GWh⁸⁵.

Allpool on toodud hüpoteetilised arvutused, mis näitavad puitkütuste baasil koostootmisel toodetava elektri ja põlevkivist sama elektrikoguse tootmise võrdlust. Koostootmisjaamade toodangu piiriks on nimetatud linnade soojavajadus. Võrdluse alus on elektri tootmiseks vajalik põlevkivikogus ja selle põletamisega kaasnevad CO₂ heited. Põlevkivi asendamise analüüsil ei arvestata hakkepuidu baasil koostoodetud soojuse asendamisega põlevkivist eraldi soojuse tootmisega, sest:

- põlevkivi elektrijaamade käitamise põhieesmärk on elektrienergia tootmine (erand on koostootmise võimalus Balti elektrijaamas);
- põlevkivist eraldi soojuse tootmiseks oleks odavamaid ja efektiivsemaid alternatiive.

Arvutuskäigu kirjeldus:

1. 100 000 t puitkütuse kasutamisel koostootmisjaamades saame elektrienergiat 80 GWh ja soojusenergiat 260 GWh (hakkepuidu tarbimisaine kütteväärtus on 4 kWh/kg, koostootmisjaamade kogukasutegur 85%, koostootmisjaamade elektriline nimikasutegur 20%)

⁸⁴ Selle meetme analüüsil oli konsultandiks Tallinna Tehnikaülikooli energiatehnoloogia instituudi dotsent PhD Eduard Latõšov.

⁸⁵ Eesti Taastuvenergia Koda (2014). Taastuvenergia aastaraamat 2013. <http://www.taastuvenergeetika.ee/wp-content/uploads/2016/12/Taastuvenergia-aastaraamat-2013.pdf>

2. Koostootmisjaamas toodetud elektrikoguse (80 GWh) tootmiseks põlevkivi elektrijaamas kuluks 85 837 t põlevkivi, millele vastav heide on 71 kt CO₂ (põlevkivi elektritootmise kasutegur 40%, tarbimisaine kütteväärtus 2,33 kWh/kg).
3. Koostootmisjaamade sooja tootmise potentsiaal kohtades, kus seni toimub soojatootmine põlevkivitööstusega kaasneva heitsoojusega ja/või põlevkivi baasil elektritootmisega, on umbes 950 GWh.
4. Koostootmisjaamas 950 MWh soojuse tootmiseks kulub 365 000 t puitu. Lisaks soojusele koostoodetakse ca 292 GWh elektrit.
5. Koostootmisel kasutatud 350 000 t puidust toodetud 292 GWh elektrit vähendaks sama elektrikoguse põlevkivist tootmisel CO₂ heidet 259 kt võrra (põlevkivist keevkiht-põletamisel on CO₂ eriheitetegur 355 kg CO₂/MWh_{kütus})

Seega võiks Narva, Kohtla-Järve, Ahtme-Jõhvi ja Sillamäe soojavajaduse katta ca 450 000 m³ puiduga, tootes samal ajal elektrienergiat 292 GWh ning vähendades elektritootmise CO₂ heidet 259 kt (võrreldes olukorraga, kus elekter on toodetud põlevkivist). Sellist lähenemist saab pidada indikatiivseks, sest:

- tegelikult asendatakse ka soojatootmise heidet;
- hakkepuidul töötav koostootmisjaam, kui see koosneb ühest katlast, saab tõenäoliselt toota umbes 85–90% kogu soojusvajadusest.

Koostootmisjaamade ehitamiseks sobivad võrdlemisi suure soojustarbimisega kohad. Lisaks eelnimetatud neljale linnale on Eestis enamuses kaugküttevõrkudes juba kasutusel koostootmine või kasutatakse baaskoormuse katmiseks ainult soojust tootvaid hakkepuidukatlaid. Need katlad on valdavalt uued (kuni 5 aastat vanad) ja nende asendamine koostootmisega ei ole lähiaastatel tehniliselt ja majanduslikult otstarbekas. Koostootmiseks põhimõtteliselt sobivate ja ainult soojust tootvate hakkepuidukateldega varustatud kaugküttepiirkondade indikatiivne soojusvajadus on umbes 665 GWh. Kui nendes kohtades rakendada koostootmist, võiks koostootmisjaamades toodetava elektrienergia hulk olla umbes 205 GWh. Hetkel ei ole teada uutest biokütustel töötavate koostootmisjaamade projektidest Eesti kaugküttevõrkudes Eestis. Sellisel juhul oleks vaja lisaks umbes 256 000 t hakkepuitu. Kui eelnimetatud koostoodetud elektri kogus (205 GWh) oleks toodetud põlevkivi elektrijaamas, siis sellele vastav CO₂ heide oleks 182 kt.

7. Täiendavad meetmed

7.1 Täiendavate meetmete stsenaarium

Uuringus on kirjeldatud LULUCFi sektori süsiniku sidumist suurendavaid või KHG heidet vähendavaid meetmeid. Kõiki meetmeid samaaegselt rakendada ei ole võimalik või otstarbekas. Piiranguks võivad saada nii kasutatavad vahendid, poliitilised eelistused kui ka ebapiisavad teadmised meetmete rakendamise mõjust. Näitena on koostatud üks võimalik „täiendavate meetmete koondstsenaarium“, mille abil iseloomustatakse meetmete mõju võrreldes baastasemega.

Baastaseme kirjeldus: Baastasemeks on kasutatud Euroopa Komisjonile esitatud kasvuhoonegaaside poliitikat, meetmeid ja prognoose käsitleva aruande⁸⁶ lähenemist. Alates 2021. aastast peab Eesti esitama energialiidu ja kliimameetmete juhtimismääruse ((EL) 2018/1999) alusel Euroopa Komisjonile iga kahe aasta tagant teabe poliitikasuundade ja meetmete kohta ning kasvuhoonegaaside riiklike prognooside kohta. 2021. aasta märtsikuus esitati Euroopa Komisjonile prognoos perioodi 2019–2050 kohta. Siinse uuringu baastaseme prognoos koostati kuni aastani 2100, arvestades et LULUCFi maakateooriate pindalad jäävad samaks.

Metsamaa kategooria puhul eeldatakse, et metsi majandatakse ühtlase kasutuse raiestsenaariumi kohaselt ehk enam-vähem ühtlast uuendusraie pindala kogu vaadeldava perioodi jooksul, sellest ka baastaseme nimetus (vt ptk 2.4.1). Mineraal- ja turvasmuldade ning surnud puidu hinnangud koostati perioodi 2015–2019 keskmise järgi. N₂O ja CH₄ voogude puhul, mis tulenevad turvasmuldade kuivendamisest, põlengutest ning lämmastiku mineraliseerumisest ja leostumisest muldades, arvestati samuti sama trendi jätkumist.

Puittoodete tootmismahude ennustamiseks kasutati ühtlase kasutuse raiestsenaariumi puhul prognoositud raiemahte. Eeldatakse, et raiutud puidu kogusele vastav puittoodete jagunemine jääb samaks, st tootmismahud leiti viimase viie aasta keskmise raiemahu (2015–2019) ja seniste tootmismahude suhte alusel.

Põllumaa puhul eeldatakse tulevikus netoheite suurenemist, kuna kasutusel oleva IPCC arvutusmetoodika kohaselt stabiliseerub põllumaa mineraalmuldade süsinikuvaru 20 aasta jooksul (kui põllumaa pindala ja majandamine ei muutu) ning mineraalmuld ei tasakaalusta enam turvasmuldadest ja maakasutusmuutustest tekkivat heidet.

Märgalade kategoorias tekib KHG heide põhiliselt aiandusturba kaevandamisest ja kasutamisest ning turba tootmisalade pinnasest. Prognoosides kasutati perioodi 2015–2019 keskmist aiandusturba tootmismahutu, kuna ei ole ette näha nõudluse vähenemist ning piiranguid tootmisele. Eelduste kohaselt ka turbatootmisalade pindala ei muutu.

Rohumaade, asulate ja muu maa kategooriates prognoositi heitkoguste jäämist viimaste aastate keskmisele tasemele; asulate puhul arvestati lisaks ka Rail Balticu trassi raadamisest tekkiva heitega. Põllumaad, rohumaad, märgalad, asulad ja muud maad jäävad kogu vaadeldava perioodi jooksul heite poolele.

Tabelis 7.1 on lisaks baastasemele esitatud LULUCFi netoheide aastas arvestuslangi raiestsenaariumi korral. Põhiline erinevus kahe taseme juures on raiete mahus. Kui ühtlase raie puhul on tegemist enam-vähem ühetaolise raiete mahuga kogu vaadeldaval perioodil aastani

⁸⁶ https://old.envir.ee/sites/default/files/Kliima/ghg_projections_pams_estonia_2021_15.03.21_3.pdf

2100, siis arvestuslangi stsenaariumi korral prognoositakse ühtlast kasutust keskpikal perioodil (kuni 40 aastat). Ehkki kogu vaadeldava perioodi keskmine aastane raiemaht on ligilähedane (10,2 miljonit m³ ühtlase kasutuse ja 10,4 miljonit m³ arvestuslangi stsenaariumi korral), siis kümnendite kaupa on erinevused suuremad. Raieküpsete puistute suhteliselt suure olemi tõttu on arvestuslangi stsenaariumi korral raiete maht esimesel kahel kümnendil kõrgem kui ühtlase kasutuse puhul, hiljem langeb aga ühtlase kasutuse tasemest allapoole. Mõõduka erinevuse juures raiemahtudes on erinevate raiestsenaariumite mõju LULUCFi netoheitele suur (vt ptk 2.2.3.5 raiestsenaariumite võrdlus). Tabelis on kaasatud arvestuslangi stsenaarium, iseloomustamaks raiemahtude suurt mõju LULUCFi netoheite dünaamikale.

Tabel 7.1 LULUCFi netoheide ja raiemaht perioodil 2021–2100 ühtlase kasutuse ja arvestuslangi raiestsenaariumi korral

Stsenaarium	Näitaja	Kümnend perioodil 2021–2100							
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Baastase: LULUCFi netoheide aastas ühtlase kasutuse raiestsenaariumi korral	LULUCFi netoheide, kt CO ₂ ekv/a	-950	626	110	1906	2977	3261	1514	1643
	Raiemaht, mln m ³ /a	10,3	10,2	9,9	9,5	10,4	10,7	9,9	10,0
Baastaseme võrdlus: LULUCFi netoheide aastas arvestuslangi raiestsenaariumi korral	LULUCFi netoheide, kt CO ₂ ekv/a	2872	2357	-414	961	954	628	522	1944
	Raiemaht, mln m ³ /a	13,1	11,3	9,8	9,4	9,7	9,6	9,6	10,5

Baastaset täiendavateks meetmeteks valiti uuringus kirjeldatutest need, mille puhul eeldati olulist mõju süsinikuheite vähendamisele või sidumise suurendamisele ning omati piisavat informatsiooni meetme rakendamise ulatuse ja mõju ajalise jaotamise hindamiseks. Samaväärsete meetmete korral jaotati meetme rakendusala alameetmete vahel (nt jääsoode korrastamine märgaladeks või metsastamine) või valiti üks (näiteks puittoodete kategoorias valiti puidu mehhaanilise töötlemise sektoris plaaditehase ehitamise ja saematerjali tootmise suurendamise vahel). Metsastamise meetme puhul valiti kahe eri kiirusega rakendatava alternatiivi vahel. Põllumaade kategooria meetmete puhul sai takistuseks ebapiisav informatsioon meetme võimaliku ajalise rakendamise ning mõju hindamise kohta (nt lupjamise mõju eri tüüpi muldade emissioonile pikemal ajaskaalal).

Meetmete valik on toodud näitena võimaliku heite vähendamise ja sidumise suurendamise tegevuskava koostamiseks ning eri meetmete mõju iseloomustamiseks baastaseme taustal. Tabelis 7.2 on meetmete mõju esitatud nii LULUCFi netosidumise muuduna (keskmine aastas kümnendi kohta) kui ka kumulatiivse mõjuna. Eri meetmete mõju on summeeritud ning esitatud on ka meetmetega korrigeeritud baastase (ühtlase kasutuse ja arvestuslangi raiestsenaariumite korral). Alapeatükkides 7.1.1–7.1.8 on iga täiendava meetme kohta kirjeldatud meetme sisu, mõju suund ning rakendamise maht ja aeg; lisatud on ka meetme sotsiaalmajandusliku mõju aspektid kuni aastani 2050. LULUCFi netosidumine ja meetmete rakendamise mõju on esitatud kuni aastani 2100. Tuleb arvestada, et sajandi keskpaigast muutuvad prognoosid üha ebatäpsemaks ning iseloomustavad pigem meetme mõju ulatuse muutumist ajas.

Tabel 7.2 LULUCFi sektori netoheite prognoos aastateks 2021–2100 baastaseme ja täiendavate meetmete korral

Meede/stsenaarium	Bilanss, kt CO ₂ ekv								
	näitaja	21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
LULUCFi netoheite baastasemed									
Baastase: LULUCF netoheide aastas ühtlase kasutuse raiestsenaarium korral	keskmise aastas	-950	626	110	1906	2977	3261	1514	1643
Baastaseme võrdlus: LULUCFi netoheide aastas arvestuslangi raiestsenaarium korral	keskmise aastas	2872	2357	-414	961	954	628	522	1944
Täiendavad meetmed									
Metsastamine (2500 ha/a)	keskmise aastas	-50	-227	-477	-651	-654	-548	-2	705
	kumulatiivne	-500	-2769	-7538	-14045	-20588	-26064	-26080	-19027
Metsakultiveerimise mahu suurendamine (1500 ha/a)	keskmise aastas	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60
	kumulatiivne	-600	-1200	-1800	-2400	-3000	-3600	-4200	-4800
Hõredate puistute ennakraie* (580 ha/a)	keskmise aastas	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100
	kumulatiivne	-1000	-2000	-3000	-4000	-5000	-6000	-7000	-8000
Ammendatud turbaalade metsastamine	keskmise aastas	-12	-35	-62	-90	-106	-109	-106	-101
	kumulatiivne	-116	-467	-1091	-1992	-3056	-4151	-5214	-6221
Ammendatud turbaaladel looduslikkuse taastamine	keskmise aastas	-19	-65	-121	-177	-202	-202	-202	-202
	kumulatiivne	-185	-830	-2037	-3804	-5824	-7844	-9864	-11884
Aiandusturba kaevandamismahu vähendamine 89,7 kt võrra	keskmise aastas	-66	-132	-132	-132	-132	-132	-132	-132
	kumulatiivne	-658	-1974	-3290	-4605	-5921	-7237	-8553	-9869
Haritavatel turvasmuldadel põllumaa viimine püsirohumaaks (1000 ha/a, kokku 20 000 ha)	keskmise aastas	-7	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14
	kumulatiivne	-71	-213	-355	-497	-639	-781	-923	-1065
Täiendav tselluloositootmine (2 mln m ³ puitu)	keskmise aastas	0	-205	-23	-14	-12	-10	-7	-6
	kumulatiivne	0	-2052	-2279	-2414	-2538	-2637	-2703	-2764
Saematerjali tootmise kasv (0,5 mln m ³ täiendavat kasutust)	keskmise aastas	-130	-185	-151	-124	-102	-83	-68	-56
	kumulatiivne	-1300	-3147	-4661	-5902	-6920	-7754	-8439	-9000
Täiendavad meetmed kokku	keskmise aastas	-443	-1022	-1140	-1361	-1383	-1258	-691	35
	kumulatiivne	-4430	-14652	-26051	-39660	-53487	-66069	-72976	-72631
Meetmete mõjuga korrigeeritud bilanss									
Baastase korrigeeritud	keskmise aastas	-1393	-396	-1030	545	1594	2003	823	1678
Baastaseme võrdlus ² korrigeeritud	keskmise aastas	2429	1335	-1554	-400	-429	-630	-169	1979

*Tegemist on raieringi keskmisega. Tegelik sidumise suurenemine ei avaldu meetme algerioodil täisulatuses.

7.1.1 Metsastamine

Metsastamisel rajatakse uus metsapõlv mittemetsamaale ehk majandustegevuseks kasutamata juba metsastuvatele looduslikele rohumaadele aastail 2021–2050 (2500 ha/a, kokku 75 000 ha), vt täpsemalt ptk 2.3.4. Metsastamise tagajärjel suureneb metsamaa pindala ning ajas kasvab metsastatud aladel biomassi seotud süsiniku kogus ja sidumise kiirus. Meetme mõju avaldub eelkõige täiendava süsiniku sidumisena võrreldes rohumaaga kategooriaga. Metsastamise meetme mõju on ajas kiirenev kuni esimesed puistud jõuavad uuendusraie ikka. Vaatlusaluse perioodi viimastel aastatel saavutavad puistud uuendusraiet lubava vanuse, uuendusraietega väheneb seotud süsiniku kogus ja arvestuslik väärtus.

Tabel 7.3 Metsastamise meetme mõju LULUCFi netoheitele aastail 2021–2100

Näitaja	Metsastamine								
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	keskmine aastas	-50	-227	-477	-651	-654	-548	-2	705
	kumulatiivne	-500	-2 769	-7 538	-14 045	-20 588	-26064	-26080	-19027
Pindala	perioodil kokku, kha	25	25	25					

Kuigi metsastamise mõju CO₂ sidumisele ei saabu kohe, on tegemist siiski ühe kiirema ja mõjusama meetmega. 2050. aastaks on sel juhul täiendavalt seotud 7538 kt CO₂ ekv.

Tabel 7.4 Metsastamise meetme kulutõhusus

Näitaja	2021–2030	2031–2040	2041–2050
Kumulatiivsed kulud, mln €	53	117	181
Kumulatiivne täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	-500	-2769	-7538
Kulu, €/t CO ₂ ekv	106	42	24
Täiendavalt seotud CO ₂ väärtus, mln € (hind 25 ja 50 €/t CO ₂ ekv)	12,5–25	69,2–138,5	188,5–376,9

Aastaks 2050 on täiendava sidumise saavutamise kulu (marginaalkulu) väiksem kui arvestuslik heitkoguse kauplemisühiku hind 25 eurot. Metsastamisprogrammiga rajatud puistutest hakatakse alates 2061. aastast saama harvendusraie tulu, hinnanguliselt 37 mln eurot 10-aastase perioodi jooksul. Sajandi kahel viimasel aastakümnel on võimalik teha uuendusraieid. Metsastatud ala metsamajanduse netotulu aastatel 2021–2100 on hinnanguliselt 315 mln eurot.

7.1.2 Metsakultiveerimise mahtude suurendamine erametsamaal

Metsakultiveerimise mahtude suurendamine erametsamaal – okaspuupuistute osakaalu säilitamiseks toetatakse metsakultiveerimise osakaalu tõstmist 10% võrra (1500 ha/a) võrreldes baastasemega. Metsa raieringi keskmisena on kultiveeritud okaspuupuistute hektaritagavara *ca* 27 m³/ha kõrgem looduslikult uuenenud puistute keskmisest hektaritagavarast. Sellest tulenevalt on CO₂ varu hektari kohta suurem 32 t raieringi keskmisena. Meetme rakendamisel oleks keskmine täiendav tagavara aasta kohta raieringi keskmisena *ca* 41 000 m³ ning keskmine täiendav CO₂ varu 48 kt CO₂. CO₂ sidumine puittoodetes suureneks kokku *ca* 12 kt/a ehk kokku koos metsamaa sidumisega 60 kt CO₂ aastas.

Tabel 7.5 Metsakultiveerimise mahu tõstmise meetme mõju LULUCFi netoheitele aastail 2021–2100

Näitaja	Metsakultiveerimise mahu tõstmine 10% võrra erametsamaadel								
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	keskmine aastas	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60
	kumulatiivne	-600	-1200	-1800	-2400	-3000	-3600	-4200	-4800
Pindala	perioodil kokku, kha	15	15	15	15	15	15	15	15

Nii ärimajanduslikust aspektist kui ka süsinikubilansist tulenevalt on metsakultuuride rajamine tulemuslik tegevus. Pelgalt täiendava süsinikusidumise eesmärki silmas pidades oleks metsakultiveerimise puhul tegu küllaltki kalli meetmega, sest raiesmikud uuenevad ka looduslikult. Metsakultiveerimise põhieesmärk on seega jätkuvalt okaspuu- ja okaspuu-lehtpuu segapuistute kasvatamine, okaspuidu saamine ja selle väärindamise kaudu täiendava lisandväärtuse loomine. Biomassi kiirema formeerumise ja selle suurema mahu kaudu suurendab see tegevus ka metsamaa süsiniku sidumisvõimekust.

Tabel 7.6 Metsakultiveerimise mahu tõstmise meetme kulutõhusus

Näitaja	2021–2030	2031–2040	2041–2050
Kumulatiivsed kulud, mln €	27	53	80
Kumulatiivne täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	-600	-1200	-1800
Kulu, €/tonn CO ₂ ekv	45	44,2	44,4
Täiendavalt seotud CO ₂ väärtus, mln € (hind 25 ja 50 €/t CO ₂ ekv)	15–30	30–60	45–90

7.1.3 Hõredate puistute ennakraie

Hõredate puistute ennakraie (580 ha/a) – biotiliste ja abiotiliste tegurite tagajärjel hõredaks jäänud puistute, mille süsiniku varu ja sidumise võimekus on oluliselt langenud, raie enne küpsusvanuse saavutamist, vt ptk 2.4.3. Hõredates puistutes õigeaegse raie tegematajätmise tõttu kaotatakse raieringi jooksul ca 1,4 m³ hektari kohta aastas. Hõredate puistute hektaritagavara jääb normaalse tihedusega puistute keskmisest ca 100 m³ väiksemaks. Hõredate puistute õigeaegsel raiumisel oleks hinnanguline võit metsa CO₂ sidumisel ca 1,8 t CO₂/ha/a. Kui arvestada ka CO₂ sidumist puittoodetesse, siis oleks hinnanguline võit ca 1,9 t CO₂/ha/a.

Tabel 7.7 Hõredate puistute ennakraie meetme mõju LULUCFi netoheitele aastail 2021–2100

Näitaja	Hõredate puistute ennakraie (580 ha/a)								
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	keskmise aastas	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100
	kumulatiivne	-1000	-2000	-3000	-4000	-5000	-6000	-7000	-8000
Pindala	perioodil kokku, kha	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8

Tabel 7.8 Hõredate puistute ennakraie meetme kulutõhusus

Näitaja	2021–2030	2031–2040	2041–2050
Kulud, mln €	0	0	0
Kumulatiivne täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	-1000	-2000	-3000
Kulu, €/tonn CO ₂ ekv	0	0	0
Täiendavalt seotud CO ₂ väärtus, mln € (hind 25 ja 50 €/t CO ₂ ekv)	25–50	50–100	75–150

Meetme rakendamise otsuseid kulusid ei teki. Võrreldes keskmiste puistute raiumisega saavad metsaomanikud hõredate puistute raiumisel vähem müügitulu ja ka metsavarumiskulud võivad olla tavapärasest veidi suuremad. Metsamaa tootlikkust eesmärgiks seades on tegevus aga eesmärgipärane ja ratsionaalne, sest uue puistupõlvkonna rajamisega kasutatakse oluliselt paremini maatüki tootmispotentsiaali. Ühtlasi soodustatakse sellega metsamaa süsinikusidumist.

7.1.4 Ammendatud turbatootmisalade metsastamine

Ammendatud turbatootmisalade metsastamine – 300 ha/a perioodil 2021–2030, 250 ha/a perioodil 2031–2060, vt ptk 5.1.2 ja 5.1.5. Mändi ja kaske istutatakse võrdselt (50% aladest mänd ja 50% aladest kask) ning tekkiv puistu kuulub III boniteediklassi. Edukalt metsastatud jääksodes on üldiselt puude juurdekasv piisavalt suur, et kompenseerida emissioone mullast ning võib eeldada, et 2050. aasta perspektiivis on metsastatud alad kliimanetraalsed või madala KHG-heitkogusega alad. Meetme mõju avaldub eelkõige heitkoguse vähenemises võrreldes taastamata turbatootmisalaga.

Tabel 7.9 Ammendatud turbatootmisalade metsastamise mõju LULUCFi netoheitele aastail 2021–2100

Näitaja	Ammendatud turbatootmisalade metsastamine								
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Heitkoguse vähenemine, kt CO ₂ ekv	keskmine aastas	-12	-35	-62	-90	-106	-109	-106	-101
	kumulatiivne	-116	-467	-1091	-1992	-3056	-4151	-5214	-6221
Pindala	perioodil kokku (kha)	3	2,5	2,5	2,5				

Tabel 7.10 Ammendatud turbatootmisalade metsastamise meetme kulutõhusus

Näitaja	2021–2030	2031–2040	2041–2050
Kumulatiivsed kulud, mln €	6,7	12,2	17,8
Kumulatiivne heitkoguse vähenemine, kt CO ₂ ekv	-116	-467	-1091
Kulu, €/tonn CO ₂ ekv	58	26	16
Heite vähenemise väärtus, mln € (hind 25 ja 50 €/t CO ₂ ekv)	2,9–5,8	11,7–23,4	27,3–54,6

Kulude ja metsastamisest tuleneva mõju (kasu) analüüs näitab, et aastaks 2040 jõutakse tasakaalupunkti, kus täiendava süsinikusidumise väärtus katab tehtud kulud. Metsastamise maksumus on võrreldes märgala kujundamisega 2,2 korda suurem, sest sisaldab nii puistute kultiveerimise kui ka jääksoo kuivendussüsteemide rekonstrueerimisega seotud kulusid. Tulevikus on võimalik teenida tulu puidu realiseerimisest, vähesel määral harvendusraiest ning suuremas mahus uuendusraiest pärast 2100. aastat.

7.1.5 Ammendatud turbatootmisaladel looduslikkuse taastamine

Ammendatud turbatootmisaladel looduslikkuse taastamine ehk korrastamine märgaladeks. Planeeritud maht 300 ha/a perioodil 2021–2030, 500 ha/a perioodil 2031–2060, vt ptk 5.1.1 ja 5.1.5. Jääksode korrastamisel märgaladeks luuakse tingimused veetaseme tõusuks, et turba mineraliseerumine peatuks, tekiks sobiv niiskusežiim sootaimestiku, sh turbasammalde,

kasvama hakkamiseks ning taastuksid soostumisprotsessid. Meetme mõju avaldub eelkõige heitkoguse vähenemises võrreldes korrastamata turbatootmisalaga.

Tabel 7.11 Ammendatud turbatootmisaladel looduslikkuse taastamise meetme mõju LULUCFi netoheitele aastail 2021–2100

Näitaja	Ammendatud turbatootmisaladel looduslikkuse taastamine								
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Heitkoguse vähenemine, kt CO ₂ ekv	keskmise aastase	-19	-65	-121	-177	-202	-202	-202	-202
	kumulatiivne	-185	-830	-2037	-3804	-5824	-7844	-9864	-11884
Pindala	perioodil kokku, kha	3	5	5	5				

Tegemist on kulutõhusa meetmega, kuna süsinikuheite vähendamise rahaline väärtus katab märgala taastamiseks tehtud investeeringu juba 2030. aastaks. Märgalaks korrastamine võimaldab oluliselt suuremat KHG heitkoguste vähendamist võrreldes metsastamisega, eriti arvestades pikaajalist kuivenduse mõju turba süsinikuvarule.

Tabel 7.12 Ammendatud turbatootmisaladel looduslikkuse taastamise meetme kulutõhusus

	2021–2030	2031–2040	2041–2050
Kumulatiivsed investeeringud/kulud, mln €	3	8	13
Kumulatiivne heitkoguse vähenemine, kt CO ₂ ekv	-185	-830	-2037
Kulu, €/tonn CO ₂ ekv	16	10	6
Heite vähenemise väärtus, mln € (hind 25 ja 50 €/t CO ₂ ekv)	4,6–9,3	20,8–41,5	50,9–101,9

7.1.6 Aiandusturba kaevandamismahu vähendamine

Aiandusturba kaevandamismahu vähendamine 89,7 kt võrra võrreldes 2015.–2019. aasta keskmisega (655,2 kt) ehk tasemeni, mille juures majandatavate märgalade heitkogus ei ületaks perioodi 2005–2009 keskmist (võrdlustaset). Ühe tonni aiandusturba kaevandamine toob hetkel inventuuris kasutatava meetodika järgi kaasa 1,47 t CO₂ emissiooni.

Tabel 7.13 Aiandusturba kaevandamismahu vähendamise meetme mõju LULUCFi netoheitele aastail 2021–2100

Näitaja	Aiandusturba kaevandamismahu vähendamine								
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Heitkoguse vähenemine, kt CO ₂ ekv	keskmise aastase	-66	-132	-132	-132	-132	-132	-132	-132
	kumulatiivne	-658	-1974	-3290	-4605	-5921	-7237	-8553	-9869
Aiandusturba kaevandamis-maht	perioodi keskmine, kt/a	565,5*	565,5	565,5	565,5	565,5	565,5	565,5	565,5

*Perioodi 2026–2030 keskmine

97–99% aianduses kasutatavast turbast eksporditakse. Aiandusturba kaevandamise mahu alandamisel 89,7 kt võrra väheneb eksporditulu 8,5 mln euro võrra aastas. Riigi ja kohalike omavalitsuste eelarvetesse laekuv kaevandamisõiguse tasu väheneb 0,152–0,193 mln euro võrra.

Tabel 7.14 Aiandusturba kaevandamismahu vähendamise meetme sotsiaalmajanduslik mõju

	2021–2030	2031–2040	2041–2050
Kumulatiivne heitkoguse vähenemine, kt CO ₂ ekv	-658	-1974	-3290
Lisandväärtuse vähenemine, mln €	14	42	70
1 tonni CO ₂ ekv vähendamise mõju otsesele lisandväärtusele, €	-21	-21	-21
Heite vähenemise väärtus, mln € (hind 25 ja 50 €/t CO ₂ ekv)	16,5–32,9	49,4–98,7	82,3–164,5

Kaevandamismahu vähendamise mõjul väheneb aiandusturba müügist saadav eksporditulu ning tootmisega seotud lisandväärtus. Hinnanguliselt väheneb meetme rakendamisel turbatootmises tööhõive ligikaudu 40 töötaja võrra. Seega on tegemist negatiivse sotsiaalmajandusliku mõjuga meetmega. Samas on emissiooni vähendamise väärtus 25-eurose ekvivalendi hinna juures suurem kui ühe tonni CO₂ ekvivalendiga seotud lisandväärtuse vähenemine 21 eurot.

7.1.7 Haritavatel turvasmuldadel põllumaa viimine püsirohumaaks

Haritavatel turvasmuldadel põllumaa viimisel püsirohumaaks (1000 ha aastas perioodil 2021–2040, kokku 20 000 ha) vähenevad KHG heitkogused. Heite vähendamise hinnang on koostatud, kasutades naaberriikide andmete alusel leitud keskmist heite vähendamise koefitsienti 7,1 t CO₂ ekv/ha/a.

Tabel 7.15 Haritavatel turvasmuldadel põllumaa viimine püsirohumaaks meetme mõju LULUCFi netoheitele aastail 2021–2100.

Näitaja	Haritavate turvasmuldadel põllumaa viimine püsirohumaaks								
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Heitkoguse vähenemine, kt CO ₂ ekv	keskmine aastas	-7	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14
	kumulatiivne	-71	-213	-355	-497	-639	-781	-923	-1065
Pindala	perioodil kokku, kha	10	10						

Turvasmuldadel asuva põllumaa muutmise majandusmõjuna käsitletakse põllumajanduse kattetulu vähenemist 50 eurot/ha aastas. Põllumajandustootjate kattetulu vähenemine oleneb olulisel määral sellest, milline on tootmise struktuur ja põhitoodang. Teraviljatootjate jaoks on mõju tõenäoliselt suurem ja võrdeline tootmismahu vähenemisega. Loomakasvatases aga on mõju väiksem, sest tootmises kasutatakse ka rohumaid.

Tabel 7.16 Haritavatel turvasmuldadel põllumaa viimine püsirohumaaks meetme kulutõhusus

	2021–2030	2031–2040	2041–2050
Meetme rakendamise kumulatiivsed kulud, mln € (põllumajanduse kattetulu väheneb 50 €/ha)	2,8	10,5	20,5
Kumulatiivne heitkoguse vähenemine, kt CO ₂ ekv	-71	-213	-355
Kulu, €/tonn CO ₂ ekv	39	49	58
Heite vähenemise väärtus, mln € (hind 25 ja 50 €/t CO ₂ ekv)	1,8–3,6	5,3–10,7	8,9–17,8

7.1.8 Puittoodete meetmed

Puidu kohapealne töötlemine loob lisandväärtust, ühtlasi kaasneb puidutöötlemisega täiendav süsinikusidumine puittoodetes. Tegemist on meetmetega, mida saab ellu viia erasektor investeeringutega puidu keemilisse ja mehaanilisse töötlemisse. Riigi ülesanne on luua investeerimist ja ettevõtlust toetav keskkond, sätestada tööstusettevõtetele kaasneva keskkonnamõjule vajalikud piirangud ja jälgida tegevuse mõju vastavust kehtestatud reeglitele.

Puittoodete stsenaariumite aluseks puiduvarumise seisukohalt on võetud ühtlase kasutuse raiestsenaarium (vt selgitust peatükist 2.2.3 „Raiestsenaariumid“). Kõikide käsitletavate puittoodete stsenaariumite korral jääb raiemaht sellele raiestsenaariumile vastavaks, muutub vaid puidukasutus.

7.1.8.1 Täiendav tselluloositootmine

Täiendav tselluloositootmine (tehas alustaks tööd aastal 2031) 2 mln m³ paberipuidust ja hakkest. Toormena kasutatakse seni eksporditud paberipuitu ja puiduhaket (puitlaastud ja pilpad). Eeldatakse, et tulemusena tekib nii süsinikusisalduse kui ka toote eluea mõistes paberile või papile sarnane lõpptoode. Tehase kogutoodang oleks 212 kt tselluloosi. Paberi ja papi poollagunaeg on ainult kaks aastat. Tehase oluline mõju (neto)sidumisele puittoodetes on ligikaudu 10 aastat.

Tabel 7.17 Täiendav tselluloositootmise (2 mln m³ paberipuidu ja hakke kasutamine) meetme mõju LULUCFi netoheitele aastail 2021–2100

Näitaja	Täiendav tselluloositootmine								
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	keskmine aastas	0	-205	-23	-14	-12	-10	-7	-6
	kumulatiivne	0	-2052	-2279	-2414	-2538	-2637	-2703	-2764
Tehase tootmiskaht	tselluloosi perioodil, kt/a	0	420	420	420	420	420	420	420

Tabel 7.18 Täiendava tselluloositootmise meetme kulutõhusus

Näitaja	2021–2030	2031–2040	2041–2050
Kumulatiivne investering, mln €	700	700	700
Kumulatiivne täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	0	-2052	-2279
Lisandväärtuse suurenemine, mln €	0	1600	3200
Täiendavalt seotud CO ₂ väärtus, mln € (hind 25 ja 50 €/t CO ₂ ekv)	0	51,3–102,6	57–114

Puidu keemilise töötlemise positiivne mõju avaldub ennekõike täiendava lisandväärtuse loomises, mis on suurem kui investeeringukulu, ning samal ajal seotakse toodanguga teatud ajaks täiendav kogus süsinikku. Mõju metsamaa ja puittoodete võrdlustasemele on positiivne, aga CO₂ ekvivalenttonnides mõõtes väiksem ka nt hõredate puistute uuendamisest tuleneva mõjuga. Tegemist oleks väga suuremahulise, sadadesse miljonitesse eurodesse ulatuva investeeringuga.

7.1.8.2 Saematerjali tootmise kasv

Saematerjali tootmise kasv alates 2025 (0,5 mln m³ saepalgi täiendav kasutuselevõtt, eelkõige peenema materjali ja lehtpuupalgi poolest). Meetme rakendamise esimese kümne aasta

keskmisena oleks meetme mõju süsiniku sidumisele absoluutväärtusena ca 200 kt/a CO₂. Tootmismahu säilimisel hakkab puittoodete lagunemine tasapisi vähendama täiendavat sidumist.

Tabel 7.19 Saematerjali tootmise kasvu meetme mõju LULUCFi netoheitele aastail 2021–2100

Näitaja	Saematerjali tootmise kasv								
		21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	keskmise aastast	-130	-185	-151	-124	-102	-83	-68	-56
	kumulatiivne	-1300	-3147	-4661	-5902	-6920	-7754	-8439	-9000
Täiendav saepalgi maht	saepalgi maht perioodil kokku, mln m ³	3	5	5	5	5	5	5	5

Tabel 7.20 Saematerjali tootmise kasvu meetme kulutõhusus

Näitaja	2021–2030	2031–2040	2041–2050
Kumulatiivne investeering, mln €	60	70	80
Kumulatiivne täiendav sidumine, kt CO ₂ ekv	-1300	-3147	-4661
Lisandväärtuse suurenemine, mln €	38	114	190
Täiendavalt seotud CO ₂ väärtus, mln € (hind 25 ja 50 €/t CO ₂ ekv)	32,5–65	78,7–157,4	116,5–233,1

Esmane investeeringuvajadus on 60 mln eurot. Positiivne mõju majandusele avaldub puidutöötlemisega loodavas täiendavas lisandväärtuses, sh metsaomanike jaoks peene-möödulise puidu hinnatõusus. Saematerjali tootmise süsinikusidumise kuluefektiivsus võrreldes tselluloositootmisega tuleneb toodetega seotud süsiniku erinevast poollaguajast. Saematerjalil on see kasutusel oleva meetodika kohaselt 35 aastat, tselluloosist valmistataval paberil ja papil vaid 2 aastat.

Saetööstustest pärinevate andmete kohaselt on 1 m³ saematerjali tootmisega tekkiv lisandväärtus 38 eurot. Oletatakse, et vajalikud investeeringud aastaks 2050 on kokku 80 mln eurot, on ka selle meetmega loodav lisandväärtus juba aastatel 2031–2040 suurem kui investeering. Tegemist on seega meetmega, kus süsiniku pikaajalise sidumisega puittoodetesse kaasneb märkimisväärne positiivne sotsiaalmajanduslik mõju.

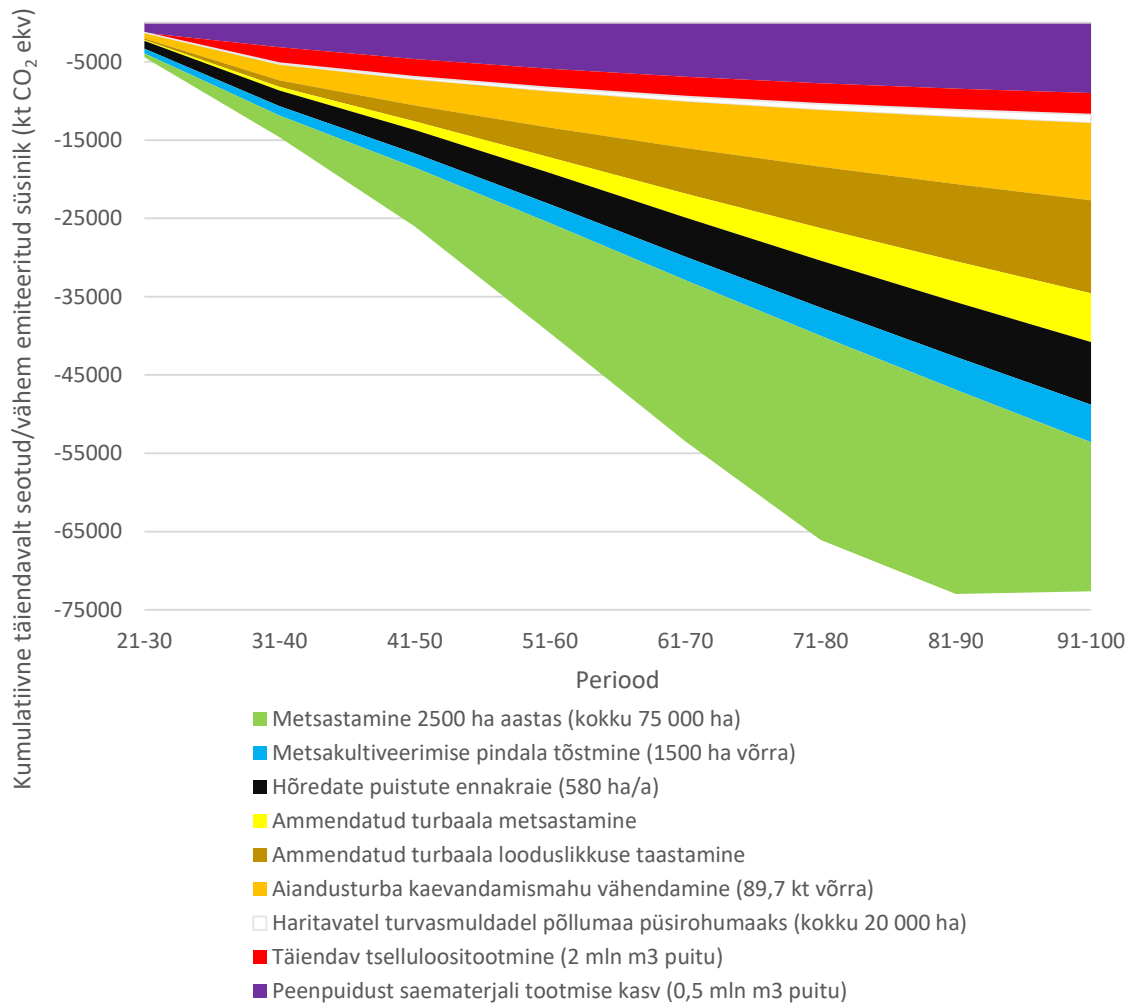
7.2 Täiendavate meetmete mõju kokku

Tabelis 7.21 on summeeritud täiendavate meetmete stsenaariumi mõjud netoheitele (vaata ka tabel 7.2).

Tabel 7.21 Täiendavate meetmete mõju kokku aastail 2021–2100

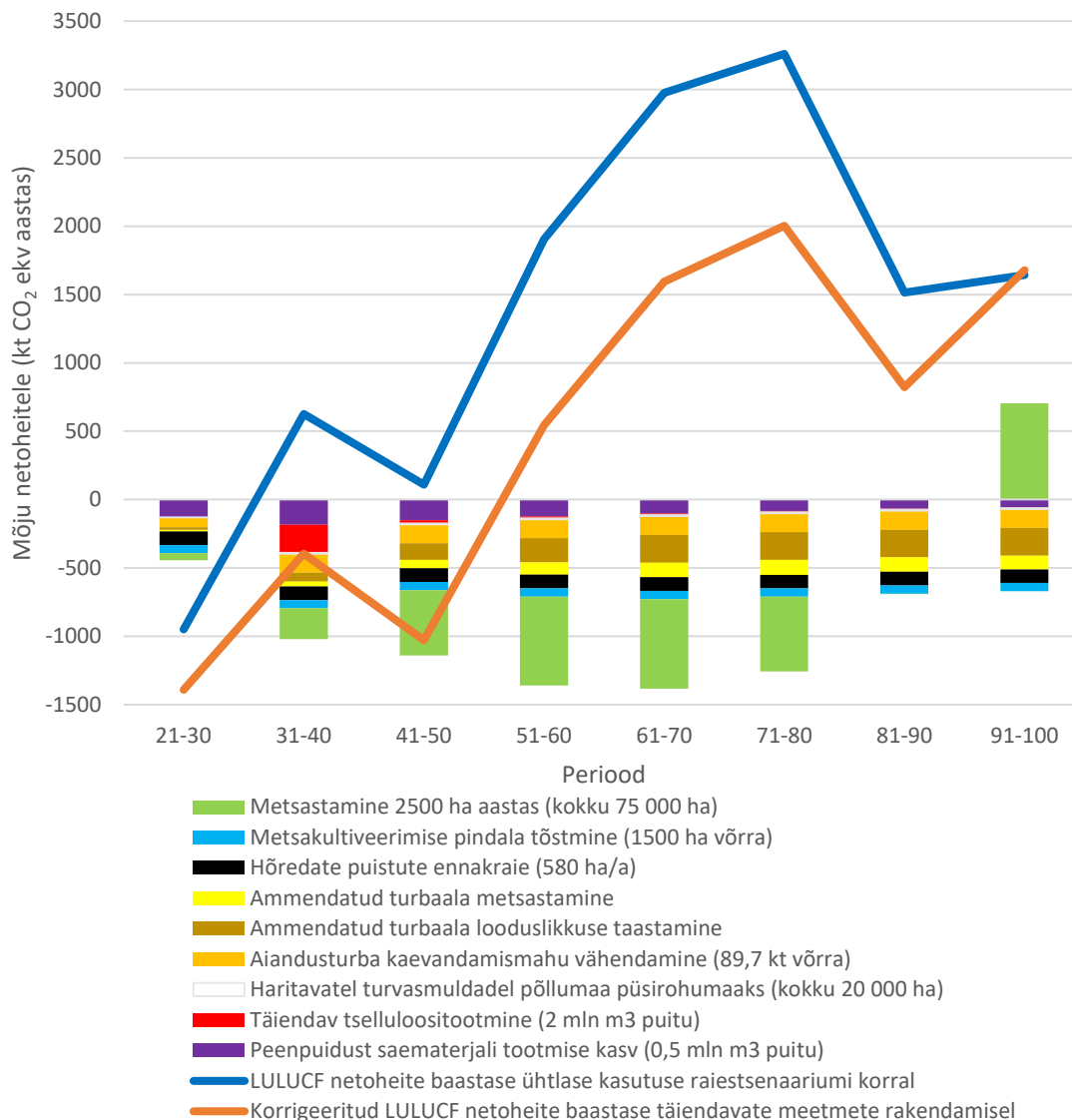
Meede	Meetmete mõju netoheitele, kt CO ₂ ekv								
	Näitaja	21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
Täiendavad meetmed kokku	keskmise aastast	-443	-1022	-1140	-1361	-1383	-1258	-691	35
	kumulatiivne	-4430	-14652	-26051	-39660	-53487	-66069	-72976	-72631

Täiendavate meetmete stsenaariumi allkomponentide mõju avaldub ajas erinevalt. Mõne meetme mõju netosidumisele on kiire ja lühiajaline (nt tselluloositehase rajamine), teistel pikaajaline ja stabiilne (nt metsakultiveerimise taseme tõstmine, hõredate puistute ennakraie, haritavatel turvasmuldadel põllumaa viimine püsirohumaaks). On ka meetmeid, mille mõju ajas kasvab (nt ammendatud turbatootmisalade looduslikkuse taastamine), ehkki mõnel juhul võib mõju pikema perioodi järel järsult kahaneda (nt mittemetsamaade metsastamisel või ammendatud turbatootmisalade metsastamisel uuendusraiate järgselt).



Joonis 7.1 Täiendavate meetmete kumulatiivne mõju netoheitele 2021.–2100. aastal

Meetmete summaarne mõju kümnendi kohta kasvab 2060. aastani ja jääb siis kaheks aastakümneks samale tasemele (vt tabel 7.21 ja joonis 7.2). Sajandi viimastel aastakümnetel alustatud meetmete mõju kahaneb kiiresti ja jõuab sajandivahetuseks sisuliselt nulli. Meetmete kumulatiivne mõju netoheitele ulatub 73 Mt CO₂ ekv. Meetmete summaarse mõju stabiliseerumine sajandi keskpaigal viitab vajadusele uute täiendavate meetmete kasutuselevõtuks.



Joonis 7.2 LULUCFi täiendavate meetmete koondstsenaariumi mõju sektori netoheittele 2021.–2100. aastal (baasstsenaarium on ühtlase kasutuse raiestsenaarium)

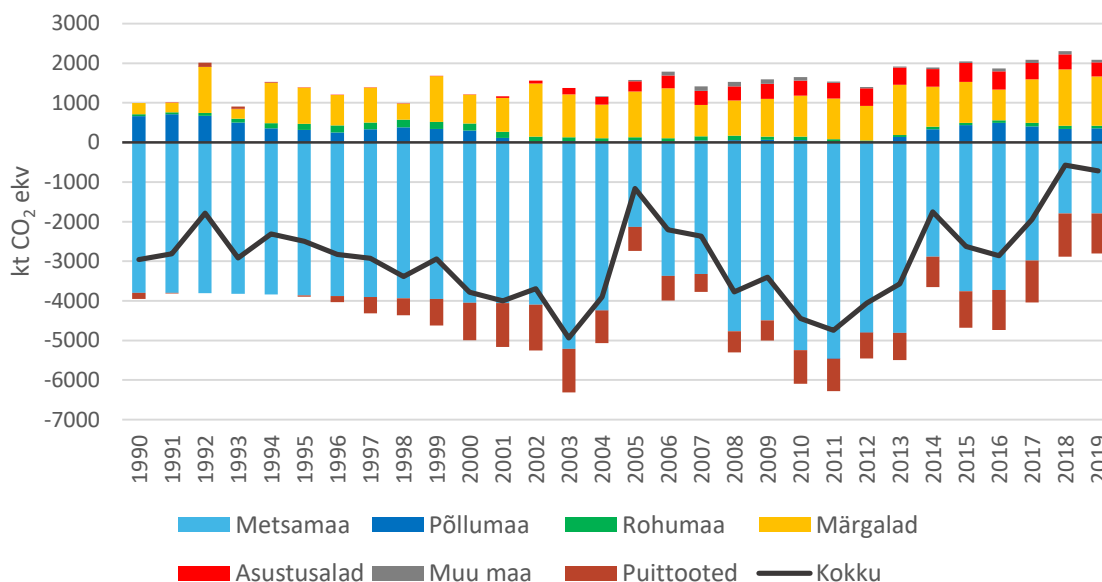
Mitme esitatud meetme prognoositav positiivne mõju süsinikusidumisele on aastaks 2050 küllaltki sarnane: hõredate puistute ennaktempo uuendamine 3000 kt CO₂ ekv, 21 000 ha ammendatud turbaalade metsastamine ja looduslikkuse taastamine kokku 3128 kt CO₂, aiandusturba kaevandamismahu vähendamine nullheiteni 3290 kt. Oluliselt suurema positiivse mõjuga on metsastamisprogramm, mille korral täiendav sidumine on 7538 kt CO₂ ekv. Ka saematerjali tootmise kasv on olulise mõjuga (4661 kt CO₂ ekv).

Süsiniku sidumise seisukohast kuluefektiivseimad meetmed on hõredate puistute ennaktempo uuendamine ja ammendatud turbatootmisaladel looduslikkuse taastamine. Nende meetmete rakendamise korral kulub aastaks 2050 ühe tonni CO₂ ekvivalendi sidumiseks kuni kuus eurot.

Mõned täiendavate meetmete stsenaariumis esitatud meetmed on isetasuvad: pikas perspektiivis saadakse tulu, mis katab esimestel aastakümnetel tehtud kulud. Need on metsastamine, ammendatud turbatootmisalade metsastamine, puidutöötlemisse tehtud investeeringud.

8. Kokkuvõte

- Maakasutuse, maakasutuse muutuse ja metsanduse (LULUCF) sidumisvõimekuse uuring on valminud Keskkonnaministeeriumi tellimisel, analüüsivaks komplekselt LULUCFi sektori kasvuhoonegaaside (KHG) sidumisvõimaluste potentsiaali ja ulatust 2030. ja 2050. aasta kliimapoliitika eesmärkide täitmiseks, arvestades sealjuures ka pikemaajalist perspektiivi (kuni 2100. aastani).
- LULUCFi sektor on ainuke süsiniku netosiduja KHG inventuuris raporteeritavatest sektoritest.
- LULUCFi sektoris hinnatakse ainult inimtekkeliste kasvuhoonegaaside heidet ja sidumist. LULUCFi aruandlus ei kajasta kogu maakasutuse KHG bilanssi ega arvesta ka puidu asendusefekti.
- LULUCFi sektori siseselt on KHG sidujad olnud metsamaa ja puittoodete kategooriad, suurimad heitjad on märgalad, põllumaad ja asustusalad.



Joonis 8.1 Kasvuhoonegaaside heide ja sidumine LULUCFi sektoris 1990.–2019. aastal (NIR 2021)

- LULUCFi sektori KHG heidet mõjutavad peamiselt metsade vanuseline struktuur, majandamise praktikad metsamaal (sh raiemaht) ja põllumaal, kuivendatud turvasmuldadest tulenev heide, aiandusturba heitkogused ning süsiniku sidumine puittoodetes.
- Kliimaeesmärkide saavutamiseks ei piisa ainult sidumise suurendamist toetavatest meetmetest – aktiivselt tuleb panustada ka heide vähendamist soodustavatesse tegevustesse kõigis LULUCFi kategooriates. Arvestada tuleb ka meetmete sotsiaalmajandusliku mõjuga, mis eeldab kompromisse erinevate eesmärkide vahel.
- LULUCFi täiendavate meetmete planeerimisel on oluline arvestada pikka perspektiivi, sest mitmete meetmete positiivne mõju avaldub kaugemas tulevikus nii süsinikubilansi kui ka sotsiaalmajanduslikust aspektist.

Metsamaa

Metsandus Metsasektor (st metsamajandus ja -tööstus) on üks Eesti olulisematest majandussektoritest, samas on metsade majandamisel oluline mõju KHG bilansile. Pikaajalise tasakaalu leidmine kliima- ja majanduseesmärkide vahel on üks LULUCFi sektori võtmeküsimustest. Metsamajanduse kogumõju hindamiseks tuleb lisaks metsamaa ja puittoodete sidumisele arvestada ka puidu kui taastuva materjali kasutamist kõrge süsinikujalajäljega mineraalsete materjalide ja fossiilsete kütuste asemel (asendusefekt).

- Uuringus vaadeldi nelja raiestsenaariumi (koos puittoodetega) mõju KHG netoheitele aastatel 2021–2100: ühtlane kasutus, arvestuslank, küpsuslank ja uuendusraie 5 miljonit m³. Raiestsenaariumites hinnatakse erineva intensiivsusega uuendusraiate mõju metsavarudele pikas perspektiivis.
- Pikas perspektiivis kasvab metsamaa tagavara kõigi stsenaariumite puhul, kuid mitte järjepidevalt 100 aasta jooksul. Kasv võib olla nii vaadeldava perioodi alguses, kesk- kui ka lõpuosas. Ka stsenaariumi uuendusraie 5 miljonit m³ korral hakkab metsade kogutagavara metsa vananemisel sajandi lõpuosas langema.
- Metsanduse mõju KHG netosidumisele on pikemas perspektiivis nullile lähenev kõikide stsenaariumite korral ning sidumisvõime kasv (netojuurdekasvu suurenemine) eeldab täiendavate metsakasvatustlike võtete rakendamist ja/või metsamaa pindala suurendamist.
- Lähikümnendil saavutatakse metsamajanduse ja puittoodete heitkoguse võrdlustase (*Forest Reference Level*) ühtlase kasutuse ja 5 miljonit m³ uuendusraie stsenaariumi puhul. Sotsiaalmajanduslikku mõju silmas pidades tuleks eelistada ühtlast kasutust, mille korral on sektori lisandväärtus 392 mln euro võrra aastas ja tööhõive 5500 hõivatut võrra suurem kui stsenaariumi 5 mln m³ uuendusraie korral.
- Aastaks 2050 ühtlase kasutuse, arvestuslangi ja küpsuslangi stsenaariumi võimalikud raiemahud ja lisandväärtus sisuliselt võrdsustuvad.
- Majandusmetsa vanuselise struktuuri ühtlustumisele viiksid kiiremini arvestuslangi ja ühtlase kasutuse stsenaariumid, küpsuslank ja uuendusraie 5 miljonit m³ suurendaksid ebahühtlust veelgi.
- Koguraiemahu olulisel vähenemisel suureneb küpsete majandusmetsade pindala ja osakaal oluliselt, mis ei ole pikas perspektiivis soodus ei kliimaeesmärkide (metsade sidumisvõime tasapisi väheneb, häiringute oht suureneb, puittoodetesse seotava süsiniku kogus väheneb) ega ka majanduslikust vaatest (lisandväärtuse langus, kallimate sortimentide osakaalu vähenemine, vähenev omanikutulu ja investeringud metsakasvatusse).

Metsamaa pindala

Viimasel kümnendil ei ole metsamaa pindala metsastumise vähenemise ja raadamise suurenemise tagajärjel kasvanud.

Metsastamine. Kuigi mittemetsamaade metsastamise mõju CO₂ sidumisele ei saabu koheselt, on tegemist ühe kiirema ja mõjusama meetmega.

- Metsastamisprogrammis on käsitletud kuni 75 000 ha loodusliku rohumaa metsastamist kuuse-, männi- ja kasekultuuridega.
- Aastaks 2050 ületab mittemetsamaa metsastamise abil täiendavalt seotud CO₂ väärtus metsastamise maksumuse (kauplemisühiku hinnatasemel 25 eurot/CO₂ tonn).

- Metsastamismeede tasub end pikemas perspektiivis ka majanduslikult ära, kuna sajandi keskel on võimalik hakata harvendusraietest ja sajandi lõpul uuendusraietest tulu teenima.

Raadamine. Raadamisel on oluline ja pikaajaline mõju KHG heitele. Soovitav on välja töötada raadamisest tulenevate heitkoguste kompensatsioonimehhanism. Tulu võiks kasutada nt metsastamisprogrammi finantseerimiseks. Raadamisele tekkiva täiendava heite kompenseerimise ühikuhinna alus võiks olla keskmine metsamaa hektaril seotud süsinikukogus.

Metsakasvatus

Metsakasvatuslike tegevustega on võimalik mõjutada nii metsa süsinikusidumise võimekust, seotud süsiniku kogust kui ka metsast saadavat puidu kvaliteeti ja tulu.

Metsakultiveerimine. Metsa kultiveerimine eriti viljakates kasvukohtades suurendab metsa keskmist hektaritagavara ja kvaliteetpuidu väljatulekut ning sellega koos ka lisandväärtust.

- Viljakates kasvukohatüüpides on metsakultiveerimine okaspuuenamusega puistute osakaalu säilimise eeldus.
- Viljakate kasvukohtade küpsete okaspuu-kultuurpuistute hektaritagavara on veerandi võrra suurem kui looduslikult uunenud okaspuupuistutes. Metsakultiveerimisel võidetakse ajaliselt, metsa kasvus tänu kontrollitud paljundusmaterjali kasutamisele ja puuliikide koosseisus tulenevalt tarbesortimentide suuremast väljatulekust.
- Metsakultiveerimise mahtu oleks eelkõige võimalik tõsta erametsamaadel. Ühtlase kasutuse raiestsenaariumi korral võiks erametsamaa kultiveerimise osakaalu lageraietest tõsta 10% võrra, mis eeldab teavitus- ja toetuskeemide jätkumist.

Harvendusraie. Harvendusraied ei suurenda puistute puiduvaru (biomassi) ja puudesse seotud süsiniku hulka. Vahetult raie tegemise järel süsiniku sidumine väheneb, kuid puistu ei muutu süsiniku heitjaks. Harvendusraied võimaldavad kasutada allajäänud ja surevate puude puitu puittoodetes. Harvendusraied suurendavad uuendusraietelt saadavat kvaliteetpuidu osakaalu, mistõttu suureneb puidutulu võrreldes harvendamata puistuga ligikaudu viiendiku võrra.

Hõredate puistute ennakraie. Häiringute ja inimtegevuse tõttu hõredaks jäänud puistud moodustavad 10% keskealistest ja vanematest majandusmetsadest. Hõredad puistud ei kasuta kogu kasvupotentsiaali, nende tagavara ja puitses biomassis seotud süsiniku kogus on madal ning juurdekasv ja süsiniku sidumise võime on võimalikust oluliselt väiksem. Majandusmetsa hõredad keskealised ja valmivad puistud on soovitav enne küpsusvanust raiuda. Sellega tõstetakse pika perioodi keskmisena tagavara ning süsiniku seotust puitses biomassis, suurem on ka kallimate sortimentide osakaal uuendusraiel.

Kuivendamine. Kuivendamise tagajärjel suureneb metsade produktsioon, samas soodustab veetaseme alanemine turba lagunemist ning sellega seotud CO₂ ja N₂O heitkoguste kasvu. Olenevalt kuivendatud ala ja sellel kasvava puistu iseloomust võivad kuivendatud metsad olla nii süsiniku sidujad kui ka emiteerijad. Üldiselt hinnatakse boreaalses vööndis kuivendamist kliimaatilisel jätkusuutlikuks eelkõige toitainetevaestes kasvukohatüüpides. Uuendusraiate planeerimisel ja uue metsapõlve puuliikide valikul tuleks kuivendatud aladel arvestada ka süsiniku sidumise aspektiga.

Puittooted

Pikemal perioodil on süsiniku sidumine puittoodetes vaadeldav nullina, sest täiendav sidumine saab tulla tootmismahude kasvust (eeldab suuremat raiemahtu), toodete struktuuri muutumisest (pikemaaliste toodete osakaalu suurenemine) või toodete eluea tõstmisest. Puittoodete tegeliku mõju hindamisel süsinikubilansile tuleks arvestada ka asendusefekti.

Nii süsinikubilansi kui ka sotsiaalmajanduslikust aspektist on suurima mõjuga paberipuidu ekspordi asendamine töötlemisega Eestis. Paberipuitu saaks kasutada:

- peenemõdulisest puidust saematerjali tootmisel;
- puidu keemilisel väärimisel tselluloosi- või puidurafineerimistehases. 2 mln m³ paberipuidu keemilise töötlemise korral tuleks otsene lisandväärtus 89–113 mln eurot, koos kaudse lisandväärtusega 148–188 mln eurot aastas.

Puitplaatide (puitkiud- ja puitlaastplaadid, spoon ja vineer) tootmismahude suurendamine aitaks tõsta süsiniku seotust puittoodetes, kuid takistuseks võib saada terav konkurents puitkiud- ja laastplaadi tootmises.

Ligkaudu 70% LULUCFi kategooria puittoodete tooraineks olevast puidust kasutatakse esmalt saetööstustes saematerjali toorainena. Saematerjali tootmismahutu oleks võimalik suurendada eelkõige peenemõdulise toormaterjali kasutamise või lehtpuidust saematerjali tootmise suurendamisega.

Pikaealistes toodetes oleva puidu osakaalu aitavad suurendada õiged metsakasvatustalud võtted, mis suurendavad tarbesortimentide väljatulekut raietest.

Energiapuit. Eestist eksporditavast puidust üle 3 miljoni m³ leiab otsest kasutust energiasektoris (lisaks veel sekundaarne kasutus). Selle ekspordikoguse osaline kasutus kõrge kasuteguriga koostootmisjaamades Eestis aitaks vähendada energiasektori heidet. Koostootmisjaamade ehitamiseks sobivad eelkõige suure soojustarbimisega kohad (nt linnad, kus soojatootmine siiani toimub põlevkivitööstuses tekkiva heitsoojusega).

Asendusefekt

Puidust kui taastuvast loodusvarast saadud materjali on võimalik kasutada suure süsiniku jalajäljega materjalide (nt betoon, metall) ja kütuste asemel, mille tagajärjel lisandub ringesse vähem täiendavat süsinikku. Kliimaeesmärkide saavutamisel on oluline tõsta süsiniku koguhulka, mis on seotud metsa biomassi ja puittoodetes, ning samal ajal arvestada ka asendusefektiga. Asendusefekt võimendub astmetena, süsinikku saab puitu taas siduda ning sama süsinikukogus jääb ringlema, st puidukasutuse „võit“ võimendub ajas.

Ühtset lähenemist asendusefekti hindamiseks maailmas ei ole. Mõju hinnangud erinevad kordades. Kui näiteks 2019. aastal sidusid Euroopa Liidu (EL27 + ÜK) metsad 358 Mt CO₂, millele lisandus puittoodetes seotud kogus 41 Mt CO₂, siis hinnangud asendusefekti mõjule jäävad vahemikku 40–400 Mt CO₂ aastas. Suure erinevuse põhjus on erinev lähenemine küsimusele, kas arvestada ainult täiendavat asendamist või saab arvestada ka juba olemasolevat tootmist. Väiksemad erinevused tulenevad süsteemi piiride erinevast käsitlusest: kas arvestatakse toote elueaga, toote päritolu- ja kasutuspiirkonnaga või tegevusvaldkonnaga seotud heidet. Mida komplekssemalt mõju hinnatakse, seda sisulisem tulemus saadakse. Asendusefekti hindamisel tuleks arvestada materjalide kogu eluea heidet (sh tootmine, transport, taaskasutus ja jäätmeäritlus) ning asenduse mõlemasuunalist mõju, ehk kui otsustada kasutada vähem puitu, siis hinnata, millega see asendatakse.

Põllumaad ja rohumaad

Põllu- ja rohumaadel on KHG heitkoguste vähendamise puhul määravaks mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) varu ja selle muutused.

- Turvasmuldade harimine moodustab ligi 40% põllumajandusega seotud KHG heitest. Haritavatel turvasmuldadel põllumaa viimine püsirohumaade alla, taastamine märgalana (sh märgalaviiljelus) või metsastamine vähendab KHG heitkoguseid. 1000 ha püsirohumaad alla viimisel oleks kumulatiivne heitkoguste vähendamise mõju 2050. aastaks 19 kt CO₂ ekv, metsastamise korral 40 kt CO₂ ekv.
- Mineraalmullal haritava maa viimine püsirohumaad alla vähendab mullaharimise intensiivsust ja selle kaudu väheneb KHG heitkogus, kuid meede on efektiivne muldades, mis on kaotanud olulise osa oma esialgsest C_{org} varust.
- Orgaaniliste väetiste kasutamine, mitmekesistatud ja pikemad külvikorrad, liblikõieliste kultuuride ja vahekultuuride kasvatamine ning mustkesa vältimine külvikorras suurendavad mulla C_{org} varu ja vähendavad KHG heidet.
- Puittaimestiku ribade ja hekkide rajamine põllumajandusmaastikel ning agrometsandus suurendavad CO₂ sidumist, kuid sidumine ei pruugi olla pikema aja jooksul püsiv. Meede suurendab elurikkust ja loodusalade sidusust.
- Põllumajandusmaast moodustavad ligikaudu 35% happelised mullad, mille neutraliseerimine lupjamisega parandab taimede kasvutingimusi suurendades produktiivsust, mille tulemusena võib suurened orgaanilise aine kogus mullas, mis vähendab KHG heidet.
- Lühikese raieringiga istandikes on majandamise tulukuse ja süsinikubilansi mõttes otstarbekas kasvatada metsapuid (nt hall lepp, hübriidhaab), millest saab lisaks energiapiidule ka kallemaid sortimente.

Märgalad

Jääksoode korrastamine (märgala taastamine või metsastamine) võimaldab oluliselt vähendada KHG heitkoguseid. Kliimaeesmärke silmas pidades on jääksoode korrastamine kiiresti mõjuv kuluefektiivne tegevus.

- Süsinikuheite vähenemise rahaline väärtus katab märgala taastamiseks tehtud kulud juba 2030. aastaks, metsastamise korral 2040. aastaks;
- jääksoo märgalaks korrastamisega saavutatakse suurem KHG heitkoguste vähendamine kui metsastamisega, sest metsastamisel jätkuvad kuivendamise mõjul heitkogused pinnasest. Metsastamine on pikas perspektiivis tulukam raietest saadava tulu tõttu.

Aiandusturba kaevandamine. Majandatavate märgalade kategooria võrdlustaseme saavutamiseks tuleks perioodil 2026–2030 aiandusturba kaevandamise mahtu vähendada aastate 2015–2019 keskmisega võrreldes 13,7% võrra, keskmiselt ligi 90 kt/a.

Uuringuvajadused

LULUCFi aruandlus põhineb maakasutuse olemi ja muutuste ning metsanduse ja turbatootmise näitajatel. KHG bilansi hindamisel kasutatakse erinevaid heitetegureid. Pidevalt kasvavad nõuded nii KHG inventuuri metoodikale kui ka andmete täpsusele. Lähiaastatel on vaja täpsustada nii maakasutuse arvestamise põhimõtteid (GISi põhine) ja metoodikat, leida riigispetsiifilised heitetegurid ning täiustada ja arendada KHG bilansi arvutamise mudeleid.

Täiendavate meetmete koondstsenaarium

Uuringus kirjeldatud meetmetest koostati üks võimalik täiendavate meetmete koondstsenaarium iseloomustamaks võimaliku LULUCFi netoheite vähendamise tegevuskava mõju võrreldes baastasemega. Kõiki meetmeid samaaegselt rakendada ei ole võimalik või otstarbekas. Piiranguks võivad saada nii kasutatavad vahendid, poliitilised eelistused kui ka ebapiisavad teadmised meetmete rakendamise võimalikust ulatusest ja pikaajalisest mõjust.

Kuni aastani 2050 on mõjusamad meetmed looduslike rohumaade metsastamine, saematerjali tootmise kasv, tselluloosi tootmismahu oluline suurendamine, jääksoode taastamine ja aiandusturba kaevandamismahu piiramine võrdlustasemeni.

Süsiniku sidumise seisukohast on kuluefektiivseimad meetmed hõredate puistute ennaktempos uuendamine ja ammendatud turbaaladel looduslikkuse taastamine. Nende elluviimisel kulub aastaks 2050 ühe tonni CO₂ ekvivalendi sidumiseks kuni kuus eurot. Ehkki nt mittemetsamaa ja ammendatud turbaalade metsastamine ning puidutöötlemisse tehtud investeeringud on „isetasuvad meetmed“, mille rakendamisel saadakse perspektiivis tulu, võib osutuda vajalikuks toetusmehhanismide kasutamine meetmete „käivitamiseks“.

Kokkuvõtvalt aitavad valitud meetmed hoida LULUCFi sektorit sidumise poolel 2050. aastani, edaspidi muutuks sektor heitjaks. Meetmete koondmõju on oluline kuni aastani 2070. Täiendavate meetmete mõju tuleks igal kümnendil hinnata ning vastavat tegevuskava täiustada uute meetmetega.

LISAD

Lisa 1. Raiestsenaariumite arvutamise meetodika

Eeldused

Mets on pidevas muutumises. Metsa muudavad nii raied kui ka looduslikud protsessid. Töös püüti prognoosida, kuidas muutub metsa vanuseline struktuur ja tagavara ning raiemaht, seda erinevate raieliikide (uuendus-, harvendus-, sanitaarraie) lõikes, kuni 100-aastases ajaperspektiivis. Kuna mets on väga keeruline süsteem, kus on palju muutujaid ja nende seosed mitmekesised, mistõttu on paratamatult sellised prognoosid suure võimaliku veaga. Arvutused, mis ulatuvad enam kui 50 aastat tulevikku, on vähese sisulise väärtusega. Seega ei ole tulemuste analüüsimisel mõtet keskenduda konkreetsetele arvudele, vaid eelkõige käsitleda suundumusi.

Metsa vanuse prognoosimisel lähtuti eeldusest, et:

- metsamaa kogupindala, enamuspoolsuse metsamaa pindala ja erinevate metsakategooriate pindala ei muutu;
- raiesmikud uuenevad seal varem kasvanud puuliigiga;
- kasvav mets saab igal järgneval perioodil 10 aastat vanemaks;
- hoiumets lihtsalt vananeb, kuid seda puuliigist sõltuva maksimaalse piirvanuseni (näiteks männikutel kuni 250, kuusikutel kuni 170 aastat).

Iga 10-aastase perioodi raie arvutamisel lähtuti selleks ajaperioodiks väljakujunenud metsade vanuselisest jaotusest. Metsa tagavara ennustamiseks leiti SMI andmete alusel vanuseklasside keskmised hektaritagavarad enamuspoolsuse ja boniteediklasside lõikes. Tagavara prognoosimist raskendab asjaolu, et meie metsa kasv on pidevalt paranenud ja sama vana mets tulevikus on eeldatavalt keskmisena suurema hektaritagavaraga kui praegu. Näiteks on SMI andmetel metsade keskmine boniteediklass paranenud 0,3 klassi 10 aasta kohta⁸⁷. See tähendab, et sama vana mets on praegu keskmisena 1 m kõrgem, kui oli seda 10 aastat tagasi. Kuigi puuliigiti on see näitaja mõneti erinev, on suundumus kasvu paranemisele omane kõikidele liikidele. Peamisteks põhjusteks on kliimamuutused, metsakuivenduse mõju ja paremad metsa majandamise võtted. Kas ja millisel määral selline kasvu kiirenemine jätkub ka tulevikus on pea võimatu ennustada. On ka neid eksperte, kes prognoosivad, et kliima soojenemise tulemusena metsa kasv tulevikus hoopis aeglustub.

Käesolevas töös eeldati, et metsa hektaritagavara:

- suureneb lähima 30 aasta jooksul võrreldes 2019. aasta seisuga 12% võrra ehk 4% kümnendi kohta; järgneva 70 aasta jooksul enam ei suurene, jäädes praegusest 12% suuremale tasemele;
- stsenaariumi uuendusraie 5 miljonit m³ aastas korral suureneb väiksemal määral (esimese 30 aastaga 6% võrra ehk 2% kümnendi kohta);
- rangelt kaitstava metsa puhul arvutustes ei suurene, kuna metsa kasvu paranemine avaldub eelkõige nooremates metsades.

Konkreetsete tagavarade leidmiseks igal kümnendil korrutati vanuseklassi hektaritagavara läbi vanuseklassi pindalaga, seda enamuspoolsuse ja boniteediklasside lõikes. Tulemused summeeriti ja saadi selle ajaperioodi metsade tagavara.

Käesoleva tööga analoogilised arvutused on viimastel aastatel tehtud kahel korral:

- uuendusraie arvutus riikliku metsanduse arvestuskava toetuseks⁸⁸;

⁸⁷ Keskkonnaagentuur (2019). Statistiline mets: 20 aastat statistilist metsainventeerimist Eestis.

<https://keskkonnaagentuur.ee/media/884/download>

⁸⁸ <https://envir.ee/media/1034/download>

- raporti „Mets ja kliimamuutused“⁸⁹ raames.

Võrreldes mainitud töödega, võib esile tuua mõned erisused:

- arvutused põhinevad SMI 2015–2019 mõõtmisandmetel, eelmised tööd SMI 2013–2017 mõõtmistel;
- uuendusraie arvutustes on kalda piiranguvööndi metsad arvatud tulundusmetsade hulka, varem käsitleti neid osana kaitsemetsast;
- lisati uus raiestsenaarium, kus uuendusraie mahuks on arvestatud 5 miljonit m³/a, seda kogu analüüsiperioodi vältel;
- metsa tagavara prognoosimisel arvestati metsa kasvu paranemisega.

Andmestik

Statistiline metsainventeerimine (SMI; ingl k: *National Forest Inventory, NFI*) on suuremate metsaalade objektiivse ja ökonoomse inventeerimise meetod, mis põhineb matemaatilise statistika valikmeetoditel ehk tõenäosuslikul valikuuringul. Inventeerimise tulemused saadakse juhuslikkust tagava süsteemiga paigutatud väikese-pindalalistelt proovitükkidelt kogutud mõõtmisandmete üldistamise teel. Tuleb arvestada, et SMI kui valikmeetodiga saadud andmed ei ole absoluutselt täpsed, vaid hinnangud. Tulemused on täpsemad, mida suurem on kirjeldatav üksus ning igale näitajale on võimalik arvutada teoreetiline viga. Töös on kasutatud algandmetena SMI 2015.–2019. aasta inventuuride mõõtmisandmeid, kusjuures iga aasta andmetel on metsi iseloomustavate tunnuste hinnangute arvutamisel võrdne kaal.

Metsa majandamise peamise eesmärgi järgi jagatakse metsad:

- tulundus- ehk majandusmetsaks, kus majandamine on lubatud vastavalt metsaseadusele ja selle alusel kehtestatud õigusaktide nõuetele;
- kaitsemetsaks, kus majandamistegevus on piiratud, kuid mitte keelatud, piirangu rangus võib olla väga erinev. Piirangud tulenevad seadustest, kaitseala või kaitsealuse liigi kaitse-eeskirjast. Kalda piiranguvööndi kaitsemetsad on käesoleva töös raiestsenaariumite arvutamisel liidetud tulundusmetsaga, sest ainsaks kitsenduseks on seal lageraielangi maksimaalne pindala kaks hektarit, kuid sama reegel kehtib ka näiteks tulundusmetsa loometsades;
- rangelt kaitstavaks ehk hoiumetsaks, kus majandustegevus on keelatud.

Järgnevates tabelites on esitatud tulundus-, kaitse- ja kõigi majandatavate metsade jagunemine enamuspuliikide ja vanuseklasside lõikes.

Tulundus- ja kalda piiranguvööndi metsade pindala jagunemine enamuspuliigiti ja vanuseklassiti (1000 ha)

Enamus-puuliik	Metsata metsamaa		Metsaga metsamaa (puistute) vanuseklassid													Metsamaa		Puistud
	lage	selgusetu	... 9	10...19	20...29	30...39	40...49	50...59	60...69	70...79	80...89	90...99	100...109	110...119	120...	Kokku	%	
Mänd	15,1	21,9	5,7	25,0	21,9	21,9	27,9	43,5	53,4	72,4	65,2	43,1	26,3	18,8	26,2	488,4	27,4	451,3
Kuusk	26,1	28,5	10,1	36,4	23,9	34,4	44,6	39,0	25,5	29,8	27,5	12,4	6,9	5,1	3,4	353,6	19,8	299,0
Kask	22,0	22,1	26,2	66,8	54,2	49,7	61,7	85,3	69,9	59,7	27,3	8,0	4,8	0,5	0,3	558,6	31,3	514,5
Haab	5,1	11,6	19,6	18,1	8,6	5,4	6,0	15,0	15,9	9,6	5,4	2,1	1,0	0,8	0,2	124,6	7,0	107,9
Sanglepp	2,5	6,7	9,4	7,9	3,5	3,7	6,8	9,5	7,4	6,6	2,7	1,3	0,2	0,4	0,2	68,7	3,9	59,5
Hall-lepp	4,6	7,7	28,2	45,5	25,0	30,1	24,5	18,3	5,7	0,8						190,6	10,7	178,2
Kokku	75,4	98,7	99,2	199,7	137,2	145,4	171,5	210,7	177,8	179,0	128,1	66,9	39,1	25,6	30,3	1784,5	100,0	1610,5

⁸⁹ https://old.envir.ee/sites/default/files/metsad_ja_kliima_muutused_v3.0_eesti_keeelne.pdf

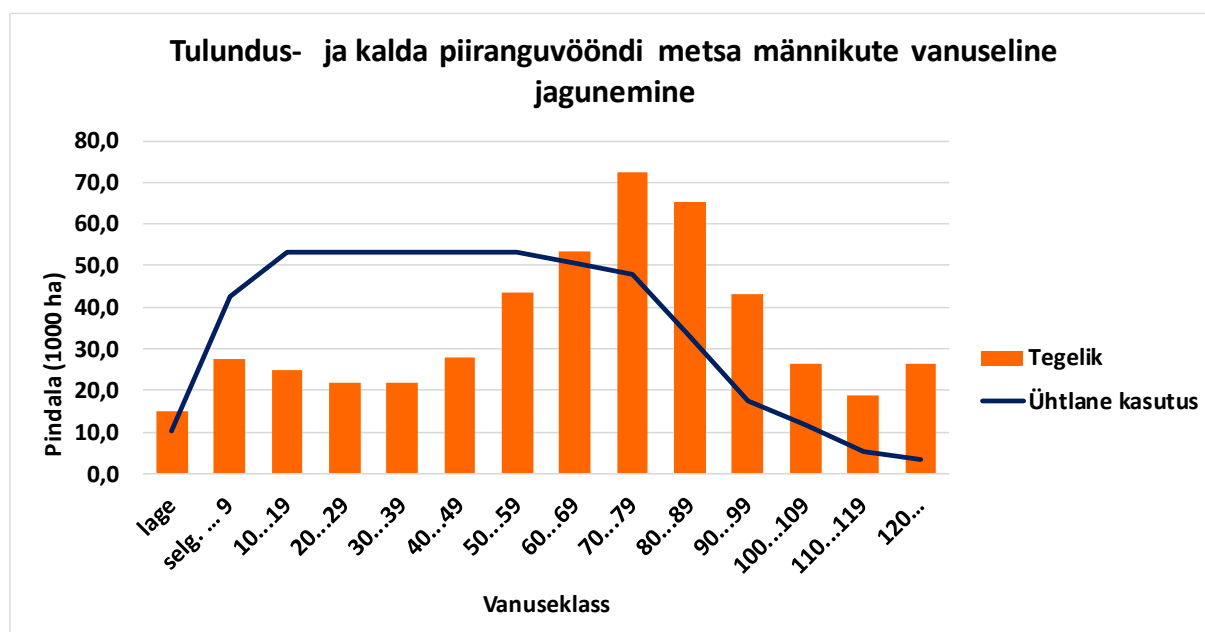
Kaitsemetsade pindala jagunemine enamuspüüliigiti ja vanuseklassiti (1000 ha)

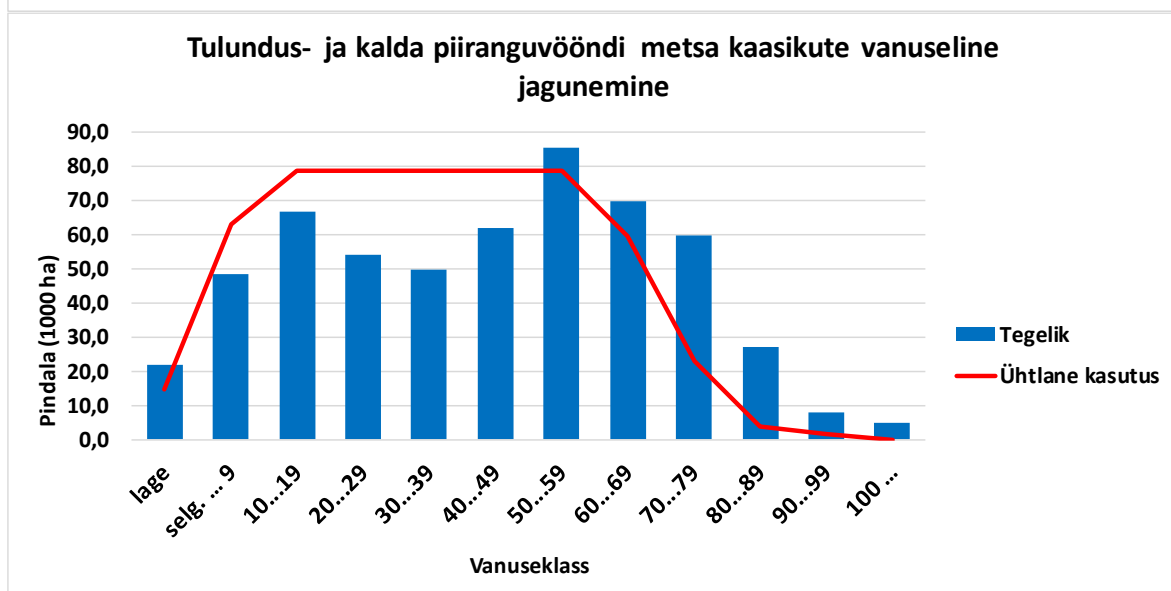
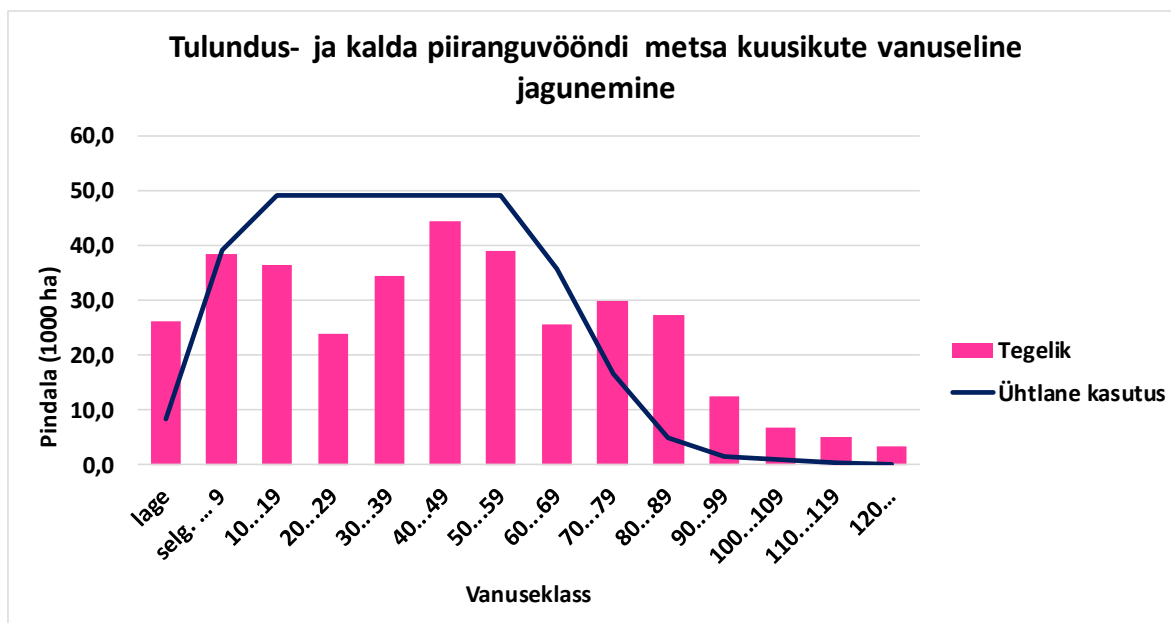
Enamus-püüliik	Metsata metsamaa		Metsaga metsamaa (puistute) vanuseklassid													Metsamaa		Puistud
	lage	selgusetä	... 9	10...19	20...29	30...39	40...49	50...59	60...69	70...79	80...89	90...99	100...109	110...119	120...	Kokku	%	
Mänd	0,9	1,9	0,0	1,4	2,2	3,3	7,3	6,0	7,8	12,9	10,7	11,7	6,1	4,6	9,9	86,8	46,2	84,0
Kuusk	0,9	1,8	0,5	1,4	1,1	2,3	4,4	3,8	2,5	3,7	3,1	3,1	2,2	0,9	2,2	34,1	18,2	31,4
Kask	0,5	0,5	0,2	1,6	4,8	5,4	5,2	6,5	6,1	4,6	3,3	1,2	0,5	0,2	0,2	40,4	21,5	39,5
Haab		0,6	0,7	0,6	0,5	0,2	0,5	1,1	1,0	1,4	0,8	0,2				7,5	4,0	6,9
Sanglepp	0,2		0,1	0,4	0,2	0,5	0,9	2,2	2,0	1,4	0,5	0,2				8,4	4,5	8,3
Hall-lepp	0,3	0,2	0,9	0,6	1,0	2,0	2,2	2,5	0,6	0,2						10,4	5,6	10,0
Kokku	2,8	4,9	2,4	6,0	9,7	13,7	20,4	22,0	20,1	24,3	18,3	16,3	8,8	5,7	12,2	187,8	100,0	180,1

Majandatavate metsade pindala jagunemine enamuspüüliigiti ja vanuseklassiti (1000 ha)

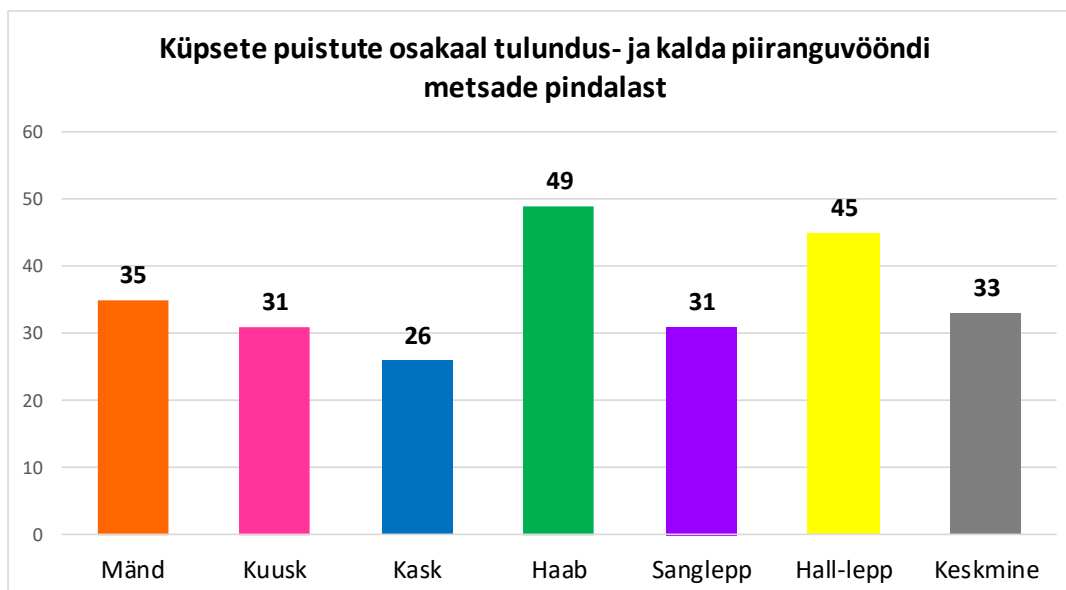
Enamus-püüliik	Metsata metsamaa		Metsaga metsamaa (puistute) vanuseklassid													Metsamaa		Puistud
	lage	selgusetä	... 9	10...19	20...29	30...39	40...49	50...59	60...69	70...79	80...89	90...99	100...109	110...119	120...	Kokku	%	
Mänd	16,1	23,8	5,7	26,4	24,1	25,2	35,2	49,5	61,2	85,4	75,9	54,8	32,4	23,4	36,1	575,2	29,2	535,3
Kuusk	27,0	30,3	10,6	37,8	25,0	36,8	49,0	42,9	28,0	33,6	30,6	15,6	9,1	6,1	5,6	387,7	19,7	330,4
Kask	22,5	22,6	26,3	68,4	59,0	55,2	66,9	91,8	76,0	64,3	30,5	9,2	5,2	0,6	0,5	599,1	30,4	554,0
Haab	5,1	12,3	20,4	18,8	9,1	5,6	6,5	16,1	16,9	11,0	6,2	2,3	1,0	0,8	0,2	132,1	6,7	114,8
Sanglepp	2,7	6,7	9,4	8,3	3,7	4,2	7,7	11,7	9,5	8,0	3,2	1,4	0,2		0,2	76,8	3,9	67,5
Hall-lepp	4,9	7,9	29,1	46,1	26,1	32,1	26,7	20,8	6,3	1,0						201,0	10,2	188,2
Kokku	78,2	103,5	101,6	205,8	146,9	159,1	192,0	232,7	197,9	203,2	146,5	83,2	47,9	30,9	42,5	1971,9	100,0	1790,2

Valdava osa uuendusraietega raiutavast puidust annavad tulundusmetsad. Joonistel on kujutatud kolme põhilise enamuspüüliigi – männikute, kuusikute ja kaasikute tulundusmetsade – vanuseline jagunemine. Graafikutele on kantud ka ühtlase kasutuse joon. Sellise vanuselise jaotuse korral oleks tagatud pidev, ühtlane metsakasutus (uuendusraie), seda praegu kehtivate raiekrriteeriumite (vanus, diameeter) korral ja eeldusel, et küpsuse saavutanud puistu raiutakse 10 aasta jooksul pärast raie küpsuse saavutamist.





Männikute vanuseline jaotus on väga ebaühtlane, seda iseloomustab kuni 50-aastaste metsade defitsiit ja vanemate (sh raieküpsete) puistute suhteline rohkus võrreldes ühtlase jaotusega. Kuusikud ja kaasikud jagunevad vanuseliselt tunduvalt paremini kui männikuid, kuigi ka siin on enam vanu ja vähem nooremaid metsi. Vanemate metsade suhtelist rohkest iseloomustab ka järgnev joonis. Joonisel on antud tulundus- ja kalda piiranguvööndi metsade küpsete puistute osakaal puistute pindalast.



Uuendusraie arvutused on tehtud eraldi:

- 1) tulundus- ja kalda piiranguvööndi metsa ning
- 2) muu kaitsemetsa kohta.

Ühiselt nimetatakse neid metsakategooriaid **majandatavaks metsaks** (metsamaaks).

Raiearvutustest on välja jäetud lisaks rangelt kaitstavale metsale ka madala tootlikkusega Va boniteediklassi puistud: eelkõige männikud ja väga väikese levikuga enamuspüüliikide metsad (enamasti tammikud ja saarikud). Arvestades nendes metsades kasvavaid puuliike ja tootlikkust, moodustaks sealt saadav puit ühe protsendi raieimahust. Kokku hõlmab uuendusraie arvutus 1 972,3 tuhat ha metsamaad ehk 84,5% Eesti metsamaa pindalast. Valdava osa uuendusraietega raiutavast puidust annavad tulundusmetsad.

Raievanused

Uuendusraiate prognoosimisel on lähtutud metsaseaduses⁹⁰ ja „Metsa majandamise eeskirjas“⁹¹ sätestatud kriteeriumitest. Uuendusraie on lubatud tulenevalt puistu:

- **vanusest**, kui koosseisuga kaalutud esimese rinde keskmine vanus on võrdne või suurem puistu koosseisuga kaalutud esimese rinde keskmisest raievanusest;
- **rinnasdiameetrist**, kui puistu enamuspüüliigi keskmine rinnasdiameeter on saavutanud uuendusraiet lubava väärtuse;
- **täiusest**, kui puistu esimese rinde täius on 40% või madalam.

Käesolevas töös on uuendusraie võimaliku pindala leidmisel lähtutud uuendusraiet lubavast vanusest või rinnasdiameetrist. Raiet täiuse järgi ei ole selle suhteliselt väikese osakaalu tõttu eraldi arvestatud. Püüliigiti kaalutud raievanuse ja keskmise rinnasdiameetri arvutamisel kasutatavad valemid, vanused ja diameetrid on esitatud metsa majandamise eeskirjas. Puistu esimese rinde keskmine vanus ja keskmine raievanus arvutatakse järgmiste valemitega:

$$A = (\text{koef}_{P11}^2 * A_{P11} + \text{koef}_{P12}^2 * A_{P12} + \dots) / (\text{koef}_{P11}^2 + \text{koef}_{P12}^2 + \dots), \text{ kus}$$

A Puistu koosseisuga kaalutud vanus
 koef_{P1} Puistuelemendi koosseisukordaja protsentides
 A_{P1} Puistuelemendi vanus

⁹⁰ Metsaseadus (RT I, 04.01.2021, 10). <https://www.riigiteataja.ee/akt/130122020008?leiaKehtiv>

⁹¹ Metsa majandamise eeskiri (RT I, 06.04.2021,8). <https://www.riigiteataja.ee/akt/106042021008?leiaKehtiv>

$AK = (\text{koef}_{P11}^2 * Ak_{P11} + \text{koef}_{P12}^2 * Ak_{P12} + \dots) / (\text{koef}_{P11}^2 + \text{koef}_{P12}^2 + \dots)$, kus

AK Puistu koosseisuga kaalutud raievanus

Ak_{P_i} Puistuelemendi (puuliigi) küpsusvanus

Kui puistu esimese rinde enamuspuliik on inventeerimisandmetes kirjeldatud rohkem kui ühe elemendina, arvutatakse enamuspuliigi keskmine rinnasdiameeter valemiga:

$$\bar{d} = \sqrt{\frac{k_1^2 + k_2^2 + \dots + k_i^2}{\frac{k_1^2}{\bar{d}_1^2} + \frac{k_2^2}{\bar{d}_2^2} + \dots + \frac{k_i^2}{\bar{d}_i^2}}}, \text{ kus}$$

\bar{d} – puistu enamuspuliigi keskmine rinnasdiameeter;

k_i – enamuspuliigi puistu elemendi koosseisukordaja protsentides;

\bar{d}_i – enamuspuliigi puistuelemendi keskmine rinnasdiameeter.

Arvutustes kasutatud küpsusvanused on esitatud tabelis 1, küpsusdiameetrid aga tabelis 2.

Tabel 1

Uuendusraiet lubavad vanused boniteediklasside ja puuliikide viisi

Puuliik	Boniteediklass					
	1A	1	2	3	4	5; 5A
Harilik mänd	90	90	90	100	110	120
Harilik kuusk	60	70	80	90	90	90
Aru- ja sookask	60	60	70	70	70	70
Harilik haab	30	40	40	50	50	–
Sanglepp	60	60	60	60	60	60
Kõvad lehtpuud	90	90	100	110	120	130

Tabel 2

Uuendusraiet lubavad rinnasdiameetrid boniteediklasside ja puuliikide viisi

Enamuspuliik	Boniteediklass					
	1A	1	2	3	4	5; 5A
Harilik mänd	28	28	28	28	28	28
Harilik kuusk	26	26	26	26	26	26
Aru- ja sookask	26	26	24	22	18	16
Sanglepp	24	24	22	22	18	16
Harilik haab	20	20	18	18	18	18

Mõlemad uuendusraiet lubavad näitajad on kaalult võrdsed. Kumb, kas vanus või diameeter, raiet lubava väärtuse varem saavutab, selle alusel võib raiuda. Käesoleva töö jaoks arvutati puistute keskmised raievanused mõlemal viisil:

- kaalutud keskmiste küpsusvanuste arvutamiseks enamuspuliikide ja boniteediklasside viisi kasutati metsaregistris registreeritud metsainventeerimisandmeid. SMI andmeid ei olnud võimalik kasutada, sest SMI mõõtmistel ei eristata puistu rindeid. Küpsusvanuse arvutamisel lähtutakse aga ainult puistu esimesest rindest;

- SMI andmestiku alusel leiti raiet lubavatele diameetritele vastavad vanuseid. Selleks arvutati enamuspuiiikide ja boniteediklasside viisi igale vanuseklassile enamuspuiiigi keskmine diameeter. Vanust, milles enamuspuiiigi diameeter saavutab keskmisena uuendusraiet lubava vanuse, loeti küpsusvanuseks. Parema esinduslikkuse saamiseks kasutati küpsusdiameetrile vastava küpsusvanuse leidmiseks SMI 2008–2017. aasta inventuuride andmeid.

Mõlemal viisil leitud küpsusvanuseid võrreldi ja edasistes arvutuses kasutatakse männikute, kuusikute ja kaasikute puhul küpsusvanusena kahest alternatiivist madalamat väärtust. Haavikutel ja sanglepikutel kasutati ainult vanuse järgi kaalutud keskmist küpsusvanust. Halllepikutel korral, millel küpsusvanust või diameetrit seadusandlus ei määratle, kasutati küpsusvanusena vanuse väärtust 30 aastat. Raiearvutuses kasutatavad vanused on esitatud tabelis 3.

Tabel 3

Keskmsed uuendusraie vanused enamuspuiiigiti jaboriteediklassiti

Enamuspuiiik	Boniteediklass					
	1A	1	2	3	4	5
Mänd	60	74	84	98	107	118
Kuusk	57	67	76	88	89	91
Kask	56	60	69	71	72	74
Haab	36	45	48	60	63	
Sanglepp	59	60	61	63	64	66
Hall-lepp	30	30	30	30	30	

Punasega on tabelis eristatud need küpsusvanused, mis on tuletatud küpsusdiameetri alusel. Raie küpsusdiameetri järgi tuleb arvesse eelkõige paremaboniteediliste puistute korral. Eriti suur erinevus enamuspuiiigi vanusest ja diameetrist tulenevate küpsusvanuste vahel on 1A ja 1 boniteediklassi männikutes, vastavalt 26 ja 13 aastat. Neid puistuid raiutaksegi eelkõige küpsusdiameetri alusel, sest kahel eri viisil leitud küpsusvanuse erinevus on liiga suur.

Uuendusraie arvutamise meetodika

Uuendusraiate prognoosimise aluseks olid puistute pindalahinnangud enamuspuiiigi, 10 aasta pikkusteks vanusklasside ja boniteediklasside lõikes. Uuendusraiate tagavarana ehk raiemahuna kasutati küpsete puistute keskmisi hektaritagavarasid, seda enamuspuiiikide viisi boniteediklasside lõikes. Arvutused tehti eraldi tulundus- (sh kaldapiiranguvööndi kaitsemetsad) ja kaitsemetsade kohta enamuspuiiikide lõikes. Arvutustes kasutati klassikalisi arvestuslangi arvutamise valemeid, mis on aluseks metsakorralduse poolt metsaomanike või metsahaldajate metsa-üksuste metsamajandamiskava koostamisele harilikult 10 aastaks, suuremale regioonile või riigile ka pikemaks arvestusperioodiks, et tagada võimalikult ühtlane ja pidev metsaressursi kasutus. Arvestuslank on uuendusraiega 1 aasta jooksul raiutav pindala peapuiiikide lõikes, mis on arvutatud metsa korraldamise juhendiga kehtestatud eeskirjade järgi⁹². Arvestuslangi eesmärgiks on jaotada seadusega raiuda lubatud metsade raiemahtu jätkuutlikkust tagavalt, arvestades puistute vanuselist struktuuri ja küpsuskriteeriumeid⁹³.

⁹² „Metsa korraldamise juhend“, lisa 18.

https://www.riigiteataja.ee/aktiivisa/1310/8201/8008/KKM_16012009_m2_Lisa18.pdf#.

⁹³ Laas, E., Uri, V., Valgepea, M. (2012). Metsamajanduse alused. <https://counselinginhe.org/190597-keQueo-metsamajanduse-alused>

Käesolevas töös kasutatud lähenemisviis erineb pisut metsa korraldamise juhendis esitatust. Viimastes arvestatakse küpsusdiameetrit ainult küpsuslangi arvutamisel, siin aga kasutatakse küpsusdiameetrist tuletatud küpsusvanuseid kõikide lankide arvutustes (kui see on madalam vanuse järgi arvutatust). Lisaks arvutati ka kolmas vanuselank. Langid arvutati tabelis x esitatud valemite alusel.

Tabel 4

Langi nimetus	Valem*	Kommentaar
Ly – ühtlase kasutuse lank	$L_y = \sum \frac{P}{AK + 5}$	Uuendusraie keskmine pindala aastas kogu raieringi jooksul.
Lk – küpsuslank	$L_k = \sum_{A \geq AK} \frac{P}{10}$	Uuendusraie keskmine pindala aastas, kui raiume kõik praegu küpsed puistud lähima 10 aasta jooksu.
LI – esimene vanuselank ehk lähima 20 aasta ühtlane kasutus.	$L_I = \sum_{A \geq AK - 10} \frac{P}{20}$	Uuendusraie keskmine pindala aastas, kui raiume kõik praegu küpsed ja valmivad (saavutavad küpsuse lähima 10 aasta jooksul) puistud 20 aastaga
LII – teine vanuselank ehk lähima 30 aastane ühtlane kasutus	$L_{II} = \sum_{A \geq AK - 20} \frac{P}{30}$	Uuendusraie keskmine pindala aastas, kui raiume kõik praegu küpsed puistud ja puistud, mis saavutavad raieküpsuse 20 aasta jooksul, 30 aastaga.
LIII – kolmas vanuselank ehk lähima 40 aastane ühtlane kasutus	$L_{III} = \sum_{A \geq AK - 30} \frac{P}{40}$	Uuendusraie keskmine pindala aastas, kui raiume kõik praegu küpsed puistud ja puistud, mis saavutavad raieküpsuse 30 aasta jooksul, 40 aastaga.
LINT – integraallank	$L_{INT} = \sum \frac{2 * P * A}{(AK + 6) * (AK + 5)}$	Uuendusraie keskmine pindala aastas, kus arvestatakse puistu vanuse ja küpsusvanuse suhet. Kui teiste lankide arvutuses on kõik küpsed puistud sama kaaluga (nii need, mille vanus võrdne küpsusvanusega kui ka need, mis küpsusvanusest aastakümneid vanemad), siis siin on küpsusvanuse ületanud puistutel suurem kaal.

*A – puistute vanus, AK – küpsusvanus, P – arvestusse kaasatud puistute pindala.

Arvutatud lankide alusel leiti:

- küpsusraie ehk küpsuslank – eeldatakse, et kõik praeguseks küpsusvanuse saavutanud puistud raiutakse lähima kümne aasta jooksul (küpsuslank);
- raie arvestuslangi järgi ehk arvestuslank – mõistlik kasutusmäär arvestades puistute vanuselist jagunemist praegu ja lähimatel aastakümnetel. Metsa korraldamise juhendi järgi määratakse arvestuslank eksperdi hinnangu alusel peapuuliikide (enamuspuuliikide) kaupa, kusjuures summaarne arvestuslank ei tohi ületada suurimat arvutatud lanki. Peapuuliikide kaupa ei tohi uuendusraie pindala olla aastas suurem selle puuliigi arvutatud maksimaalsest langist;
- ühtlane raie ehk ühtlase kasutus – keskmine aastane kasutusmäär kogu raieringi jooksul (ühtlase kasutuse lank). Raieringi pikkuse määrab ära raievanus, hall-lepikul on raiering 35, männikul peaaegu 100 aastat. Raiudes ühtlase kasutuse järgi uuendusraiate pindala ajas ei muutu.

Raiestsenaariumiks juhul, kui eesmärgiks on majandusmetsa tagavara säilitamine pikema perioodi jooksul praegusel tasemel, on võimalik kasutada ühtlast raiet. Ka selle korral on esimestel kümnenditel raiemahtude vahel väikesed erinevused, mis jäävad statistilise

määramatuse piiridesse. Lisaks leiti metsa vanuselise jaotuse ja tagavara muutumine juhul, kui uuendusraie maht oleks 5 miljonit m³ aastas, seda kogu sajandi jooksul.

Saamaks ülevaadet võimalikust uuendusraie mahust tulevikus, arvatati lisaks aastatele 2021–2030 arvestuslangid kümnendite kaupa kuni 2120. aastani. Arvutustes eeldati, et:

- eelmisel kümnendil raiuti metsa lähtudes sellele perioodile määratud arvestuslangist,
- metsamaa kogupindala, enamuspuiduliikide metsamaa pindala ja erinevate metsakategooriate pindala ei muutu.

Kaitsemetsale leiti ainult üks lank. Üldjuhul võeti arvestuslangiks pool ühtlase kasutuse langist. Hall-lepikute korral kasutati kaitsemetsas ühtlase kasutuse langiarvutust, sest selle puuliigi raiepiirangud kaitsemetsas on sageli leebemad.

Harvendusraie

Lisaks uuendusraiatele arvatati harvendusraiate võimalik pindala ja raiutav puidukogus. Arvutusse kaasati puistud järgmiste kriteeriumide alusel:

- a) boniteediklass Ia-III, männikutel ka IV, hall-lepikutesse harvendusraieid ei kavandatud;
- b) täius enne raiet männikutel vähemalt 75%, kuusikutel ja kaasikutel 80%, haavikutel ja sanglepikutel 85%;
- c) harvendusraie tulemusena saadakse turustatavat puitu;
- d) viimane harvendusraie tehakse hiljemalt 10 aastat enne uuendusraie vanuse saabumist.

Harvendusraiate väljaraieks võeti SMI viimase 10 aasta (2010–2019) keskmine väljaraie enamuspuiduliikide lõikes. Arvutused tehti majandatava metsa kohta kokku, sest erinevalt uuendusraietest on piirangud harvendusraiatele kaitsemetsades vähem ranged. Harvendusraie võimaliku pindala ja mahu prognoosimisel tulevikus lähtuti sobivas raieeas puistute pindalast. Iga järgneva kümnendi harvendusraie pindala leiti vaadeldava kümnendi optimaalses harvendusraieeas puistute pindala suhtena nende puistute pindalasse 2020. aastal.

Sanitaarraie

Lisaks uuendus- ja harvendusraiatele saadakse turustatavat puitu ka sanitaar- ja trassiraietelt ning raadamistelt. Nendest olulisem on sanitaarraie, mille käigus raiutakse murdunud, surnud, surevaid ja vigastatud puid. Sanitaarraiate vajadus on seda suurem, mida enam on vanemaid puistuid, eelkõige okaspuupuistuid. Tulenevalt erinevatest uuendusraiate stsenaariumidest võeti sanitaarraiate arvestuslikuks mahuks aastas:

- 0,3 miljonit m³ küpsuslangi,
- 0,4 miljonit m³ arvestuslangi,
- 0,5 miljonit m³ ühtlase kasutuse korral ja
- 0,6 miljonit m³ 2021.–2050. aastal, 0,7 miljonit m³ 2051.–2070. aastal ja 0,9 miljonit m³ 2071.–2100. aastal stsenaariumi uuendusraie 5 miljonit m³ korral. Küpsete puistute osakaalu suurenemise ja puistute vananemisega suureneb ka sanitaarraie vajadus.

Lisa 2. Raiestsenaariumite koondtabel

Periood	Aasta	Metsamaa tagavara	Raiemaht aastas	Netoheide*		
				Metsamaa**	Puittooted	LULUCF***
				kt CO ₂ ekv aastas		
R1 - ühtlane kasutus						
	2020	481				
2021-2030			10,3	-2 664	-694	-950
	2030	497				
2031-2040			10,2	-1 255	-547	626
	2040	502				
2041-2050			9,9	-1 897	-398	110
	2050	512				
2051-2060			9,5	-230	-267	1 906
	2060	509				
2061-2070			10,4	925	-350	2 977
	2070	497				
2071-2080			10,7	1181	-323	3 261
	2080	483				
2081-2090			9,9	-743	-146	1 514
	2090	484				
2091-2100			10,0	-615	-145	1 643
	2100	484				
R2 -arvestuslank						
	2020	481				
2021-2030			13,1	1 562	-1 098	2 872
	2030	464				
2031-2040			11,3	539	-610	2 357
	2040	455				
2041-2050			9,8	-2 541	-278	-414
	2050	470				
2051-2060			9,4	-1 257	-185	961
	2060	475				
2061-2070			9,7	-1 257	-192	954
	2070	480				
2071-2080			9,6	-1 641	-134	628
	2080	488				
2081-2090			9,6	-1 770	-111	522
	2090	497				
2091-2100			10,5	-230	-229	1 944
	2100	494				

* Negatiivne netoheide=kasvuhoonegaaside sidumine, positiivne netoheide=kasvuhoonegaaside heide.

** Metsamaa arvestusse (puittoodeteta) on lisatud ka muud KHGd (metaan ja naerugaas), mis tulenevad peamiselt kuivendatud turvasmuldadest, lämmastiku mineraliseerumisest maa metsamaaks muutumise tõttu ja põlengutest.

*** LULUCFi sektori heitkogused sisaldavad kõigi kuue maakategooria heidet ja sidumist.

Lisa 2 järg

Periood	Aasta	Metsamaa tagavara miljon m ³	Raiemaht	Netoheide*		
				Metsamaa**	Puittooted	LULUCF***
				kt CO ₂ ekv		
R3 - küpsuslank						
	2020	481				
2021-2030			19,3	10 915	-1 983	11 340
	2030	391				
2031-2040			8,8	-4 083	-9	-1 663
	2040	418				
2041-2050			9,3	-4 348	-136	-2 080
	2050	447				
2051-2060			8,5	-3 828	-1	-1 426
	2060	472				
2061-2070			9,9	-1 642	-220	441
	2070	480				
2071-2080			9,1	-2 924	-42	-563
	2080	498				
2081-2090			9,1	-2 539	-41	-177
	2090	513				
2091-2100			11,1	1 179	-334	3 248
	2100	499				
R4 - uuendusraie 5 miljonit m ²						
	2020	481				
2021-2030			7,2	-6 627	-221	-4 440
	2030	528				
2031-2040			7,0	-4 712	-166	-2 449
	2040	560				
2041-2050			6,9	-4257	-127	-1 979
	2050	588				
2051-2060			7,0	-2 108	-113	182
	2060	600				
2061-2070			7,1	-781	-107	1 515
	2070	601				
2071-2080			7,2	-297	-102	2 004
	2080	599				
2081-2090			7,2	-154	-83	2 167
	2090	595				
2091-2100			7,1	-143	-53	2 208
	2100	592				

* Negatiivne netoheide=kasvuhoonegaaside sidumine, positiivne netoheide=kasvuhoonegaaside heide.

** Metsamaa arvestusse (puittoodeteta) on lisatud ka muud KHGd (metaan ja naerugaas), mis tulenevad peamiselt kuivendatud turvasmuldadest, lämmastiku mineraliseerumisest maa metsamaaks muutumise tõttu ja põlengutest.

*** LULUCFi sektori heitkogused sisaldavad kõigi kuue maakategooria heidet ja sidumist.