

## RMK TEADUSPROJEKTI LÕPPARUANNE

### 1. PROJEKTI NIMETUS: Kaitstavate metsafragmentide eesmärgipärasuse suurendamine

<b>2. PROJEKTI KESTUS</b>	<b>Algus</b> (kuu/aasta):	10/2018	<b>Lõpp:</b> (kuu/aasta)	12/2021
---------------------------	------------------------------	---------	-----------------------------	---------

### 3. PROJEKTI TAOTLEJA (teadusasutus): Tartu Ülikool

Telefon: 737 5100

Address: Ülikooli 18, 50090 Tartu

Registrikood: 74001073

Panga rekviisidid: EE281010102000234007 (SEB Pank)

<b>4. PROJEKTI JUHT:</b>	Kadri Runnel	looduskaitsebioloogia teadur, PhD (botaanika ja mükoloogia)
--------------------------	--------------	--

### 5. PROJEKTI PÕHITÄITJAD ARUANDEPERIOODI VÄLTEL

Projekti põhitäitjad:		
Ees- ja perekonnanimi	Teaduskraad	Ametikoht
1. Kadri Runnel	PhD	TÜ, teadur
2. Raul Rosenthal	PhD	TÜ, teadur
3. Piret Lõhmus	PhD	TÜ, vanemteadur
4. Anneli Palo	PhD	TÜ, teadur
5. Indrek Tammekänd		FIE

Projektiga seotud abitoõijõud:		
1. Geili Pütsepp	BA	TÜ, magistrant
2. Artur Reila	BA	TÜ, magistrant
3. Mihkel Rünkla	MSc	TÜ, spetsialist
4. Kati Küngas	MSc	TÜ, spetsialist
5. Kristel Turja	MSc	assistent
6. Liis Marmor-Ohtla	PhD	FIE
7. Tanel Vahter	PhD	TÜ, spetsialist
8. Irma Zettur	MSc	TÜ, spetsialist

### 6. PROJEKTI KULUD KOKKU 152517.00 eurot

Kulurida	Kokku
Töötasud (põhitäitjad + abitoõijõud)	79560.05
Sotsiaalmaks	26376.98
Töötuskindlustusmaks	636.48
Ostetud teenused	14752.98
Lähetuskulud	9155.4
Materjalid, tarvikud, masinad, seadmed	6783.11
Muud kulud	0
Üldkululõiv	15252.00
<b>Kokku</b>	<b>152517.00</b>

## 7. PROJEKTI TULEMUSED (maksimaalselt 10 lehekülge)

### Projekti lühikokkuvõte (maksimaalselt 500 tähemärki)

Projekt mõõtis seoseid kaitstavate metsafragmentide (KMF; 0.5-15 ha) struktuuri, elustiku ja piirneva metsa majandamise vahel. Negatiivsed servamõjud liikdele ja struktuuritunnusele ning liigirikkuse ja metsafragmenti suuruse seosed näitasid, et KMFide (nt VEPide) väärtust tundlike liikide elupaigana aitaksid tõsta puhveralad, mille eesmärk on a) suurendada KMFide elupaigapindala ja/või b) toetada praeguste KMFide elustikku kogu nende pindala ulatuses.

### Abstract (maksimaalselt 300 tähemärki)

This project focused on protected old-forest fragments (0.5-15 ha). We asked, what are the consequences of managing adjacent forest stands to their woody vegetation and biodiversity. We detected diverse external effects on forest structure and biodiversity and proposed options for their mitigation.

### Sissejuhatus

Projekt mõõtis seoseid kaitstavate metsafragmentide (KMF; 0.5-15 ha) struktuuri, elustiku ja piirneva metsa majandamise vahel. KMFid olid vääriselupaigad (VEP) ja suures osas majandusmetsast ümbritsetud kaitsealade osad. Uuringu üldeesmärk oli selgitada, kuidas ümbritseva metsa majandamine mõjutab metsafragmentide kaitseväärtusi.

## LÄBIVIIDUD TEADUSTEGEVUS JA KOGUTUD ANDMETE ÜLEVAADE

### Alade valik

Uuringu tulemused põhinevad liigi ja metsastruktuuri inventuuridel kokku 127-l uuringualal (Tabel 1), mis jaotusid kahe metsatüübi (männikud ja viljakad segametsad) ning nelja töötuse vahel.

Uuringus eristati neli töötlust: (1) Kontrollalad: uuringualad kaitsealal asuvas põlismetsamassiivis. (2) peamiselt harvendamata majandusmetsaga (piirneva puistu vanus 35-99 aastat) ümbritsetud metsafragmentid; (2) peamiselt 5-20 a tagasi lageraiatud metsaga ümbritsetud metsafragmentid; (3) peamiselt 5-15 a tagasi osaraiatud majandusmetsaga (puistu vanus 99-202 aastat) ümbritsetud metsafragmentid. Osaraiaks peeti aegjärgset, valik- ja sanitaarraiet.

Alade valiku peamiseks lähtekriteeriumiks oli võimalikult põhjalik liigiinfo, mis metsafragmentide puhul pidi pärinema servaraiete eelnevast ajast. Algselt plaaniti ühe töötlusena uurida ka metsafragmente, mida eraldaks raiatud alast 30-40 m laiune raiumata puhver, kuid selliseid varasema liigiinfo KMF alad ei olnud piisavalt. Selle asemel suurendati teiste töötluste valimi suurust, eeldades et puhvrite mõju saab kirjeldada ka analüüsidest prooviringe erineval kaugusel raieservast.

Alade valiku etapid olid järgmised:

1. <15 ha kaitstavate metsafragmentide eelvalikukihtide loomine (Lisa 1). Eesmärk oli, et uuringu valimis oleksid võrdselt esindatud viljakad segametsad ja männikud. Viljakate segametsade koosseisus pidi olema kuusk (vähemalt 10%) ja lehtpuid. Nende hulka loeti salu-, laane- ja soovikumetsad (AN, TA, ND, SJ, JK, SL), kuid ka viljakad kõdusoo ja palumetsad (JO, JM). Männikute hulka loeti männi enamusega nõmme ja palumetsad (PH, JP, MS, SM, KN, KM).
2. Geokoordinaatidega liigiinfo koondamine. Info sihtliikide leidude kohta (koos leidmise ajaga) koondati järgmistest allikatest: a) keskkonnaregistri VEP andmebaas, fookus oli 1999-2002 inventeeritud aladel; b) EELIS ja loodusvaatluste andmebaas; c) Plutof andmebaas; d) TÜ looduskaitsebioloogia (LKB) töörühma varasemate uuringute käigus koondatud liigiinfo; e) väiksemad piirkondlikud teadustööd ja liigiinventuurid.
3. Uuringualade valimine liigiinfo ja muude kriteeriumite alusel. Ehkki alade valik tehti peamiselt kindlat tüüpi serva domineerimise põhjal, fikseeriti analüüsiks ka teiste piirnevate servade vanused ja majandamisinfo.

Lõpliku valiku metsafragmentidest 88% olid VEPid. Ülejäänud fragmentidest 7% asusid sihtkaitsevööndis majandusmetsa kõrval või läheduses, 4% olid varasema liigiinfo (hiljutise majandamiseta) majandusmetsad ja 1% asus piiranguvööndis. Kontrollalad kuulusid sihtkaitsevööndisse või reservaatidele.

**Tabel 1.** Alade jagunemine tüüpide vahel koos iseloomustavate tunnustega (keskm±st.h). Alade kaart leitav teadusartikli käsikirjas (Lisa 2).

	piirneb lageraiega		piirneb osaraiega		piirneb harvendamata majandusmetsaga		kontroll	
	segamets	männik	segamets	männik	segamets	männik	segamets	männik
N	24	25	20	18	10	10	10	10
puistu vanus (a)	131±23	142±31	123±27	147±34	123±34	158±34	157±23	187±33
ala pindala (ha)	3,4±2,3	4,4±3,1	2,9±1,8	2,4±1,5	3,2±2,5	2,8±2,1	2,0±0,0	2,8±2,2
rinnaspindala (m <sup>2</sup> /ha)	36±10	50±11	45±13	50±10	39±11	40±16	41±14	46±11
kuuse osakaal (%)	40±19	22±13	38±15	25±18	43±22	20±18	54±18	16±18
männi osakaal (%)	6±8	60±22	10±14	62±23	13±23	55±26	12±19	79±22
lehtpuu osakaal (%)	54±22	18±17	52±23	13±13	44±26	19±18	34±22	5±8

Eraldi, nõ „ekstreemse töötlusena“ kontrolliti tundlike sammalde säilimist 2013.-2015. a riigimetsa rajatud 16 eksperimentaalses säilikuugrupis.

#### Välimõõtmised

Peamised välimõõtmised keskendusid kõrge looduskaitseväärtusega liikidele: vääriselupaiga (VEP) tunnusliikidele ning kaitsealustele või ohustatud sammaldele, samblikele, soontaimedele või seentele (edaspidi: sihtliigid). Läbi viidi järgmised välimõõtmised:

1. Nn. **baasinventuurid** kõigil uuringualadel (N=127). Baasinventuuride käigus kontrolliti 2019-2020 paarilise võrdlusena varasemaid sihtliikide esinemisvaatlusi ning kirjeldati praegust sihtliikide levikumustrit ja metsastruktuuri. Metsa siseosas teostati mõõtmised 15m raadiusega täisringis. Et haarata võimalikult palju vahetut serva-ala, teostati lage- ja osaraieservades mõõtmised 15m raadiusega poolringides, mida oli arvuliselt rohkem (Joonis 1). Uuringuringide arv uuringualal lähtus ala suurusest. Ringid paigutati uuringualadele geoinfosüsteemis aerofotode põhjal, kuid servapunktide lõplik asukoht määrati välitöid teostades alade tegeliku serva järgi. Kokku teostati mõõtmisi 882 uuringuringis.



**Joonis 1.** Uuringuringide paiknemine kaitstavas metsafragmendis (uuringuala nr 48). See ala kuulus valimisse osaraieservade tõttu (lääne ja põhjapoolsed poolringid). Analüüsidest kasutati vastavate servade (poolringid) ja keskosa (täisringid) võrdlust. Osas analüüsides kasutati ka idapoolsete lageraieservaga piirnevate poolringide andmeid. Seevastu teega piirnevate uuringuringide andmed jäeti analüüsides välja.

Inventuuri käigus kaardistati uuringuringides kõik sihtliigid, sh nende substraadid (elus- või lamapuu, känd, tüügaspuu, maapind), esinemiste arv ja samblike puhul ka elujõulisus. Lisaks mõõdeti järgmiseid metsastruktuuri iseloomustavaid tunnuseid (täpsem kirjeldus ja valemid Lisas 2): lamapuidu hulk; ülarinde, teise rinde ja surnud puude rinnaspindala puuliikide kaupa; alusmetsa katvus ja liigid; tuuleheitejuurestike arv; raiejälgede esinemine (lõikepinnaga kändud ning lamapuit).

**2. Aeginventuurid** parima varasema liigiinfoga uuringualadel (N=36): standardsed liigilise koosseisu kirjeldused, mille puhul otsiti nelja tunni jooksul 2 ha prooviala piires üles nii palju liike kui võimalik ja määratakse nende ohtrusklass. Viidi läbi alade valimi alamhulgas ning inventeeriti samblikke (märts 2019–juuni 2020) ja torikseeni (sept-okt 2020). Tegu on TÜ LKB tööühma standardmeetodiga, mida on varem kasutatud mitmetes uuringutes<sup>1</sup>. See võimaldab laiemat konteksti ka siinse uuringu tulemustele.

**3. Seeneleviste ning -mütseeli uuring** parima varasema liigiinfoga uuringualadel (N=36). Valmistati lihtsad eospüünised, mis koosnesid lehrstist ja selle külge kinnitatud filtrist. Eospüüniste tööpõhimõte oli, et vihmavesi kannab eosed filtrile ja väljub läbi selleks mõeldud avade.. Proove võeti korra kuus igal kuul vegetatsiooniperioodi jooksul (7 kuud aprillist oktoobrini 2020, k.a.): filter asetati eoslõksu 5-7 päevaks, seejärel koguti ja külmutati. Igale uuringualale paigutati kaks eospüünist, kokku koguti uuringuperioodi vältel 482 eosproovi. Seenemütseeli tuvastamiseks kōdupuidust kasutati Runnel jt. (2015)<sup>2</sup> meetodikat. Igalt viljaka segametsa alalt valiti 2019. a maist kuni septembrini võimalusel neli kuuse ja neli haava lamatüve (kummagi puuliigi puhul kaks tüve ala servast ja kaks ala keskosast), igalt männikualalt võimalusel neli kuuse ja neli männi lamatüve (samuti kaks tüve servast ja kaks keskosast). Lõppvalimi suuruseks oli 251 lamapuid. Proovipuudel võeti viiest punktist (külgedelt) 10-mm puidupuuriga proov kuni südamikuni. Sama tüve proovid segati, kuivatati ja jahvatati pulbriks. Proovidest eraldati DNA määrati seeneliigid. Kõik puidu- ja eosproovid sekveneeriti seente määramiseks PacBio platvormil.

**4. Säilikuugruppide uuring** säilikuude ja neid asustavate sammalde püsimise uurimiseks. Uuring teostati 2013.-2015. aastal Tartumaale rajatud 16 eksperimentaalses säilikuugrupis (0,02-0,12 ha). Raie-eelselt märgistatud puugruppides oli keskmiselt 42 (12-84) elusat puud. Säilikuugruppide tuulekindluse tõstmiseks<sup>3</sup> eelistati nende asukohana sihtide servi (varasemast tuultega harjunud puud) või pärast raiet metsaserva lähedusesse (kaitseb tuule eest) jäävaid kohti; samuti jälgiti, et gruppi satuks võimalusel kõvalehtpuid (kõige tuulekindlamad). Proovipuuks valiti iga puugrupi iga puuliigi kohta maksimaalselt 5 puud. Valimi suurus oli uuringu alguses 248 puud. Säilikuude suremust ja sammalde katvust ning kahjustusi puugruppides võrreldi ka varasemate andmestikuga: sama piirkonna hajali asuvate säilikuude andmestikuga (58 raiesmikku 2032 säilikuuga, rajatud 2001-2002)<sup>4</sup> ja üksikuudena jäetud säilikuudel sammalde andmestikuga<sup>5,6</sup>. Proovipuudel kirjeldati sammalde seisundit enne või vahetult peale raiet aastatel 2013-2015. a ning kordusvaatlusena aastal 2020: 1) tüve põhjaküljel hinnati 20x20 cm asuvas püsiprooviruudus sammalde katvust ning kahjustusi (liike eristamata); 2) tüve alaosa 0,2-1,5 m ulatuses hinnati sihtliikidest sammalde liigilist koosseisu ja seisundit. Sihtliikideks loeti helviksamblad, VEPi tunnusliikidest lehtsamblad ja vanade metsadega seotud epifüütne lehtsammal lameleht. Seisundi hindamiseks hinnati liikide katvust 4-pallises ning kahjustusi 3-pallises skaalas, vastavalt varasemates uuringutes kasutatud meetodikale<sup>3,4</sup>.

## 5. GIS analüüs maakasutusintensiivsuse hindamiseks

Ümbritseva maastiku mõju kaitstavatele metsafragmentidele uuriti ajaloolise maakasutuse kaudu. Eeldati, et suurema ajaloolise maakasutusintensiivsusega maastikus paiknevates metsafragmentides on populatsioonid olnud pikemalt eksponeeritud maastiku killustumise negatiivsetele mõjudele, ning

<sup>1</sup> Lõhmus, A., Lõhmus, P., Runnel, K., 2018. A simple survey protocol for assessing terrestrial biodiversity in a broad range of ecosystems. *PloS one*, 13(12).

<sup>2</sup> Runnel, K., Tamm, H., Lõhmus, A., 2015. Surveying wood-inhabiting fungi: Most molecularly detected polypore species form fruit-bodies within short distances. *Fungal Ecology*, 18, pp.93-99.

<sup>3</sup> Rosenthal, R., Lõhmus, A., Kiviste, A. 2008. Preadaptation and spatial effects on retention-tree survival in cut areas in Estonia. *Canadian Journal of Forest Research*, 38, 2616 - 2625.

<sup>4</sup> Rosenthal, R., Lõhmus, P., Rannap, R., Remm, L., Rosenthal, K., Runnel, K., Lõhmus, A. 2019. Assessing long-term effectiveness of green-tree retention. *Forest Ecology and Management*, 448, pp. 543-548.

<sup>5</sup> Lõhmus, P.; Rosenthal, R.; Lõhmus, A. 2006. Effectiveness of solitary retention trees for conserving epiphytes: differential short-term responses of bryophytes and lichens. *Canadian Journal of Forest Research*, 36, 1319 - 1330.

<sup>6</sup> Lõhmus, A.; Lõhmus, P. 2010. Epiphyte communities on the trunks of retention trees stabilise in 5 years after timber harvesting, but remain threatened due to tree loss. *Biological Conservation*, 143(4), 891 - 898.

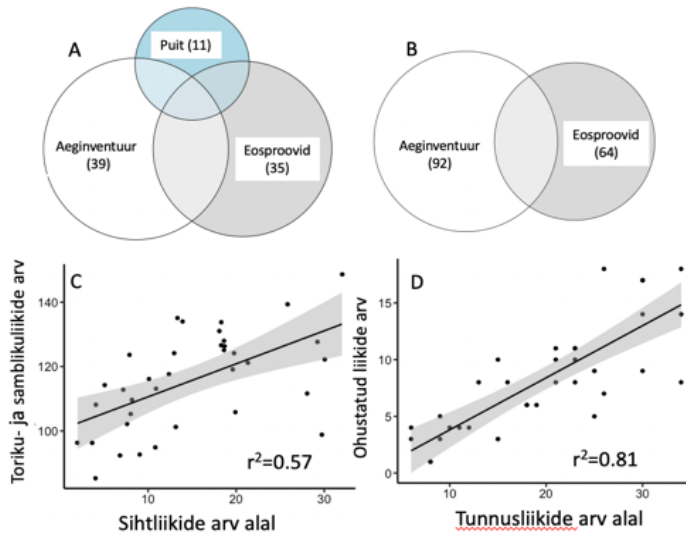
võivad seetõttu olla rohkem vaesunud. Ajaloolise maakasutusintensiivsuse mõõtmiseks kasutati 1948.a. topokaarti, eeldades, et teedevõrgu tihedus sellel kaardil iseloomustab ajaloolist maakasutusintensiivsust. GIS süsteemis joonestati iga uuringuala ümber ala tsentrist 1km raadiusega ring, milles mõõdeti järgmisi alaüksusi: punktiirjooned (vankritee, sõidetav siht, taliteejupp jmt); maantee; pinnastee (külatee); raudtee; metsasiht.

## 6. Statistilised analüüsid

Sihtliikide ja metsastruktuuri mustreid ning nende seoseid uuringualade tüübiga, töötuse ja uuringuringi paiknemisega alal uuriti lineaarsete ja lineariseeritud segamudelitega. Sõltuvalt uuritavast tunnusest eeldati statistilistes mudelites erinevaid veajaotusi, valdav enamus mudelitest koostati eeldades normaaljaotust, binominaalset jaotust või Poissoni jaotust. Mudelitesse, mis võrdlesid erinevaid uuringualasid, kaasati juhusliku faktorina inventeerija identiteet (et arvestada ebaühtlase liikide märkamise ja tundmise oskusega). Läbiva võttena koostasime liigimudeleid kogu sihtliikide valimile ning eraldi ka kahele põhilisele ökoloogilisele rühmale sihtliikide koguvalimis: epifüütidele ja kõdupuitu asustavatele liikidele. Nimelt võib eeldada, nende kahe rühma erinevaid vastuseid uuritavatele keskkonnatunnustele. Lisaks käsitlesime eraldi kõigi sihtliikide arvu (liigirikkest) ja kestmisest ohtramata sihtliikide arvu, sest võib arvata, et liikide kadumisele piirnevate alade majandamise tõttu eelneks nende arvukuse järk-järguline langus. Selleks summeerisime igalt uuringualalt liigid, mille ohtrus hektaril oli suurem kui kõigi leiukohtade (positiivsete leidudega uuringualade või uuringuringide) keskmine.

## TULEMUSED JA JÄRELDUSED

### Sihtliikide komplekti esinduslikkus metsa elurikkuse ja ohustatud liikide dünaamika hindamisel



**Joonis 2.** Erinevatel meetoditel tuvastatud (A) torikseente ja (B) samblikukoosluste kattuvus uuringuala nr 1 näitel (kontrollala Muraka rabas Heinassaarel). Seosed torikseene ja samblikuliikide arvu ja sihtliikide arvu vahel (C) ja tunnusliikide ja ohustatud liikide arvu vahel (D) 36 põhjalikumalt uuritud uuringualal. Joon näitab keskmist trendi, hall ala on 95 % usalduspiirid.

1. Molekulaarsete ja vaatluspõhiste inventuuride võrdlemine 36 uuringualal näitas, et vaatluspõhised (aeg)inventuurid on efektiivne viis metsaelustiku (eriti samblike) kaardistamiseks. Torikseeni tuvastati aeginventuuridel alade peale kokku 137 liiki ning samblikke 289 liiki. Lamapuidust võetud molekulaarproovid võimaldasid tuvastada kokku 65 torikseeneliigi (liigihüpoteesi)<sup>7</sup> ning

<sup>7</sup> Kõljalg, U., Nilsson, R.H., Abarenkov, K., Tedersoo, L., Taylor, A.F., Bahram, M., Bates, S.T., Bruns, T.D., Bengtsson-Palme, J., Callaghan, T.M., Douglas, B. 2013. Towards a unified paradigm for sequence-based identification of fungi.

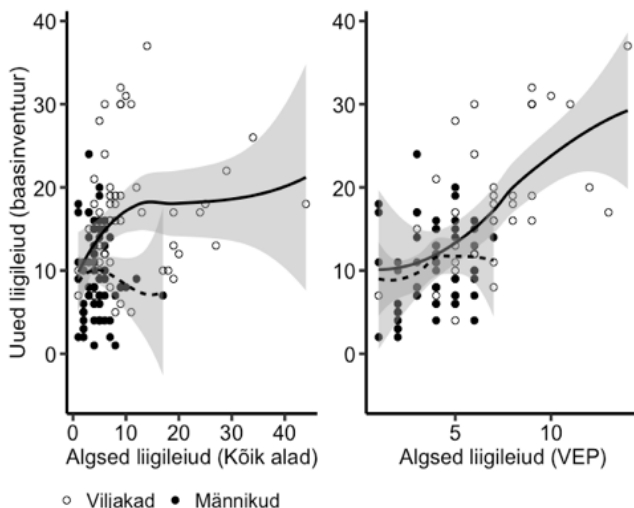
eospüünisemõõtmised 136 torikseeneliigi (liigihüpoteesi) ja 205 samblikuliigi (liigihüpoteesi) esinemise alade valimis. Ka aladelt leitud keskmine torikseente arv oli aeginventuuride ja eospüügiandmetel üldiselt sarnane; kuid samblike arv aeginventuuridel oluliselt suurem. Ilmselt oli aeginventuuride suurem tõhusus samblike puhul tingitud sellest, et suur osa samblikest levib vähelenduvate soreedide ja isiididena, mis sattusid eospüünistesse väga harva. Eosproovidest leitud liigikomplekt kattus aeginventuuridel leitud liikidega vähe (Joonis 2 A ja B). Vähestest puutüvedest võetud molekulaarsed proovid jäid elurikkuse tuvastamise efektiivsuse poolest aeginventuuridele oluliselt alla.

2. Uuringu sihtliikide komplekt esindas üldiselt hästi torikseente ja samblike (st kahe suure liigirühma) liigirikkust uuringualadel (Joonis 2B), ehkki baasinventuuridel registreeritud sihtliikide arv sõltus oluliselt inventeerijast ( $p < 0,001$ ), mistõttu sihtliikide arvul põhinevates analüüsides on vaja võtta arvesse inventeerija isikut.
3. Tunnusliikide arv metsafragmentides (nt VEPides) peegeldab ka ohustatud liikide arvu.

### Kaitstavate metsafragmentide elupaigaväärtus

Leiti, et vaatamata väiksusele on kaitstavad metsafragmentid elupaigaks paljudele looduskaitseväärtusega liikidele (sihtliikidele). Keskmiselt leiti ühest uuritud fragmendist 13.7 sihtliiki. Kõige sagemini esinevad sihtliigid olid VEP tunnusliigid kuuse-nublusamblik (*Lecanactis abietina*: 2730 leidu 86 uuringualalt), kännukatik (*Nowellia curvifolia*: 2135 leidu 120 uuringualalt), roomav soomik (*Lepidozia reptans*: 1734 leidu 104 uuringualalt), valkjas tähnsamblik (*Arthonia leucopellaea*: 1642 leidu 86 uuringualalt) ja sulgjas õhik (*Neckera pennata*: 1052 leidu 73 uuringualalt). Looduskaitse seisukohast väärib väljatoomist, et projekti välitööde käigus tuvastati 22 looduskaitsealuse liigi uusi leiukohti. Täpsemalt tuvastati neli I kaitsekategooria liigi uut leiukohta (seened poropoorik ja limatünnik), 76 II kaitsekategooria liigi uut leiukohta (taimed: 22, samblikud: 45, samblad: 9 uut leiukohta) ja 176 III kaitsekategooria liigi uut leiukohta (Lisa 3).

Seos varem leitud liikide arvu ja samal alal hiljem tehtud baasinventuuride käigus leitud liikide arvu vahel oli üldiselt nõrk (Joonis 3): enamasti leiti uute standardsete inventuuride käigus sihtliike oluliselt rohkem, eriti varem sihtliikide osas kehvasti kaarditatud VEP-dest. See näitab, et VEP meetodika on tugev, sest varasema puudulikust liigitundmisest hoolimata on varasemalt üles leitud VEPiks sobivad (liigirikkad) alad. Viljakates metsades võimaldab varem tuvastatud sihtliikide arv kaitsealuseid metsafragmente (näiteks VEPe) siiski elupaigakvaliteedi osas reastada. Samas leiti, et männikutes ei näita tunnusliikide väike arv tavapärasel VEP inventuuril tingimata selle väikest elupaigaväärtust (puudumised paistavad sageli juhuslikud), mistõttu tunnusliigi leidmise kaal on männikutes suurem kui viljakates segametsades.



**Joonis 3.** Uuringualadel teada olnud algse sihtliikide arvu seos uute liigileidudega (baasinventuuride põhjal) kõigilt uuringualadelt (vasakul) ja vaid VEPe arvestades (paremal). Jooned näitavad keskmist trendi viljakates segametsades (pidev) ja männikutes (punktir). Hall ala on 95 % usalduspiirid

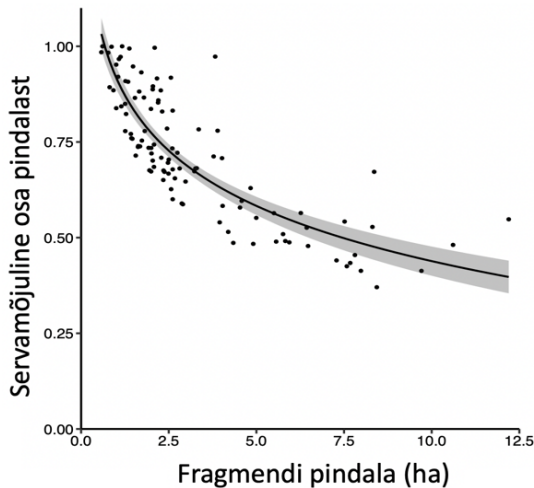
### Likide taasleiutõenäosus kaitstavates metsafragmentides

Taasleidsime välitööde käigus varasematest sihtliigi leidudest 625 (2/3). Lisaks oli kaks varasematest liigileidudest tuvastatav puiduproovidest ja kuus eosproovidest. Selgus aga, et alade ebaühtlane raie-

eelne uuritus ei võimaldanud hinnata otsest piirneva raie mõju sihtliikide püsimisele metsafragmentides. Kuna enamus uuringualadest olid VEPid, näitab see, et tavapärase VEP inventuuri otsustusprotsessis kasutatav tulemus on eeskätt liigi leidmine (positiivne vaatlus), mitte puudumine (negatiivne vaatlus). Viimase tuvastamine eeldab põhjalikumat ja standardset inventuuri.

#### **Piirnevate raiete mõjud kaitstavate metsafragmentide elustikule**

Leiti, et piirnev raie kahjustab mitmeid kõrge kaitseväärtusega metsade loodusväärtusi: piirnev raie vähendas 30 m servavööndis nii sihtliikidele olulisi elupaiku (struktuurielemente) kui ka otseselt sihtliikide ohtrust ja liigirikkust. Lähtuvalt uuringuringide servakaugusest rakenduvad servamõjud keskmiselt 30 m servatsoonis. See tähendab, et uuritud valimis oli <3 ha suuruste fragmentide pindalast üle poole servadest mõjutatud (Joonis 4).



**Joonis 4.** Servamõjulise ala osakaal sõltuvalt uuringualade pindalast ja kujust.

Piirneva raie mõju oli viljakates segametsades ja männikutes erinev. Rakenduslikult olulised seosed kaitstavate metsafragmentide struktuuri, elustiku ja piirneva metsa majandamise vahel olid:

Männikutes seostus piirneva metsa majandamine eelkõige kõdupuitu asustavate sihtliikidega:

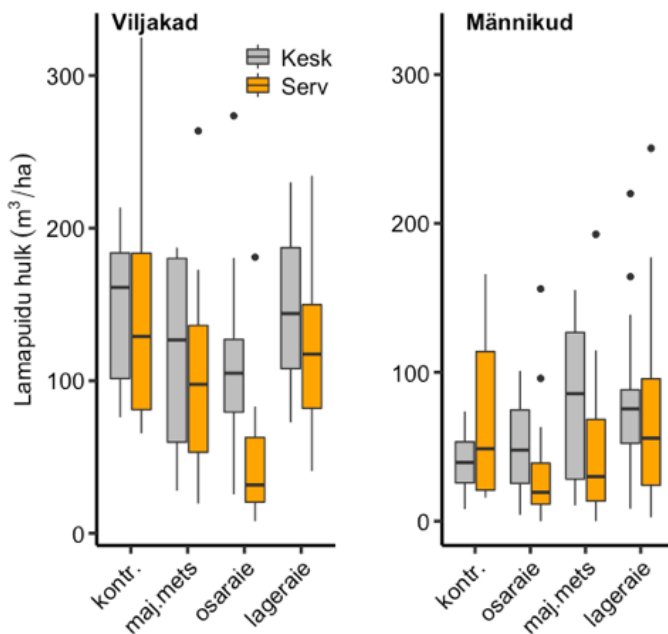
1. Lageraiega piirnevates fragmentides oli üldiselt rohkem lamapuitu kui põlismetsas (peamine substraat kõdupuiduliikidele) ( $p < 0.05$ ), kuid selle hulga (ruumala) kohta vähem keskmisest ohtramaid kõdupuidul elavaid sihtliike kui põlismetsas ( $p < 0.05$ ). Väiksema asustatuse põhjuseks võivad olla mikrokliimastress (kuivus) või et lageraie tõttu lisandunud kõdupuit pole veel saavutanud sobivat laguastet.
2. Osaraie ja harvendamata majandusmetsa servavööndis (kuni 30 m servast) oli üldiselt keskosaga võrreldes vähem lamapuitu (Joonis 5;  $p < 0.05$  mõlemal võrdlusel), mis viitab praktikale kuivanud ja langenud puud metsaservast eemaldada. Samale viitab oluliselt väiksem tüügaspuude rinnaspindala osaraiega piirnevas servavööndis ( $p < 0.01$ ). Olemasoleva lamapuidu hulga kohta oli sellistes servades lisaks ka vähem keskmisest ohtramalt kõdupuitu asustavaid sihtliike ( $p < 0.05$ ). Nõnda on metsafragmentide servas kõdupuitu asustavad liigid eksponeeritud kahele üksteist võimendavale negatiivsele mõjule: substraadi eemaldamine ja mikrokliimaga seotud servamõju.
3. Lageraiega piirnevates männiku-fragmentides oli võrreldes põlismetsadega pigem hõredam ülarinne ( $p < 0.1$ ) ja suurem alusmetsaliikide arv ( $p < 0.05$ ) ja ohtrus ( $p < 0.05$ ). Viljakates segametsades sellisest mõjude komplekti ei tähendatud. Seega just männikutesse võivad levida ka kasvukohavõõrad, sh invasiivsed liigid, kui neid piirkonnas leidub.

Viljakates segametsades tuvastati piirneva metsa majandamise mõju nii kõdupuitu kui eluspuid asustavatele sihtliikidele:

1. Kõdutu asustavate sihtliikide osas leiti, et sihtliikide arv sõltub fragmendi suuruselt (positiivne seos), keskmine liikide arv kasvas järsult >5 ha suurustes fragmentides (Joonis 6A).
2. Kõigist majandatud servadest eemaldudes tõusis keskmiselt ohtramate sihtliikide arv ( $p < 0.05$ ; lineaarne trend, põlismetsatase saavutatakse harvendamata majandusmetsa ja osaraieserva puhul ca 70 m servast).

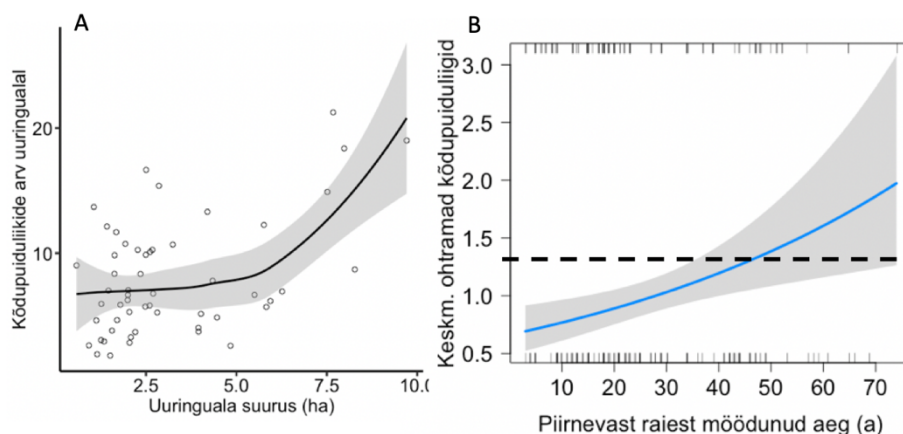
- Lageraiete mõju eluspuid asustavaid sihtliikidele (epifüütidele) on keeruline ja pikaajaline. Lageraiete tõttu muutuvatel valgustingimustel võib olla ajutine soodustav mõju: eluspuid asustavaid sihtliike üldiselt ja ka keskmiselt ohtramaid eluspuid asustavaid sihtliike oli lageraiete mõjualas (kuid mitte vahetult servas) rohkem kui harvendamata majandusmetsa servade mõjualas, ehkki eluspuude rinnaspindala oli lageraieteservades pigem väiksem (viitab väiksemale substraadi hulgale). Samas kaasneb lageraiega tuuleheite risk ning pikaajalistes servades oli eluspuid asustavaid sihtliike vähem (ajutine soodne mõju võib pöörduda).
- Kõigile sihtliikidele, eriti aga eluspuudel elavatel liikidele oli oluline serva ekspositsioon: lõunasuunalistes servades oli sihtliike oluliselt vähem ( $p < 0.05$ ), ning oluliselt väiksem keskmiselt ohtramate eluspuid asustavate sihtliikide arv ( $p < 0.01$ ). See tulemus näitab, et liikide vähenemine servades on seotud mikrokliimastressiga (liigvalgus/-kuivus).
- Kõdupuitu asustavatele sihtliikide puhul taastusid metsaserval tingimused alles ca 40 a möödudes raiest (Joonis 6B).
- Harvendamata majandusmetsaga ja osaraiealadega, kuid mitte lageraiega piirnevates fragmentides oli üldiselt vähem sihtliike (eriti eluspuid asustavaid sihtliike) kui põlismetsades. Samades töötlustes märgati põlismetsaga võrreldes oluliselt rohkem vanu raiekände, mis viitab eluspuid asustavatele sihtliikidele sobivate substraatide eemaldamisele.
- Ka viljakate segametsade fragmentides joonistus selgelt välja senine metsamajanduspraktika metsaservadelt koristada kuivanud ja langenud puid.

Lisaks näitasid mitmed analüüsid, et nii männikute kui viljakate segametsade puhul on servamõjude kaskaadi vallandumine ülarinde kahjustustest. See tähendab, et sagenevate tugevate tormide puhul on lähitulevikus risk senisest ulatuslikumateks servakahjustusteks.



**Joonis 5.** Kõdupuidu hulk uuringualade servas ja siseosas erineva metsatüübi (viljakad s egametsad ja männikud) ning töötlusega uuringualadel (kontroll ja metsafragmendid, mis piirnevad erinevalt majandatud aladega). Maj. mets = harvendamata majandusmets.





**Joonis 6.** Seos kõdupuitu asustavate sihtliikide arvu ja metsafragmentide suuruse vahel (A) ja raieist möödunud aja ja kõdupuitu asustavate sihtliikide ohtruse vahel uuringuringides viljakates segametsades (B) Must katkendjoon on põlismetsa tase. Hall ala on 95 % usalduspiirid.

### Tundlike sammalde säilimine säilikpuugruppides

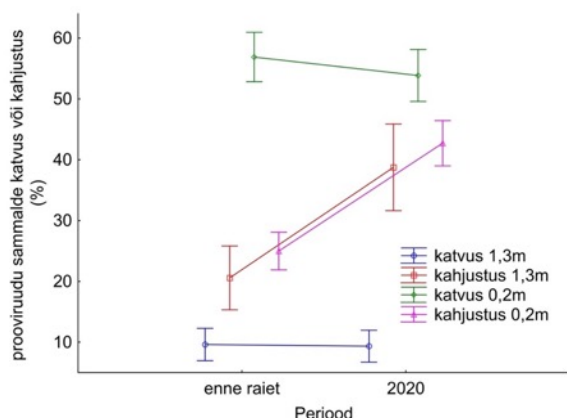
Olulisemate tulemustena selgus, et seitsme aasta jooksul peale raie oli säilikpuudegruppides surnud kokku umbes 10% puudest. See vastab puude suremuse tulemusele sama piirkonna võrdlusandmetikus, kus samuti oli puudegruppides puude suremus väike (samamajalgi säilikpuudega raiesmikel oli üheksandaks aastaks hukkunud aga 40% elusatest puudest). Sammalde katvus 20x20 cm prooviruutudes vähenes säilikpuugruppides oluliselt üksnes jalamil, ent kahjustused suurenesid nii jalamil kui rinnakõrgusel (Joonis 7), seda olenemata puuliigigrupist ja puu diameetrist.

Uuritud puude tüvejalamiit rinnakõrguseni leiti 11 liiki tundlikeks peetavaid samblaid. Pea kõigil neil liikidel esines nii lokaalseid väljasuremisi kui ka asustamisi, ent suurem osa liigileidudest jäid tüvedel alles. Katvuse kahanemisi esines alles jäänud liigileidudel 40% juhtudel. Lokaalseid väljasuremisi esines tõenäoliselt nii kuivastressi kui ka looduslike protsesside (nt konkurents teiste liikidega) tõttu. Väljasuremisi esines keskmisest enam kasel, samas oluliselt vähem väljasuremisi oli laialehistel puudel ja haabadel. Neil puudel püsisid tundlikud samblaliigid ka oluliselt paremini (Joonis 8).

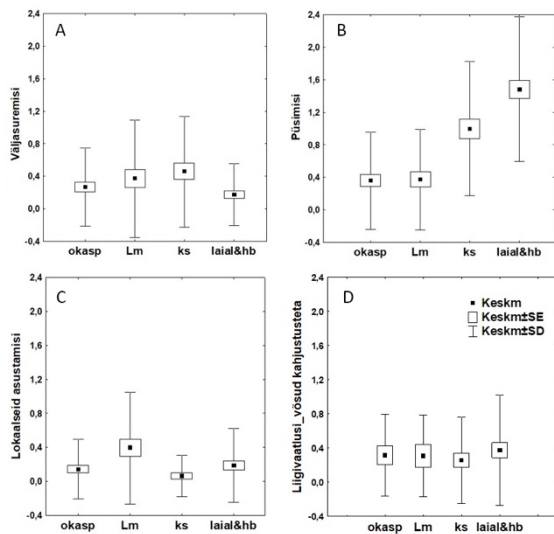
Uuringust järel dati et:

1. Kuigi erinevused tundlike sammalde lühiaegsel säilimisel puugruppides võrreldes hajali asetusega säilikpuudega<sup>5</sup> ei ole suured, on taoliste liikide jaoks säilikpuudegruppides eelis, kuivõrd tingimused kuivastressi vältimiseks on puudegruppis soodsamad ning sobivate kasvupindade lähedus ning mitmekesisus võimaldab asurkonda aja jooksul efektiivselt laiendada (millele viitavad ka asutamise juhtumid). Lisaks pakuvad grupis asetsevad puud tuulekindluse tõttu sammaldele oluliselt püsivamaid elupaiku kui hajali asetsevad säilikpuud.

2. Tundlike sammalde keskmine liigirikkus tüvel ning liikide püsimine erinevad eri puuliikidel. Seetõttu on oluline säilikpuugruppe valides maksimeerida puuliikide arvu grupis, pöörates erilist tähelepanu (vanematele) laialehistele puudele.



**Joonis 7.** Säilikpuudegruppide elusate proovipuude püsiruutudes toimunud sammalde katvuse ja kahjustuse muutused 7-6 a jooksul pärast raie.



**Joonis 8.** Sihtliikide lokaalsete väljasuremiste (A), püsimiste (B) ja asustamiste (C) ning elujõuliste (st märgatavate kahjustusteta) võsudega liigivaatluste (D) keskmine arv tüvel eri puuliikidel (okasp – kuusel ja männil, Lm – sanglepal, ks – kasel, laial&hb kõvalehtpuuliikidel ja haaval).

## METSAFRAGMENTIDE KAHJUSTAMISEST HOIDUMISEKS VAJALIKUD MUUDATUSED METSAMAJANDUSPRAKTIKAS

1. Negatiivsete servamõjude ning liigirikuse ja metsafragmendi suuruse seoste põhjal võib järeldada, et kaitstavate metsafragmentide (nt VEPide) väärtust looduskaitseolulistest liikide elupaigana aitaksid tõsta puhveralad. Puhveralade eesmärk on a) suurendada metsafragmentide elupaigapindala ja/või b) toetada praeguste metsafragmentide elustikku kogu nende pindala ulatuses, s.t ka servaosades (pindalatõhusus). Kuna kliimamuutuste tõttu sagenevate tugevate tormide tõttu on lähitulevikus tõenäolised praegustest tugevamad servamõjud (mõjude kaskaad, mis saab alguse ülarinde hõrenemisest), vastab puhveralade jätmine ka ettevaatusprintsipiile. Fragmentide suurendamiseks tuleks nende koosseisu piiritleda ka vähem-esinduslikke puistu osasid. Vääriselupaikade puhul tähendab see piirnevate VEP-potentsiaaliga alade liitmist. Nende võimaluste hindamine peaks muuhulgas olema VEP inventuuri osa.
2. Tulemuste põhjal peaks kaitstavate metsafragmentide pindalatõhususeks ja juhuslike kahjustuste vältimiseks majandamata puhverala ulatuma minimaalselt 30 m fragmendi piirist väljapoole. Kõrvaloleva metsa majandamise käigus ei tohi kahjustada puhverdatava fragmendi enda puistu struktuuri. Küsimus, kas teatud suundadesse avatud servad või mõni metsatüüp vajab rangemaid piiranguid, vajab edasisi uuringuid.
3. Juba servani raiutud metsafragmentides tuleks selle välispiirist vähemalt 30 m ulatuses soodustada tihedama ja kõrgema metsa (puhverdusvõime) taastumist, st vältides seal vaheraieid (valgustus- ja harvendusraieid). Eesmärgiks on ühtlasema ning tulevikus siseala varjava servaökotoni loomine metsafragmendi piirile.
4. Ehkki sinne töö keskendus metsafragmentidele, laienevad selle soovitusel ka suuremate kõrge kaitseväärtusega metsade servadele. Olenevalt kaitstavate asurkondade rollist maastikul võivad need aga vajada keerulisemaid ja ulatuslikumaid puhverrežiime, sh piiranguvööndite rolli ülevaatus, milleks on vaja eraldi (maastiku tasemel) uuringuid.
5. Keskkonnamuutuste suhtes tundlike samalde säilitamiseks lageraiesmikel tuleks eelistada säilikuugruppe hajali asetsevatele säilikuudele. Säilikuugruppides suurendavad samalde mitmekesisust vanemad laialehised puud ja suurem erinevate puuliikide arv.

## RAKENDUSLIKU EESMÄRGIGA GIS PÄRINGU LOOMINE

Uuringu põhjal on kõrge kaitseväärtusega metsafragmentide välismõjude puhvrite planeerimiseks on vaja GIS päringus arvestada kolme komponenti: a) fragmendi ohustatust servamõjudest, mis tuleneb fragmendi suurusest ja servavööndi pindalalisest osatähtsusest selles, b) ümbritsevate puistute vanusest, c) ümbritsevate alade planeeritavast majandustegevuse liigist, mille alla kuuluvad erinevad raievõtted, aga ka muudel põhjustel säilitatavate puistute olemasolu piiridel.

Välismõjudest lähtuva ohustatuse hindamisel metsafragmendi elustikule ei toeta tulemused vajadust arvestada planeerida puhvreid eri tüüpi metsades erinevalt: ehkki analüüsides leiti kahes uuritud

metsatüübis konkreetsete servamõjude puhul erisusi (millest osa on tõenäoliselt juhuslikud), avaldusid vähemalt mõned negatiivsed servamõjud elustikule mõlemas tüübis. Arvestades ka ettevaatuspõhimõtet, on põhjendatud samasuguse päringu tegemine kõigis metsades, kus kaitstakse majandamistundlikku elustikku.

Nende argumentide põhjal soovitame metsafragmentide puhvrite planeerimiseks GIS päringud üles ehitada järgmiselt:

1. Luuakse metsafragmentide ja teiste kõrge kaitseväärtusega metsade teemakiht (metsad, mille välismõju soovitakse puhverdada), liites kokkupuutuvad fragmendid. (Edaspidi: kõrge kaitseväärtusega metsad, KKM)
2. Arvutatakse iga KKM üldpindala ja servavööndi (30 m sisepuhver) pindalaline osatähtsus sellest kahel viisil:
  - 2.1. Praegustest KKM piiridest lähtuvalt - ohustatuse hindamiseks, kombinatsioonis ala suurusega. Kõige ohustatumad on väikesepindalised ja valdavalt servavööndit hõlmavad KKM-d.
  - 2.2. Puhvri liitmisel tekkivate KKM piiridest lähtuvalt – leevendusmõju kaalumiseks. Kõige tõhusamad oleksid leevenduspuhvrid, mis võrreldes hetkeseisuga suhteliselt enim vähendavad servavööndi osatähtsust).
3. Kaalutakse väiksemate KKM-de pindala suurendamist vähemalt 5-7 ha-ni kahel alternatiivsel viisil:
  - 3.1. Tuvastatakse nendega piirnevad VEP potentsiaaliga puistud ja – kui neid on – võimaliku lisanduse järel tekkiv servavööndi osakaal. Päringuna kasutatakse Andersson jt (2003)<sup>8</sup> eelvalikukriteeriume VEPi kohta, milles langetatakse puistute vanusekriteeriume 10 a võrra (tulevikupotentsiaali hõlmamiseks).
  - 3.2. Lausalise leevenduspuhvri (pkt. 2.2) liitmine, arvestades, et potentsiaalne VEP (ptk. 3.1) on looduskaitsele lähiperspektiivis vähemalt kaks korda tõhusam (s.t kompenseerib vähemalt kahekordse mahajäämuse servavööndi vähendamises)<sup>9</sup>.
4. Raiete planeerimisel arvestatakse 30 m leevenduspuhvrit praeguste KKM ümber, välja arvatud pkt. 3 kaalumisosusega KKM-de koosseisu lisatud aladel. Viimaste täiendava puhverdamise vajadus tulevikus oleneb KKM tunnuste kujunemise kiirusest ning seda ei ole võimalik praegu prognoosida.

## UURINGUVAJADUSED

1. Oluline oleks täpsustada servamõjusid kitsamatele elustikugruppidele (nt. puiduseened, kõdu- ja maapinnasamblad, rippuva kasvuvormiga epifüüdid), et tuvastada sellistele mõjudele kõige haavatavam osa metsakooslusest.
2. Siinne uuring käsitles maastiku tasemel majandatuse mõju fragmentide elustikule üksnes topograafilise kaardi põhjal tuletatud ajaloolise inimtegevusinvensiivsuse kaudu. Seost ei leitud, kuid lähiriikides tehtud uuringute põhjal (e.g. Lommi et al 2010)<sup>10</sup> see siiski eksisteerib ning seda tuleks edasi uurida teiste maastikutunnuste kaudu. Niisuguste seoste leidmine võimaldaks luua liigikaitse prognoosimudeli tänaste metsakaitsealade ning neid ühendavate metsaalade jaoks.
3. Selgitada, millega seostub vastuoluline tulemus, et männikutes ei tuvastatud servast eemalduvaid efekte liigirikkusele ega liikide ohtrusele, samas esinesid tugevad mõjud vahetus servas.
4. Küsimus, kas teatud suundadesse avatud servad või mõni metsatüüp vajab rangemaid piiranguid (>30 m puhvrit), vajab edasisi uuringuid. Samuti käsitles siinne uuring vaid üsna pealiskaudselt piirnevate raieservade pikaajalisemat mõju, seda tuleks edaspidi edasi uurida.
5. Säilikuuuringutes tundlike (sambla)liikide püsimise soodustamiseks oleks vaja edasi uurida säilikuuuringute suuruse mõju.

<sup>8</sup> Andersson, L., Martverk, R., Külvik, M., Palo, A. and Varblane, A. 2003. Woodland key habitat inventory in Estonia 1999–2002. Regio Publishing, Tartu.

<sup>9</sup> miinimumhinnang; lähtub LK väärtusega liikide arvust

<sup>10</sup> Lommi, S., Berglund, H., Kuusinen, M. and Kuuluvainen, T., 2010. Epiphytic lichen diversity in late-successional Pinus sylvestris forests along local and regional forest utilization gradients in eastern boreal Fennoscandia. Forest Ecology and Management, 259(5), pp.883-892.

**8. PROJEKTIGA HAAKUVAD DOKTORI- JA MAGISTRITÖÖD:**

Geili Pütsepp. Valmimisel magistritöö (eeldatav kaitsmise aeg mai 2022): Metsafragmentide loodusväärtusi ohustavad välismõjud ja nende puhverdamine  
Artur Reila. Valmimisel magistritöö (eeldatav kaitsmise aeg jaanuar 2022): Servamõjud kaitstavate metsafragmentide struktuurile ja mikrokliimale

**9. PROJEKTI RAAMES AVALDATUD PUBLIKATSIOONID:**

Runnel, Kadri; Palo, Anneli; Reila Artur; Rosenthal, Raul; Lõhmus, Asko. Effects of production forest matrix on the stand structure of small set-asides. Retsenseerimisel ajakirjas Applied Vegetation Science (parandatud versioon esitatud 22.01.2021). Teadusajakirjas avaldamiseni asutusesiseseks kasutamiseks!

Lisaks on plaanis koostada vähemalt kaks teadusartiklit, mis käsitlevad (1) indikaatorliikide ja ohustatud liikide levikumustreid metsafragmentides ja (2) seoseid väliinventuuridel tuvastatud torikseene- ja samblikuliikide ning uuringualadel molekulaarselt levistena ja mütseelina tuvastatud elurikkuse vahel.

<b>10. Projekti juht (nimi):</b> Kadri Runnel	<b>Allkiri:</b> <i>/allkirjastatud digitaalselt/</i>	<b>Kuupäev:</b> <i>Kuupäev digiallkirjas</i>
--	---	---

<b>11. Taotleja esindaja kinnitus aruande õigsuse kohta (nimi, amet):</b> Taivo Raud, grandikeskuse juhataja	<b>Allkiri:</b> <i>/allkirjastatud digitaalselt/</i>	<b>Kuupäev:</b> <i>Kuupäev digiallkirjas</i>
---	---	---

NB! Aruanne esitada elektrooniliselt e-posti aadressil: [teadus@rmk.ee](mailto:teadus@rmk.ee)