
RMK SÜSINIKURAPORT

2023

SISUKORD

- 3 Arvutuskäik
- 5 Süsiniku tagavara
- 6 Süsiniku sidumine
- 8 Süsiniku emiteerimine ehk süsinikuheide
- 12 Süsinikuraportist kokkuvõtvalt
- 14 Näidisarvutus
- 16 Süsinikuraporti koostamisel kasutatud allikad

SISSEJUHATUS

RMK arendus- ja kliimaosakond on koostanud RMK süsinikuraporti ehk hinnangu sellest, kui palju RMK 2023. aastal süsinikku sidus ja kui palju õhku paiskas. Kuna kliimamuutusi seostatakse kasvuhoo- negaaside kontsentratsiooni tõusuga atmosfääris, aitab süsinikuraport hinnata RMK süsiniku jalajälge ning teha otsuseid, kuidas seda vähendada.

RMK koostab süsinikuraportit, et anda ülevaade RMK hallatavatel maal toimuvast ning teha organisatsiooni sees otsuseid kasvuhoo- negaaside vähendamiseks. Raport on koostatud organisatsiooni vajadustest lähtuvalt ja on detailsem, kasutades teist meetodikat, kui seda kasutatakse riikliku kasvuhoo- negaaside inventuuril maakasutuse valdkonnas. Detailsus on vajalik mõistmaks RMK süsikuvoogu tervikpilti ning oluline on arvestada, et RMK koostatav süsinikuraport ei mõjuta kuidagi riiklikku kasvuhoo- negaaside inventuuri.

Arvesse on võetud **kolme kasvuhoo- negaasi (CO₂, CH₄ ja N₂O) voogusid**, mida on nende gaaside globaalse soojenemise potentsiaali [1] arvesse võttes väljendatud CO₂ ekvivalentväärtusena. Globaalse soojene- mise potentsiaal on väärtus, mis näitab soojuse hulka, mida üksik kasvuhoo- negaas atmosfääri seob.

Süsinikuraporti koostamisel võeti arvesse kasvuhoo- negaaside vood RMK hallatavelt maadelt ja RMK tegevuste käigus tekkiv emissioon. Lisaks arvatati välja, milline on kogu RMK valduses oleva metsa ja maa süsinikutagavara ehk see, kui palju süsinikku on talletatud mullas ja puitses biomassis.

Järgnevat lehekülgi lugedes peab meeles pidama, et **puud küll seovad süsihappegaasi (CO₂), kuid biomassi ja mulda talletub süsinik (C)**. Meeles tuleb pidada, et 1 t C on võrdne ligikaudu 3,7 t CO₂.

Süsinikuraporti arvutuskäigus on süsiniku sidumine välja toodud positiivse väärtusega ning atmosfääri paisatud süsinik ehk süsiniku emissioon negatiivse väärtusega. Bilansi koostamise käigus hinnati ära kõik sissetulevad ja väljuvad süsiniku vood. Samuti arvestati süsinikubilanssi sisse uuendusraiate käi- gus metsast varutud ja aktiivsesse kasutusse võetud süsinik.



ARVUTUSKÄIK

Riigimetsas on metsa inventeerimise tulemusena ära hinnatud metsa tagavara ja juurdekasv. Olemas on kaugseire meetodil koostatud kirjeldused ka mittemetsamaadel oleva puidumahu kohta.

Süsiniku tagavara ja sidumise arvutamisel võetakse aluseks metsakorralduse andmed. Süsiniku tagavara puhul arvutatakse välja puitse biomassis talletatud süsinik (eraldi iga puuliigi kohta) ja mullas leiduv süsiniku tagavara. Süsiniku sidumine on arvutatud jooksva aastase juurdekasvu põhjal, mis on hinnatud eraldisepiselt iga seal kasvava puuliigi kohta. Sellele on arvutatud juurde muu taimne tootmine: oksad, juured, lehed, okkad ning alustaimestik ja alusmets. Mullahingamine ehk emissioon mullast on leitud varasemalt teadustöös hinnatud tulemuste põhjal nii mineraalainetele kui turvasainetele eraldi.

Võrreldes eelmise raportiga on aastaga puidutagavara ja seeläbi ka süsiniku tagavara metsas suurenenud, kuid eeskätt seetõttu, et uuendatud metoodika annab nüüd tegelikust tagavarast veel aktuaalsema ülevaate. RMK metsade tagavara on kõikidel metsaeraldistel kasvava metsa tagavara summa. Eraldise tagavara arvutatakse metsa korraldamise juhendi kohaselt takseerimise aasta seisuga, millele lisatakse nüüd nii mitme aasta juurdekasv, kui mitu aastat on eraldise takseerimisest ehk metsavarude hindamisest ja kirjeldamisest möödas. Varem lisas RMK takseerimise hetke tagavarale viie aasta juurdekasvu, sest keskmiselt on takseerandmed viis aastat vanad. Teine uuendus arvutuses seisnes selles, et kui eraldis on takseeritud kümme või rohkem aastat tagasi, võttis RMK kasutusele LiDAR-mõõtmise ehk kaugseire tulemusel saadud eraldise tagavara, millele lisas nii mitme aasta juurdekasvu, kui mitu aastat oli mõõtmisest möödas. Kuna kasvavas metsas ka sureb puid, korrutati juurdekasv mõlema metoodika puhul läbi väljalangemise kordajaga 0,7. Juurdekasv arvutatakse ristlõikepindala juurdekasvu mudeli järgi [2]

Süsiniku sidumise hindamiseks on kasutatud NEP [3] (net ecosystem production) meetodit, mis hindab, kas ökosüsteem toimib süsiniku siduja või allikana. Meetodi käigus on välja arvutatud kogu taimne tootmine, mis fotosünteesil süsinikku seob, ning sellest on lahutatud mullahingamise teel mullast tekkiv emissioon. Taimse tootmise ja mullahingamise vahe näitab, kas tegemist on süsinikku siduva või süsinikku emiteeriva ökosüsteemiga.

Selleks, et välja arvutada puidus olev süsiniku tagavara ning süsiniku sidumine metsa juurdekasvu kaudu, tuleb tüvemaht teisendada **tüvemassiks**. Süsiniku arvutamisel lähtutakse alati kuivmassist ning mahuühikute teisendamisel massiühikuteks tuleb kasutada puidutihedust [4, 5] absoluutkuiva massi juures. Eri puuliikide puit on erineva tihedusega. RMK metsamaa süsiniku tagavara ja sidumist arvutades võeti arvesse kõik seal kasvavad puuliigid. Kuna metsa majandamine mõjutab olulisel määral metsamaa süsiniku tagavara, siis võeti bilansi koostamisel arvesse ka uuendusriietega metsast välja viidava süsiniku kogus.

Peale tüvemassi on osa biomassist veel oksad, juured, lehed ja okkad. Varasemates teadustöös ja Eesti kohta välja töötatud biomassi mudelite põhjal on välja arvutatud, kui suur on erinevate biomassi komponentide osakaal ning ka erinevate biomassi fraktsioonide tootmise osakaal. Üldistades võib öelda, **et kogu puitsest biomassist 80% on maa peal ja 20% on maa all.**

Sõltuvalt puuliigist on tüvepuidu osakaal 80–90% kogu maapealsest biomassist. Süsiniku osakaal puu erinevates osades varieerub, näiteks võras ja tüves on süsinikku enamasti 48–52%. Süsinikubilansi arvutustes võeti aluseks, et **puidu kuivmassist 50% on süsinik**.

Mullasüsiniku tagavara metsamaal ja teistes maakategeooriates on hinnatud mullakaardi põhjal, kasutades avaldatud teadustöodes esitatud süsiniku koguseid erinevates muldades [35–40]. Teiste maakategeooriate puhul on kaugseire meetodil hinnatud puidumahtu ning selle põhjal välja arvutatud süsiniku tagavara seal kasvavas puidus.

Tegu on järjekorras kolmanda raportiga. Varasemate raportite metoodika ja sisendite juures on konsulteeritud Eesti Maaülikooli professori, akadeemik Veiko Uriga. Süsinikubilansi osas on varasemate süsinikuraportite arvutamisel konsulteeritud ka Eesti Keskkonnauuringute Keskuse ja Keskkonnaagentuuri töötajatega, kes koostavad Euroopa Liidule LULUCF¹ sektori Eesti kasvuhoonegaaside inventuuri aruandeid [34]. Süsinikubilansi arvutamiseks vajalikud sisendid on võetud avaldatud teadustöödest [2–33]

RMK tegevuste käigus tekkiva emissiooni hindamisel on algandmed võetud RMK raamatupidamise ja kinnisvara aruannetest. RMK tegevuste süsiniku jalajälje arvutamisel on kasutusel samad eriheid, mis on kasutusel ka Keskkonnaministeeriumi koostatud organisatsiooni jalajälje mudelis [41]. Allikate loetelu on välja toodud aruande lõpus. Ühe metsaeraldise põhjal on raporti lõpus välja toodud ka näidisarvutus.

¹ LULUCF ehk Land Use, Land Use Change and Forestry, eesti k maakasutus, maakasutuse muutus ja metsandus

SÜSINIKU TAGAVARA

Süsiniku tagavara näitab, kui palju on mingis kohas mingil ajahetkel süsinikku talletatud. Süsiniku tagavara arvutades võetakse arvesse nii mullas sisalduv süsinik kui ka puude maapealses osas (tüves, võras) ja maa-aluses osas (juurtes) leiduv süsinik. Süsiniku tagavara juures on oluline vaadata kogu RMK maade portfelli koos, sest enam mõjutab seda metsade vanuseline koosseis. Kuna viimaste aastate jooksul on liikunud majandatavate metsade hulgest oluline hulk metsa kaitse alla, mille tõttu on oluliselt suurenenud ka üle 80 aastaste metsade hulk kaitstavate metsade hulgas. Nii liikus 2023. aastal kaitse alla juurde 5602 ha metsamaad.

Allolevad tabelid näitavad, kuidas jaguneb süsinik puidus ja mullas nii metsamaal kui mittemetsamaal. Eraldi on välja toodud süsiniku tagavara kaitstavas ja majandatavas metsas.

RMK metsamaa jaotus:

- kaitstav mets 0,44 mln ha
- majandatav mets 0,62 mln ha
- metsamaa kokku 1,05 mln ha

RMK valduses olevate maade süsiniku tagavara on 2023. aastal 267,5 miljonit tonni.

- 2/3 süsinikust oli talletatud mullas ja 1/3 puudes.
- Metsamaal on talletatud 226,9 miljonit tonni süsinikku (85% tagavarast).
- Mittemetsamaal on talletatud 40,6 miljonit tonni süsinikku (15% tagavarast).

Tabel 1. Süsiniku jagunemine RMK metsamaal

	Metsamaal puidus			Metsamaal mullas	Puidus ja mullas kokku
	Kaitstav mets	Majandatav mets	Kokku mets		
Pindala (mln ha)	0,44	0,62	1,05		
Puidu tagavara (mln tm)	110,5	101,4	211,9		
C tagavara (mln t)	39,9	37,0	76,9	150,0	226,9
C tagavara hektari kohta (t/ha)	91,2	59,9	72,9	142,3	215,2

Tabel 2. Süsiniku jagunemine RMK mittemetsamaal (0,36 mln ha)

	Puidus	Mullas	Kokku
C tagavara (mln t)	1,5	39,2	40,6
C tagavara hektari kohta (t/ha)	4,0	108,0	112,0



SÜSINIKU SIDUMINE

RMK valduses olev mets, metsamaa ja mittemetsamaa sidus 2023. aastal atmosfäärist 5,89 miljonit tonni CO₂.

- Suurema osa CO₂ sidus kasvav mets (5,68 mln tonni), muudel maadel seoti aastas 0,21 mln t CO₂.
- Uuendusraietega viidi metsast puiduna välja –2,62 mln tonni CO₂.
- Uuendusraiete mahuga korrigeeritud seotud süsiniku kogus RMK metsas, metsamaal ja mittemetsamaal oli 3,27 mln t CO₂.
- Keskmiselt sidusid RMK valduses olevad metsad ligikaudu 5,4 t CO₂ hektarile aastas.

Tabelis 3. on näha süsiniku sidumine puistu esimeses ja teises rindes ning alusmetsas, millest on maha arvatud emissioon mullast ja uuendusraietega kasutusse võetud süsiniku kogus.

Süsinikuarvestuses on aluseks võetud just uuendusraietega varutud puit, kuna see mõjutab süsinikuarvestust kõige enam. Hooldusraiete käigus raiutakse puitu, mis on juba looduslikult välja langenud või siis langeks lähiajal välja puistus valitseva konkurentsi tõttu. Välja langenud puud ei ole aga enam süsiniku sidujad, vaid nende orgaanilise aine lagunemisel hakkab tekkima hoopis emissioon. Hooldusraied suurendavad metsade majandamise positiivset kliimamõju, kuna alles jäävad puud kasvavad metsas kiiremini ja annavad ka kvaliteetsemat puitu, mida on võimalik suunata pikaajalise kestvusega toodetesse. See aga võimaldab tänu asendusefektile – kasutame vähem mittetaastuvaid materjale – samuti kliimamuutustega võidelda.

Uuendusraietega viis RMK 2023. aastal metsast välja 2,96 mln m³ puitu. Uuendusraie käigus varutud puidu süsiniku osakaalu leidmiseks on kasutatud eri puuliikide absoluutkuivasid tihedusi vastavalt raiutud puidu osakaalule ja süsiniku osakaaluks on arvestatud 50%. Et saada süsinikust süsihappegaas, on tulemus korrutatud 3,7–ga. Nii viidi uuendusraietega välja –2,62 mln t CO₂.

Muude maakategooriate puhul on sidumine saadud, arvutades kokku eri tüüpi kõlvikute süsiniku sidumise. Põhiliseks sidujaks on sookooslused, mis seovad süsiniku turbasse. Muude kõlvikute osas on kaugseire meetodil küll võimalik hinnata puidumahtu, kuid mitte juurdekasvu. Seetõttu on ilmselt muude kõlvikute osas süsiniku sidumine pigem alahinnatud, kuna puudu on puitsesse biomassi seotav süsinik.

Metsas süsiniku sidumise puhul tuleb arvestada sellega, et teatud osal metsamaal ei saa juurdekasvu arvutada täiuse puudumise tõttu. Samas on need metsad ikkagi olulised süsinikusidujad, mis on sidumise arvestusest välja jäänud. Raportist ei ole võimalik hinnata süsiniku sidumist majandusmetsas 108 771 ha ja kaitsemetsade puhul pole seda võimalik teha 14 816 ha puhul. Küll on nende maade puhul arvesse võetud emissioonid ehk mullahingamine.

Tabel 3. Süsiniku sidumine RMK metsamaal ja muudel maakategoriatel

Aasta 2023	Kaitstav	Majandatav	Kokku
Pindala jaotus (ha)	437 664	616 796	1 054 459
CO ₂ sidumine I rinne tüvi, oksad ja juured (t)	4 366 754	6 441 026	10 807 780
CO ₂ sidumine II rinne (t)	196 391	321 963	518 354
CO ₂ sidumine alustaim/alusmets (t)	3 896 807	5 470 814	9 367 621
CO ₂ emissioon mullast (t)	5 967 072	9 044 719	15 011 791
CO ₂ sidumine aastal 2023	2 492 881	3 189 083	5 681 964
CO ₂ bilanss tonni hektarile (t/ha aastas)	5,7	5,2	5,4
Uuendusraietega välja viidud süsinik (CO ₂ t)			2 619 587
Metsamaa CO ₂ bilanss (t)			3 062 378
Pindala muu maakategooria (ha)			362 463
CO ₂ bilanss muu maakategooria (t)			205 854
Pindala RMK kasutuses olev riigimaa (ha)			1 416 922
CO ₂ bilanss üle RMK kasutatva maa (t)			3 268 231

SÜSINIKU EMITEERIMINE EHK SÜSINIKUHEIDE

RMK tegevuste käigus tekkiv koguheide oli 2023. aastal **-61 169 tonni CO₂**. See on ligikaudu **1%** sellest, kui palju RMK valduses olevatel maadel aasta jooksul süsinikku seoti.

RMK tegevusest tuleneva süsiniku emissiooni peamiseks allikaks on metsatööd, mille puhul tekib CO₂ emissioon peamiselt mootorikütuse kasutamisest.

Tabel 4. Tööde käigus tekkivad süsiniku emissioonid

Süsiniku emiteerimine RMK tegevuste käigus	CO ₂ t
Metsamajandamistööd	-48 783
Metsaparandustööd	-6967
Metsaistutus	-758
Looduskaitsetööd	-1225
Töötajate sõidud	-1984
Kontorid	-330
Taimlad	-588
Muu kinnisvara	-534
Põlula kalakasvandus	-1,4
Kokku	-61 169

Järgnevalt on välja toodud süsiniku emissioon olulisemate tööliikide kohta täpsemalt.

METSATÖÖD

Metsatööde käigus paisati 2023. aastal õhku –48 783 t CO₂. Kuidas see näitaja kujunes, on toodud allolevas tabelis.

Tabel 5. Metsatööde jalajälg

Tööliik (ühik)	Kogus	Kütuse kulu ühiku kohta	Kütuse kulu, l	CO ₂ emissioon, t
Lageraie, turberaie, raadamine: raietöö ja kokkuvedu (tm)	2 792 314	1,2 l/tm	6 701 600	–17 399
Harvendusraie, sanitaarraie, kujundusraie: raietöö ja kokkuvedu (tm)	673 194	2 l/tm	2 692 800	–7 027
Energiapuidu varumine (tm)	341 521	2,1 l/tm	717 200	–1 872
Energiapuidu hakkimine (tm)	331 937	1,39 l/tm	461 000	–1 203
Ümarpuidu vedu (tm)	3 545 887	48 l/100 km		
Keskmine koorma maht (tm)	34			
Ümarpuidu veo keskmine kaugus (km)	73			
Ümarpuidu koormaid (tk)	104 291		7 308 700	–19 073
Hakkpuidu vedamine (tm)	333 093	38 l/100 km		
Keskmine koorma maht (tm)	33			
Hakkpuidu veo keskmine kaugus (km)	55,4			
Hakkpuidu koormaid (tk)	10 094		425 000	–1 109
Võsasaetööd (ha)		10 l/ha		–1 099
Kokku				–48 783

METSAPARANDUSTÖÖD

Metsaparandustööde süsiniku jalajälg aastal 2023 oli –6967 t CO₂, mis hinnati tööde jaoks kulunud kütuste koguste pealt. Suurima osakaalu sellesse andsid tee-ehitus ja kraavide rekonstrueerimine.

Tabel 6. Metsaparandustööde jalajälg

Tööliik (ühik)	Ala	Kütuse kulu (l)	CO ₂ emissioon (t)
Kraavide rekonstrueerimine (ha)	12 930	504 004	–1 315
Kraavide hooldus (ha)	20 559	281 660	–735
Teede ehitus (km)	258,4	1 246 112	–3 252
Teehooldus (km)	43 638	637 773	–1 664
Kokku		2 669 549	–6 967

METSAISTUTUSTÖÖD

Metsaistutusele eelnevate tööde süsiniku jalajälg aastal 2023 oli -758 t CO₂, mis hinnati metsaistutustööde jaoks kulunud kütuste arvelt.

Tabel 7. Metsaistutustööde jalajälg

Tööliik (ühik)	Ala	Kütuse kulu (l)	CO ₂ emissioon (t)
Maapinna ettevalmistamine: ader (ha)	7 302	131 436	-343
Maapinna ettevalmistamine: mätastaja (ha)	1042	72 940	-190
Maapinna ettevalmistamine: lapilööja (ha)	1212	21 816	-57
Istutusmasin (ha)	563	56 300	-147
Tulekaitse ribade mineraliseerimine (km)	381	6 858	-18
Vesivagude tegemine (ha)	9,35	935	-2
Kokku		290 285	-758

LOODUSKAITSETÖÖD

Looduskaitsetööde süsiniku jalajälg aastal 2023 oli $-1 225$ t CO₂. Seda hinnati looduskaitsetöödel kulutatud mootorkütuse alusel. Suurim CO₂ emissioon tekkis kraavide sulgemisel ning looduskaitsetööde käigus tehtud raiel ja kokkuveol.

Tabel 8. Looduskaitsetööde jalajälg

Tööliik (ühik)	Ala	Kütuse kulu (l)	CO ₂ emissioon (t)
Hekseldamine (ha)	379	41 690	-109
Freesimine (ha)	271	40 650	-106
Kraavide sulgemine (km)	183	118 889	-310
Paisude ehitamine (tk)	5732	229 280	-598
Looduskaitseline raie ja kokkuvedu (tm)	14 405	34 572	-90
Võsalõikus (ha)	281	2 810	-7
Muud tööd (ha)	51	1 530	-4
Kokku			-1 225

TÖÖTAJATE SÕIDUD

RMK töötajate transpordi süsiniku jalajälg 2023. aastal oli –1984 t CO₂. Aasta jooksul tehti töösõite ameti ja isiklike autodega kokku 7,87 mln km. Ametiautode puhul kasutati CO₂ emissiooni hindamiseks realselt kulunud mootorikütuse koguseid ning eraautode puhul võeti keskmiseks kütusekuluks 7 liitrit 100 km kohta.

Tabel 9. Töötajate sõitudest tekkiv süsiniku emissioon

Tööliik (ühik)	Ala	Kütuse kulu (l)	CO ₂ emissioon (t)
Ametiautodega	6 244 571	600 319	-1 599
Eraautodega	2 106 959	124 851	-385
Kokku	8 351 531	725 170	-1984

RMK KINNISVARA

Kogu RMK kinnisvara kasutamise jalajälg kokku oli 2023. aastal –1 453 t CO₂. RMK kontorite süsiniku jalajälg aastal 2023 oli –330 t CO₂. Keskmiselt teeb see iga kontoritöötaja jalajäljeks –0,98 t CO₂ aastas. Muu kinnisvara alla on paigutatud nii RMK külastuskeskused kui ka abihooned. Jalajälje arvutamisel arvestati kõikide kulunud energialii-kide ja süsiniku heitmeid tekitavate teguritega.

Tabel 10. RMK kinnisvara kasutamise jalajälg

	CO ₂ emissioon (t/a)
RMK kontorid	-330
RMK taimlad	-588
Põlula kalakasvandus	-1,4
Muu kinnisvara	-534
Kokku	-1453

Tabel 11. 2023

Kontor	CO ₂ emissioon (t/a)	
	Kontori kohta	Inimese kohta
Ahtme kontor	-8,84	0,80
Antsla kontor	-8,14	1,63
Avinurme kontor	-2,62	0,44
Erastvere kontor	-8,57	1,07
Iisaku kontor	-8,82	0,80

Kihelkonna kontor	-0,28	0,03
Kärdla kontor	-0,16	0,01
Käru kontor	-10,58	1,51
Laiksaare kontor	-14,10	1,41
Laiuse kontor	-18,12	2,01
Loobu kontor	-12,51	1,79
Märjamaa kontor	-0,18	0,03
Paikuse kontor	-23,41	1,95
Piirsalu kontor	-7,79	0,71
Pikknurme kontor	-12,68	2,54
Rapla kontor	-10,67	0,82
Rava kontor	-6,99	0,54
Ristipalo kontor	-21,10	1,00
Sagadi kontor	-0,00	0,00
Sonda kontor	-0,22	0,02
Surju kontor	-10,74	0,77
Taali kontor	-31,50	3,15
Tallinna kontor	-39,60	0,60
Tartu kontor	-25,54	0,52
Triigi kontor	-14,69	1,63
Ussimäe kontor	-8,02	0,67
Valga kontor	-8,31	0,76
Varbla kontor	-15,37	2,20
Võru kontor	-0,21	0,01
Õisu kontor	-0,18	0,01
Kokku	-330	0,98

SÜSINIKURAPORTIST KOKKUVÕTVALT

RMK mets, metsamaa ja mittemetsamaa sidusid 2023. aastal atmosfäärist 5,89 miljonit tonni CO₂. Uuendusraietega varutud puidu näol viidi metsast välja 2,62 miljonit tonni CO₂. Arvestades maha puidu näol metsast välja toodud CO₂ ja kogu organisatsiooni emissioonid, oli RMK puhas aastane CO₂ sidumine 3,21 mln t CO₂. Meeles tasub siiski pidada, et kvaliteetses ja pikaajalises puittootes jääb raietega „välja võetud“ süsinik lukustatuks pikaks ajaks ning mets panustab ka pärast raiet seeläbi kliimamuutuste leevendamisse asendades suurema jalajäljega materjale, mille puhul kasutatakse fossiilsest süsinikuringest pärit süsinikku.

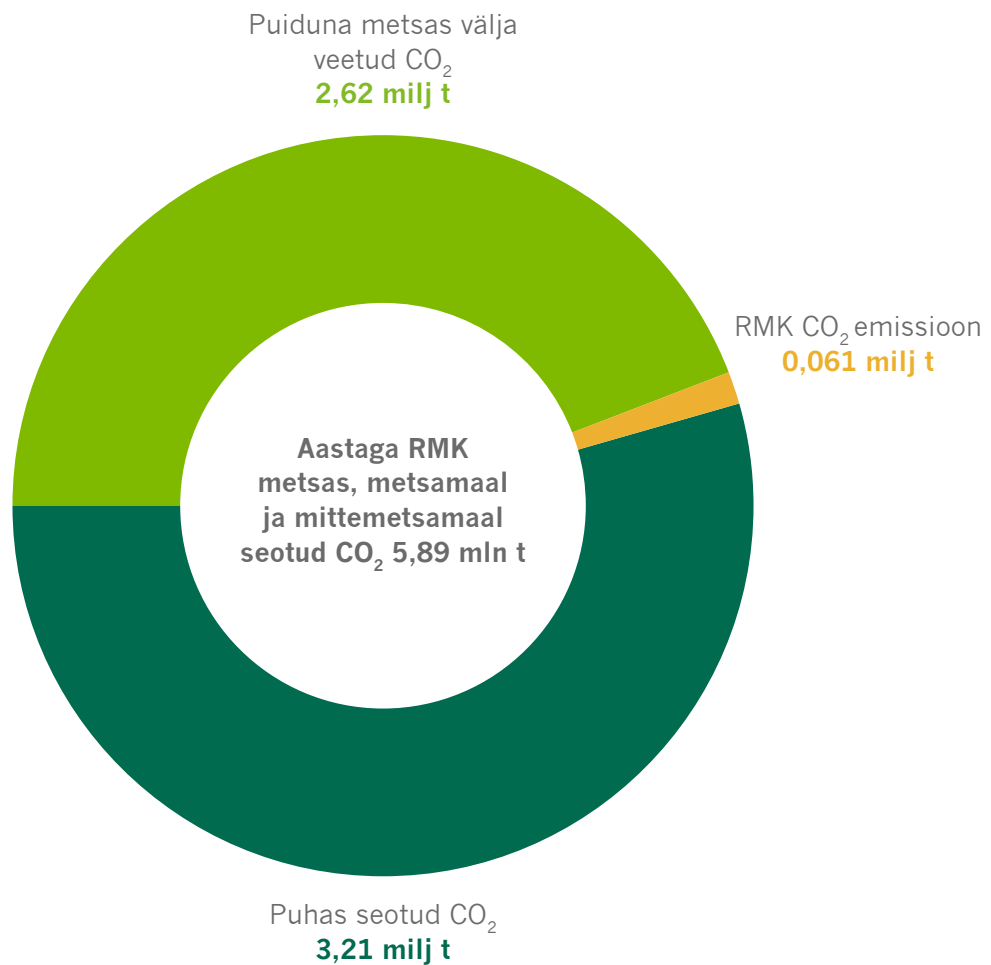
RMK süsinikuraporti puhul ei ole tegemist LULUCF-i arvutusega ning see ei mõjuta kuidagi riiklikult hinnatavat kasvuhoonegaaside inventuuri. Oleme teadlikult võtnud kasutusele teaduses laialt kasutatud NEP meetodika, mis lubab meil oluliselt paremini hinnata, kuidas ökosüsteemid toimivad süsinikubi-lansi osas ning teha metsade majandamisega seoses targemaid otsuseid.

Suurim muutus võrreldes eelmise raportiga on puidus talletatud süsinikutagavara osas. Nimelt oleme täiustanud enda puidutagavara hindamise meetodikat, mis annab veelgi täpsema tulemuse.

Puidutagavara osas mittemetsamaal oleme teinud korrigeerimise eelmise raportitulemuses, kus hinnangus oli viga. Tegelik biomassis seotud süsiniku tagavara mittemetsamaadel aastal 2022 oli 1,5 milj t süsinikku.

Süsiniku tagavara mullas on hinnatud sõltuvalt päringust ning sellel hetkel olevast kõlvikute olemist. Mulla süsinikutagavara RMK raporti juures kuidagi ei kasvatata, tegemist on teadusartiklist tuleva konstandiga korrutisega mullakaardilt saadavate andmete osas. Muutused mulla süsiniku tagavaras tulenevad päringust ning maade liikuvusest, samuti suuresti juurdetulevate maade inventeerimisest, sest mulla süsinikutagavara me raportis kuidagi ei kasvata.

RMK tegevuste käigus tekkiv CO₂ heide oli 0,061 tonni ehk ligi 1% sellest, kui palju RMK maal aast-aga süsinikku seoti. Läbi viimase kolme aasta, kus RMK on enda tegevuste jalajälge hinnanud, on see püsinud samas suurusjärgus. Kuna põhiline tegevuste jalajalg sõltub eelkõige mootorikütuste kasuta-misest tööde käigus, siis kõige rohkem mõjutab seda aasta käigus läbi viidud tööde maht ning ka see, millised tööd said tehtud. Kontorite ja muu kinnisvara kasutuse jalajalg on vähenenud RMK puhul ka 2023. aastal. Eesootavatel aastatel tuleb keskenduda eelkõige sellele, kuidas vähendada süsiniku emis-sioone ühiku kohta. Ka RMK uues arengukavas on ette nähtud vähendada fossiilkütustest tulenevat süsiniku emissiooni.



Kokkuvõtvalt on RMK süsiniku jalajälg tugevas plussis, meie metsad ja muu maakasutus seob süsinikku ja panustab seeläbi kliimamuutuste leevendamisse. Tänu uuele metoodikale suudame anda ka veel täpsema hinnangu metsas talletatava süsiniku koguse osas.

Metsasid nähakse kliimamuutuste leevendamisel võtme rollis ning hoides metsad terved ja tootlikud saame suunata ja suurendada süsinikusidumist. Ka puidu kasutamine taastuva ressursina võimaldab vähendada fossiilsete materjalide kasutamist ja vähendada suurema süsiniku heitega toodete jalajälge. Uuendades metsad kvaliteetselt ja kiiresti, hooldades metsi õigeaegselt ning hoides metsad elujõulised ja terved, panustab RMK oluliselt kliimamuutuste leevendamisse.

NÄIDISARVUTUS

Allpool on süsinikuraporti arvutuskäiku illustreeritud ühe näidisarvutuse abil. Selleks on välja valitud keskealine männik Pärnumaal, mis kasvab mustika kasvukohatüübis. Tegemist on viljaka metsaga, kus peale männi kasvab esimeses rindes ka kuuske. Olemasolevad andmed selle metsa kohta on järgmised.

Kvartal nr VD254, eraldis 3					Tagavara eraldisel (m ³)			CO ₂ emissioon (t)	
Kasvu- kohatüüp	Pindala (ha)	h100 (m) (prognoositav kõrgus 100-aastaselt)	Koosseis	Vanus (a)	Mänd	Kuuske	Lama- puit	Mänd	Kuuske
Mustika	2 106 959	124 851	85MA15KU (85% mändi, 15% kuuske)	58	492,59	86,93	10,65	14,23	2,51

SÜSINIKU TAGAVARA

Leidmaks sellel metsaeraldisel talletatud süsiniku (C) tagavara, tuleb kõigepealt minna kuupmeetritelt üle massiühikutele. Männi puhul on absoluutkuiva puidu tihedus 470 kg/m³ ja kuusel 420 kg/m³. Nii siis korrutame kuupmeetrid läbi absoluutkuiva tihedusega ja teisendame tulemuse tonnideks. Saame männi tüvemassiks 231,5 t ja kuuse tüvemassiks 36,5 t.

Tüvemassi arvutamine

Mänd: $492,59 \text{ m}^3 = 492,59 \times 470 = 231\,517 \text{ kg} = 231,5 \text{ t}$
Kuusk: $86,93 \text{ m}^3 = 86,93 \times 420 = 36\,510 \text{ kg} = 36,5 \text{ t}$

Kuna peale tüvemassi on oluline veel ka muu maapealne biomass ja maa-alune biomass, siis nende leidmiseks kasutame teadustöödest tulenevaid biomassi suhteid erinevate fraktsioonide vahel. Männi puhul moodustab tüvemass kogu maapealsest biomassist 90,2% ning kuuse puhul 80%. **Maapealne biomass** männil on seega 256,7 ja kuusel 45,6 t.

Maapealse biomassi arvutamine
Mänd: $231,5 \times 100 / 90,2 = 256,7 \text{ t}$
Kuusk: $36,5 \times 100 / 80 = 45,6 \text{ t}$

Maa-alune biomass moodustab kogu biomassist männi puhul 20% ja kuuse puhul 21%. **Männi maa-alune biomass** on seega 64,2 t ja kuuse oma 12,1 t.

Maa-aluse biomassi arvutamine
Mänd: $256,7 \times 20 / 80 = 64,2 \text{ t}$
Kuusk: $45,6 \times 21 / 79 = 12,1 \text{ t}$

Liites kokku maa-aluse ja maapealse biomassi, saame männi puhul kogu biomassiks 320,9 t ja kuuse puhul 57,7 t.

Kogu biomassi arvutamine
Mänd: $256,7 \text{ t} + 64,2 = 320,9$
Kuusk: $45,6 + 12,1 = 57,7 \text{ t}$

Nimetatud puistus on hinnatud ka lamapuitu (10,65 m³). **Lamapuidu biomass** arvestamiseks kasutame tihedust 300 kg/m³ kohta. Nii saame lamapuidu biomassiks 3,2 t.

Lamapuidu biomassi arvutamine
 $10,65 \times 300 = 3195 \text{ kg} = 3,2 \text{ t}$

Puidu kuivmassist moodustab süsinik 50%. Seega tuleb vaatlusaluse metsaeraldise puidus oleva süsiniku teadasaamiseks liita kokku mändide ja kuuskede maa-alune ja maapealne biomass ning lamapuidu biomass ja jagada see kahega. **Süsiniku kogutagavara selle metsaeraldise puidus** on 190,9 t.

Süsiniku arvutamine puidus
 $(320,9 + 57,7 + 3,2) / 2 = 190,9 \text{ t}$

Suur osa süsinikku on lukustatud mullas. Mustika kasvu- kohatüübi muldade puhul on teadustöökodades süsiniku tagavaraks hinnatud 125,2 t/ha. Selleks, et saada **kogu eraldise mulla süsiniku tagavara**, korrutame antud nimetatud hinnangu läbi eraldise pindalaga (2,13 ha). Saame mulla süsiniku tagavaraks 266,7 t.

Süsiniku arvutamine mullas
 $2,13 \times 125,2 = 266,7 \text{ t}$

Kogu eraldise süsiniku tagavara saame, kui liidame kokku puidus ja mullas oleva süsiniku. See on 457,6 t.

Kogu eraldise süsiniku tagavara arvutamine
 $190,9 \text{ t} + 266,7 \text{ t} = 457,6 \text{ t}$

SÜSINIKU SIDUMINE

Selleks, et hinnata, kas konkreetne metsaökosüsteem on süsiniku siduja või emiteerija, tuleb hinnata ära kõik sissetulevad ja väljuvad süsiniku vood.

Alustame juurdekasvust. Eraldise kirjelduses on nimetatud tüvejuurdekasv: männil 14,23 m³ ja kuusel 2,51 m³ aastas. Esmalt tuleb see teisendada biomassiks sarnaselt tagavara arvutustele. Männi **tüvepuidus on aasta jooksul juurde toodetud biomassi** 6,7 t ja kuuse tüvepuidus 1,1 t.

Tüvedes aastaga juurde toodetud biomassi arvutamine

Mänd: $14,23 \times 470 = 6688 \text{ kg} = 6,7 \text{ t}$
Kuusk: $2,51 \times 420 = 1054 \text{ kg} = 1,1 \text{ t}$

Olulise osa metsa biomassist moodustavad männi ja kuuse puhul ka okkad ja oksad ning peen- ja jämejuured. Eestis läbi viidud metsaökosüsteemi süsiniku uuringutest on teada, et tüvedes toodetakse juurde männi puhul kogu seotud biomassist vaid 37,7% ja kuuse puhul 34,9%, ülejäänud ladestub just juurtes, okstes ja okastes. **Aasta jooksul juurde toodetud kogu biomassi** leidmiseks tuleb liita ka need osad, misjärele saame männi puhul tulemuseks 17,8 t ja kuuse puhul 3,1 t.

Kogu eraldisel aastaga juurde toodetud biomassi arvutamine

Mänd: $6,7 \times 100 / 37,7 = 17,8 \text{ t}$
Kuusk: $1,1 \times 100 / 34,9 = 3,1 \text{ t}$

Ka siin on süsiniku osakaaluks 50% ning selleks, et leida, **kui palju süsinikku on aasta jooksul metsa biomassis juurde toodetud**, tuleb saadud arvud jagada kahega.

Kogu eraldisel aasta jooksul seotud süsiniku massi arvutamine

Mänd: $17,8 / 2 = 8,9 \text{ t}$
Kuusk: $3,1 / 2 = 1,55 \text{ t}$

Tuleb meeles pidada, et metsa biomassis ladestub küll süsinik, aga atmosfäärist seotakse süsihappegaasi, kusjuures 1 t C võrdub 3,7 t CO₂. Nimetatud eraldisel on **puud sidunud atmosfäärist aasta jooksul 38,7 t CO₂**.

Puude poolt atmosfäärist seotud CO₂ arvutamine
 $(8,9 + 1,55) \times 3,7 = 38,7 \text{ t}$

Selleks, et hinnata, kas nimetatud metsaeraldise puhul on tegemist süsiniku siduja või emiteerijaga, tuleb arvestada ka alusmetsa ja alustaimestiku seotavat CO₂. Teadlased on hinnanud, et sarnastes metsades seotakse alusmetsa ja alustaimestiku maapealse ja maa-aluse osa peale kokku 9,25 t CO₂ ha kohta. Nimetatud eraldisel seotakse läbi alusmetsa ja alustaimestiku seega atmosfäärist 19,7 t CO₂ aastas.

Alusmetsa ja alustaimestiku poolt atmosfäärist seotud CO₂ arvutamine
 $2,13 \times 9,25 = 19,7 \text{ t}$

Samuti on oluline teada **orgaanilise aine lagunemisest tulenevat emissiooni mullast**. Teadustöodes on seda sellistel muldadel hinnatud 14,06 t CO₂ hektari kohta aastas. Nimetatud mets emiteeris seega mullahingamisega 30 t CO₂ aastas.

Orgaanilise aine lagunemisel mullast tekkiva CO₂ emissiooni arvutamine
 $2,13 \times 14,06 = 30,0 \text{ t}$

Liites kokku puude seotud CO₂ ja alustaimestiku ning alusmetsa seotud CO₂ ning lahutades sellest mullahingamise läbi emiteeritud CO₂, selgub, et **nimetatud puistu seob aastas 28,4 t CO₂**. Sellist metsa kasvatades **seome aastas igal hektaril 13,3 t CO₂**.

Süsiniku sidumine nimetatud eraldisel (CO₂)
 $38,7 + 19,7 - 30,0 = 28,4 \text{ t}$

Süsiniku sidumine nimetatud eraldisel hektari kohta (CO₂)
 $28,4 / 2,13 = 13,3 \text{ t}$

PS! Rahvusvahelises kliimaaruandluses näidatakse süsiniku sidumist tavaliselt miinusmärgiga. Ehk siis – nii näidatakse, kui palju on metsa kasvamise tõttu atmosfääris vähem süsihappegaasi ja teisi kasvuhoonegaase. Siin arvutustes oleme metsas süsiniku sidumist näinud positiivsena, sest see on üks igati positiivne tegu!

SÜSINIKURAPORTI KOOSTAMISEL KASUTATUD ALLIKAD

1. <https://unfccc.int/process/transparency-and-reporting/greenhouse-gas-data/greenhouse-gas-data-unfccc/global-warming-potentials>
2. Padari, A et al. 2023. Puistu ristlõikepindala juurdekasvu mudel Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide andmetel – Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused, Volume 78
3. Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Aun, K., Lõhmus, K., Soosaar, K., Astover, A., Uri, M., Buht, M., Sepaste, A., Padari, A. 2022. The dynamics of the carbon storage and fluxes in Scots pine (*Pinus sylvestris*) chronosequence. *Science of the Total Environment* 817: 152973.
4. Veibri, U., Saarman, E. 2006. Puiduteadus. Eesti Metsaselts.
5. 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*, 132 (5–6): 737–749. DOI: 10.1007/s10342-013-0706-1.
6. 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 (1–2): 118660. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118660.
7. 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 (12): 119241. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119241.
8. Aun, K., Kukumägi, M., Varik, M., Uri, M., Buht, M., Aosaar, J., Padari, A., Sepaste, A., Soosaar, K., Becker H., Uri V. 2022. Recovery dynamics of ecosystem carbon budgets in a young silver birch stand chronosequence after clear-cut – Estonian case study, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 37:5–8, 352–365, DOI: 10.1080/02827581.2022.2155235
9. Eesti puistute biomassi mudelite väljatöötamine (1.12.2017–6.04.2020) L170270MIME. Veiko Uri, Eesti Maaülikool, metsandus- ja maaehitusinstituut, metsakasvatuse ja metsaökoloogia õppetool – lõpparuanne.
10. Hall-lepikud Eesti metsade süsinikubilansis (1.09.2012–30.04.2014) 8–2/T12141MIMK (3406). Veiko Uri, Eesti Maaülikool, Eesti Maaülikool, metsandus- ja maaehitusinstituut – lõpparuanne.
11. Krasnova, A., Kukumägi, M. Mander, Ü., Torga, R., Krasnova, D., Noe, S. M., Ostonen, I., Püttsepp, Ü., Killian, H., Uri, V., Lõhmus, K., Sõber, J., Soosaar, K. 2019. Carbon exchange in a hemiboreal mixed forest in relation to tree species composition. *Agricultural and Forest Meteorology* 275: 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.05.007>.
12. Kriiska, K., Frey, J., Asi, E., Kabral, N., Uri, V., Aosaar, J., Varik, M., Napa, Ü., Apuhtin, V., Timmusk, T., Ostonen, I. 2019. Variation in annual carbon fluxes affecting the SOC pool in hemiboreal coniferous forests in Estonia. *Forest Ecology and Management* 433: 419–430. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.11.026.
13. Kuivendamise mõju viljakate soometsade süsinikubilansile (1.09.2013t–31.03.2015), 8–2/T13104MIMK. Veiko Uri, Eesti Maaülikool, Eesti Maaülikool, metsandus- ja maaehitusinstituut – lõpparuanne.
14. Kukumägi, M., Ostonen, I., Uri, V., Helmisaari, H.–S., Kanal, A., Kull, O., Lõhmus, K. 2017. Variation of soil respiration and its components in hemiboreal Norway spruce stands of different ages. *Plant and Soil* 414 (1): 265–280. DOI: 10.1007/s11104-016-3133-5.
15. Kuusekändude varumise metsanduslikud aspektid ja kaasnevate keskkonnamõjude hindamine (1.07.2011–30.06.2014), 8–2/T11082MIMK. Veiko Uri, Eesti Maaülikool, Eesti Maaülikool, metsandus- ja maaehitusinstituut – lõpparuanne.
16. 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 (1): 1–15. DOI: 10.1007/s10750-011-0934-7.
17. Salm, J.–O., Kimmel, K., Uri, V., Mander, Ü. 2009. Global warming potential of drained and undrained peatlands in Estonia: A synthesis. *Wetlands* 29 (4): 1081–1092.
18. Soosaar, K., Mander, Ü., Maddison, M., Kanal, A., Kull, A., Lõhmus, K., Truu, J., Augustin, J. 2011. Dynamics of gaseous nitrogen and carbon fluxes in riparian alder forests *Ecological Engineering* 37 (1): 40–53. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2010.07.025.

19. Süsiniku ja lämmastikuringe muudetud veerežiimiga metsades (1.05.2013–30.04.2016) LLOOM13056. Ülo Mander, Tartu Ülikool, loodus- ja tehnoloogiateaduskond; Tartu Ülikooli ökoloogia- ja maateaduste instituut; Tartu Ülikool, loodus- ja täppiseaduste valdkond, ökoloogia ja maateaduste instituut – lõpparuanne.
20. Süsinikubilanss kuuse-kase segametsade vanuser eas (1.03.2015–24.11.2016) 8–2/T15013MIMK. Veiko Uri, Eesti Maaülikool, Eesti Maaülikool, metsandus- ja maaehitusinstituut – lõpparuanne.
21. Süsinikubilanss viljakate kuusikute vanuser eas (1.08.2018–1.06.2020) T180044MIME (14511). Veiko Uri, Eesti Maaülikool, metsandus- ja maaehitusinstituut, metsakasvatuse ja metsaökoloogia õppetool – lõpparuanne.
22. Süsinikubilanss palumännikute vanuser eas (1.08.2016–31.05.2018) 8T160024MIMK. Veiko Uri, Eesti Maaülikool, metsandus- ja maaehitusinstituut – lõpparuanne.
23. Raiete mõju metsade süsinikuringele (1.07.2015–30.06.2018) 8–2/T15078MIMK. Veiko Uri, Eesti Maaülikool, Eesti Maaülikool, metsandus- ja maaehitusinstituut – lõpparuanne.
24. Tamm, Ü. 2000. Haab Eestis. Eesti Loodusfoto.
25. Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Aun, K., Krasnova, A., Morozov, G., Ostonen, I., Mander, Ü., Lõhmus, K., Rosenvald, K., Kriiska, K., Soosaar, K. 2019. The carbon balance of a six-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) ecosystem estimated by different methods. *Forest Ecology and Management* 433: 248–262. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.012>.
26. 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. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.04.004.
27. 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. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.05.023.
28. Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Aun, K., Nikopensius, M., Uri, M., Buht, M., Sepaste, A., Padari, A., Asi, E., Sims, A., Karoles, K. 2022. Litterfall dynamics in Scots pine (*Pinus sylvestris*), Norway spruce (*Picea abies*) and birch (*Betula*) stands in Estonia. *Forest Ecology and Management* 520: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120417>.
29. Uri, V., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Kukumägi, M., Ligi, K., Pärn, L., Kanal, A. 2015. Biomass resource and environmental effects of Norway spruce (*Picea abies*) stump harvesting: An Estonian case study. *Forest Ecology and Management* 335: 207–215. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.10.003.
30. Vares, A. 1999. Biomass, produktsoon ja peamised mineraaltoained sanglepakultuurides. Magistritöö, (juh) Hardi Tullus; Krista Lõhmus. Eesti Maaülikool.
31. 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.01.041>.
32. Valikraiate mõju metsaökosüsteemi süsinikubilansile ja majanduslikud aspektid https://media.rmk.ee/files/Valikraie_projekti_lõpparuanne_EMU_V.Uri.pdf
33. Süsinikubilansi dünaamika kõdusoomännikute vanuser eas https://mi.emu.ee/userfiles/instituudid/mi/projekt_nr_RE_4_08_22-0017_Susiniubilansi_dunaamika_kodusoomannikute_vanusereas.pdf
34. 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.
35. Kölli, R., Asi, E., Köster, T. 2004. Organic carbon pools in Estonian forest soils. *Baltic Forestry* 10 (1): 19–26.
36. Kölli, R., Ellermäe, O., Köster, T., Lemetti, I., Asi, E., Kauer, K. 2009. Stocks of organic carbon in Estonian soils. *Estonian Journal of Earth Sciences* 58 (2): 95–108. doi: 10.3176/earth.2009.2.01.
37. Lutter, R., Kölli, R., Tullus, A., Tullus, H. 2018. Ecosystem carbon stocks of Estonian premature and mature managed forests: effects of site conditions and overstorey tree species. *European Journal of Forest Research* 138 (1). <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1158-4>.
38. Projekti „Mulla süsinikuvarude seis ja dünaamika“ lõpparuanne, kestus: 2015–2019, projektijuht: Karin Kauer, asutus: Eesti Maaülikool põllumajandus- ja keskkonnainstituut.
39. Kauer, K., Kölli, R., Viiralt, R., Köster, T., Noormets, M., Laidna, T., Keres, I., Parol, A., Varul, T., Selge, A., Raave, H. 2013. Effect of cut plant residue management and fertilization on the dry-matter yield of swards and on carbon content of soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 44: 1–4, 205–218.
40. Kauer, K., Teina, B., Sanchez de Cimab, D., Talgre, L., Eremeeva, V., Loita, E., Luik, A. 2015. Soil carbon dynamics estimation and dependence on farming system in a temperate climate. *Soil & Tillage Research* 154: 53–63.
41. Organisatsioonide KHG jalajalg, Keskkonnaministeerium <https://envir.ee/kliima/toetavad-materjalid/organisatsioonide-khg-jalajalg>