

RMK TEADUSPROJEKTI LÕPPARUANNE

1. PROJEKTI NIMETUS: Valikraiate mõju metsaökosüsteemi süsinikubilansile ja majanduslikud aspektid

2. PROJEKTI KESTUS

Algus:
august/2020

Lõpp:
juuli/2023

3. PROJEKTI TAOTLEJA (teadusasutus): Metsanduse- ja inseneeria instituut, Eesti Maaülikool

Telefon: 7313154

Address: Kreutzwaldi 5, Tartu 51006

Registrikood: 74001086

Panga rekviisidid: 1010200084008

4. PROJEKTI JUHT:

Veiko Uri
(Ees- ja perekonnanimi)

Professor, PhD
(Amet, teaduskraad)

5. PROJEKTI PÕHITÄITJAD

Projekti põhitäitjad:

Ees- ja perekonnanimi	Teaduskraad	Ametikoht
1. Veiko Uri	PhD	EMÜ, professor
2. Mats Varik	PhD	EMÜ, teadur
3. Mai Kukumägi	PhD	EMÜ, teadur
4. Kristiina Aun	PhD	EMÜ, teadur
5. Jürgen Aosaar	PhD	EMÜ, vanemteadur
6. Mikko Buht	MSc	EMÜ, nooremteadur
7. Marek Uri	MSc	EMÜ, nooremteadur
8. Agnes Sepaste	MSc	EMÜ, nooremteadur
9. Allar Padar	MSc	EMÜ, peaspetsialist
10. Kaido Soosaar	PhD	TÜ, kaasprofessor
11. Alisa Krasnova	PhD	TÜ, teadur

6. PROJEKTI KULUD KOKKU 190 000 eurot

Kulurida	Kokku
Töötasud (põhitäitjad + abitööjõud)	106799
Sotsiaalmaks	35244
Töötuskindlustusmaks	854
Ostetud teenused	5103
Lähetuskulud	0
Materjalid, tarvikud, masinad, seadmed	3018
Muud kulud	20082
Üldkululõiv	18900
Kokku	190000

7. PROJEKTI TULEMUSED (maksimaalselt 10 lehekülge)

Projekti lühikokkuvõte (maksimaalselt 500 tähemärki)

Projektis hinnati valikraie (VR) vahetut mõju metsaökosüsteemi süsiniku (C) voogudele ja varudele võrdluses lageraiega (LR). Modelleeriti puistute raiejärgne kasv VR *versus* LR. Küpse metsa harvendamine vähendas C sidumist, kuid männikud jäid enamasti C neelajateks või C neutraalseteks, viljaka kasvukoha segamets muutus C allikaks. VR järgne C bilanss olenes puistu liigilisest koosseisust, mullast ja harvendamise astmest. Kõik LR alad olid C allikad, emiteerides vahemikus 2-6 t C ha⁻¹ a⁻¹. Alustaimestiku osa kogu ökosüsteemi aastasest produktsioonist moodustas VR aladel 18-43% ja LR aladel 100%. Mäni alade keskmine aastane heterotroofse mullahingamise (Rh) voog oli VR ja LR katsevariantides sarnane. Kvaliteetsema sortimendi (saepalgid) väljatulek oli lageraiel suurem kui valikraiel. Küpsetes männikutes valikraiega alustamine võimalda vana puistut säilitada küll pikaajaliselt nn püsimeetana, kuid ei taga metsa edukat uuenemist, puistu rahuldavat tootlikkust ega tõhusat C sidumist.

Abstract (maksimaalselt 300 tähemärki)

In the current study, the prompt effect of selection cutting (SC) and clear-cutting (CC) were estimated on the annual net ecosystem productivity (NEP) in pine and mixed stands. SC reduced annual NEP in mature forests, however, studied pine stands maintained their C sink status or acted as C neutral ecosystems. All CC areas were C sources, emitting 2-6 t C ha⁻¹ yr⁻¹. The share of ground vegetation of total net primary production was 18-43 % and 100% in SC and CC areas, respectively. Annual heterotrophic soil respiration (Rh) flux in pine sites was similar across treatments. Modelled growth dynamics demonstrated a stable level of growing stock for next decades.

7. PROJEKTI TULEMUSED (maksimaalselt 10 lehekülge)

Nii Eestis kui ka Euroopas laiemalt on aktuaalseks muutunud lageraietele (LR) alternatiivsete majandusviiside, sh turbe- ja valikraiate (VR) senisest laiem kasutamine metsanduses. Kui turberaietel on väljakujunenud praktikad ja neid tagasihoidlikus mahus ka rakendatakse, siis kõik VR-iga seonduv on Eesti metsanduses äärmiselt ebamäärane. Pilti hägustavad veelgi varasemad VR nimetuse all läbi viidud raied, mis tegelikult ei vasta püsimeetsa majandamise põhimõtetele. VR-i on Eesti metsanduse praktikas rakendatud äärmiselt vähe, samuti on varasema perioodi Eesti metsateadlaste hinnangud selle tulemuslikkuse osas olnud skeptilised (Etverk, 2000; Meikar, 2000). Samas oodatakse RMK-lt VR laiemat kasutamist ning LR või turberaiete asendamist VR-ga (näit. KAH metsade majandamisel).

Käesoleva uuringu idee tõukus eespool kirjeldatud olukorrast, kus senised teadmised VR osas on puudulikud, aga ühiskondlik surve seda raieviisi laiemalt kasutada, järjest kasvav. Kuigi riigimetsade majandamine peaks olema teaduspõhine, tuginema nii uurimistulemustel kui ka pikaajalisel metsanduslikul praktikal, siis VR-ga seonduv oli seni teadusuuringutega praktiliselt katmata. Kuna kehtivad regulatsioonid võimaldavad VR-i rakendada vaid küpsetes puistutes, siis selgitati uuringus VR rakendamise võimalusi üleminekuks küpse metsa majandamisel püsimeetsa põhimõtetele ja hinnati sellega kaasnevaid keskkonnamõjusid C sidumise näol.

Valikraiate uurimine muudab metoodiliselt komplitseerituks varasemate VR alade puudumine, samuti asjaolu, et VR on teiste raieviisidega võrreldes üsna loominguine metsakasvatustlik tegevus, mida on keeruline universaalsete reeglitega raamistada. Pigem eeldab VR puistupõhist lähenemist, kus iga raie tehakse nõ „rätsepatoona“. Ühtsed praktikad ja selged soovitusel tulemuslikuks VR teostamiseks Eestis seni puuduvad, mõned üldised suunised on toodud valik- ja kujundusraiate juhendis (KIK projekti 3031 lõpparuanne, 2012). Üks väheseid reglementeeritud näitajaid on kehtestatud minimaalne VR järgne puistu rinnaslõikepind (Metsa majandamise eeskiri).

Kaasaja metsanduses tuleb aktuaalse kliimatemaatika taustal majanduslike ja looduskaitselike aspektide kõrval üha enam arvestada ka metsade süsiniku (C) sidumise võimega, e kliimamõjuga. Ka koostatavas RMK arengukavas rõhutatakse RMK teaduspõhisust ning kliimapositiivsust ja tõhus C sidumine metsades on kaalukas argument majandamisega seotud otsustusprotsessis.

Lõppenud teadusprojektis hinnati erinevate raieviiside (VR *versus* LR) vahetut mõju metsa C sidumise võimele ja selgitati kasvava metsa edasist arengudünaamikat peale esimest, ettevalmistavat raiejärku, selle käigus saadud puidu kogust ning kvaliteeti.

7.1 Töö metoodika

Katsedisain ja alade valik

Kuna VR-i nähakse ennekõike LR alternatiivina, siis vastavalt kavandati taotluses ka uuringu katsedisain: metsa C sidumist selgitati võrdluses VR *versus* LR.

Taotluses esitatud meetodika alusel valiti RMK metsadest 5 puistut (3 palumännikut ja 2 segapuistut), kuhu rajati katsealad kolme erineva katsevariandiga: valikraie (VR), kontrollala (KNT) ja lageraie (LR). Selline planeering võimaldab selgitada uuritavate raiete vahetut mõju puistu C voogudele ning varudele võrdluses raie-eelse seisuga e. majandamata metsaosaga (KNT), samuti hinnata samast puistust saadavat puidu kogust ja kvaliteeti raieviiside võrdluses. Projekti raames rajatud katsealad on kasutatavad edasisteks jätku-uuringuteks ning täidavad tulevikus olulist rolli ka näidisaladena.

Tuginedes senisele metsakasvatusteadmisele, valiti VR uuringuteks peamiselt männikud, kuna mänd on tormikindel ja harvendamise järgselt on nad võrreldes teiste puistutega oluliselt püsikindlamad. Teisalt pakub just segapuistu rohkem võimalusi mitmerindelise ja erinevas vanuses puudega koosluse kujundamiseks nagu seda püsimetsa puhul eeldatakse.

Alade lühiiseloostus (Tabel 1):

Palojärve (PW018-14) – saja-aastane palumännik üksikute 2. rinde kuuskedega, raie-eelne eraldise pindala 2,6 ha. Sellele alale püstitati ka EC jaam otsemõõtmiste läbi viimiseks.

Kurista (QT102-12) – üle saja-aastane palumännik Tartumaal, pindala 3,7 ha. Männi osakaal 93%, üksikud kuused ja kased esimeses rindes, kuusk 2. rindes.

Laari (KJ150-1) – üle 150 aasta vanune palumännik, pindala 4,3 ha. Männi osakaal 93%, üksikud kuused. Hõredamate kohtades halvasti arenenud männi uuendus.

Kiidjärve (KJ110-8) – küps männi-kuuse segapuistu, pindala 2,6 ha. Männi osakaal 65%, kuuske 31%. Raie käigus selgus, et kuuskedel esineb väga ulatuslik juure- ja tüvemädanike kahjustus (peamiselt juurepess). Kontrollvariant hukkus 2022. a. ürasekirüüste tõttu.

Vara (VA113-8) – küps kuuse-kase segapuistu, vähesel määral sangleppa (7%) ja haaba (3%). Kuuse teine rinne, samuti kuuse järelkasv, kohati järelkasvus ka vaher, pindala 5,7 ha. Muld ja kasvukoht varieeruvad, LR ja KNT variandid niiskemal mullal ja suurema lehtpuu osakaaluga. Ka siin esines 2022. a. VR alal ürasekirüühjustus.

Tabel 1. Katsealade peamised takseernäitajad 2021. a. $D_{1.3}$ - puistu keskmine rinnasdiameeter, H - puistu keskmine kõrgus, G- puistu rinnaskõikepind, N - puude arv; Kkt – kasvukohtüüp); Bon. – boniteet. Esitatud aritm. keskmind \pm standardviga. LR-lageraie; VR- valikraie; KNT – kontroll

Ala	Variant	Kkt	Vanus, a	Puuliik	1 rinne				
					Bon.	N, tk/ha	$D_{1.3}$, cm	H, m	G, $m^2 ha^{-1}$
Palojärve	LR	ph	1	Männik	II	195	31,7 \pm 0,7	28,0 \pm 0,4	15,4
	VR		99						
	KNT		99						
Kurista	LR	ph	1	Männik	I	324	35,8 \pm 0,7	28,1 \pm 0,3	32,7
	VR		113						
	KNT		113						
Laari	LR	ph	1	Männik	II	120	41,1 \pm 2,6	30,6 \pm 0,5	15,9
	VR		158						
	KNT		158						
Kiidjärve	LR	jk-ph	1	Mä-Ku segamets	Ia	154	40,3 \pm 2,1	29,8 \pm 1,0	19,5
	VR		108						
	KNT		108						
Vara	LR	jk-nd	1	Ku-Ks segamets	I	241	29,5 \pm 1,6	27,9 \pm 0,7	16,6
	VR		73						
	KNT		73						

Katsealade muldade iseloostus on toodud Lisas 1 (Tabel 1).

Raied

Raied katsealadel korraldas RMK 2020. a. lõpus ja 2021. a. alguses, nii VR kui ka LR tehti masinraienä. VR puistute kujundamisel valis raiutavad puud harvesteri operaator vastavalt eelnevalt koostatud kirjalikule juhendile, samuti käis projekti juht kohapeal konsulteerimas. Üldistusena sarnanes läbi viidud VR aegjärgse raie esimesele järgule, kuid seda mõõdukama raiekraadiga, sihiks oli väljaraie ca 20% tagavarast. Kuna tegemist on esimese raiega puistu kujundamisel, siis peaks säilima piisav tagavara ka järgmisteks kordusraieteks. Ennekoike raiuti kehvema kvaliteediga ja allajäänud puid, aga ka suuremaid ja keskmise diameetriga puid sh ülevalitsevaid. Lubatud oli tekitada väikseid häile ($D < 20m$) ja võimalusel laiendada olemasolevaid.

Kiidjärve männi-kuuse segametsas oli eesmärgiks kuuse osakaalu tugev vähendamine, kuna kuused on väga tormikartlikud, samuti piiravad nad oluliselt valgustingimusi võrastiku all. Ka selgus raie käigus, et langetatud kuused olid ulatuslikult kahjustatud tüvemädanikest.

Vara katsealal rakendati samuti ülepinnaist harvendamist, andes kasvuruumi järelkasvule. Lehtpuid püüti kuuse pealt mõõdukalt vähendada, kuuske jäeti ka gruppidega (vähendamaks tormiohtu), võimalusel säilitati haaba (elurikkus). Ka sel alal lähtuti põhimõttest, et tegemist on esimese raiejärguga ja püsimesa kujundamine valikraiega on pikaajaline protsess, st et esimese raiega püütakse luua esmased eeldused püsimesa kujundamiseks.

Kõikidel aladel jäeti elurikkuse eesmärgil alles lamapuidu tüvesid, aga ka kuivanud tüükaid või jämedamaid jalal kuivanud puid. Raiejäätmed (oksad ladvad) koguti kokku ja virnastati, va. Vara alal, kus need kasutati kokkuveoteede tugevdamiseks.

Süsinikubilansi uuringud

Raiejärgseid metsaökosüsteemis toimuvaid muutusi hinnati süsinikubilansi meetodil (NEP meetod), mis võimaldab detailselt hinnata erinevate ökosüsteemi osade (puud, alustaimestik, muld) rolli kogu metsa C ringes, sh selgitada muutusi C voogudes võrreldes raiumata puistu osaga (KNT). NEP meetodit on tõõrühm edukalt rakendanud mitmetes varasemates uuringutes (Uri et al., 2017ab; 2022), sh RMK teadusprojektides (Aun et al., 2021ab; 2022a; Uri et al., 2019). Ökosüsteemi netoproduksioon e. NEP leiti erinevate C sisend- ning väljundvoogude põhjal ja see iseloomustab metsa toimimist C allika või neelajana (Clark et al., 2001; Chapin et al., 2006). Käesolevas uuringus on C bilanssi käsitletud metsaökosüsteemi vaates, st negatiivne väärtus näitab C heidet metsast ja positiivne C sidumist.

CO₂ emissioon mullast

Mullahingamisest tuleva CO₂ emissiooni hindamiseks kasutati suletud dünaamilise kambri meetodit (PP Systems), SRC-1 kamber koos gaasianalüsaatoriga CIRAS-2 (Differential CO₂/H₂O Infrared Gas Analyzers). Et eristada heterotroofset hingamist (Rh) summaarsest mullahingamisest (Rs) kasutati väga levinud mullaruumala eraldamise meetodikat (nn „trenching“) (Kukumägi et al., 2017; Uri et al., 2019; 2022a). Selleks installeeriti uurimisaladel mulda PVC torud (d=24cm; h=45cm) koos statsionaarsete PVC muhvidega mõõtekambri paigaldamiseks. CO₂ voogu mõõdeti igakuiselt, samaaegselt mõõdeti ka mullatemperatuur 5 cm sügavuselt sondiga STP-1 ja mullaniiskus vahetult pärast kambri eemaldamist analüsaatoriga HH2 Moisture Meter ja ML3 Thetaprobe (Delta-T Devices Ltd, UK). Kõikidele aladele paigaldati mullatemperatuuri ja -niiskuse pidevaks mõõtmiseks statsionaarsed andurid koos automaatsete andmekogujatega (Spectrum Techn., Inc., USA), saadud andmestik oli aluseks CO₂ aastase kumulatiivse voo modelleerimisel (Uri et al., 2017ab, 2019; 2022a).

Puistute tagavara, juurdekasv ja C sidumine puude biomassis

Kõikidele VR ja KNT aladele rajati proovitükk, mis takseeriti. Kasvava puistu biomassi, produktsiooni ja selles seotud C kogust hinnati erinevate fraktsioonide kaupa mudelpuude meetodil, 19 mudelpuu andmete põhjal. Puude jämejuurte biomassi ja produktsiooni hindamiseks kasutati varasemates uuringutes leitud puude maa-aluse- ja maapealse biomassi suhtarve (Uri et al., 2020; 2022a). Jämejuurte produktsioonihinnang põhineb puude maa-aluse ja maapealne puitunud biomassi proportsionaalsel arengul (Varik et al., 2015, Uri et al., 2017ab; 2022a).

Peenjuurte biomass ja produktsioon

Kõikidel aladel määrati puude ja alustaimestiku peenjuurte (d<2mm) biomass mullamonoliitide meetodil (Vogt and Persson, 1991; Ostonen et al., 2005). Monoliitidest hinnatud biomassi ja peenjuurte aastase käibe põhjal leiti läbi juurevarise mulda jõudev aastane C voog (Brunner et al., 2013).

Maapealne varis

Maapealse varise kaudu mulda jõudvat aastast C voogu, samuti VR mõju sellele hinnati varisekogujatest kogutud proovide põhjal. Nii VR kui ka KNT aladele paigaldati varisekogujad (7tk katsevariandi kohta, summaarne kogumispind 2,5m²). Kahekuulise sammuga kogutud proovid fraktsioneeriti ning määrati erinevate fraktsioonide kuivmassid (Ukonmaanaho et al., 2016; Uri et al., 2017ab; 2022b).

Alustaimestiku biomass, produktsioon ning C sidumine

Alustaimestiku biomassi, produktsiooni ja selles seotud C voogu hinnati prooviruutude meetodil (Uri et al., 2017ab; 2022a). Proove võeti vegetatsiooniperioodi lõpus 10 korduses katsevariandi kohta. Ruutudelt lõigatud taimestik koguti kokku ja kaaluti laboris, igast proovist eraldati alamproov kuivaine määramiseks. Rohhtaimede aastane produktsioon on võrdne nende biomassiga, puhmaste ja sammalde puhul kasutati primaarproduktsiooni hinnangu saamiseks varasemates uuringutes leitud suhtarve (Uri et al., 2019; 2022a). Alustaimestiku maa-aluse osa jämedama fraktsiooni (juured d>2mm ja risoomid) biomassi hinnati maapealse ja maa-aluse biomassi suhtarvu põhjal (nn R/S ratio).

Süsinikuvoogude mõõtmised turbulentsete kovariatsioonide meetodil (eddy covariance e. EC).

Turbulentsete kovariatsioonide (ingl k. *eddy covariance*; EC) meetod võimaldab vahetult mõõta C vahetust ökosüsteemi ja atmosfääri vahel teatud ajaperioodi jooksul (Baldocchi, 2014). Kuigi seda peetakse bilansimeetodist täpsemaks (Meyer et al., 2013), on see nn. „musta kasti“ meetod, kuna ei tuvasta see voo allikat või sidujat. Seega on nii EC kui ka NEP meetodil omad eelised ning puudused, aga nende kahe meetodi samaaegne kombineeritud kasutamine võimaldab saada paremini seostatud tulemusi (Meyer et al., 2013, Uri et al., 2019).

EC mõõtmised viis projektis läbi TÜ töörühm kaasprofessor Kaido Soosaare juhtimisel. Kuna meetod eeldab gaasivoogude mõõtmist metsa kohal, siis püstitati alale 26 m kõrgune mõõtmistorn. Kasutati Li-7200 gaasianalüsaatorit ja Gill HS-50 anemomeetrit, mõõtmised viidi läbi sagedusel 10 Hz (Soosaar et al., 2014; Krasnova et al., 2019). Täpsemaks andmeanalüüsiks ja voogude modelleerimiseks mõõdeti tornis lisaks gaasivoogudele ka erinevaid keskkonnaparameetreid nagu õhutemperatuur, -niiskus ning fotosünteesiliselt aktiivne kiirgus. Lähemalt on EC meetodil tehtud mõõtmisi ning saadud tulemusi käsitletud TÜ töörühma aruandes.

Mullauuringud

Kõikidel VR aladel tehti mullakaeve ja mullakirjedused, määrati mullaliik, C varude arvutamiseks hinnati lasuvustihedus erinevates sügavuskihtides. Määrati mulla toitainete ja C sisaldus, selleks võeti igal alal mullapuuriga juhuslikult 12 mullaproovi 10 cm kihtide kaupa (kuni 50 cm sügavuseni). Koondproovidest määrati orgaanilise C ja peamistele toitainete (NPK) sisaldused ning pH. Mullaproovide keemilised analüüsid tehti EMÜ põllumajandus- ja keskkonnainstituudi mullateaduse õppetoolis (Lisa 1, Tabel 1).

Esimeses raiejärgus saadava puidu koguse ja selle kvaliteedi hinnang (VR versus LR), raiejärgse puistu kasvu ja järgmiste raiete modelleerimine

Kõikidel katsealadel mõõdeti raiutud puidu kogused erinevate sortimentide kaupa VR ja LR variantides, kasutades eelnevalt RMK-ga kooskõlastatud metoodikat (harvesteri raportid). Mõõtmisandmete põhjal arvutati erinevate sortimentide suhteline osakaal raieliikide lõikes (VR versus LR).

VR järgsete takseerandmete põhjal modelleeriti nendele puistutele järgneva 40 a. kasvudünaamika, kasutades metsa korraldamise juhendis toodud mudeleid (Metsa korraldamise juhend, 2009).

Igale proovitükil kasvavale puule arvutati kõrgus vastava kõrguskõvera alusel, mis saadi Näslund'i funktsiooni põhjal (Näslund, 1936). Puude tüvemaht arvutati puu diameetri, kõrguse ning Ozolinš'i tüvemoodustaja alusel (Ozolinš, 2002), vastavalt korrigeeritud algoritmidele (Padari, 2020).

Puude kõrguse juurdekasv arvutati igale puistuelemendile Kiviste kasvumudelitega (Kiviste & Kiviste, 2009), eeldades et raiete vahelisel perioodil puid looduslikult välja ei lange. Ka aastane tüvemahu juurdekasv arvutati vastavalt Metsa korraldamise juhendis (2009) toodud valemile.

Järgnevate raiete kordusperioodiks planeeriti 10 aastat. Vastavalt metsa majandamise eeskirjas toodud VR järgsele minimaalsele puistu lõikepindalale, ei planeeritud kordusraiet, kui lõikepind oli lubatud väärtusest väiksem. Simuleeritud raie käigus vähendati puude arvu ühtlaselt kõikides diameetriklassides. Harvendati kuni lubatud minimaalse lõikepindalani, saadud teoreetilise väljaraie põhjal arvutati järgneva 40 aasta jooksul jätkuvate valikraiate käigus saadav summaarne puidu kogus. Ka lageraiejärgsete alade kasvudünaamika modelleerimiseks kasutati eespool kirjeldatud metsakorralduse kasvumudeleid.

7.2 Tulemused ja arutelu

7.2.1 Valikraie mõju puistu biomassile ja produktioonile

VR muidugi vähendas küpse metsa tagavara ja sellega ka biomassi aastast produktiooni, männi enamusega katsealadel oli VR järgne puude biomass 26-40% väiksem kui KNT alal, Vara segapuistus vastavalt kuni 55% kontrollalast väiksem (Lisa 1, Tabel 2).

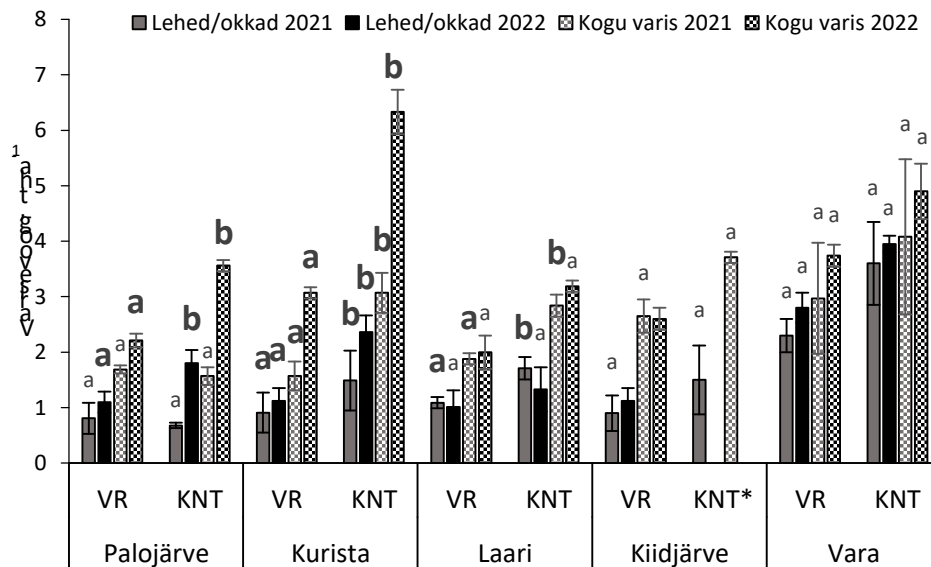
Männikute alustaimestik domineerisid palumetsadele iseloomulikult samblad ja puhmad, rohttaimede osakaal oli väike. Enim mõjutas puhmaste ja sammalde maapealset biomassi lageraie, mis Palojärve ja Kiidjärve LR aladel esimesel raiejärgsel aastal vähenes oluliselt ($p < 0,05$). Viljakal Vara katsealal kasvasid valdavalt rohttaimed, nende biomass LR aladel suurenes (Lisa 1, Tabel 3).

Puude peenjuurte biomass ei erinenud esimesel raiejärgsel aastal KNT ja VR alade vahel oluliselt (Lisa 1 Tabel 4). LR järgselt vähenes puhmaste peenjuurte biomass Palojärve alal, teistel aladel polnud muutused statistiliselt olulised (Lisa 1 Tabel 4).

7.2.2 Maapealse varise voog

Keskmine aastane okkavarise voog varieerus männikute KNT aladel vahemikus 1,3 - 2,4 t ha⁻¹ a⁻¹, mis on heas kooskõlas Eesti küpsetes palumännikutes hinnatuga, so 1,1-2,6 t ha⁻¹ a⁻¹. Katsealade keskmisena moodustasid okkad ja lehed 34-60% kogu aastases varise voost. Ka aastased summaarsed varisevood olid heas kooskõlas varasemate tulemustega (Uri et al., 2022ab), vaid Kurista katsealal oli see voog suurem, seda kuuse teisest rindest lisandunud varise tõttu.

Puistu harvendamine vähendas oluliselt aastast okkavarise voogu Kurista ja Laari aladel (2021) ja Palojärve alal (2022) (Mann-Whitney, $p < 0.05$). Kiidjärve alal ületas esimesel raiejärgsel aastal KNT ala varisevoog küll harvendatud ala vastavat voogu, kuid erinevus katsevariantide vahel polnud statistiliselt oluline ($p > 0,05$) (Joon. 1).



Joonis 1. Aastased varisevood katsealadel 2021-2022 a. (keskmine \pm standard viga).

VR-valikraie, KNT-kontroll, statistiliselt usaldusväärsed erinevused katsevariantide vahel on märgitud tähtedega **a** ja **b** (Mann-Whitney U test, p -väärtus < 0.05).

*2022. a Kiidjärve KNT ala tulemused jäeti ürasekiahjustuste tõttu analüüsist välja

7.2.3 Mullahingamine

Suurimad mullahingamise kumulatiivsed vood (R_s) männikutes mõõdeti VR ja KNT aladel. Märgatavalt madalamad olid need LR aladel, seda tõenäoliselt väiksema peenjuurte biomassi tõttu (Tabel 2). Erandlikult kõrge oli mullahingamine viljaka mullaga Vara alal, kus aastane R_s voog ületas männikute keskmist enam kui kaks korda. Väga kõrged mullahingamise vood Vara ala kõikides katsevariantides on erinevate tegurite koosmõju tulemus: ühelt poolt on tegemist keskmisest niiskema (gleistunud) viljaka mullaga, kus orgaanilise aine lagunemine on soodustatud ja teisalt põhjustas väga kuum suvi mullatemperatuuri tõusu, intensiivistades mullahingamist. Kuna veevarud sellises mullas on suured, siis erinevalt kuivadel liivmuldadel olevatest männi aladest ei limiteerinud niiskus siin orgaanilise aine lagunemist.

Ökosüsteemi C bilansi kujunemisel mängib võtmerolli aastane heterotroofse mullahingamise kumulatiivne voog (R_h), mis vahetult peale raiet varieerus katsevariantides vahemikus 2,3 – 8,7 t C ha⁻¹ a⁻¹ (Tabel 2). Esimesel raiejärgsel aastal jäid aastased R_h vood kõigi männikute keskmisena erinevate katsevariantide vahel sarnaseks (Tabel 2). Eeldatakse, et lageraie raiesmikul intensiivistub orgaanilise aine lagunemine kõrgema mullatemperatuuri tõttu, suurendades R_h voogu. Saadud tulemused seda üheselt ei kinnitanud (Tabel 2): Palojärve ja Laari LR aladel oli aastane kumulatiivne R_h voog madalam kontrollist. Ka punktmõõtmiste tulemused näitasid madalamat R_h voogu LR variandis võrreldes VR või KNT aladega. Mõlema mõõtmisaasta suved olid kuumad ja põuased, mis vähendas kuivadel liivmuldadel oluliselt niiskusesisaldust, mis aga limiteeris mullas mikroobide elutegevust ning orgaanilise aine lagunemist. Seepärast ei toonud ka kõrgem mullatemperatuur LR aladel endaga kaasa R_h voo suurenemist.

Tabel 2. Mullahingamise aastased kumulatiivsed vood iga katseala ja -variandi kohta. Männikute keskmised vood (standardveaga) katsevariantides. Rs – summaarne mullahingamine, Rh – heterotroofne mullahingamine ($t\ C\ ha^{-1}\ a^{-1}$).

Katseala		2021		2022	
		Rs	Rh	Rs	Rh
Palojärve	LR	4,25	3,94	3,83	2,87
	VR	7,06	3,16	8,16	4,19
	KNT	8,53	4,86	8,26	4,15
Laari	LR	4,79	3,67	4,12	3,15
	VR	6,02	2,90	6,04	2,21
	KNT	7,62	4,46	7,41	4,82
Kurista	LR	4,40	3,55	5,10	3,62
	VR	8,23	6,19	7,46	4,98
	KNT	5,72	2,32	6,48	2,05
Kiidjärve	LR	6,09	4,31	5,42	3,80
	VR	9,68	2,76	9,39	3,53
	KNT	6,09	3,35	-	-
Vara	LR	11,90	7,68	17,67	6,22
	VR	11,55	7,73	12,15	6,63
	KNT	13,35	8,66	15,55	8,49
Männikute keskmised					
Kõik männikud	LR	4,88 ± 0,42	3,87 ± 0,17	4,62 ± 0,38	3,36 ± 0,21
	VR	7,75 ± 0,79	3,75 ± 0,82	7,76 ± 0,70	3,73 ± 0,59
	KNT	6,99 ± 0,66	3,75 ± 0,57	7,38 ± 0,51	3,67 ± 0,83
		Rs	Rh		
Kõik männikud 2021-2022	LR		4,75 ± 0,27	3,61 ± 0,16	
	VR		7,76 ± 0,49	3,74 ± 0,47	
	KNT		7,16 ± 0,41	3,72 ± 0,44	

7.2.4 Süsiniku varud

Erinevate raieviiside mõju võrdlemisel on olulisel kohal mullas ja puudes seotud C koguste suhteline osakaal, mis sõltub kasvukohast ja puistu liigilisest koosseisust. Uuritud männikutes ületas puudes salvestatud C kogus oluliselt mullasüsiniku varu: VR aladel asus mullas ca 27-40% ja kontrollaladel 18-35% metsaökosüsteemi C varudest.

Suurima mõjuga ökosüsteemi C varudele on mõistetavalt LR, kuna puude eemaldamine raiekohalt vähendab drastiliselt C varu ja LR järgselt asub praktiliselt kogu ökosüsteemi C mullas; uuritud LR aladel oli alustaimestikust seotud vaid 3-6% kogu süsinikust. Pärast raiesmiku uuenemist hakkab C varu suurenema kasvavatesse puudes seotava C tulemusel ja juba keskealistes männikutes ligikaudu võrdsustub suhteline C osakaal puudes ja mullas (Uri et al., 2022). Üheks VR eeliseks on väiksem raiejärgne C varude vähenemine: ökosüsteemi C varu oli harvendatud männikutes keskmiselt 30% väiksemad kui kontrollaladel, erandina oli Laari alal C varu vähenemine vaid 16% (Tabel 3).

Tabel 3. Süsiniku varud katsealadel ($t\ C\ ha^{-1}$) taimede biomassis ja mullas (ülemine 0-20 cm kiht), LR-lageraie, VR-valikraie, KNT-kontroll.

Ala	Variant	Puud	Alustaim	Muld		Muld kokku	Kõik kokku
				Mineraal	Kõdu		
Palojärve	LR		1,7				38,8
	VR	62,1	5,4	25,5	11,6	37,1	104,6
	KNT	104,5	4,9				146,5
Kurista	LR		2,7				59,2
	VR	132,2	4,3	41,7	4,8	56,5	193,0

	KNT	210,6	1,9				269,1
	LR		2,5				50,6
Laari	VR	65,5	3,0	31,6	16,5	48,1	116,6
	KNT	88,1	3,4				139,6
	LR		1,0				31,2
Kiidjärve	VR	81,1	2,2	18,9	11,3	30,2	113,5
	KNT	129,3	2,8				162,3
	LR		2,0				35,3
Vara	VR	62,7	2,2	33,3	-	33,3	98,2
	KNT	146,5	1,1				180,8

7.2.5 Süsiniku bilansid

VR aladel varieerus aastane süsiniku bilanss esimesel raiejärgsel aastal üsna suurtes piirides (-2,6 kuni +2,0 t C ha⁻¹ a⁻¹). Võrreldes KNT aladega vähenes puistute netoprimaarproduktioon (NPP) harvendatud puistutes 20-45% (Tabel 3). Samas kahanes enamikul juhtudel samaaegselt ka CO₂ emissioon mullast läbi Rh, mistõttu mõnel juhul sidus harvendatud mets kokkuvõttes isegi rohkem kui KNT ala (nt Palojärve ja Laari) (Tabel 3). Laari katsealal olid summaarsed NEP väärtused nii VR kui KNT variantides suhteliselt ühetaolised, st nende C bilansid jäid peaaegu tasakaalu. Kuna tegemist oli juba raie-eelselt suhteliselt hõreda puistuga, siis tagasihoidliku raiekraadi rakendamisel on sarnased C bilansid ka hästi seletatav tulemus. Kiidjärve alal sidus harvendamata mets oluliselt rohkem kui VR, NEP vastavalt ~ 5 ja 2 t C ha⁻¹ a⁻¹. Võrreldes teiste aladega langes siin raiejärgselt lisaks Rh-le ka produktioon tugevama raiekraadi tõttu kõige enam (Tabel 3), seda (Tabel 4).

Männikutest niiskusrežiimi ja mulla viljakuse poolest eristuv kuuse-kase segametsas (Vara) olid C bilansid negatiivsed nii KNT kui VR alal, kuid harvendamata puistu osas tagas puude kõrgem juurdekasv kokkuvõttes C bilansi ligikaudse tasakaalu. VR järgselt puistu produktioon oluliselt langes, samas kui Rh vähenes vaid alla tonni C ha⁻¹ a⁻¹, mis on väiksem langus, kui Laaril või Palojärvel, muutes VR ala kokkuvõttes oluliseks C allikaks.

Üldisest mustrist eristus Kurista, kus pärast harvendamise Rh suurenes, seejuures oli see KNT alal teiste aladega võrreldes kõige madalam üldse (Tabel 3). Raiejärgne produktiooni vähenemine samaaegse Rh suurenemisega on napilt tasakaalus C bilansi põhjuseks (Tabel 3), samas kui KNT ala näitas kõrget C sidumist (6,7 t C ha⁻¹ a⁻¹). Enam kui kahekordset erinevust Rh osas Kurista VR ja KNT vahel võib seletada mulla mikrokliima erinevusega. Tänu kuuse II rindele oli vegetatsiooniperioodil KNT alal keskmine mullatemperatuur madalam ja mulla pindmine kiht kuivem kui harvendatud alal, mulla mikrokliima on aga peamine mullahingamist mõjutav tegur.

Kõik raiesmikud olid ootuspäraselt C allikad, männi alad emiteerisid suurusjärgus -2,2 kuni -4,0 t C ha⁻¹ a⁻¹. Oluliselt suurem oli C heide viljaka ja niiske mullaga Vara LR alal, kus aastane emissioon ületas 6 t C ha⁻¹ a⁻¹. LR järgselt muutuvad alad paratamatult C allikaks, eelkõige drastiliselt langenud produktiooni tõttu.

Seega, kui LR mõju C sidumise vaates oli alati ühesuunaline, siis VR mõju puistu aastasele C bilansile osutus varieeruvaks: kolmel juhul viiest vähenes VR järgselt C sidumine võrreldes puistu harvendamata KNT osaga (Kurista, Kiidjärve ja Vara), ühel alal (Palojärve) oli aga tulemus vastupidine - harvendatud puistu sidus aasta jooksul rohkem C-d kui KNT. Ühel alal (Laari) jäi C bilanss ligilähedaselt tasakaalu. Kõrge puistu harvendamisel väheneb paratamatult küll puistu produktioon, kuid et ökosüsteemi C bilanss kujuneb sisend ja väljundvoogude põhjal, need aga alade lõikes varieerusid, siis üldistusena on harvendusjärgne C bilansi kujunemine kasvukoha spetsiifiline, sõltudes puistu liigilisest koosseisust, kasvukoha mullast ja harvendamise määrast.

EC meetodil saadud C sidumise hinnang Palojärve VR alal (2,8 t C ha⁻¹ a⁻¹) ületas NEP meetodil saadud poolteise tonni võrra. Sama suurt erinevust nende kahe meetodi samaaegsel kasutamisel märgivad ka teised autorid (Meyer et al., 2013; Peichl et al., 2010). EC tulemused on detailsemalt esitatud TÜ tööühma lõpparuandes.

Tabel 3. Süsiniku vood (t C ha⁻¹ a⁻¹), erinevates katsevariantides esimesel raiejärgsel (2021) aastal. LR-lageraie, VR-valikraie, KNT-kontroll, NPP-primaarproduktioon, Rh-heterotroofne mullahingamine, NEP-ökosüsteemi aastane netoproduktioon.

Ala	Variant	Puud		Alustaimestik		NPP	Rh	NEP
		Maapealne	Maa-alune	Maapealne	Maa-alune			
	LR			0,48	0,15	0,63	-3,94	-3,31
Palojärve	VR	1,25	1,23	0,76	1,09	4,33	-3,16	1,17
	KNT	2,19	1,69	0,72	0,84	5,43	-4,86	0,57

Kurista	LR			0,80	0,52	1,32	-3,55	-2,23
	VR	2,51	2,15	0,92	0,65	6,23	-6,19	0,04
	KNT	5,18	3,11	0,36	0,38	9,04	-2,32	6,72
Laari	LR			0,56	0,29	0,84	-3,67	-2,83
	VR	1,15	1,24	0,75	0,36	3,51	-2,90	0,61
	KNT	1,76	1,84	0,68	0,48	4,76	-4,46	0,30
Kiidjärve	LR			0,16	0,19	0,35	-4,31	-3,96
	VR	2,32	1,54	0,41	0,45	4,72	-2,76	1,96
	KNT	4,54	2,53	0,52	0,69	8,27	-3,35	4,92
Vara	LR			0,93	0,57	1,50	-7,68	-6,18
	VR	2,63	1,17	0,34	1,01	5,15	-7,73	-2,58
	KNT	5,62	1,69	0,42	0,33	8,06	-8,66	-0,60

7.2.6 Saadava puidu maht ja selle kvaliteet (VR versus LR)

Kuna valikraietel puudub Eestis väljakujunenud praktika ja arvestatav ajalugu, siis VR esimese raiejärgu läbi viimisel juhinduti olemasolevatest metsakasvatustlikest teadmistest ja põhimõtetest.

Et uuritavate puistute tagavarad ja tihedused varieerusid, siis oli erinev ka esimeses VR järgus saadud puidu kogus, mis jäi vahemikku 32-131 m³ ha⁻¹. Eesmärk oli raiuda ligikaudu kuni 20% tagavarast, tegelik väljaraie uuritud puistutes oli 11-29%, harvendusjärgse metsa tagavara jäi katsealadel vahemikku 186-380 m³ ha⁻¹ (Tabel 4).

Tabel 4. Raiutud puidu maht ja valikraie järgne tagavara uuritud puistutes (m³ ha⁻¹). LR-lageraie; VR – valikraie; M -tagavara

Ala	Raiutud puidu maht, m ³ ha ⁻¹				VR järgne M
	LR	Valikraie			
		Harvester	Takseerandmed	Raiekraad	
Kurista	376	72	88	15	391
Laari	249	32	33	11	213
Palojärve	257	63	79	24	186
Kiidjärve	438	131	120	29	303
Vara	220	44	-	12	210

Raiutud puidu kogust hinnati nii harvesteri raportite, kui puistute takseerandmete põhjal. Saadud tulemused olid enamasti omavahel kooskõlas, kolme ala puhul (Kiidjärve, Laari and Palojärve) oli LR alalt raiutud puidu kogus lähedane VR ala hinnanguga (st säilinud VR ala tagavara pluss väljaraie), LR aladelt saadud puidu kogus oli suurem vaid 3-4%. Kurista ja Vara alade puhul on erinevus suurem, tulenevalt eraldiste looduslikust varieeruvusest.

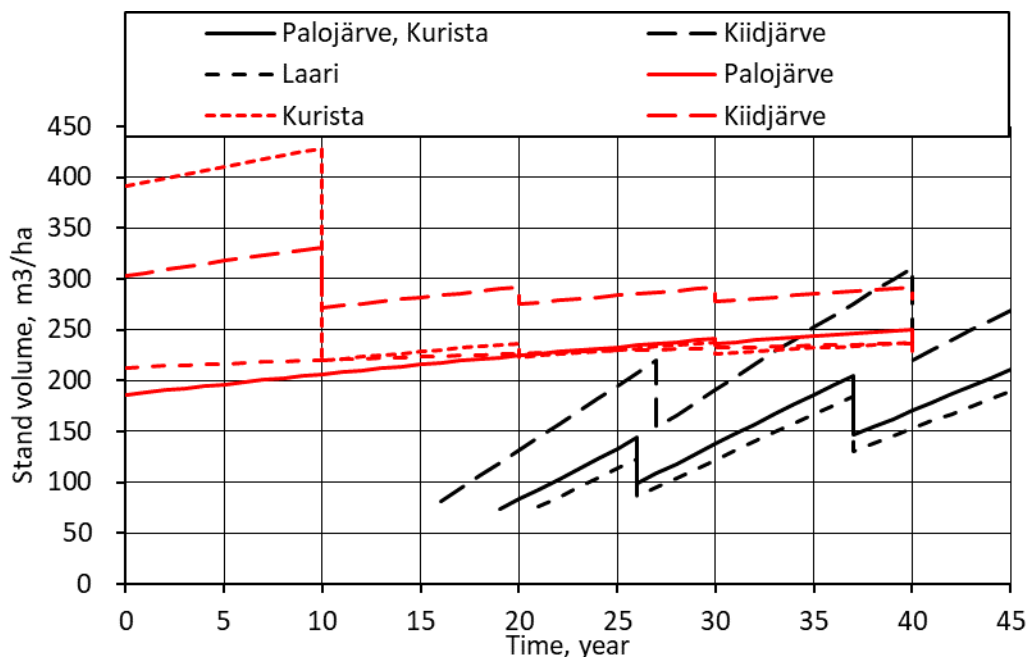
Võrreldi erinevate sortimentide suhtelist osakaalu kogu raiutud puidu mahust (Lisa 1 Tabel 5). Keskmiselt saadi raiutud puidust palke lageraiealadel rohkem kui valikraiealadel (85 versus 72%), vastavalt oli küttepuidu osakaal suurem VR aladel.

Saepalgid on majanduslikult üks väärtuslikumaid sortimente ja metsakasvatustlik tegevus on suunatud ennekõike nende osakaalu suurendamisele küpses puistus. Kuigi saepalgi suuremat osakaalu raiutud puidus peetakse üheks püsimeetsanduse ja valikraie eeliseks (Pukkala & Gadow, 2011), siis saadud tulemused näitavad vastupidist, st kvaliteetsemate sortimentide suhteline väljatulek oli lageraiealadel suurem kui valikraiealadel. See on seletatav VR mõiste erineva sisuga: raietega püsimeetsa kujundamine on pikaajaline protsess, käesolevas töös on tegemist esimese raiega, mis on tehtud küpses puistus üleminekuks püsimeetsana majandamisele ja selle käigus eemaldati esmalt just kehvemad ja ebakvaliteetsemad puud, mis suurendas paber- ja küttepuidu osakaalu. Järgmistes raiejärgudes kvaliteetsema puidu osakaal tõenäoliselt tõuseks. Küttepuidu suurem väljatulek Kiidjärve ja Vara aladel on seotud ennekõike kuuse suure osakaaluga raiutud puidus, kuna neil aladel esines kuusel ulatuslikult tüvemädanikku.

7.2.7 Raiejärgne puistute areng.

Puistute VR järgsete näitajate põhjal modelleeriti metsa edasine kasv, eeldades et kordusraieid viiakse läbi kümneaastase intervalliga. Kuid juhindudes hetkel kehtivatest regulatsioonidest, st valikraie järgsest lubatud minimaalsest rinnaslõikepindalast, ei simuleeritud igale katsealale liiga madala lõikepindala tõttu raiet pärast esimest 10 või 20 aastat. Meetodilistel põhjustel prognoositi puistute kasvu vaid männikutes.

Puistu prognoositud juurdekasv peale esimest raiejärku, samuti võimalik edasine raiutav puidu kogus oli uuritud männikutes varieeruv, sõltudes peamiselt esimese harvenduse järgsest tagavarast. Arvestades minimaalse rinnaslõikepindala nõuet, saaks kümne aasta möödumisel teha arvestatava mahuga kordusraie Kurista ja Kiidjärve katsealadel, kus tagavara jäi peale esimest harvendust suhteliselt kõrgeks (Tabel 4). Hiljem jääb prognoositav raiemaht mõlemalt alalt väga tagasihoidlikuks, so ca $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ järgneva kümnendi jooksul. Palojärve alal oleks võimalik raiuda väike kogus puitu neljakümne aasta pärast, kuid selliseeraie majanduslik põhjendatus oleks küsitav. Laari alalt lähima nelja kümnendi jooksul pole praktiliselt võimalik puitu varuda (Lisa 1 Tabel 6). Võrreldes alternatiivseid majandusviise (VR versus LR) küpses metsas 20 - 40 aasta perspektiivis peale esimest (tegelikku) raiet, on võimalik nn püsimetsana majandatava palumänniku tagavara hoida stabiilselt suurusjärgus ca $250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ehk mets on tõesti „püsiv“. Sel perioodil saadav potentsiaalne puidu kogus varieerub alade lõikes (sõltudes esimese VR järgsest tagavarast), kuid jääb enamikel juhtudel tagasihoidlikuks (Lisa 1 Tabel 6). Modelleeritud neljakümne aasta jooksul saavutaks uuritavad männikud vanuse 150-200 a, sellises eas on aga puistute tüvepuidu aastane juurdekasv madal, viie aasta keskmisena $0,5-1,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.



Joonis 3. Palumännikute modelleeritud arengustenaariumid valik- ja lageraie korral. Punasega on tähistatud valik- ja mustaga lageraiealade tagavara dünaamika.

Modelleeritud LR järgse puistu kasvudünaamikas on simuleeritud kaks harvendusraiet. Palojärve, Kurista ja Laari aladel 26 ja 37 aasta vanuses. Väljaraie kahel esimesel alal kokku $104 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ja Laari puhul pisut madalam ($92 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Kiidjärve LR alale on hooldusraied simuleeritud 27 ja 40 a vanuses, väljaraie kokku $156 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Üldistades LR järgselt tekkinud männikute arengut, jõuavad nad 40 a. vanuses VR järgsete puistutega lähedase tagavarani (Joon. 3). Oluline erinevus on aga nende metsade seisukorras ja edasises arengudünaamikas: pärast nelja kümnendit valikraietega alustamisest on männikud jõudnud kõrgesse ikka ja on sellest tulenevalt madala juurdekasvuga. LR järgselt kasvama hakanud palumännikud on sama ajavahemiku jooksul jõudmas praktiliselt juurdekasvu ja C sidumise maksimumi (Uri et al., 2022a). Oluliseks küsimuseks metsade majandamisel on uuenduse teke ja selle areng. Uuenduse uurimine polnud küll projekti eesmärkide hulgas ja 3 aastat on ka liiga lühike aeg selle küsimuse selgitamiseks, kuid kolme projektiaasta põhjal saab välja tuua mõned indikatiivsed punktid:

- Kolmandal VR järgsel aastal looduslik uuendus harvendatud männikutes praktiliselt puudus, va. Laari ala, mis oli hõredam ja kus vähesel määral kehtas seisukorras (tagasihoidlik pikkuskasv, hõre võra, ulukikahjustused) männi loodusliku uuenduse taimi gruppidega ka kasvas.
- Kuna maapinna ettevalmistust ei tehtud (raiejärgsed puistud olid tihedad ja mehhaniseeritud maapinna ettevalmistus tehnoloogiliselt komplitseeritud), ka eeldatakse valikraie puhul vähest sekkumist ja võimalikult looduslähedast majandamist.
- Suhteliselt kõrge raiejärgne rinnaslõikepindala ei võimaldaks rahuldavat männi uuenduse kasvu (Laas

ja Vää 2004; Tishler et al., 2020, Rosenvald et al., 2020; Rautio et al., 2023).

Kokkuvõte, järeldused ja soovitused

Tegemist on esimese põhjaliku valikraiate teemalise uuringuga Eestis, kus selgitati võimalusi üleminekuks valikraietega majandamisele küpsetes puistutes (ennekõike männikutes). Projekti täitmine kulges vastavalt taotluses püstitatud eesmärkidele ja metoodikale, võrdluses lageraiega hinnati nn valikraie mõju süsinikuringele ökosüsteemi tasandil ja selle raieviisi metsakasvatustlike aspekte. Saadud tulemustele saab toetuda valikraietega seonduvate majandusotsuste planeerimisel.

Metsa süsinikuringe

- Küpse puistu harvendamine vähendas puistu biomassi ja produktsiooni, sõltuvalt harvendamisest oli männi VR aladel kasvavates puistutes puude biomass 26-57% väiksem KNT aladel olevast.
- Alustaimestiku roll C sidumises on oluline, moodustades VR aladel 18-43% kogu ökosüsteemi aastasest primaarproduktsioonist ja LR aladel 100%. Esimesel harvendusjärgsel aastal alustaimestiku produktsioonis olulisi muutusi ei toimunud.
- VR vahetu mõju puude peenjuure produktsioonile ja maa-alusele C voole oli tagasihoidlik.
- VR vähendas aastast okka- ja lehevarise voogu: kolmel uurimisalal olid need oluliselt väiksemad kui harvendamata alal.
- VR vähendas aastast heterotroofse mullahingamise (Rh) voogu, mis ühe erandiga oli harvendatud aladel madalam kui kontrollaladel. Nelja palumänniku keskmine aastane kumulatiivne Rh voog oli erinevate katsevariantide vahel sarnane, st LR aladel ei ületanud Rh voog VR või KNT aladel mõõdetut.
- Kuigi VR paratamatult vähendab puistu primaarproduktsiooni, pole selle mõju ökosüsteemi kogu C bilansile peamine, harvendusjärgne C bilansi kujunemine sõltub oluliselt ka C väljundvoost e Rh-st. Need kaks tegurit sõltuvad omakorda aga puistu liigilisest koosseisust, mullast ja puistu harvendamise astmest.

Metsakasvatustlikud aspektid

- Puistute modelleeritud kasvudünaamika põhjal oleks neljakümne aasta pärast tagavara palumännikutes VR ja LR aladel sarnane. Puistute vanus, aastane juurdekasv ja vahepealsel perioodil saadav puidukogus aga kardinaalselt erinevad.
- Harvendusjärgse esimese kolme aasta jooksul katsealadel uuendust ei tekkinud, puudusid ka eeldused selle tekkeks lähemas tulevikus e töös kirjeldatud kujul rakendatud nn valikraie ei tagaks metsa edukat uuenemist ja seeläbi erivanuselise puistu kujunemist.
- Küpse männiku edasine majandamine nn valikraietega võimaldaks puistut säilitada pikema aja jooksul, palumännikute puhul puistute kõrge eani, võimaldades sellega metsa säilimise nn püsimeetsana, kuid ei taga edukat uuenemist ega metsa rahuldavat tootlikkust.
- Valikraie esimeses järgus oli kvaliteetsema materjali suhteline osakaal kogu raiutud puidust väiksem kui sama puistu lageraie korral.

Küpse puistu ümberkujundamisel püsimeetsaks on olulisteks kitsaskohtadeks raskused metsa uuendamisel ja vana metsa järgulise harvendamisega kaasnev juurdekasvu vähenemine. Soovitavalt võiks püsimeetsa kujundamisega alustada oluliselt noorematest puistutest, seda aga ei võimalda hetkel kehtivad regulatsioonid. Nooremate puistute püsimeetsaks kujundamise võimalused vajaks edasise põhjalikumaid uuringuid koos vastavate püsikatselade rajamisega.

8. PROJEKTIGA HAAKUVAD DOKTORI- JA MAGISTRITÖÖD:

Projekti täitmisel osales kolm metsanduse doktoranti ja uuringus saadud tulemustel on märkimisväärne osa nende doktoritöodes.

Mikko Buht on neljanda aasta doktorant ja projekti põhitäitja, tema doktoritöö „Raiete mõju metsaökosüsteemide arengule ja kujunemisele“ koostamisel on käesoleva projekti tulemused oluliselt sisendiks.

Põhitäitja Marek Uri on samuti neljanda aasta doktorant ja tema dissertatsioon „Metsade majandamise mõju nende süsinikuringele“ põhineb suure osas käesoleva projekti tulemustel.

Mõlema doktorandi kaitsmised on planeeritud järgmise aasta algusesse.
Agnes Sepaste on teise aasta doktorant ja ka tema doktoritöös „ Valik- ja turberaiete mõju metsaökosüsteemi süsinikuringele” moodustavad projekti täitmisel saadud tulemused olulise osa.

9. PROJEKTI RAAMES AVALDATUD PUBLIKATSIOONID:

Projekti tulemuste põhjal on valmimas kaks teadusartikli käsikirja:

Transition to selection cutting management in matured stands in Estonia - effect to stand production and development. Uri et al., (saadetakse ajakirja Forests)

Short-term effect of clear-cutting and selection cutting on the carbon budget of mature Scots pine stands Aun et al., (saadetakse ajakirja Forest Ecology and Management)

Mõlemad artiklid esitatakse toimetustele käesoleval aasta jooksul.

10. Projekti juht (nimi): Veiko Uri	Allkiri:	Kuupäev: 11.08.2023
---	-----------------	-------------------------------

11. Taotleja esindaja kinnitus aruande õigsuse kohta (nimi, amet): Marek Metslaid, direktor	Allkiri:	Kuupäev: 11.08.2023
--	-----------------	-------------------------------

NB! Aruanne esitada elektrooniliselt e-posti aadressil: teadus@rmk.ee