



RMK SÜSINIKURAPORT 2021

Arvutuskäik	2
Süsiniku tagavara	3
Süsiniku sidumine	4
Süsiniku emiteerimine ehk süsinikuheide	5
Süsinikuraportist kokkuvõtvalt	8
Näidisarvutus	9
Süsinikuraporti koostamisel kasutatud allikad	11

Sissejuhatus

RMK kliimamuutuste osakond on koostanud RMK süsinikuraporti ehk ülevaate sellest, kui palju RMK 2021. aastal süsinikku sidus ja kui palju õhku paiskas. Arvesse on võetud **kolme kasvuhoonegaasi (CO₂, CH₄ ja N₂O) voogusid**, mis on nende gaaside globaalse soojenemise potentsiaali¹ arvesse võttes väljendatud CO₂ ekvivalentvärtusena.

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

Kuna kliimamuutusi seostatakse süsihappegaasi (CO₂) kontsentratsiooni tõusuga atmosfääris, aitab süsinikuraport hinnata RMK süsiniku jala jälge ning teha otsuseid, kuidas seda vähendada.

Järgnevaid lehekülgi lugedes peab meeles pidama, et **puud küll seovad süsihappegaasi (CO₂), kuid biomassi ja mulda talletub süsinik (C)**. Molekulaarmassist tulenevalt võrdub üks tonn süsinikku ca 3,7 tonni süsihappegaasiga.

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 käigus metsast välja viidud ja aktiivsesse kasutusse võetud süsinik.

¹ <https://unfccc.int/process/transparency-and-reporting/greenhouse-gas-data/greenhouse-gas-data-unfccc/global-warming-potentials>

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 puitsest biomassist talletatud süsinik (eraldi iga puuliigi kohta) ja mullas leiduv süsiniku tagavara. Süsiniku sidumine on arvutatud jooksva aastase juurdekasvu põhjal, mis on hinnatud eraldisepõhiselt iga seal kasvava puuliigi kohta. Sellele on arvutatud juurde muu taimne produktsioon: oksad, juured, lehed, okkad ning alustaimestik ja alusmets. Mullahingamine ehk emissioon mullast on leitud varasemalt teadustöodes hinnatud tulemuste põhjal nii mineraalmuldadele kui turvasmuldadele eraldi.

Süsiniku sidumise hindamiseks on kasutatud NEP[1] (*net ecosystem production*) meetodit, mis hindab, kas ökosüsteem toimib süsiniku siduja või allikana. Meetodi käigus on välja arvutatud kogu taimne produktsioon, mis läbi fotosünteesi süsinikku seob, ning sellest on lahutatud mullahingamise teel mullast tekkiv emissioon. Taimse produktsiooni 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 [2, 3] 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 uuendusraietega metsast välja viidava süsiniku kogus.

Peale tüvemassi on osa biomassist veel oksad, juured, lehed ja okkad. Varasemates teadustöodes ja Eesti kohta välja töötatud biomassimudelite põhjal on välja arvutatud, kui suur on erinevate biomassi komponentide osakaal ning ka erinevate biomassi fraktsioonide produktsiooni 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 maakateooriates on hinnatud mullakaardi põhjal, kasutades avaldatud teadustöodes esitatud süsiniku koguseid erinevates muldades [29–34]. Teiste maakateooriate puhul on kaugseire meetodil hinnatud puidumahtu ning selle põhjal välja arvutatud süsiniku tagavara seal kasvavas puidus.

Metsade ja teiste maakateooriate süsiniku tagavara ja bilansi arvutuskäigud ning sisendid on üle vaadanud Eesti Maaülikooli professor, akadeemik Veiko Uri. Süsinikubilansi arvutamiseks vajalikud sisendid on võetud avaldatud teadustööst [1, 3–28]. Süsinikubilansi arvutamisel konsulteeriti ka Keskkonnaagentuuri töötajatega, kes koostavad Euroopa Liidule LULUCF² sektori aruandeid [28].

RMK tegevuste käigus tekkiva emissiooni hindamisel on algandmed võetud RMK raamatu-pidamise ja kinnisvara aruannetest. Süsinikubilansi arvutamisel ning sisendite leidmisel konsulteeriti Eesti Keskkonnauuringute Keskusega. Sisenditena kasutati ka Riigi Teatajas välja toodud süsiniku emissiooni eriheidet ja kütteväärtusi [35, 36]. Arvutamisel kasutati samu emissioonifaktoreid, mis on kasutusel Eesti kasvuhoonegaaside inventuuri koostamisel [37, 38]. Allikate loetelu on välja toodud aruande lõpus. Ühe metsaeraldise põhjal on raporti lõpus välja toodud ka näidisarvutus.

² 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 maapealse osas (tüves, võras) ja maa-aluses osas (juurtes) leiduv süsinik.

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 0,41 mln ha
- majandatav mets 0,64 mln ha
- metsamaa kokku 1,05 mln ha

RMK valduses olevate maade süsiniku tagavara on 2021. aastal 258,9 miljonit tonni.

- 2/3 süsinikust oli talletatud mullas ja 1/3 puudes.
- Metsamaal on talletatud 219,5 miljonit tonni süsinikku (85% tagavarast).
- Mittemetsamaal on talletatud 39,5 miljonit tonni süsinikku (15% tagavarast).

Tabel 1. Süsiniku jagunemine RMK metsamaal (1,05 mln ha)

	Metsamaal puidus			Metsamaal mullas	Puidus ja mullas kokku
	Kaitstav mets	Majandatav mets	Kokku mets		
Puidu tagavara (mln tm)	90,7	106,1	196,8	.	196,8
C tagavara (mln t)	32,7	38,6	71,3	148,2	219,5
C tagavara hektari kohta (t/ha)	79,8	60,4	68,0	141,4	209,4

Tabel 2. Süsiniku jagunemine RMK mittemetsamaal (0,38 mln ha)

	Puidus	Mullas	Kokku
C tagavara (mln t)	1,97	37,5	39,5
C tagavara hektari kohta (t/ha)	5,2	98,6	103,8

Süsiniku sidumine

RMK valduses olev mets, metsamaa ja mittemetsamaa sidus 2021. aastal atmosfäärist 5,67 miljonit tonni CO₂.

- Suurema osa CO₂ sidus kasvav mets (5,48 mln tonni), muudel maadel seoti aastas 0,19 mln t CO₂.
- Uuendusraietega viidi metsast puiduna välja -2,89 mln tonni CO₂.
- Uuendusraiete mahuga korrigeeritud seotud süsiniku kogus RMK metsas, metsamaal ja mittemetsamaal oli 2,78 mln t CO₂.
- Majandatav mets on võrreldes kaitstava metsaga produktiivsem ning seob aastas hektari kohta 0,5 t CO₂ rohkem.

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 tänu puistus valitsevale konkurentsile. 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 2021. aastal metsast välja 3,13 mln m³ puitu. Uuendusraie käigus varutud puidu keskmiseks absoluutkuivaks tiheduseks on võetud kolme põhilise puuliigi keskmine tihedus 500 kg/m³ ja süsiniku osakaaluks arvestatud 50%. Et saada süsinikust süsihappegaas, on tulemus korrutatud 3,7-ga. Nii viidi uuendusraietega välja -2,89 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.

Tabel 3. Süsiniku sidumine RMK metsamaal ja muudel maakategooriatel

Aasta 2021	Kaitstav	Majandatav	Kokku
Metsamaa pindala (ha)	409 752	638 577	1 048 329
CO ₂ sidumine: I rinne, tüvi, oksad ja juured (t)	3 583 373	6 469 404	10 052 777
CO ₂ sidumine: II rinne (t)	156 542	306 613	463 155
CO ₂ sidumine: alustaimestik/alusmets (t)	3 790 205	5 906 836	9 697 041
CO ₂ emissioon mullast (t)	-5 520 219	-9 207 734	-14 727 953
CO₂ ekv sidumine metsamaal	2 009 901	3 475 119	5 485 020
CO₂ sidumine tonni hektari kohta (t/ha aastas)	4,91	5,44	5,23
Muu maakategooria pindala (ha)			380 315
Muu maakategooria CO ₂ sidumine (t)			188 598
Uuendusraie maht 2021 (tm)			3 130 000
Uuendusraietega välja viidud süsinik (CO ₂ t)			-2 895 250
RMK valduses oleva maa pindala (ha)			1 428 644
RMK valduses oleva maa CO ₂ sidumine (t)			2 778 368

Süsiniku emiteerimine ehk süsinikuheide

RMK tegevuste käigus tekkinud süsiniku kogumuudatus oli 2021. aastal **-65 041 tonni CO₂**. See on **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 mootorkütuse kasutamisest.

Süsiniku emiteerimine RMK tegevuste käigus	CO ₂ t
Metsamajandamistööd	-47 442
Metsaparandustööd	-8 206
Metsaistutus	-668
Looduskaitsetööd	-1 152
Töötajate sõidud	-1 908
Kontorid	-1 779
Taimlad	-1 342
Muu kinnisvara	-2 294
Põlula kalakasvandus	-250
Kokku	-65 041

Järgnevalt on välja toodud süsiniku emissioon olulisemate tööliikide kohta täpsemalt.

METSATÖÖD

Metsatööde käigus paisati 2021. aastal õhku -47 442 t CO₂. Kuidas see näitaja kujunes, on toodud allolevas tabelis.

Tabel 4. Erinevate metsatöödega kaasnev CO₂ emissioon

Tööliik (ühik)	Kogus	Kütuse kulu ühiku kohta	Kütuse kulu, (l)	CO ₂ emissioon, (t)
Lageraie, turberaie, raadamine: raietöö ja kokkuvedu (tm)	2 900 585	1,2 l/tm	6 961 400	-18 167
Harvendusraie, sanitaarraie, kujundusraie: raietöö ja kokkuvedu (tm)	612 454	2 l /tm	2 449 800	-6 392
Energiapuidu varumine (tm)	229 126	2,1 l/tm	481 200	-1 255
Energiapuidu hakkimine (tm)	276 972	1,39 l/tm	385 000	-1 003
Ümarpuidu vedu (tm)	3 591 574	48 l/100 km		
Keskmine koorma maht (tm)	33,2			
Ümarpuidu veo keskmine kaugus (km)	69			
Ümarpuidu koormaid (tk)	108 180		7 165 800	-18 700
Hakkpuidu vedamine (tm)	276 403	38 l/100 km		
Keskmine koorma maht (tm)	32,4			
Hakkpuidu veo keskmine kaugus (km)	51			
Hakkpuidu koormaid (tk)	8 531		330 700	-863
Võsasaetööd (ha)	40 703	10 l/ha	407 000	-1 062
Kokku				-47 442

METSAPARANDUSTÖÖD

Metsaparandustööde süsiniku jalajälg aastal 2021 oli -8206 t CO₂, mis hinnati tööde jaoks kulunud kütuste koguste pealt. Suurima panuse sellesse andsid tee-ehitus ja kraavide rekonstrueerimine.

Tabel 5. Metsaparandustöödega kaasnev CO₂ emissioon

Tööliik (ühik)	Ala	Kütuse kulu (l)	CO ₂ emissioon (t)
Kraavide rekonstrueerimine (ha)	16 987	662 153	-1 728
Kraavide hooldus (ha)	22 917	266 991	-697
Teede ehitus (km)	319	1 537 430	-4 012
Teehooldus (km)	35 814	677 878	-1 769
Kokku		3 144 452	-8 206

METSAISTUTUSTÖÖD

Metsaistutusele eelnevate tööde süsiniku jalajälg aastal 2021 oli -668 t CO₂, mis hinnati metsaistutus-tööde jaoks kulunud kütuste arvelt.

Tabel 6. Metsaistutustöödega kaasnev CO₂ emissioon

Tööliik (ühik)	Ala	Kütuse kulu (l)	CO ₂ emissioon (t)
Maapinna ettevalmistamine: ader (ha)	8 105	64 330	-381
Maapinna ettevalmistamine: mätastaja (ha)	919	145 890	-168
Istutusmasin (ha)	423	42 300	-110
Männi külv adraga (ha)	200	3 600	-9
Kokku		256 120	-668

LOODUSKAITSETÖÖD

Looduskaitsete tööde süsiniku jalajälg aastal 2021 oli -1152 t CO₂. Seda hinnati looduskaitsetööl kulutatud mootorikütuse alusel. Suurim CO₂ emissioon tekkis kraavide sulgemisel ning looduskaitsetööde käigus tehtud raiel ja kokkuveol.

Tabel 7. Looduskaitsetöödega kaasnev CO₂ emissioon

Tööliik (ühik)	Ala	Kütuse kulu (l)	CO ₂ emissioon (t)
Hekseldamine (ha)	227	24 970	-65
Freesimine (ha)	413	61 950	-162
Kraavide sulgemine (km)	238	154 462	-403
Paisude ehitamine (tk)	2311	92 440	-241
Looduskaitsete raie ja kokkuvedu (tm)	42 071	100 970	-264
Võsalõikus (ha)	398	3 980	-10
Muud tööd (ha)	85	2 550	-7
Kokku		441 322	-1 152

TÖÖTAJATE SÕIDUD

RMK töötajate transpordi süsiniku jalajalg 2021. aastal oli -1908 t CO₂. Aasta jooksul tehti töösõite ameti- ja isiklike autodega kokku 7,8 mln km. Ametiautode puhul kasutati CO₂ emissiooni hindamiseks reaalselt kulunud mootorikütuse koguseid ning eraautode puhul võeti keskmiseks kütusekuluks 7 liitrit 100 km kohta.

Tabel 8. RMK töötajate transpordiga kaasnev CO₂ emissioon

Töösõidud	Läbitud (km)	Kütuse kulu (l)	CO ₂ emissioon (t)
Ametiautodega	5 915 466	598 224	-1 561
Eraautodega	1 900 000	133 000	-347
Kokku	7 815 466	731 224	-1 908

RMK KINNISVARA

Kogu RMK kinnisvara kasutamise jalajalg kokku oli 2021. aastal -5665 t CO₂. RMK kontorite süsiniku jalajalg aastal 2021 oli -1779 t CO₂. Keskmiselt teeb see iga kontoritöötaja jalajäljeks -3,8 t CO₂ aastas. Muu kinnisvara alla on paigutatud nii RMK külastuskeskused kui ka abihooned, suurima jalajäljega on seal Sagadi mõisakompleks, mille CO₂ jalajalg on -1211 t. Jalajälje arvutamisel arvestati kõikide kulunud energialiikide ja süsiniku heitmeid tekitavate teguritega.

Tabel 9. RMK kinnisvara kasutamise CO₂ emissioon

	CO ₂ emissioon (t/a)
RMK kontorid	-1 779
RMK taimlad	-1 342
Põlula kalakasvatus	-250
Muu kinnisvara	-2 294
Kokku	-5 665

RMK kontorite jalajälge aitab võrrelda tabel 10.

Tabel 10. RMK kontorite CO₂ jalajalg

Kontor	CO ₂ emissioon (t/a)	
	Kontori kohta	Inimese kohta
Ahtme kontor	-27,2	-1,9
Antsla kontor	-37,5	-7,5
Avinurme kontor	-4,6	-0,8
Erastvere kontor	-29,1	-3,2
lisaku kontor	-29,7	-2,0
Kihelkonna kontor	-35,7	-3,2
Kärdla kontor	-58,4	-3,9
Käru kontor	-22,8	-3,3
Laiksaare kontor	-97,8	-9,8
Laiuse kontor	-45,0	-3,5
Loobu kontor	-68,9	-4,6
Märjamaa kontor	-12,2	-2,0
Paikuse kontor	-124,7	-11,3
Piirsalu kontor	-26,6	-2,4
Pikknurme kontor	-23,5	-2,6
Rapla kontor	-22,6	-1,7
Rava kontor	-27,0	-2,1
Ristipalo kontor	-88,5	-3,4
Sagadi kontor	-11,5	-1,1
Sonda kontor	-19,8	-2,0
Surju kontor	-65,5	-4,7
Taali kontor	-63,9	-6,4
Tallinna kontor	-376,0	-5,9
Tartu kontor	-219,6	-3,9
Triigi kontor	-58,7	-5,9
Ussimäe kontor	-53,2	-4,1
Valga kontor	-33,4	-2,8
Varbla kontor	-25,4	-3,6
Võru kontor	-39,6	-2,6
Õisu kontor	-30,1	-1,7
Kokku	-1 779	-3,8

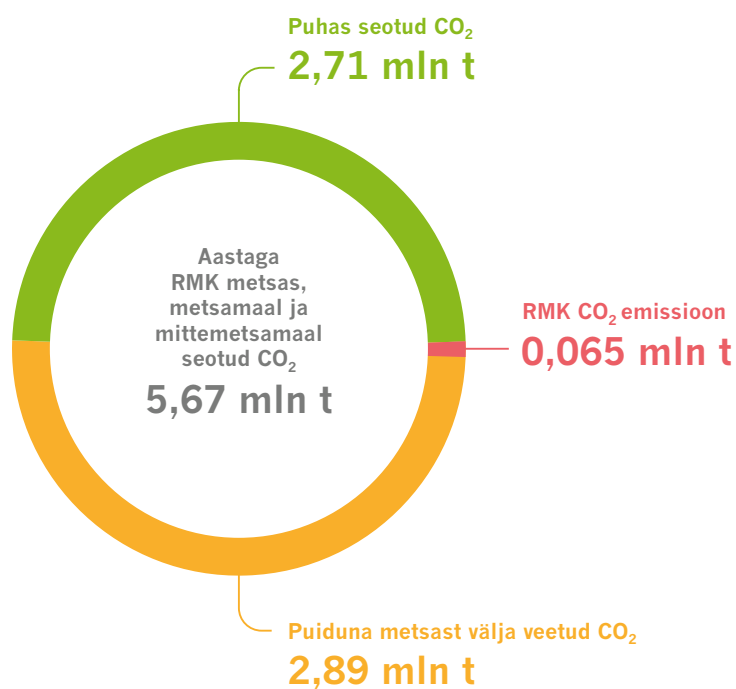
Süsinikuraportist kokkuvõtvalt

Arvestades RMK metsade ja muude maade seotud süsinikust (5,67 mln t CO₂) maha RMK uuendusraiega metsast välja viidud süsiniku (-2,89 mln t CO₂) ja lisaks RMK tegevuste käigus tekkinud CO₂ emissiooni (-0,065 mln t), on tulemuseks positiivne süsiniku jalajälg – 2021. aastal seoti RMK metsas ja maadel 2,71 mln t CO₂.

Keskonnaministeerium on välja andnud esmased 2020. aasta kasvuhoonegaaside inventuuri andmed Eesti kohta, lõplik aruanne valmib 2022. aasta aprillis. Esialgsete andmete kohaselt emiteeris Eesti 2020. aastal -11,58 mln t CO₂ ning sellest enamuse (-8,29 mln t) emiteeris energeetika- ja transpordisektor. Nende numbrite võrdlemisel nähtub, et **RMK metsas ja maadel seotud süsinik katab ära veerandi Eesti aastasest süsinikuheitmest.**

RMK hallata on pool Eesti metsamaast. Metsa jätkusuutlik majandamine on üks, kui mitte ainuke viis, kuidas atmosfäärist suuremahuliselt süsinikku siduda. Targa metsamajandamise abil, suunates puitu pikaajalistesse toodetesse ning uuendades metsi kvaliteetselt ja kiiresti, suudab RMK panustada oluliselt kliimamuutuste leevendamisse.

Teades RMK süsinikubilanssi, on võimalik hinnata ja vähendada erinevate tegevustega kaasnevat CO₂ emissiooni. Alustada võib kasvõi sellest, et koosolekuid korraldatakse virtuaalselt, ei trükita mittevajalikke materjale või sorteeritakse ja vähendatakse jäätmeid. Tänu süsinikubilansile on võimalik mõõta ja juhtida protsesse, mille abil siduda metsas rohkem süsinikku ning vähendada metsa majandamisega kaasnevat kasvuhoonegaaside emissiooni.



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)			Aastane juurdekasv eraldisel (m ³)	
Kasvukoha-tüüp	Pindala (ha)	h100 (m) (proгноositav kõrgus 100-aastaselt)	Kooseis	Vanus (a)	Mänd	Kuuske	Lamapuit	Mänd	Kuuske
Mustika	2,13	29,4	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. Niisiis korrutame kuupmeetrid läbi absoluutkuiva tihedusega ja teisendame tulemuse tonnideks. Saame männi **tüvemassiks** 231,5 t ja kuuse tüvemassiks 36,5 t.

Tüvemassi arvutamine

Mänd: $492,59 \text{ m}^3 = 492,59 \times 470 = 231\,517 \text{ kg} = 231,5 \text{ t}$

Kuuske: $86,93 \text{ m}^3 = 86,93 \times 420 = 36\,510 \text{ kg} = 36,5 \text{ t}$

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: $231,5 \times 100 / 90,2 = 256,7 \text{ t}$

Kuuske: $36,5 \times 100 / 80 = 45,6 \text{ t}$

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: $256,7 \times 20 / 80 = 64,2 \text{ t}$

Kuuske: $45,6 \times 21 / 79 = 12,1 \text{ t}$

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: $256,7 \text{ t} + 64,2 = 320,9$

Kuuske: $45,6 + 12,1 = 57,7 \text{ t}$

Antud 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 kasvukohatüübi muldade puhul on teadustöodes süsiniku tagavaraks hinnatud 125,2 t/ha. Selleks, et saada **kogu eraldise mulla süsiniku tagavara**, korrutame antud 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 antud 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 x 470 = 6 688 kg = 6,7 t

Kuusk: 2,51 x 420 = 1 054 kg = 1,1 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, misjärel saame männi puhul tulemuseks 17,8 t ja kuuse puhul 3,1 t.

Kogu eraldisel aastaga juurde toodetud biomassi arvutamine

Mänd: 6,7 x 100 / 37,7 = 17,8 t

Kuusk: 1,1 x 100 / 34,9 = 3,1 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 t

Kuusk: 3,1 / 2 = 1,55 t

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

Puude poolt atmosfäärist eemaldatud CO₂ arvutamine
(8,9 + 1,55) x 3,7 = 38,7 t

Selleks, et hinnata, kas antud metsaeraldise puhul on tegemist süsiniku siduja või emiteerijaga, tuleb arvestada ka **alusmetsa ja alustaimestiku poolt 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. Antud eraldisel eemaldatakse läbi alusmetsa ja alustaimestiku seega atmosfäärist 19,7 t CO₂ aastas.

Alusmetsa ja alustaimestiku poolt atmosfäärist eemaldatud CO₂ arvutamine

2,13 x 9,25 = 19,7 t

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

Orgaanilise aine lagunemisel mullast tekkiva CO₂ emissiooni arvutamine

2,13 x 14,06 = 30,0 t

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

Süsiniku sidumine antud eraldisel (CO₂)

38,7 + 19,7 – 30,0 = 28,4 t

Süsiniku sidumine antud eraldisel hektari kohta (CO₂)

28,4 / 2,13 = 13,3 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. 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.
2. Veibri, U., Saarman, E. 2006. Puiduteadus. Eesti Metsaselts.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Eesti puistute biomassi mudelite väljatöötamine (1.12.2017–6.04.2020) L170270MIME. Veiko Uri, Eesti Maaülikool, metsandus- ja maaehitusinstituut, metsakasvatuse ja metsaökoloogia õppetool – lõpparuanne.
7. 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.
8. Krasnova, A., Kukumägi, M., Mander, Ü., Torga, R., Krasnova, D., Noe, S. M., Ostonen, I., Püttsepp, Ü., Killian, H., Uri, V., Lõhmus, K., Söber, 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>.
9. 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.
10. Kuivendamise mõju viljakate soometsade süsinikubilansile (1.09.2013–31.03.2015), 8-2/T13104MIMK. Veiko Uri, Eesti Maaülikool, Eesti Maaülikool, metsandus- ja maaehitusinstituut – lõpparuanne.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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 täppisteaduste valdkond, ökoloogia ja maateaduste instituut – lõpparuanne.

17. Süsinikubilanss kuuse-kase segametsade vanuseraas (1.03.2015–24.11.2016) 8-2/T15013MIMK. Veiko Uri, Eesti Maaülikool, Eesti Maaülikool, metsandus- ja maaehitusinstituut – lõpparuanne.
18. Süsinikubilanss viljakate kuusikute vanuseraas (1.08.2018–1.06.2020) T180044MIME (14511). Veiko Uri, Eesti Maaülikool, metsandus- ja maaehitusinstituut, metsakasvatuse ja metsaökoloogia õppetool – lõpparuanne.
19. Süsinikubilanss palumännikute vanuseraas (1.08.2016–31.05.2018) 8T160024MIMK. Veiko Uri, Eesti Maaülikool, metsandus- ja maaehitusinstituut – lõpparuanne.
20. Raiete mõju metsade süsinikuringele (1.07.2015–30.06.2018) 8-2/T15078MIMK. Veiko Uri, Eesti Maaülikool, Eesti Maaülikool, metsandus- ja maaehitusinstituut – lõpparuanne.
21. Tamm, Ü. 2000. Haab Eestis. Eesti Loodusfoto.
22. 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>.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. Vares, A. 1999. Biomass, produktsioon ja peamised mineraaltoitained sanglepakultuurides. Magistritöö, (juh) Hardi Tullus; Krista Lõhmus. Eesti Maaülikool.
27. 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>.
28. 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.
29. Kölli, R., Asi, E., Köster, T. 2004. Organic carbon pools in Estonian forest soils. *Baltic Forestry* 10 (1): 19–26.
30. 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.
31. 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>.
32. Projekti „Mulla süsinikuvarude seis ja dünaamika“ lõpparuanne, kestus: 2015–2019, projektijuht: Karin Kauer, asutus: Eesti Maaülikool põllumajandus- ja keskkonnainstituut.
33. 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.

34. Kauer, K., Teina, B., Sanchez de Cimab, D., Talgrea, L., Eremeeva, V., Loita, E., Luikc, A. 2015. Soil carbon dynamics estimation and dependence on farming system in a temperate climate. Soil & Tillage Research 154: 53–63.
35. Kütuste eriheiten. https://www.riigiteataja.ee/aktiisa/1080/3201/9006/KKM_m86_lisa2.pdf
36. Kütteväärtused https://www.riigiteataja.ee/aktiisa/1181/0201/2001/MKM_m63_lisa4.pdf
37. Rahvusvahelise kasvuhoonegaaside raportid.
<https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021>
38. Riikliku kasvuhoonegaaside inventuuri andmed.
<https://envir.ee/kliima/kliima/rahvusvaheline-aruandlus#kasvuhoonegaaside-in>