

RMK TEADUSPROJEKTI LÕPPARUANNE

1. PROJEKTI NIMETUS: Talvise sanitaarraie ja püünispuude kasutamise otstarbekus kuuse-kooreüraski kahjustuste ohjamisel ning hariliku kuuse koore all talvituvate ürasekite seisund

2. PROJEKTI KESTUS	Algus: 01.10.2022	Lõpp: 01.10.2025
---------------------------	-----------------------------	----------------------------

3. PROJEKTI TAOTLEJA (teadusasutus): **Eesti Maaülikool**

Telefon: 731 3224

Aadress: Fr. R. Kreutzwaldi 1A, Tartu

Registrikood: 74001086

Panga rekvisiidid: EE571010102000084008 SEB Pank

4. PROJEKTI JUHT:	Kristjan Ait	Nooremteadur, doktorant, MSc
--------------------------	--------------	------------------------------

5. PROJEKTI PÕHITÄITJAD

Projekti põhitäitjad:

Ees- ja perekonnanimi	Teaduskraad	Ametikoht
1. Kristjan Ait	MSc	Nooremteadur, EMÜ
2. Heino Õunap	PhD	Külasteadur, EMÜ
3. Argo Orumaa	PhD	Teadur, EMÜ
4. Floortje Vodde	PhD	Teadur, EMÜ
5. Kristiina Palm-Hellenurm	PhD	Teadur, EMÜ
6. Marek Metslaid (01.10.2022–30.09.2023)	PhD	Metsanduse ja inseneeria instituudi direktor, professor, EMÜ

Projektiga seotud abitööjõud:

1. Tanel Kaart	PhD	Professor, EMÜ
2. Piret Trei		Spetsialist, EMÜ

6. PROJEKTI KULUD KOKKU 228422,9 eurot

Kulurida	Kokku
Töötasud (põhitäitjad + abitööjõud)	136370,29
Sotsiaalmaks	45002,19
Töötuskindlustusmaks	1090,96
Ostetud teenused	
Lähetuskulud	
Materjalid, tarvikud, masinad, seadmed	5878,35
Muud kulud	17238,81
Üldkululõiv	22842,30
Kokku	228422,90

7. PROJEKTI TULEMUSED

Projekti lühikokkuvõte (maksimaalselt 500 tähemärki)

Projekti raames hinnati talvise sanitaarraie otstarbekust, kuuse koore all talvituvate ürasekite elujõulisust ning võrreldi harvesteri ja mootorsaega langetatud püünispuude efektiivsust. Talvine sanitaarraie ürasekite arvukuse piiramisel olulist mõju ei avaldanud. Kevadine sanitaarraie koos püünispuudega kujunes tõhusamaks puistu looduslikule arengule jätmisest, kuid mõju oli tagasihoidlik. Kuuse koore all talvituvate ürasekite ellujäämus oli kesine. Olulist vahet harvesteriga ja mootorsaega langetatud püünispuude tõhususes ei ilmnunud.

Abstract (maksimaalselt 300 tähemärki)

The study evaluated the effectiveness of winter sanitation fellings and traditional trap logs in controlling European spruce bark beetle damage. There was no significant difference between winter fellings and non-intervention; sanitation felling in spring had a statistically significant effect. Overwintering success of 2nd generation was low.

7.1 Sissejuhatus

Kuuse-kooreürask (*Ips typographus* (Linnaeus, 1758)) on Eesti ja kogu Euroopa olulisim metsakahjur, kelle rünnakute sagenemist ja ulatust soosivad kliimamuutustega kaasnevad metsahäiringud¹ – eelkõige tormid ja põuad, aga ka pikenenud suvine aktiivsusperiood. Käesoleval sajandil on ka Eestis saanud tavapäraseks ürasekite kahe põlvkonna esinemine, seejuures võib teine põlvkond talvituda peremeespuu koore all. Viimasel kümnendil (peale 2018. a üle-Euroopalist põuda) on täheldatud ürasekikahjustuste pindala erakordset kasvu, mis ilmneb nii majandusmetsades kui kaitstavatel loodusobjektidel.

Kevadine sanitaarraie (edaspidi ka SR) koos püünispuude kasutamisega on metsakaitse abinõuna pärit ajast, mil ürasekite käitumine ja ilmastikutingimused olid teistsugused². Uuendusi selles vallas on vähe, välja arvatud kaugseire ja agregatsiooniferomoonide kasutuselevõtt. Lisaks tekib konflikt kevadise SR ja looduskaitse vahel, kuna kaitsealuste liikide häirivad eelkõige külmumata pinnasel või lindude pesitsusperioodil läbi viidud metsatööd. See on olukord, mil otsustaja peab langetama valiku ürasekikahjustuste ohjeldamise ja kaitse-eesmärgiks oleva liigi häirimise vahel. Konflikti vältimiseks on võimalus viia ürasekikahjustuste likvideerimine talvisesse aega, kuid kaalutusotsuse langetamiseks on vaja ajakohaseid teadmisi talvise SR tõhususe osas.

Eelnevat arvestades on käesolevale projektile seatud eesmärgid:

- a) selgitada talvise sanitaarraie otstarbekust muutunud kliimaoludes;
- b) hinnata kuuse koore all talvituvate ürasekite ellujäämust;
- c) võrrelda harvesteri ja mootorsaega langetatud püünispuude tõhusust;
- d) eelnevat arvesse võttes anda metsakaitsealised soovituselised ürasekikahjustuste ennetamiseks ja vähendamiseks.

7.2 Töö metoodika

7.2.1 Alade väljavalik

Katsete läbiviimiseks valiti välja 5 **metsamassiivi** ning kõigis neist viidi läbi 3 erinevat raiet e töötlust (Joonis 1A). Kokku valiti 15 **töötalusala**, milles võis omakorda esineda mitmeid väiksemaid kahjustuskoldeid. Välitööalade väljavalikul seati puistutele järgnevad eeldused:

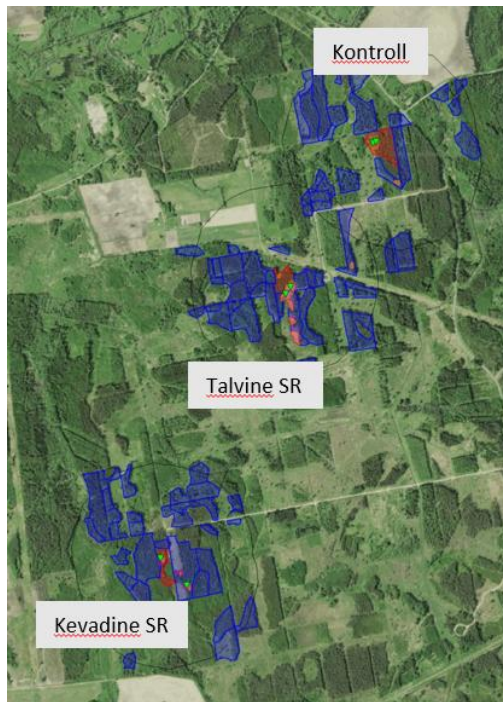
- majandatav riigimets;
- üherindeline hariliku kuuse enamusega puistu (kuuse osakaal minimaalselt 60%);
- boniteediklass Ia – II;
- arenguklass keskealine või valmiv mets;
- uus kuuse-kooreürasekite kahjustuse esinemine 2022. aastal; esineb nii I kui ka II põlvkond;
- kompaktsed kahjustusgrupid, mida on võimalik piirata SR korras;
- erinevate töötluste vahe ühe massiivi piires vähemalt 500m;
- raiega piirneval alal peab säilima ürasekite asustamiseks sobivat metsa, kus kahjustusi veel ei esine ning mida on võimalik hiljem töötluste edukuse hindamiseks seirata.

¹ Biedermann, P.H., Müller, J., Grégoire, J.C., Gruppe, A., Hagge, J., Hammerbacher, A., Hofstetter, R.W., Kandasamy, D., Kolarik, M., Kostovcik, M. and Krokene, P., 2019. Bark beetle population dynamics in the Anthropocene: challenges and solutions. *Trends in ecology & evolution*, 34(10), pp.914-924.

² Kohh, E., 1943. *Lisandeid kooreürasekite kahjustuste ja tõrje üle Eesti kuusemetsades* (doktoritöö, Tartu Ülikool).

Koostöös RMK-ga leiti sobivad metsamassiivid Valgamaal (2), Võrumaal (2) ja Jõgevamaal (1) (Joonis 1B). RMK peatas raied uuritavatest eraldistest 500 m raadiuses, et vähendada häiringuid ning säilitada uuritavat metsa. Alade väljavali toimus 2022. a septembris; eelvalikul kasutati drooni abi. Kuna II põlvkonna kahjustusega kuused võivad püsida rohelise võraga järgneva kevadeni, avastati piirnevaid puistuid kirjeldades mõningatel aladel täiendavalt 2022. a üraseikoldeid. Need raiuti samuti kavandatud SR käigus.

Väljavaliitud töötalusalade kuuse I rinde osakaal oli $86 \pm 11\%^3$, keskmine rinnasdiameeter $20,5 \pm 3,5$ cm, I rinde täius $77 \pm 15\%$ ning I rinde tagavara 271 ± 87 tm/ha. Kaalutud keskmine vanus oli 54 ± 8 aastat. Väljavaliitud puistute arenguklass varieerus valmivast keskealiseni, boniteediklassid olid I-Ia. Kasvukohatüüpidest domineerisid eelkõige laanemetsad ja viljakad palumetsad, kaasnevatest puuliikidest olid sagedamini esindatud harilik mänd ning aru- ja sookask. Eraldiste täpsed kirjeldused on toodud aruande lisa nr 1.



Joonis 1A ja 1B. Vasakpoolsel joonisel on toodud töötalusalade paiknemise näide Valgamaa Väheru metsamassiivis. Punasega on tähistatud metsaeraldised (töötalusalad), kus leidis 2022. a üraseikahjustus. Sinisega on tähistatud 500m raadiuses olevad metsaeraldised, kus projekti kestel raietest hoiduti. Rohelised punktid tähistavad feromoonpüüniste asukohta. Parempoolsel joonisel on esitatud uuritavate metsamassiivide paiknemine Eestis.

7.2.2 Sanitaarraied e töötlused

Igas metsamassiivis (n=5) viidi läbi 3 erinevat töötlust:

- **Talvine SR:** Esimeses järjekorras teostati SR talvisel ajal, eesmärgiga likvideerida kuuse koore all talvituvad üraseikid. Kõigi uuringualade metsi seirati hoolikalt, et rohelise võraga II põlvkonna kahjustusega puid märkamata ei jääks. Raiesse määratud puudegrupid markeeriti. Enne raie teostamist langetati igal alal 5 II põlvkonna kahjustusega kuuske, et uurida kuuse-kooreüraski talvitumisedukust. SR korras likvideeriti 2022. a üraseikolded ning kui leidis vanemaid kahjustusi, raiuti ka need. Tööd teostati 2023. a jaanuari lõpus ja veebruaris. Raiutud materjal viidi metsast välja hiljemalt enne üraseiki kevadise lendluse algust.
- **Kevadine SR:** Teises järjekorras teostati SR kevadisel ajal, eesmärgiga ohjata üraseiki kevadist populatsiooni; kasutati ka püünispuuid. Esmalt piiritleti 2022. a kahjustuskolded ning määrati püünispuude kogused. SR teostati vähemalt üks kuu enne üraseiki lendluse algust 2023. a märtsis (püünispuude katse meetodika on täpsemalt kirjeldatud peatükis 7.2.7). Kui üraseiki lendlus oli alanud, seirati piirnevat metsa, et tuvastada ka värskest asustatud puud raiealade servas, mis

³ Käesolevas aruandes tähistab sümbol "±" alati andmete standardhälvet ning keskmised väärtused sümboliseerivad aritmeetilist keskmist

hiljem vajadusel samuti raiuti. Raiutud materjal viidi metsast välja mai lõpus.

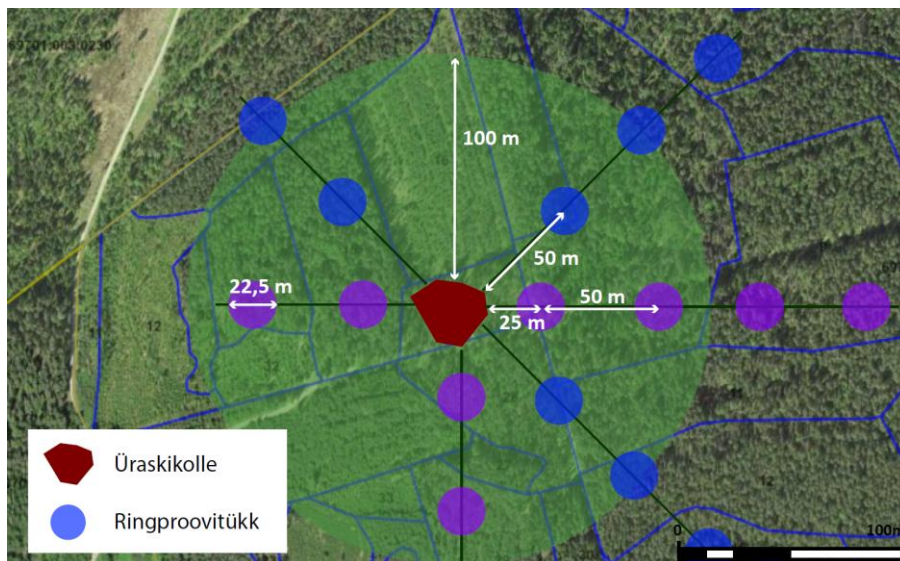
- **Kontroll:** Et võrrelda ellu viidud SR edukust, jäeti viiel uuringualal ürasekikolded looduslikule arengule.

Keskmine ürasekikollete kogupindala oli uuringualadel 2022. a aktiivsuseperioodi lõpul (enne töötluste ellu viimist) $0,23 \pm 0,14$ ha. Üks töötalusala võis koosneda mitmest väiksemast kahjustuskoldest/häilust; ala kohta esines $5,13 \pm 3,64$ väiksemat kahjustuskollet (kokku 77). SR-d viidi läbi töötalusadel keskmiselt $0,33 \pm 0,16$ ha suurusel pindalal; raiejärgselt tekkis $5,3 \pm 2,9$ häilu ühe ala kohta. Raiutud alade mõnevõrra suurem pindala võrreldes kahjustuskolletega on tingitud sellest, et kevadise SR alal raiuti lisaks möödunud aasta kahjustusele ka püünispuud ja värskest asustatud puud; vähesel määral võis pindala mõjutada ka kokkuveoteede sisseraie. Ürasekikollete ja ümbritseva metsa kirjeldused on toodud aruande lisas nr 2.

Töötluste tulemusi hinnati kolme erineva meetodiga – ringproovitükkide rajamine kahjustuskoldeid ümbritsevasse metsa, kaugseire- ja GIS analüüs ning seire feromoonpüünistega.

7.2.3 Ringproovitükkide rajamine ja seire

Enne SR teostamist piiritleti kõik 2022. a ürasekikolded GPS seadmega ning rajati kolletesse ringproovitükid pindalaga 400 m^2 ja raadiusega $11,24 \text{ m}$ (edaspidi ka **üraski RPT**). Ühte koldeesse rajati minimaalselt 2 ringproovitükki. Lisaks rajati 8-s ilmakaares transektid RPT-ga 100 m raadiuses koldest (edaspidi ka **metsa RPT**). Proovitüki keskpunktid paiknesid 25 , 50 ja 75 m kaugusel kahjustuskolde servast; proovitükkide keskpunktide vahe oli 50 m (Joonis 2). Üraseki RPT eesmärgiks oli ürasekikahjustuste kirjeldamine uuritavatel eraldistel ning metsa RPT eesmärgiks oli kirjeldada piirnev ilma kahjustusteta mets enne SR mõju avaldumist. Välitööd teostati 2022. a sügisel ja sellele järgnenud talvel. Proovitükke rajati puistutesse, mis oma vanuse ja liigilise koosseisu poolest võisid pakkuda kuuse-kooreüraskile sigimisvõimalusi.



Joonis 2. Metsa RPT-de paiknemine ürasekikolde ümbruses. RPT-d rajati puistutesse, kus oli ürasekile asustamiseks sobivas vanuses kuuski.

Nii metsa kui ka üraseki RPT-s kirjeldati kõik üle 10 cm diameetriga puud. Üles märgiti iga puu olulisemad takseertunnused (puu liik, rinnadirameeter jm), sanitaarne seisund (elujõulisus, võra värv jm) ning puu täpne asukoht RPT-s. Ürasekikahjustuse esinemise korral määrati ka kahjustust iseloomustavad näitajad (üraski liik, kahjustuse esinemise aasta, põlvkond jm).

Kuuse-kooreüraski kahjustusega RPT-dest võeti võimalusel kahelt I ja kahelt II põlvkonna asustusega mudelpuult $1,5\text{--}2 \text{ m}$ kõrguselt kaks kooreproovi e paletti mõõdus $10 \times 10 \text{ cm}$ (kokku 8 paletti). Palettidel kirjeldati üraseki arvukust iseloomustavad näitajad, mille põhjal oli võimalik arvutada kuuse-kooreüraski asustustihedus ja paljunemisedukus (sisenemisavad, väljumisavad, elusad ja surnud mardikad jm). Looduslike vaenlaste ja teiste ürasekiliikide esinemise korral määrati ka nende liigid ja arvukus.

Peale SR teostamist (2023. a talvel ja kevadel) seirati metsa ringproovitükke muutuste tuvastamiseks

uuesti ning laiendati transekte kuni 200m kaugusele ürasekolde servast (või kuni uue ürasekahjustuseni). Kui esialgsete ürasekollete läheduses ilmnes uusi ürasekoldeid, rajati ka sinna proovitükid, et võrrelda kahjustuste iseloomu 2022. a aktiivsuseperioodi kahjustustega. Välitööd viidi läbi 2023. a sügisel ja sellele järgnenud talvel.

Täiendav proovitükkide ja ürasekollete ülevaatus teostati ka 2024. a aktiivsuseperioodil. 2023. a augustis esines Kagu-Eestis tugev sügistorm, mis osaliselt hajusate tormiheidetud üksikpuudena mõjutas ka uuringualasid. Lisaks esines sama aasta detsembris lumemurdu; kahjustus avaldus murtud ja vaalitud latvade näol hajusalt üle kõigi uuringualade, kuigi mõju oli nõrgem Jõgevamaal. Metsahäiringud võisid mõjutada üraseki arvukust 2024. a aktiivsuseperioodi jooksul, kuid mitte enne 2024. a uue põlvkonna noormardikate ilmumist; seetõttu viidi välitööd läbi mais-juunis, peale kuuse-kooreüraski I lendlust. Siiski võimaldasid metsahäiringud ürasekitele sigimismaterjali hõlpsamat asustamist, mistõttu SR mõju uurivas statistilises analüüsis tugineti peamiselt 2023. a aktiivsuseperioodi lõpul teostatud välitöödele.

Lisaks koguti välitööde käigus andmeid, et selgitada juurepessu (*Heterobasidion* spp) ja ürasekahjustuste vahelisi seoseid. Proove koguti kahel erineval meetodil 2023. kevadtalvel ja sügisel. Kevadtalvel koguti igalt töötalusalt proove 10-lt harilikult kuuselt, millest neli oli üraseki poolt kahjustamata ning kolm I põlvkonna ja kolm II põlvkonna kahjustusega. Kokku uuriti 149 kuuske. Sügisel koguti proove transekti meetodil: igal katsealal valiti välja suvel tekkinud ürasekolle ning antud koldest erinevatesse suundadesse kulgevatel transektidelt võeti iga 5 meetri tagant kuuselt proov (kuni 20 meetri kauguseni koldest. Eesmärk oli proove koguda neljast erinevast suunast, kuid kuna sobiva koosseisuga (kuuse enamusega) puistut alati ei esinenud, transektide arv varieerus. Kokku uuriti 245 kuuske. Kogutud puudu juurdekasvuproovid pandi niiskesse kilekotti inkubeerima, et puursüdamikul areneksid nakkuse korral juurepessu koniidid. Kogutud proove hoiti toatemperatuuril 7-10 päeva ning seejärel uuriti mikroskoobi all. Juurepessu esinemist hinnati seene konidiaalse staadiumi (*Oedocephalum lineatum*) väljakasvamise põhjal.

7.2.4 Töötuse mõju statistiline analüüs ringproovitüki andmete põhjal

Üraseki ringproovitükke ja metsa ringproovitükke analüüsiti esialgu koos, et võrrelda mõlemate RPT tüüpide iseloomustavaid tunnuseid (takseerimisandmed, mitmekesisus, kasvukoha tingimused). Kuuse-kooreüraski esinemist üraseki RPT-des hinnati mudelitega, mis põhinesid negatiivsel binoomjaotusel. Metsa proovitükkide puhul, kus kuuse-kooreüraski kahjustusi esines hajusalt, kasutati Poissoni jaotusel põhinevaid mudeleid. Kuna uuritavatel aastatel olid tingimused märkimisväärselt erinevad (2023. a augustis toimunud tugev torm ja sama aasta detsembris aset leidnud lumemurd mõjutasid ürasekahjustuste ulatust 2024. a esimesel poolel), analüüsiti andmeid aastate kaupa eraldi. Juhtudel, kus see oli põhjendatud (intraklassi korrelatsiooni koefitsient $e. ICC < 0,05$), kasutati segamudeleid, milles metsamassiiv ($n = 5$) oli käsitletud juhusliku mõjutegurina. Mitmefaktoriliste mudelite koostamisel lähtuti neist ühefaktorilistest mudelist, mille AIC väärtus oli madalaim. Parimate mudelite valikul kuuse-kooreüraski kahjustuse tõenäosuse ennustamiseks lähtuti eksperthinnangust, mis ühendas madala AIC väärtuse ja piiratud keerukuse (maksimaalselt kolm seletavat muutujat, vältimaks ülesobitamist).

Muutujad (lisa nr 3) saab jaotada vastusmuutujateks ja seletavateks muutujateks. Proovitüki tasandil oli vastusmuutujaks ehk sõltuvaks tunnuseks enamasti ürasekahjustusega kuuskede arv, mida korrigeeriti offset-parametri abil vastava proovitüki kõigi kuuskede arvuga. Seletavad muutujad hõlmasid: 1) töötuse-eelse kahjustusega seotud tunnuseid; 2) puistu takseertunnuseid; 3) kasvukoha tingimusi; 4) puistu mitmekesisuse näitajaid; 5) kahjustust ümbritseva maastiku tunnuseid; 6) üksikpuu andme ja 7) kliima ja ilmastikuga seotud näitajaid. Muutujaid, mille korrelatsioonikordaja oli $> 0,7$, ei kaasatud samasse mudelisse.

7.2.5 Seire feromoonpüünistega

Kõigil töötusaladel toimus kuuse-kooreüraski arvukuse seire feromoonpüünistega üraseki kahe aktiivsuseperioodi jooksul raie tegemisest arvates (2023 ja 2024), eesmärgiga tuvastada raiejärgseid erinevusi lendlevate ürasekite arvukuses tulenevalt töötusest. Igale töötusalale seati üles kaks püünist (kokku 30). Võimalusel paigutati püünised kahjustamata metsa servast eemale, raiatud häilu keskele. Seireks kasutati Ridex pilupüüniseid ning Typosan® P306 feromoondispensereid. Seire viidi läbi 2023 ja 2024 a. aktiivsuseperioodil aprilli keskpaigast septembri keskpaigani. Ürasekite maht mõõdeti kord nädalas (1ml = 40 ürasekit); püüniste sisu säilitati edasiseks uurimiseks. Feromoondispensereid vahetati kord kuus. 2024 suvel loendati ka sipelgmardikate (*Thanasimus* spp.) isendid. Valgustingimusi püüniste asukohas hinnati kalasilmkameraga tehtud hemisfääriliste fotode põhjal, kasutades tarkvara Gap Light Analyzer.

Et selgitada, millal hakkasid lendlema I põlvkonna noormardikad, grupeeriti püütud ürasekid värvuse järgi

nelja gruppi (helepruun, pruun, tumepruun, must), kuna valmikute värvus muutub vananedes tumedamaks. Igal nädalal uuriti vähemalt 400 isendit. Kui üraskeid oli püünistes vähem, siis osakaalu hindamiseks tulemused standardiseeriti. Ühe nädala valim 2023. ja 2024. a oli vastavalt 392 ± 166 ja 527 ± 134 valmikut.

Kokkuleppel RMK-ga seirati 2025. a aktiivsuspäriodil kuuse-kooreüraskit vaid ühel Võrumaa (VO) ja Valgamaa (KA) seirealal, kuid täiendavalt haarati seiresse harkkidane kooreürask (*Ips duplicatus*) ning puiduüraskid (*Trypodendron* spp.). Nende liikide seirel kasutati vastavalt Dupliwit® ja Trypowit® feromoondispensereid. 2025. a seire tulemused on aruande lisas nr 4.

Feromoonpüünistesse sattunud kuuse-kooreüraski arvukust mõjutavaid tegureid analüüsiti 2023. ja 2024. a kogutud andmete põhjal, kasutades lineaarseid segamudeleid. Fikseeritud teguritena kaasati mudelitesse vastava ala töötlusviis (kolmes kategoorias: kevadine SR, talvine SR ja kontroll) ning võrastiku avatus. Juhusliku mõjuna lisati mudelisse töötlusala (ala, millel töötlus läbi viidi ja kus paiknes kaks püünist). 2024. a andmete puhul kaasati täiendava fikseeritud tegurina ka püünisesse sattunud sipelgmardikate arvukus. Mudelid koostati nii kogu vaatlusaasta keskmise saagi põhjal kui ka eraldi erinevate lendluspäriodide kaupa (kevadine lendlus, sõsarhaue ja suvine lendlus).

Korrelatsioonanalüüsiga hinnati nädala keskmise temperatuuri ja sademete seoseid püütud kuuse-kooreüraski arvukusega aastatel 2023 ja 2024. Kuna enamik muutujaid (sh üraskeid arvukus ja sademed) ei olnud normaaljaotusega, kasutati Spearmani astakorrelatsiooni. Ilmastiku andmed päriti KNMI Climate Explorer keskkonnast⁴. Statistiliste tulemuste visualiseerimisel kasutati ka tehisintellektil põhinevat ChatGPT keelemudelit⁵. Püüniste täpsed koordinaadid on toodud lisas nr 5.

7.2.6 Kaugseire- ja GIS-analüüs

Käesoleva analüüsi eesmärgiks oli koostada aegrida, mis näitab üraskeidkahjustuste dünaamikat uuringualadel enne ja pärast SR tegemist ning leida uute kahjustuste võimalik seos läbi viidud SR-ga. GIS analüüs teostati rakenduses Mapinfo Pro 17.0. Kahjustuste ja SR käigus tekkinud häilude digitaliseerimiseks kasutati Maa- ja Ruumiameti 2019-2024. a ortofotosid⁶ (mõõtkava 1:10 000, piksli suurus 25 cm),

Digitaliseerimise käigus fikseeriti 2022. a raie-eelne olukord, piiritleti SR alad ning raiejärgsed uued 2023. a aktiivsuspäriodi kahjustused. Kahjustuste ja raiealade piiritlemisel kasutati ka välitöödel üles võetud GPS andmeid, projekti kestel kogutud droonifotosid, samuti Maa- ja Ruumiameti kaldaerofotosid ning kiirortofotosid. Mitut allikat võrreldes oli võimalik tagada, et uuritavas metsas ei jäänud uued kahjustused märkamata. Üraskeidkahjustusena käsitleti ortofotolt eristuvaid puudegrappe, milles oli vähemalt kolm kuivanud võraga kuuske.

Kahjustused piiritleti 500 m ulatuses esialgsest kahjustuskoldest. Kahjustuste ulatuse ja võimalike muude mõjutegurite uurimiseks lisati uuringualadele ka 50 m laiused puhvrid kuni 200 meetrini (0-50 m; 50-100 m; 100-150 m; 150-200 m). Igas puhvris piiritleti metsata ala (põllud, teed, trassid ning lagedad ja selguseta alad), metsaga kaetud metsamaa (noorendik, latimets, keskealine, valmiv ning küps mets) ning kuuse-kooreüraskile asustamiseks sobiv mets (s.o mets, kus I rindes koosseisus on vähemalt 20% 35 aasta vanust või vanemat kuuske). Kõigis puhvrites leiti ka varasema kolme aasta lageraiete pindalad. Lisaks hinnati iga väiksema häilu ja kahjustuskolde laienemist eraldi binaarsena – kas uuritav objekt peale töötamise ellu viimist laienes või mitte. Selleks seoti nende vahetus läheduses tekkinud töötamise järgsed üraskeidkahjustused lähima kolde või häiluga (n=70).

Kuuse-kooreüraski kollete laienemist mõjutavaid tegureid analüüsiti lineaarsete segamudelite abil. Fikseeritud teguritena kaasati mudelitesse vastava ala töötlusviis kolmes kategoorias, esialgsete üraskeidkollete arv ja pindala (ühel uuringualal võis esineda lähedastikku mitu väiksemat kahjustuskollet), raiutud kollete arv ja pindala; ning üraskeid sobiva metsa osakaal kollete ümbruses. Juhusliku mõjuna lisati mudelisse metsamassiiv (st metsaosa, mis hõlmab kolme erinevat töötlust). Võimalikke mõjutegureid analüüsiti erinevatel ruumilistel skaaladel, ulatudes kuni 500 meetrini kollete keskpunktist. Uuritava tunnuseks kasutati esialgse kahjustuse ja töötlusjärgse kahjustuse suhet (n=15).

⁴ Trouet, V. and Van Oldenborgh, G.J., 2013. KNMI Climate Explorer: a web-based research tool for high-resolution paleoclimatology. *Tree-Ring Research*, 69(1), pp.3-13. <https://climexp.knmi.nl/start.cgi>

⁵ OpenAI, <https://openai.com>

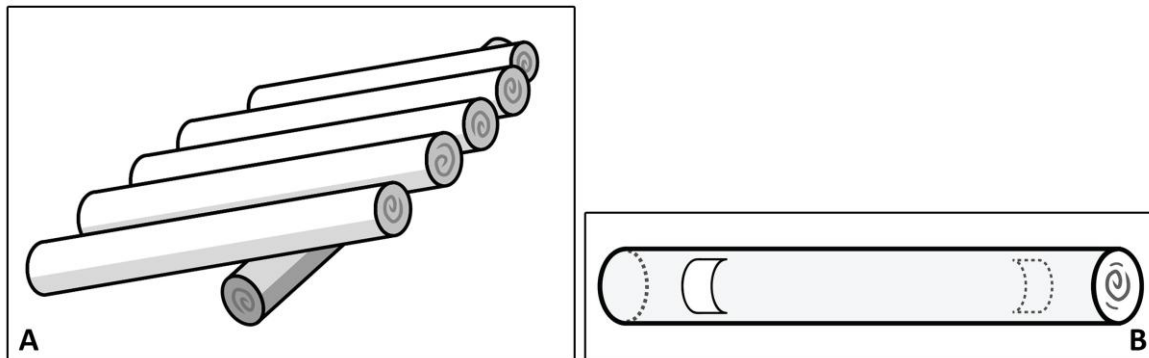
⁶ <https://geoportaal.maaamet.ee/est/ruumiandmed/ortofotod-p99.html>

7.2.7 Püünispuude erinevate töötluste võrdlus (mootorsaag vs harvester)

Katsed viidi läbi kõigil kevadise SR aladel. Lisaks möödunud aasta üraskikolletele langetati püünispuud. Püünispuude katse disainil juhenditi Kliimaministeeriumi⁷ ja RMK⁸ juhenditest. Püünispuude koguseks määrati hinnanguliselt pool möödunud aasta üraskikahjustusest. Püünispuud langetati ja seati üles 2023. märtsi lõpuks. Raie (möödunud aasta kahjustus ja püünispuud) viidi läbi harvesteriga, kuid kõigil aladel langetati vähemalt 10 püünispuud ka mootorsaaga.

Püünispuudeks valiti häilu servas olevad terved kahjustamata kuused. Katsel uuriti puid, mille diameeter oli noti keskosas ca 20 cm (20.5 ± 3.3) ja pikkus vähemalt 3 meetrit. Püünispuud paigutati 5-10 notiste gruppideks, mille üks serv oli maapinnast kõrgemale tõstetud, et üraskid saaksid need kogu ulatuses asustada (Joonis 3A).

Kuuse-kooreüraski lendlus algas aprilli keskpaigas (17-23 aprill) ning püünispuude seisundit jälgiti pidevalt. Kui püünispuud olid üraskitega piisavalt tihedalt asustatud, võeti mõlema töötlusega puudelt kokku 200 (100+100) kooreproovi (mõõdus 10x20 cm); see viidi läbi 15-19. mail. Ühelt püünispuult võeti kaks proovi tüve vastaspooltelt vähemalt 50 cm kauguselt lõikekohast (Joonis 3B); nii hõlmas proov ka harvesteri lõikepea rullikute poolt rikutud koort. Kooreproovidel loendati kuuse-kooreüraski vanamardikad ja emakäigud ning määrati kaasnevad üraskiliigid. 22-26 mai teostati püünispuude kokkuvedu ning materjal viidi esimesel võimalusel metsast välja.



Joonis 3A ja 3B. Vasakul püünispuude paigutus kimpudena, seejuures on kimbu üks serv tõstetud maapinnast kõrgemale; paremal 10x20 cm kooreproovide võtmine noti mõlemalt küljelt.

Kuuse-kooreüraski ja teiste üraskiliikide arvukuse mustrite väljaselgitamiseks ja nende võimaliku seose hindamiseks langetusviisiga teostati peakomponentanalüüs. Peakomponentide ja langetusviisi vaheliste seoste hindamiseks kasutati lineaarseid segamudeleid. Selle lähenemise abil oli võimalik kaasata olulisi seletajaid (raieviis, puu läbimõõt, kraadpäevade summa), võttes samal ajal arvesse juhuslikke mõjutegureid, näiteks uurimisala tasandil.

Üraskite arvukusele avalduva mõju hindamiseks kasutati üldistatud lineaarseid segamudeleid. Mudelitüübid valiti vastavalt uuritava tunnuse tüübile ja jaotusele ning liikide esinemissagedusele. Arvestades võraüraski (*Pityogenes chalcographus*) isendite väikest mõõtu ning vastsekäikude kattuvust, mis ei võimaldanud usaldusväärselt määrata üksikisendite arvu, kasutati liigi arvukuse hindamiseks paaritumiskambrite loendust. Kääbusüraski (*Crypturgus* spp.) isendite väikeste mõõtmete ja loendamise ebausaldusväärsuse tõttu hinnati nende esinemist ainult esinemise/puudumise põhiselt (binoomtunnusena).

Võimalikke erinevusi kuuse-kooreüraski emakäikude arvus hinnati lineaarsete segamudelitega. Lineaarsed segamudelid võimaldasid hinnata ka langetusviisi mõju üraskite liigilise alfa-mitmekesisuse näitajatele (liikide arvukus, Shannoni indeks).

Kõigis mudelites arvestati võimalike kaasteguritega, nagu puu rinnasdiameeter ja kraadpäevade summa. Kraadpäevad leiti, kasutades päevaseid maksimaalseid õhutemperatuure, mis ületasid liigi arenguks vajaliku madalaima arenguläveni ($8,3^{\circ}\text{C}$). Kraadpäevad liideti alates 1. aprillist kuni välitöö tegemise hetkeni vastaval alal. Juhuslikke tegureid kaasati mudelisse võimalusel kaks: uurimisala ja püünispuu tasandil. Negatiivse binoomjaotusega mudelites tuli koonduvusprobleemide tõttu piirduda vaid ühe juhusliku teguri (ala või puu) kaasamisega. Rändüraskite (*Orthotomicus* spp.) ja väike-kooreüraski (*Ips amitinus*) puhul ei kaasatud koonduvusprobleemide tõttu kraadpäevade summat. Esialgu kaasati

⁷ <https://keskkonnaamet.ee/uudised/uus-juhend-annab-metsaomanikule-nou-uraskikahjude-ennetamiseks-ja-likvideerimiseks>

⁸ https://media.rm.k.ee/files/Kuuse_kooreuraski_seire_ja_arvukuse_vahendamise_juhend.pdf

modelitesse ka mitmeid teisi võimalikke mõjutegureid (nt püünispuude maht, püünispuude mahu ja SR pindala suhe uurimisalal, kuuse osakaal, puistute keskmine vanus, harvesteripea mudel), kuid kuna ükski neist teguriteks ei osutunud ühegi vastustunnuse puhul oluliseks, jäeti need lõplikest mudelitest välja.

Üraskikoosluse liigilise koosseisu erinevuste hindamiseks töötusgruppide vahel kasutati permutatsioonilist mitmemõõtmelist dispersioonanalüüsi (PERMANOVA), tuginedes Bray–Curtise kaugusmõõdikule

7.2.8 Peremeespuul talvituva kuuse-kooreüraski ellujäämus

Kuuse koore all talvituvate üraskite uurimiseks tuvastati 2022 ja 2023 aktiivsusperioodi lõpus roheline võraga puud, millel ilmnes märke kuuse-kooreüraski asustusest (sisenemisavad, rähnide tegutsemisjäljed). Talvituvate kuuse-kooreüraskite suremus leiab aset tavaliselt siis, kui õhutemperatuur langeb alla -20°C Kesk-Euroopa⁹ ja alla -29°C Põhja-Euroopa¹⁰ tingimustes, kusjuures olulist rolli mängib ka talvitumispäiga valik (peremeespuu vs metsakõdu). Käesolevas uurimuses viidi välitööd 2023. a läbi vahemikus 16.–26. jaanuar ning 2024. a 31. jaanuar - 28. veebruar; kooreproove oli võimalik koguda vaid plusskraadide korral. 2022/2023. a talvel esines -20°C ja madalamaid õhutemperatuure vahemikus 2.–9. jaanuar (ehk enne välitööde teostamist); järgmisel talvel üraskite suremust põhjustavaid külmakraade ei ilmnenud. Aasta alguses kogutud andmed iseloomustavad eelmise kalendriaasta üraski aktiivsusperioodi ning on tulemuste all vastavalt kirjeldatud.

2023. a langetati kõigi viie talvise SR alal 5 puud (kokku 25), mille tüvedelt võeti iga 2 m tagant koorepaletid (10x10 cm, n=417) kogu üraskiasustuse ulatuses. Paleti võtmise kohalt mõõdeti ka puu diameeter. 2024. a leiti II põlvkonna asustusega puid vähem, mistõttu langetati puid seal, kus kahjustusi esines; ehk lisaks talvise SR aladele ka kevadise SR ja kontrollaladel (kokku 23 puud). Koorepaletid võeti langetatud puudelt sama meetodika järgi nagu 2023. a (n=316). Palettidel loendati kuuse-kooreüraski ja harkkidase kooreüraski sisenemis- ja väljumisavad, emakäigud ning koore all olevad isendid (vastsed, nukud, elus ja surnud mardikad). Leitud mardikad koguti ja viidi vajadusel siseruumidesse, kus temperatuuri tõustes oli võimalik eristada elusaid mardikaid surnutest.

Sisenemisavade ja emakäikude summa näitab üraski asustustihedust. Väljumisavade ja koore all olevate isendite arv näitab valmikuks arenenud isendite hulka; seejuures iseloomustab väljumisavade arv üraskeid, kes on läinud talvituma pinnasesse. Suvel haudme (ehk II põlvkonna) rajanud kuuse-kooreüraski paljunemisedukuse hindamiseks kasutati järgnevat valemit: $\text{paljunemisedukus} = [(\text{väljumisavad} + \text{elusad noormardikad}) \cdot 0,5] / \text{emakäigud}^{11}$. Täiendavalt loendati kuuse koore all olevad üraski looduslikud vaenlased ning kirjeldati teiste üraskiliikide leiud.

Statistilises analüüsis arvestati juhusliku faktorina metsamassiivi mõju, fikseeritud faktoritena olid kaasatud diameeter (tüve läbimõõt paleti võtmise kõrgusel), paleti võtmise aasta ning puu kogukõrgus. Koore all elavate üraskite looduslike vaenlaste loendusandmete põhjal koostati üldistatud segamudelid negatiivse binoomjaotuse põhjal. Üraskite asustustiheduse ning looduslike vaenlaste arvukuse muutust tüve eri kõrgustel analüüsiti lineaarregressiooni ning teise astme polünomiaalsete regressioonimudelite abil.

7.2.9 Kraadpäevade analüüs

Et hinnata võimalikku üraski sigimistingimuste soodsamaks muutumist aktiivsusperioodi jooksul, arvutati kraadpäevade summa vahemikus aprill-september. Kasutati nii KNMI Climate Explorer'i kui ka Keskkonnaagentuuri lähimate ilmajaamade (Võru, Valga ja Jõgeva) andmeid aastast 1945. Kuuse-kooreüraski madalaimaks temperatuurilävendiks valiti PHENIPS¹² mudeli eeskujul $8,3^{\circ}\text{C}$, millest kõrgemad ööpäevased keskmised õhutemperatuurid summeeriti. Mudeli järgi kulub ühe kuuse-kooreüraski põlvkonna täielikuks välja arenemiseks ja peremeespuult lahkumiseks 557 kraadpäeva; 60% sellest (ehk 337 kraadpäeva) kulub uue põlvkonna järglastel, et jõuda valmiku staadiumisse ja olla teoreetiliselt võimalised üle elama talvised temperatuurid. Seega kulub kahe põlvkonna täielikuks arenguks 1114 ning kolme põlvkonna jaoks 1671 kraadpäeva; samas on 1448 kraadpäeva piisav, et kolmanda põlvkonna noormardikad jõuaksid valmiku arengustaadiumisse. Harkkidase kooreüraski puhul kasutati madalaima temperatuurilävendina $6,3^{\circ}\text{C}^{13}$ ning Võru ilmajaama ööpäeva keskmise õhutemperatuuri andmeid.

⁹ Košťál, V., Doležal, P., Rozsypal, J., Moravcová, M., Zahradníčková, H. and Šimek, P., 2011. Physiological and biochemical analysis of overwintering and cold tolerance in two Central European populations of the spruce bark beetle, *Ips typographus*. *Journal of Insect Physiology*, 57(8), pp.1136-1146.

¹⁰ Annala, E., 1969. Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae). In *Annales Zoologici Fennici* (pp. 161-208). Societas Biologica Fennica Vanamo.

¹¹ Hedgren, P.O. and Schroeder, L.M., 2004. Reproductive success of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) and occurrence of associated species: a comparison between standing beetle-killed trees and cut trees. *Forest Ecology and Management*, 203(1-3), pp.241-250.

¹² Baier, P., Pennerstorfer, J. and Schopf, A., 2007. PHENIPS—A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. *Forest Ecology and Management*, 249(3), pp.171-186.

¹³ Davidková, M. and Doležal, P., 2019. Temperature-dependent development of the double-spined spruce bark beetle *Ips duplicatus* (Sahlberg, 1836) (Coleoptera; Curculionidae). *Agricultural and Forest Entomology*, 21(4), pp.388-395.

Kraadpäevade summa kasvu hindamiseks rakendati lineaarset regressioonanalüüsi MS Excel keskkonnas. MKE ja kraadpäevade vaheliste seost hinnati korrelatsioonianalüüsiga, arvutati nii Pearsoni kui ka Spearmani korrelatsioonikordajad.

7.2.10 Harkkidase kooreüraski II põlvkonna kirjeldamine

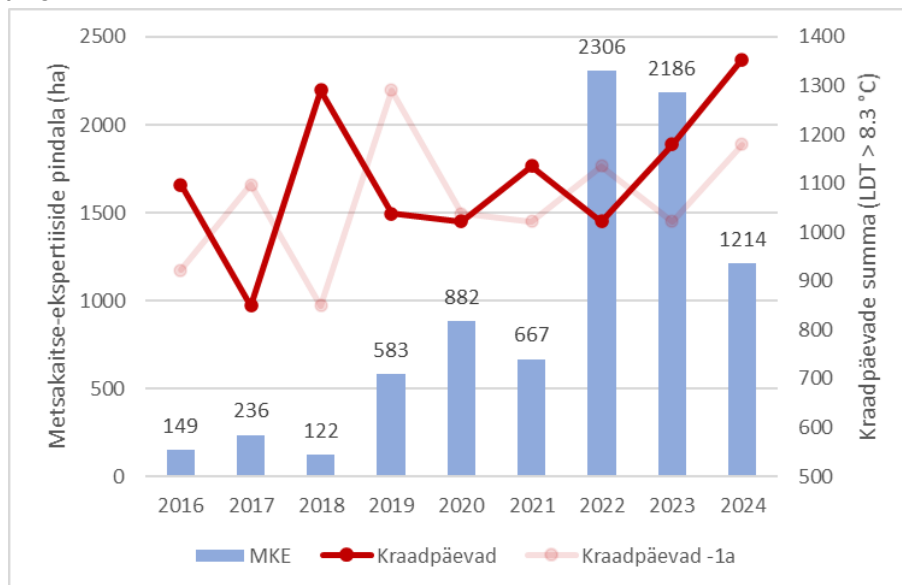
2024. a välitöödel tuvastati harkkidase kooreüraski varajane lendlus ja I põlvkonna noormardikate väljumine peremeespuudelt Võrumaal Viliksaare (VO) uuringualal kvartali RG149 eraldisel 6. Tegemist on keskealise mustika kasvukohatüübi puhtkuusikuga, kus kuuse keskmine rinnasdiameeter on 19 cm. Eraldistel jälgiti üraskite käitumist ning juuli esimeses pooles markeeriti värskelt asustatud kuused. Oktoobris 2024 langetati suve keskel asustatud puud, millelt võeti kooreproovid sarnaselt talviste puude katse meetodikaga.

7.3 TULEMUSED JA ARUTELU

7.3.1 Kontekst – üraskiepidemia, soodsad ilmaolud ja soojenev kliima.

2022. a võeti metsakaitse-ekspertiisidega (MKE) Eestis arvele erakordselt suur pindala – 2300 ha – üraskikahjustustega metsa. Tegelik kahjustuste pindala oli tõenäoliselt suurusjärgu võrra kõrgem, kuna raieküpsetes metsades või väiksema pindalaga SR puhul ei ole MKE tegemine vajalik. Sarnane suurusjärg kahjustusi ilmnes ka aasta hiljem. Järsk üraskikahjustuste kasv registreeriti aastatel 2022 ja 2023 ka meie lähiriikides Lätis, Leedus, Soomes ja Rootsis¹⁴. Eelnevat arvesse võttes saab järeldada, et neil aastatel oli tegemist epideemilise olukorraga hemiboreaalses metsavööndis. 2024. a kahjustuste pindala Eestis vähenes, olles eelneva aastaga võrreldes ca poole väiksem; sarnast trendi kinnitasid ka Keskkonnaagentuuri kuuse-kooreüraski seireandmed¹⁵. **Kogu käesolevat uurimust tuleb käsitleda epideemia kontekstis ning ei saa eeldada, et sarnased tulemused kehtiksid ka kuuse-kooreüraski madalama arvukuse korral.**

Korrelatsioonianalüüsis ei ilmnenu seost sama aasta kraadpäevade summa ja MKE pindala vahel. Siiski ilmnes mõeldukas positiivne korrelatsioon MKE pindala ja sellele eelnenud aasta kraadpäevade summa vahel (Spearmani $p = 0,52$, $p = 0,18$; Joonis 4). Seega avalduvad üraskite soodsad sigimistingimused pigem sellele järgneva aasta metsakahjustuste statistikas; paljud kahjustused võetaksegi arvele alles järgnevatel aastatel.



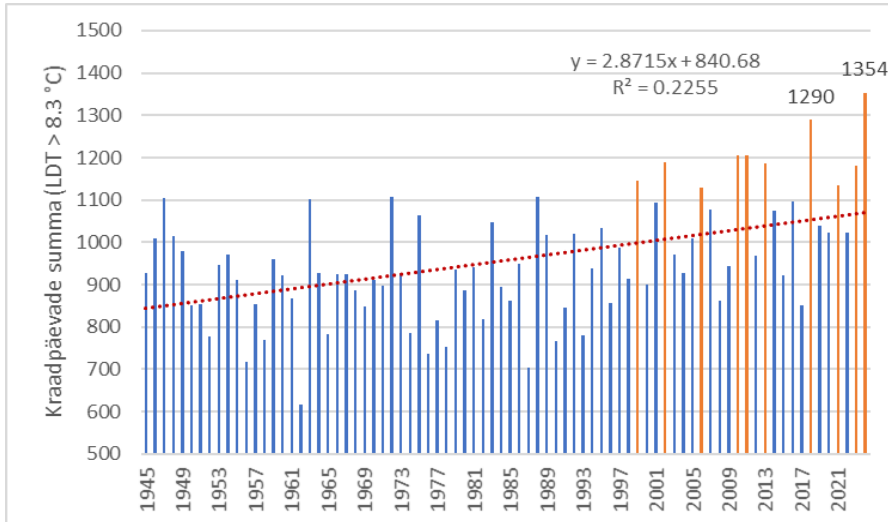
Joonis 4. Sinisega Keskkonnaameti metsakaitse-ekspertiiside statistika raiesse määratud aladest, kus peamine kahjustaja on kuuse-kooreürask (Omler, 2025); punasega üraski aktiivsuseperioodi (aprill-september) Võru, Valga ja Jõgeva ilmajaamade keskmine kraadpäevade summa (temperatuurilävendiks 8,3°C).

Kraadpäevade lineaarne regressioonianalüüs näitas statistiliselt usaldusväärset kasvavat trendi ($p < 0,001$, $R^2 = 0,23$), seejuures suurenes kraadpäevade arv keskmiselt 2,8 ühiku võrra aastas.

¹⁴ Kuidas kohanevad üraskid muutuva kliimaga; Ait, K., Õunap, H. Eesti Loodus (2024)

¹⁵ <https://keskkonnaagentuur.ee/node/2077>

Temperatuurid, mil kuuse-kooreüraski kaks põlvkonda suudavad täielikult välja areneda (1114 kraadpäeva), jäid vaadeldud perioodil valdavalt käesolevasse sajandisse (Joonis 5). Kõrgeimad kraadpäevade väärtused (1290 ja 1354) esinesid aastatel 2018 ja 2024. **Eelnev iseloomustab hästi asjaolu, et üha kõrgemad kraadpäevade summad on pakkunud kuuse-kooreüraskile järjest soodsamaid sigimistingimusi.** Kraadpäevade summa 1448, mis võimaldaks juba kolmanda põlvkonna noormardikatel edukalt talvituda, saavutatakse pelgalt lineaarse mudeli põhjal alles aastal 2155. Siinkohal tuleb rõhutada, et mudeli variatsioonist on vaid 23% kirjeldatav temperatuuriga ning mudel ei suuda ennustada ekstreemseid ilmaolusid või teisi üraseki masspaljunemist soodustavaid tegureid.

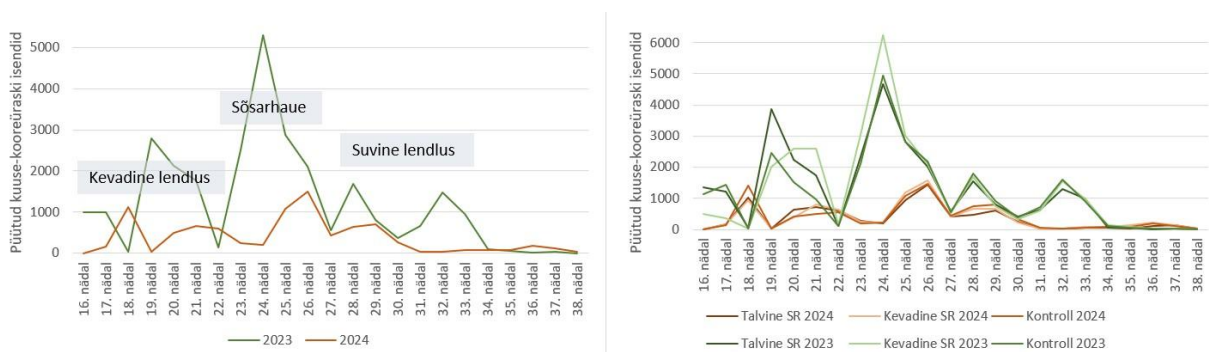


Joonis 5. Aastane kraadpäevade summa (temperatuurilävend 8,3°C) kuuse-kooreüraski aktiivsuseperioodil (aprill-september) Võru, Valga ja Jõgeva ilmajaamade andmete põhjal. Oranži värvi on tähistatud aastad, mil summa ületab 1114 kraadpäeva. Punasega joonega on kujutatud kraadpäevade summa kasvu vastavalt lineaarsele mudelile.

7.3.2 Erinevate töötluste võrdlus

7.3.2.1 Seire feromoonpüünistega:

Seire käigus ilmnes, et 2024. a oli üraseki arvukus kõigis püünistes märgatavalt madalam võrreldes 2023. a-ga (Joonis 6). Ühe püünise aasta keskmine saak oli 2023. a 28331±8148 ja 2024. a 8728±3662 kuuse-kooreüraskit. Üraseki arvukuse langus avaldus ka Keskkonnaagentuuri üle-eestilistes seireandmetes. Samuti ilmnes, et kevadise lendluse ja sõsarhaudme arvukuse haripunktid olid oluliselt madalamad suvise lendluse haripunktidest, mil I põlvkonna noormardikad siirdusid II põlvkonda rajama. Suvine lendlus (II põlvkonna rajamiseks) algas mõlemal välitööaastal 27.-28. nädalal ehk juuli alguses.

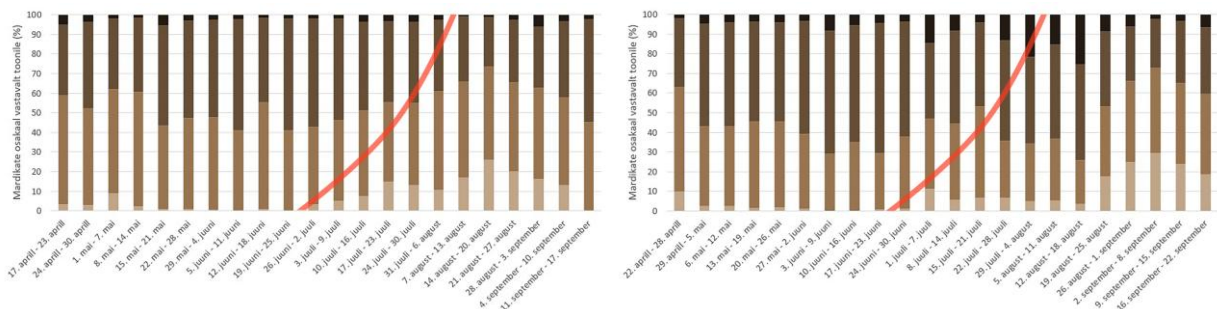


Joonis 6A ja 6B. Kuuse-kooreüraski keskmine arvukus püünistes nädalate lõikes. Vasakul lendluse erinevad perioodid; paremal töötlusalade keskmine.

Töötlusviis (e raie) ei mõjutanud üraseki kogu aasta arvukust feromoonpüünistes ühegi mudeli puhul. Samuti ei olnud seost üraseki ja sipelgmardika arvukuse vahel. Küll aga mõjutas kuuse-kooreüraski arvukust mitmel juhul oluliselt võrastiku avatus – varjulisematesse püünistesse sattus statistiliselt oluliselt rohkem ürasekeid. See avaldus eelkõige mõlema aasta suve hilisemates lendluse perioodides ($p=0.001$ -

0.014 sõltuvalt lendluse perioodist). Mõlema vaatlusaasta kevadisel lendlusel **ilmnes tugev töötlusala efekt** - 2023. ja 2024. a selgitas töötlusala vastavalt 49% ja 58% kogu mudeli varieeruvusest. Sõsarhaudme rajamise ja suvise lendluse puhul kirjeldatud mõju vähenes või oli lausa olematu.

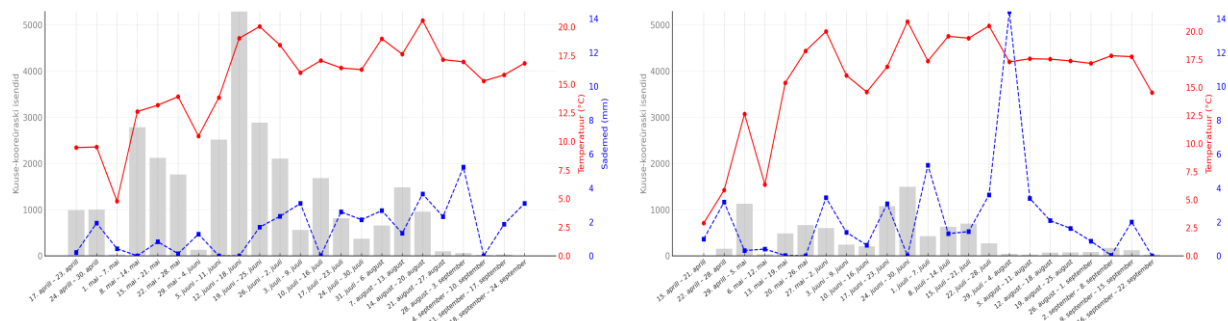
Heledad noormardikad (I põlvkond) ilmnemise puuistest juuni lõpus, seejärel hakkas nende osakaal tõusma ja tugenemas ka valmikute toon. Siiski lendlesid juulis segamini nii sõsarhaudme rajavad vanamardikad kui ka I põlvkonna noormardikad (Joonis 7), mistõttu meetmete rakendamine (feromoonpüünised, püünispuid) üraseki suvise põlvkonna ohjeldamiseks suve teises pooles on tõenäoliselt tulutu ka väiksema üraseki arvukuse korral.



Joonis 7A ja 7B. Kuuse-kooreüraski valmikute värvus feromoonpüünistes aastatel 2023 (vasakul) ja 2024 (paremal). Punase mõttelise kõveraga on tähistatud ligikaudne noormardikate ilmumise aeg ja osakaal püünistes. Kõverast vasakule jäävad kevadist lendlust ja suvist sõsarhaudme teostavad vanamardikad, kõverast paremale jääb noormardikate lendlus. Juuni lõpust augusti alguseni suurenes noormardikate osakaal püünistes.

2024. suve jooksul püütud 1430-st sipelgmardikast vaid neli isendit olid harilikud sipelgmardikad (*Thanasimus formicarius* (L.)), valdav enamus olid lääne-sipelgmardikad (*Thanasimus femoralis* (Zett.)). Sipelgmardikate keskmine arv püünistes oli kontrollaladel ligikaudu kaks korda kõrgem kui sanitaarraiutud aladel. Siiski ei tuvastanud lineaarne segamudel töötuse mõju statistiliselt olulisena. Võimalikeks põhjusteks võivad olla andmete suur varieeruvus ja andmetes esinenud rohked nullväärtused.

Korrelatsioonianalüüsis ilmnemine 2024. a temperatuuri ja püügisaakide vahel statistiliselt oluline seos ($p = 0,42$; $p = 0,044$), 2023. a aga sademete ja üraseki arvukuse vahel oluline negatiivne seos ($p = -0,44$; $p = 0,036$). Tulemused viitavad, et kõrgemad temperatuurid soodustavad üraseki lendlust, samas kui suurem sademete hulk seda pärsib (Joonis 8). Mõju tugevus varieerus aastati, mis peegeldab keskkonnatingimuste muutlikkust ning ka muude, korrelatsioonianalüüsis mitte käsitletud tegurite võimalikku mõju. Suve lõpul mõjutab lendlevate ürasekite arvukust ka lühenev fotoperiood, mis käivitab nende diapausi.¹⁶



Joonis 8A ja 8B. Kuuse-kooreüraski saak feromoonpüünistes nädalate lõikes aastatel 2023 (vasakul) ja 2024 (paremal) koos vastavate nädalate keskmise temperatuuri ja sademete hulgaga. Kasutatud on viie uuringuala keskmisi väärtuseid. Hallid tulpdiagrammid iseloomustavad vastava nädala kõigi püüniste

¹⁶ Doležal, P. and Sehnal, F., 2007. Effects of photoperiod and temperature on the development and diapause of the bark beetle *Ips typographus*. Journal of Applied Entomology, 131(3), pp.165-173.

keskmist saaki. Sinisega on uuringualade nädala keskmine sademete hulk ning punasega uuringualade nädala keskmine temperatuur.

7.3.2.2 Kaugseire- ja GIS analüüs:

Peale töötluste läbiviimist ei esinenud täielikku ürasekahjustuste vaibumist ühelgi töötlusalal. Uute kahjustuste keskmised pindalad jäid siiski kõigil töötlusaladel tagasihoidlikuks, olles 50; 100 ja 200 m puhvris vastavalt 0.04 ± 0.03 ha; 0.06 ± 0.04 ha ja 0.09 ± 0.07 ha. Keskmine uute kahjustuste pindala osakaal 2023. a aktiivsuseperioodi lõpul võrreldes esialgse kahjustusega oli 50 m puhvris $20.9 \pm 19.2\%$; 100 m puhvris $30.5 \pm 25.2\%$ ning 200 m puhvris $42.9 \pm 26.3\%$. Standardhälvete kõrged väärtused viitavad suurele varieeruvusele kahjustuste pindalas.

Varasemad uuringud on leidnud, et uued kahjustused ei levi üldjuhul kaugemale kui 500 m möödunud aasta kahjustuskoldest^{17,18} ning uute kahjustuste esinemise tõenäosus on suurim 100 m raadiuses esialgsest koldest^{19,20,21}. Eelnevat arvesse võttes leiame, et kõige usaldusväärsemad tulemused kahjustuse leviku kohta esinevad 50 ja 100 m puhvrites. Esialgsetest koldest eemaldudes suureneb tõenäosus, et uute kahjustuste teket mõjutavad muud tegurid (raied, metsahäiringud, aktiivsed ürasekahjustused jm), mis jäävad väljapoole 500 m puhvrit, kus projekti kestel raieid hoiduti.

50 m puhvris oli kontroll-alal kahjustuste osakaal ca 2 korda suurem ($30.3 \pm 27.4\%$) võrreldes talvise ja kevadise SR alaga (vastavalt $15.4 \pm 10.8\%$ ja $17.1 \pm 10.3\%$). Samas 100 ja 200 m puhvris olid kontroll-ala ja kevadise SR alal uute kahjustuste osakaalud võrdlemisi sarnased. Kõigis kolmes puhvris jäid nii uute kahjustuste kogupindala kui ka osakaal talvise SR alal teiste töötlustega võrreldes tagasihoidlikumaks.

Kasutades uuritava tunnusega uute kahjustuste osakaalu ja varasema kahjustuse suhte alusel hinnatud kahjustuste laienemist töötlusala tasandil ($n=15$), ei tunnistanud teisi võimalikke mõjutegureid hõlmav segamudel töötlust üheski vahemikus statistiliselt oluliseks faktoriks (p -väärtused varieerusid sõltuvalt skaalast vahemikus $0.077-0.633$); see võis olla suurest tingitud andmete varieeruvusest. 50 m skaalal ei olnud ükski testitud fikseeritud tegur uut kahjustust seletav oluline mõjutaja. 100 m skaalal oli oluliseks teguriks esialgsete kahjustuskollete arv ($p = 0.046$; ühes uuringualas võis olla mitu väiksemat kahjustuskollet e hõilu), 200 m skaalal aga nii kollete arv ($p = 0.010$) kui ka ürasekahjustusele sobiva metsa osakaal ($p = 0.035$). Mudelisse kaasatud juhuslik tegur – metsamassiiv (s.o metsaosa, mis hõlmab kolme erinevat töötlust) – avaldas samuti märkimisväärset mõju (ICC $0.618 - 0.883$), mis tähendab, et 62–88% kahjustuste laienemise varieeruvusest oli seotud erinevustega metsamassiivide vahel. See viitab, et raie tulemused olid pigem sarnased ühe ja sama metsamassiivi piires ning kahjustuste laienemist mõjutasid töötlustest enam esialgsete kahjustuskollete arv ja sobiva metsa osakaal kollete läheduses.

Üksiku kolde tasandil ($n=70$; ühes töötlusalas oli sageli mitu väiksemat ürasekahjustust ehk hõilu) vaadeldi vastustunnust ka binaarsena - kas konkreetne uuritav hõil peale töötlust vahetult laienes või mitte. Sel juhul näitas üldistatud lineaarne segamudel, et töötlus mõjutas oluliselt kahjustuse laienemist: kevadise SR korral oli kollete laienemise tõenäosus väiksem võrreldes kontrollaladega ($p = 0.02$). Prognoositud tõenäosused näitasid, et kevadel tehtud SR vähendas kooreüraski kahjustuse jätkumise tõenäosust 40%-ni võrreldes kontroll-alaga, kus see oli 85% ($p = 0.02$). Talvine SR andis vahepealse tõenäosuse (69%), mis ei erinenud oluliselt teistest töötlustest (joonis 9). Mudeli juhusliku teguri (metsamassiivi) mõju oli sealjuures mõõdukas, intraklassi korrelatsiooni koefitsiendi (ICC) väärtusega 0.354.

Seega avaldus töötluste mõju pigem lokaalselt, samas kui suuremal skaalal mõjutasid kahjustuste jätkumist muud tegurid.

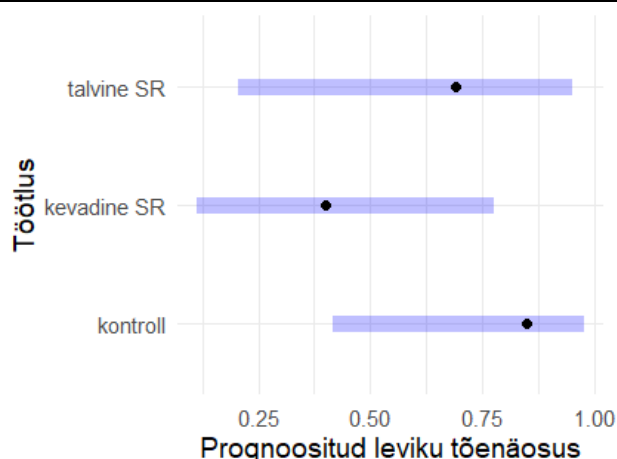
¹⁷ Kautz, M., Dworschak, K., Gruppe, A. and Schopf, R., 2011. Quantifying spatio-temporal dispersion of bark beetle infestations in epidemic and non-epidemic conditions. *Forest Ecology and Management*, 262(4), pp.598-608.

¹⁸ Lausch, A., Fahse, L. and Heurich, M., 2011. Factors affecting the spatio-temporal dispersion of *Ips typographus* (L.) in Bavarian Forest National Park: A long-term quantitative landscape-level analysis. *Forest Ecology and Management*, 261(2), pp.233-245.

¹⁹ Kautz, M., Imron, M.A., Dworschak, K. and Schopf, R., 2016. Dispersal variability and associated population-level consequences in tree-killing bark beetles. *Movement ecology*, 4, pp.1-12.

²⁰ Kärvmö, S., Van Boeckel, T.P., Gilbert, M., Grégoire, J.C. and Schroeder, M., 2014. Large-scale risk mapping of an eruptive bark beetle—importance of forest susceptibility and beetle pressure. *Forest Ecology and Management*, 318, pp.158-166.

²¹ Økland, B., Nikolov, C., Krokene, P. and Vakula, J., 2016. Transition from windfall-to patch-driven outbreak dynamics of the spruce bark beetle *Ips typographus*. *Forest Ecology and Management*, 363, pp.63-73.



Joonis 9. Mudeli põhjal prognoositud kooreüraski kahjustuse leviku tõenäosus erinevate töötluste lõikes. Horisontaalsed jooned näitavad 95% usaldusvahemikke.

7.3.2.3 Proovitükkide analüüs:

Mõõtmiste tegemiseks rajati 89 ürasekikolde- ning 459 metsa ringproovitükki. Kokku uuriti 16 591 puud, seejuures teostati 38 356 vaatlust (kuna metsa ringproovitükke seirati korduvalt). Uuritud puudest 2548 puud olid üraseki RPT-s ning 14043 metsa RPT-s. Nendest puudest 12460 olid kuused, millest omakorda 2558 olid surnud puud (sh projekti kestel kui ka varasemalt hukkunud kuused). Valdav osa hukkunud kuuskedest (1965 tk) olid ürasekikahjustustega, kuid tuvastati ka muude tegurite tõttu surnud puid.

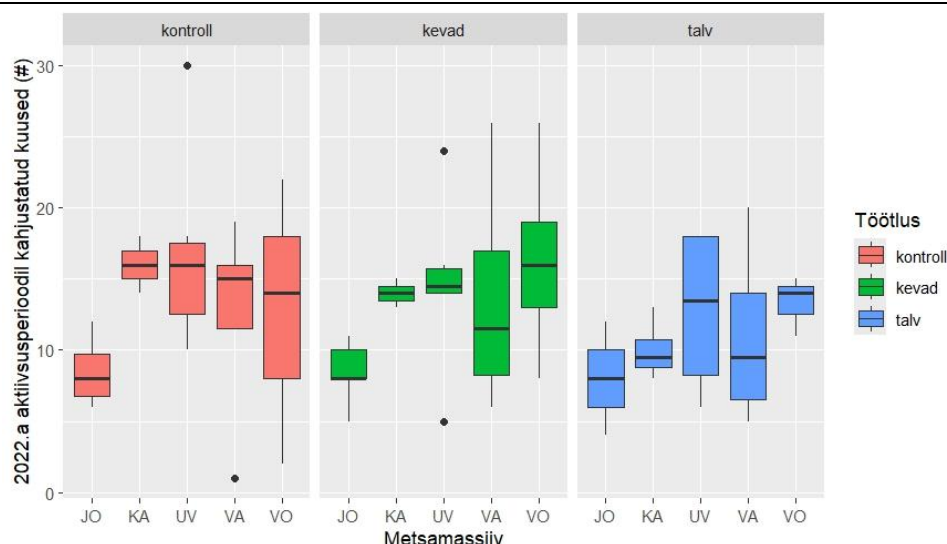
Üraseki RPT-des olid kuuse keskmine rinnasdiameeter, kuuse rinnaspindala ja kuuske arvu oluliselt suuremad kui metsa RPT-des (tabel 1). Samuti olid puuliikide ning puurinde liigi- ja diameetripõhine mitmekesisus ürasekikolletes madalamad. Kasvukohatingimused ei erinenud RPT tüüpide vahel.

Tabel 1. Projekti esimesel aastal rajatud üraseki ja metsa RPT-de võrdlus.

Tunnus	Ühik	Üraseki RPT keskmine väärtus	Metsa RPT keskmine väärtus	p-väärtus	Test	Transformatsioon
DBH	cm	21,5	20,6	0,086	Student's t	
Kuuse DBH	cm	21,3	19,5	<0,001	Student's t	
Puude arv	n	28,8	30,2	0,058	Student's t	√
Kuuske arvu	n	26,4	23,2	<0,001	Student's t	√
Puude rinnaspindala	m ² /ha	27,8	28,6	0,676	Student's t	√
Kuuske rinnaspindala	m ² /ha	24,3	18,8	<0,001	Mann-Whitney U	
Puistu I rinde tagavara	m ³ /ha	276,1	271,1	0,801	Mann-Whitney U	
Puistu II rinde tagavara	m ³ /ha	7,2	11,6	0,127	Mann-Whitney U	
Puistu vanus	a	60	62,6	0,671	Mann-Whitney U	
Puuliikide mitmekesisus (Shannon indeks)		0,26	0,501	<0,001	Mann-Whitney U	
Puurinde liigi- ja diameetri-põhine mitmekesisus (Shannon indeks) ¹		1,48	1,691	<0,001	Student's t	
Kuuse diameetri mitmekesisus (Shannon indeks) ¹		1,31	1,227	0,127	Mann-Whitney U	
Kasvukohatüübi klass (3 klassi) ¹	kat.			0,783	Fisher's Exact	
Puistu arenguklass (L, K, V, Y) ¹	kat.			0,478	Fisher's Exact	

¹ Tüüpide arvutamise meetodid ja klassifikatsioonide selgitused on esitatud lisa nr 3-s

Ühefaktoriliste ning kahe- ja mitmefaktoriliste (lisa nr 6A) üldistatud lineaarsete segamudelite tulemuste põhjal on esitatud valik mudeleid (tabel 2), mis toovad esile 2023. a kahjustusi selgitavad peamised tegurid: töötlus, metsa vanus ja proovitükipõhine puuliikide rinnaspindalal põhinev Shannon'i mitmekesisuse indeks. Võrdluseks on lisatud ka mõned mudelid, kus kasutati muutujaid, mida rõhutati projekti muudes osades, hõlmates näiteks juurepessu, kasvukoha ja ilmastikutingimuste mõju. Algse (2022. a) ürasekikahjustuste andmestiku põhjal ei olnud üraseki RPT-s ühegi faktori mõju statistiliselt oluline (lisa nr 6C ja D), mis kinnitab, et 15 töötalusala olid sarnase kahjustuse astmega (Joonis 10).



Joonis 10. Kahjustatud kuuskede arv üraseki RPT-s 2022. a aktiivsuseperioodil, metsamassiivide kaupa. Lühendid horisontaalse telje allosas tähistavad metsamassiivi koodnimeid.

Tabel 2. Valik mudeleid (GLM ja GLMM) kirjeldamaks 2023. a kahjustusi selgitavaid peamisi tegureid. AIC – Akaike informatsioonikriteerium, R^2 cond – tingimuslik R^2 , R^2 marg – marginaalne R^2 .

Mudel	AIC	R^2 cond	R^2 marg
Töötlus (kevadine SR, kontrast=kontroll) ***(-)	806,1	0,109	0,036
Töötlus (kevadine SR) **(-) + Puistu vanus ***(+)	762,6	0,162	0,086
Töötlus (kevadine SR) **(-) + Shannon puuliikide rikkalikkuse põhjal ***(-) + Puistu vanus ***(+)	748,8	0,178	0,121
KKT klass (keskmise vilj/niisk, kontrast=kuivem) *(+) + Keskmise RPT puu diameeter ***(+)	776,5	0,207	0,097
Juurepess transekti meetodil ***(+)	812,2	0,088	0,025
Kraadpäevad (2021a) *(-)	830,6	0,011 ¹	
SPEI-1 (2023a aprill) *(+)	827,4	0,020 ¹	
SPEI-1 (2023a juuli) **(-)	827,5	0,019 ¹	
SPEI-6 (2022a)	829,4	0,014 ¹	
Töötlus + Puistu vanus ***(+)+ Aasta 2023 aprill SPEI-1 ***(-) + koosmõju ***(-)	722,6	0,141	0,096
Töötlus + Puistu vanus ***(+)+ Aasta 2022 september SPEI-6 **(-) + koosmõju ***(+)	739,3	0,132	0,081

¹ – GLM mudeli jaoks, Nagelkerke's R^2

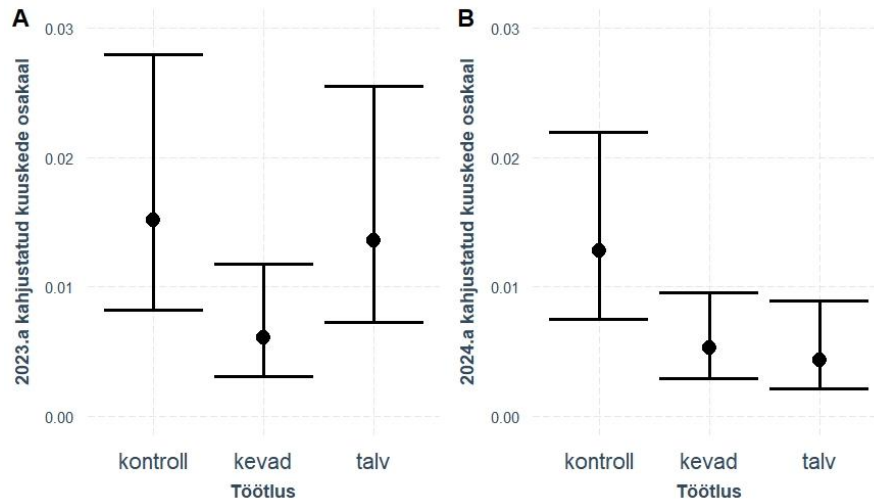
Ehkki mitmed fikseeritud tegurid osutusid statistiliselt oluliseks, ei küündinud ühegi mudeli kirjeldusvõime kuigi kõrgele: maksimaalne R^2 väärtus jäi 0,3 piiridesse. Mudelite nõrka seletusvõimet kinnitab ka rahvusvahelises teaduskirjanduses korduvalt rõhutatud asjaolu, et kuuse-kooreüraski käitumise ja leviku mõistmist raskendab paljude potentsiaalsete tegurite koosmõju. Nendest olulisimad on: 1) üraseki ja tema looduslike vaenlaste hiljutine populatsioonidünaamika, 2) kliima ja ilmastik, 3) suurema mõjuga metsahäiringud ning 4) ümbritseva metsa koosseis, majandamisviisid ja maakasutus.²² Keerukamad, rohkemate teguritega mudelid võivad küll paremini seletada konkreetsete uurimisalade kahjustusi, kuid nende praktiline rakendatavus teistes piirkondades ja erinevatel aastatel on seetõttu piiratum.

Töötlus

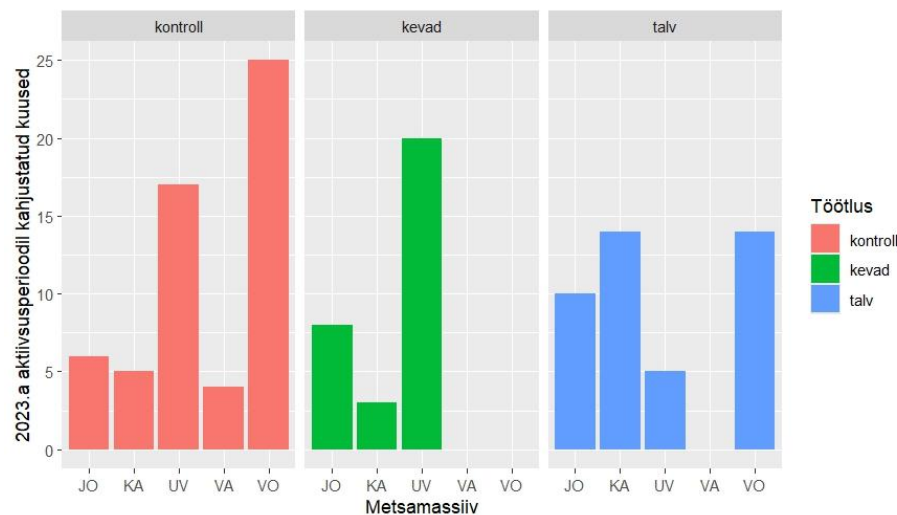
Enamiku töötlust hõlmavate mudelite kohaselt oli nii kontrollaladel kui ka talvise SR korral kahjustuse esinemise tõenäosus oluliselt suurem kui kevadise SR puhul (vastavalt $p < 0,001$ ja $p = 0,002$). Ühefaktorilise mudeli (Tabel 2; AIC ~ 806,1) põhjal oli prognoositud kahjustatud kuuskede osakaal RPT-s olevate kuuskede suhtes (edaspidi ka *kahjustuse osakaal*) 1,51% (kontroll), 1,36% (talvine raie) ja 0,61% (kevadine raie, Joonis 11A). Erinevus kontrolli ja talvise SR vahel ei olnud statistiliselt oluline.

²² Wermelinger, B., 2002. Development and distribution of predators and parasitoids during two consecutive years of an *Ips typographus* (Col., Scolytidae) infestation. *Journal of Applied Entomology*, 126(10), pp.521-527.

Kuigi keskendume eelpool mainitud põhjustel (torm ja lumemurd 2023. a lõpus) eelkõige 2023. a andmetele, näitasid 2024. a tulemused (lisa nr 6B, Joonis 11B), et kontrollaladel oli kahjustuse esinemise tõenäosus (1,28%) oluliselt suurem kui kevadise (0,53%; $p < 0,001$) ja talvise SR puhul (0,44%; $p = 0,003$). Samuti erines üraseki levik RPT-del oluliselt metsamassiivide lõikes (joonis 12), mistõttu kaasati metsamassiiv mudelitesse juhusliku mõjutegurina. Kokkuvõttes – **SR-l oli küll ürasekikahjustusi pärssiv mõju, kuid see oli pigem väike ning sõltus tugevalt muudest teguritest** (näiteks aastast ja metsamassiivide erinevustest). Lisaks viitab uuring, et ka tugevate metsahäiringute mõju (tormid, lumemurd) võib SR-st olulisemaks osutuda.



Joonis 11A ja 11B. Üraseki poolt asustatud kuusekete osakaal RPT-s olevate kuuskete suhtes 2023. a aktiivsusperioodil (A) ning 2024. a aktiivsusperioodil (B). Vurrud sümboliseerivad 95%-usaldusvahemikke.



Joonis 12. Üraseki poolt asustatud kuuskete kogusumma 2023. a aktiivsusperioodil, metsamassiivide kaupa

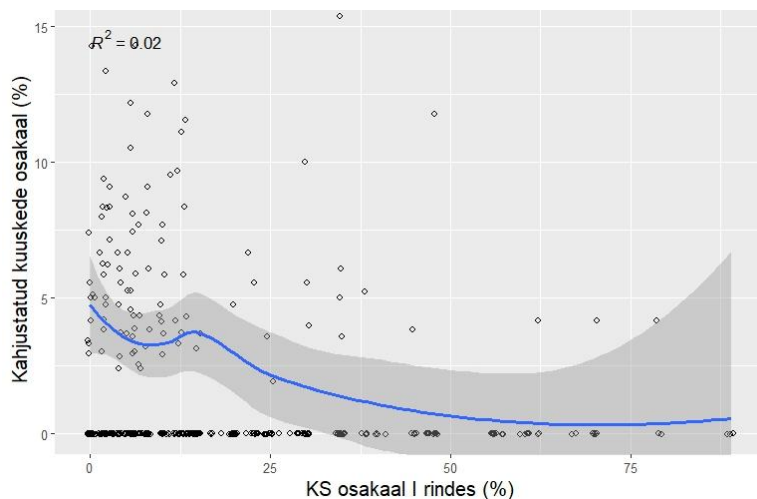
Metsa vanus

Nii ühe- kui ka mitmefaktoriliste mudelite kohaselt suurenes ürasekikahjustuse esinemise tõenäosus ühes eraldise vanusega (Tabel 2). Kuna puistute vanus erines metsamassiivide lõikes oluliselt, kaasati mudelitesse juhusliku tegurina ka metsamassiiv. Interaktsioonidega ehk erinevate tegurite koosmõju arvesse võtvates mudelites esines mõnel juhul ootuspärasest erinev seos vanemate eraldiste puhul (üle 70–80 aasta; nt koos kraadpäevade või SPEI indeksiga; Tabel 2, lisa nr 6A), mis võib olla tingitud vanade puistute vähesest esindatusest. Kuna kuusk oli peapuuliik umbes 70%-l uuritud eraldistest,

ei kattu eraldise vanus alati kuuse vanusega.

Shannoni mitmekesisuse indeks

RPT tasandil arvatud puuliikide mitmekesisus (põhineb üksikpuude rinnapindalal) ei osutunud küll kõigis mudelites statistiliselt oluliseks, ent kombineerides töötamise ja puistu vanusega (tabel 2), ilmnis negatiivne seos ürasekikahjustuse esinemise tõenäosusega: **madalam mitmekesisus suurendab kahjustuse riski**. Puistu tasandil koostatud mitmekesisuse mudelid olid vähem usaldusväärsed ja statistiliselt olulisust ei leitud, mis võib tuleneda sellest, et puistutes esineb sageli koosseisulist varieeruvust ning RPT väike pindala ei pruugi kajastada kogu puistu liigikooslust. Siiski näitas puistu tasandil kase olemasolu olulist mõju ürasekikahjustuse esinemise tõenäosusele (lisa nr 6A). Enam kui 25%-ne kase osakaal viitas juba selgele kahjustuse esinemise tõenäosuse vähenemisele (Joonis 13). Enamik 2024. a põhjal koostatud mudelitest näitas samuti negatiivset seost RPT tasandil: kõrgem puuliikide mitmekesisus tähendab vähem kuuski, mida ürasek saab asustada, ning suuremaid vahemaid puude vahel. Rahvusvaheline teaduskirjandus rõhutab liigiliselt mitmekesisuse puistute tähtsust riski hajutamisel ning tulevaste majandus- ja ökoloogiliste võimaluste suurendamisel.^{23,24} Vertikaalse mitmekesisuse kajastamiseks Shannoni indeksis lõime ka indeksi, mis põhineb nii puuliikidel kui ka diameetriklassidel²⁵ (lisa nr 3 ja 6). Üraseki levik võib oluliselt sõltuda ka uurimisala skaalast, mitmekesisuse tüübist (alfa, beeta, gamma) ja maakasutuse varieeruvusest.



Joonis 13. Üraseki poolt asustatud kuuskede osakaal sõltuvalt kase osakaalust esimeses rindes (y-telg visuaalse selguse huvides kärbitud).

Juurepess

Juurepess ise ei avaldanud mudelite kohaselt kuuse-kooreüraseki kahjustuse esinemise tõenäosusele statistiliselt olulist mõju (tabel 2), kuid koosmõjus puistu vanusega (interaktsioon) võib see kahjustuse riski suurendada (lisa nr 6). Enamasti parandas mudeli prognoosivõimet juurepessu teguri mudelist eemaldamine, mis viitab sellele, et juurepessu mõju ürasekikahjustusele on kas nõrk või teiste teguritega kattuv. Erinevused aastate ja mudelite vahel on aga suured. Teised uuringud²⁶ on näidanud, et seos juurepessu ja ürasekikahjustuse vahel võib olla eriti oluline masspaljunemise alguses. Lisaks tuleb arvestada, et juurepess nõrgestab peremeespuud järk-järgult üle mitme aasta, mistõttu vastuvõtlikkus ürasekirünnakule ei pruugi avalduda kohe pärast seenhaigusesse nakatumist. See võib omakorda tulemusi mõjutada ning tugevama järelduse loomiseks oleks vaja pikema perioodi andmeid.

²³ Pardos, M., Del Río, M., Pretzsch, H., Jactel, H., Bielak, K., Bravo, F., Brazaitis, G., Defosse, E., Engel, M., Godvot, K. and Jacobs, K., 2021. The greater resilience of mixed forests to drought mainly depends on their composition: Analysis along a climate gradient across Europe. *Forest Ecology and Management*, 481, p.118687.

²⁴ Stemmelen, A., Jactel, H., Brockerhoff, E. and Castagneyrol, B., 2022. Meta-analysis of tree diversity effects on the abundance, diversity and activity of herbivores' enemies. *Basic and Applied Ecology*, 58, pp.130-138.

²⁵ De Quesada, G. and Kuuluvainen, T., 2020. Tree diametric-species diversity is affected by human impact in old Scots pine dominated forest in boreal Fennoscandia. *Forest Ecosystems*, 7(1), p.8.

²⁶ Wahlman, W., Kananen, R., Lappalainen, L. and Honkaniemi, J., 2025. Root rot increases the vulnerability of Norway spruce trees to Ips typographus infestation. *Forest Ecology and Management*, 577, p.122409.

Kasvukohatüüp

Selle uuringu jaoks valiti kuusele võimalikult ühtlaste kasvutingimustega proovialad. Sellegipoolest esines transektide ümbruses mõningast varieeruvust. Testimaks kasvukohatüübi mõju jaotasime alad viljakuse ja niiskustingimuste põhjal kolme klassi (lisa nr 3). Selgus, et **mõõduka niiskusega madala kuni keskmise viljakusega kasvukohtades on kuuse-kooreüraski kahjustuse esinemise tõenäosus suurem kui kuivemates samalaadsetes kasvukohtades** (tabel 2, lisa nr 6). See vastab ka varasematele tulemustele nii Eestis²⁷ kui ka välismaal.^{28;29}

Meteoroloogilised andmed

Kraadpäevade ning SPEI-1 (kuu jooksul arvutatud standardiseeritud sademete ja aurustumise ehk põuaindeks kasvuperioodil) ja SPEI-6 (6-kuuline põuaindeks kasvuperioodil) andmeid uuriti metsamassiivi tasandil. Üraskikahjustuse esinemise tõenäosusele avaldub mõju varieerus oluliselt nii aastate kui ka kuude lõikes (lisa nr 6A). Paljudel juhtudel näitasid kasvuperioodi varasemad kuud (aprill–juuni) positiivset seost: kõrgemad põuaindeksi väärtused olid seotud suurema kahjustuse tõenäosusega. Juuli–septembri pööradega oli seos enamasti pigem negatiivne (väiksema SPEI väärtuse ehk tugevama põuaga suurenes üraskikahjustuse tõenäosus).

Üraskikahjustuste ja kraadpäevade vaheline seos oli ühe muutujaga üldistatud segamudeli tulemuste põhjal positiivne: kõrgem kraadpäevade summa aktiivsuseperioodi jooksul soodustas üraskikahjustuste esinemist samas piirkonnas, kuid seos varieerus aastate lõikes. 2023. a aktiivsuseperioodi lõpus (peale raieid) tehtud välitööde andmete põhjal mudeli selgitusvõime vähenes. Aladel, kus 2021. a registreeriti kõrgem kraadpäevade summa, esines 2023. a aktiivsuseperioodi lõpuks hoopis ka vähem üraskikahjustusi, mis võib viidata 2021–2022. a hoogsale masspaljunemisele ja selle järgnevale kollapsile nendel aladel. 2024. a suvel, peale üraski kevadist lendlust, näitasid kraadpäevad taas tugevat positiivset seost varasemate aastate kahjustustega.

Mõned mudelid näitasid interaktsiooni puistu vanusega, kuid kuna nii meteoroloogilisi andmeid kui ka vanemaid ringproovitükke nappis, rõhutame pigem ilma puistu vanuseta mudelite tulemusi (tabel 2). Kokkuvõttes **oli seos kraadpäevade ja SPEI indeksitega tugev, kuid avaldus enamasti masspaljunemise algusfaasis**. Hiljem mõjutasid tulemusi ka muud tegurid, sealhulgas SR ja metsahäiringud.

Muud faktorid

Vähem olulisel määral mõjutasid kahjustuse esinemist algtingimused proovialadel, s.t. **esialgsete kollete arv ja suurus ning kaugus lähimast kahjustuskoldest** (lisa nr 6). Mõnel juhul oli kollete arv kahjustuse edasise leviku tõenäosusega negatiivselt seotud, mis võib viidata sellele, et suuremate ja rohkem koondunud kollete läheduses on kahjustuste jätkumine tõenäolisem kui hajusalt paiknevate väiksemate kollete puhul.

Lisaks kvantifitseeriti ümbritsevad tingimused (kolde pindala, metsamaa pindala, üraskile sobiva metsa osakaal, avatud maastiku ja lageraiete pindala) tsoonide kaupa digitaliseeritud kaugeleandmete põhjal (lisa nr 6). Nende muutujate puhul oli aastatevaheline varieeruvus märkimisväärt: **avatud maastiku pindala oli positiivselt seotud kahjustuse esinemise tõenäosusega**, samas kui lageraie pindala eri tsoonides oli kas negatiivselt seotud või statistiliselt seost ei leitud.

Tõenäoliselt oli tsoonidepõhine lähenemine liiga üldine, et andmeid seostada konkreetse RPT vastuvõtlikkusega kahjustustele, kuna RPT-põhised andmed, näiteks uuritavale proovitükile lähima lageraie pindala, olid kahjustuse esinemise tõenäosusega positiivselt seotud (lisa nr 6).

Kaasnevad liigid ja põlvkondlus

2022. a aktiivsuseperioodil moodustasid II põlvkonna kahjustused 20,4% kõigist kuuse-kooreüraski kahjustustega kuuskedest; 2023. a aktiivsuseperioodil oli vastav näitaja 7,6%. Seega on I põlvkonna kahjustused kahe aktiivsuseperioodi vaatluste põhjal märkimisväärselt suuremad ning võib eeldada, et valdav osa uue põlvkonna noormardikatest suundub peale küpsussööma maapinda talvituma, mitte

²⁷ Vodde, F., Ait, K., Orumaa, A., Jõgiste, K., Kaart, T., Kiviste, A., Öunap, H., Stanturf, J.A. and Metslaid, M., 2025. Drivers behind the spatial dispersion of European spruce bark beetle (*Ips typographus*) infestation in protected areas in Estonia, four years after a major storm. *Forest Ecology and Management*, 578, p.122469.

²⁸ Nardi, D., Jactel, H., Pagot, E., Samalens, J.C. and Marini, L., 2023. Drought and stand susceptibility to attacks by the European spruce bark beetle: A remote sensing approach. *Agricultural and Forest Entomology*, 25(1), pp.119-129.

²⁹ Netherer, S., Panassiti, B., Pennerstorfer, J. and Matthews, B., 2019. Acute drought is an important driver of bark beetle infestation in Austrian Norway spruce stands. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2, p.39.

tervetele kuuskedele uut hauet rajama. Veelgi enam, osa II põlvkonna valmikutest jõuab samuti enne talve maapinda talvituma. 2018. a Lõuna- ja Põhja Rootsis läbi viidud uuringu käigus leiti samuti, et puudel talvituvate ürasekite osakaal oli väiksem võrreldes maapinnas talvituvate ürasekitega (vastavalt 48% ning 27%³⁰). Eelnev teadmine ilmestab asjaolu, et ainult jalalseisvatel kuuskedel talvituvate ürasekite (raie käigus) metsast eemaldamisega ei ole võimalik aktiivset kahjustust kontrollida.

2022/2023 ning 2023/2024 sügisel ja talvel metsa- ja üraseki RPT-s läbi viidud vaatlustest moodustasid kuuse-kooreüraski kahjustusega puud 75% kõigist kahjustatud kuuskedest. **Hariliku niineüraski (*Polygraphus poligraphus*) kahjustused aga esinesid 18,8%-l uuritud kahjustatud kuuskedest, seejuures aastate 2022/2023 välitöö oli vastav näitaja 12,4% ning aasta hiljem tervelt 32,6%.** Väga sageli esinesid mainitud liigid samal puul koos. 41,3% hariliku niineüraski kahjustustest tuvastati puul, millel esines ka kuuse-kooreüraski kahjustus. 2024 kevadised vaatlused selles statistikas ei kajastu, kuna hariliku niineüraski lendlus algab alles juulis või veelgi hiljem. Eelnev ilmestab hariliku niineüraski olulisust metsakahjurina.

Hariliku võraüraski asustus tuvastati 2022/2023. a ja 2023/2024. a sügis-talvisel vaatlusel 4 %-l puudest. 2024. a kevadisel vaatlusel esinesid selle liigi kahjustused aga 64,9%-l uuritud kuuskedest. Suured erinevused ilmnevad seetõttu, et liik eelistab reeglina tüve ladvaosa ning kevadisel vaatlusel uuritud puude hulgas oli ka palju möödunud aastal tormi ja lume murtud puid, mille ladvaosad samuti katsesse kaasati. Talvistel vaatlustel uuriti jalalseisvaid puid ca 1,5-2 m kõrguselt, kus liik esinebki võrdlemisi harva.

Projekti käigus ilmnes ka harkkidase kooreüraski olulisus metsakahjurina. Seda liiki on eraldi käsitletud punktides 7.3.4 ja 7.3.5.

Kuuse-kooreüraski poolt rünnatud puude alaosa (1,5-2 m kõrguselt) võetud koorepalettide (n=578) analüüsist ilmnes, et 2022. a aktiivsperioodil oli kuuse-kooreüraski keskmine asustustihedus $7,1 \pm 3,1$ ja aasta hiljem $4,3 \pm 2,3$ isendit 1 dm^2 kohta, **mis viitab kuuse-kooreüraski üldisele arvukuse langusele.** Seejuures olid kevadise ja suvise lendluse järgsed asustustiheduse suurusjärgud sarnased. 2024. kevadise lendluse järgselt määrati asustustiheduseks $5 \pm 4,7$ isendit 1 dm^2 kohta; mõningane kasv võis olla tingitud talvisest lumemurrust. Keskmine paljunemisedukus oli 2022. a $0,89 \pm 1,16$ ning aasta hiljem $1,1 \pm 1,5$ emast järglast ühe emase vanamardika kohta; seejuures **oli I põlvkonna paljunemisedukus mõlemal aastal oluliselt kõrgem võrreldes II põlvkonnaga** (vastavalt $1,4 \pm 1,3$ ja $1,2 \pm 1,6$ I põlvkonnal ning $0,2 \pm 0,4$ ja $0,5 \pm 0,8$ II põlvkonnal). Täpsemalt on II põlvkonna asustusega puid käsitletud peatükis 7.3.4.

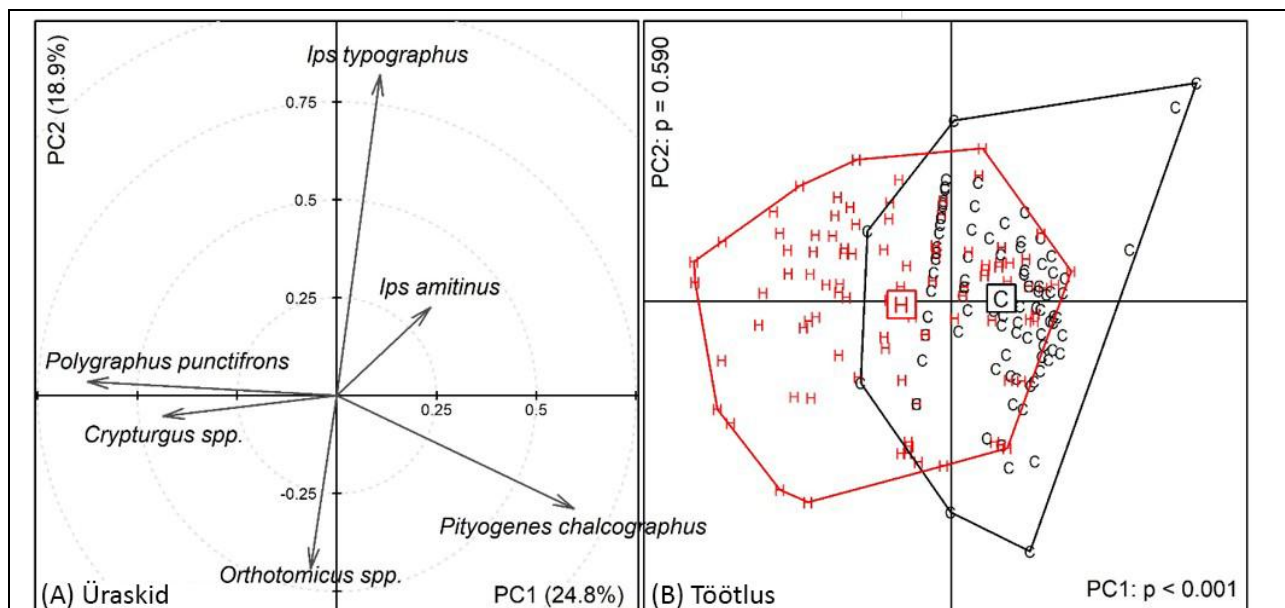
7.3.3 Püünispuude erinevate töötluste võrdlus (mootorsaag vs harvester)

Kuuse-kooreürask esines 91%-l kooreproovidest. **Üldistatud lineaarne segamudel Poissoni jaotusele näitas, et püünispuu langetamise meetod ei mõjutanud kuuse-kooreüraski arvukust püünispuudel** ($p = 0,249$). Kuigi välitöödel ilmnes, et harvesteri lõikepea tekitatud koorekahjustused võimaldasid ürasekitel peremeespuu kergemat asustamist, oli neil puudel seetõttu ka vähem sigimiseks sobivat pindala, mis lõi omakorda tasakaalustava efekti kahe töötluste vahel. Siiski ilmnesid erinevused kaasnevate liikide osas: harvesteriga langetatud püünispuudel esines oluliselt rohkem turjas-niineüraski (*Polygraphus punctifrons*) ja kääbusüraskite isendeid (neid ei leitud ühelgi mootorsaaga langetatud püünispuul), samas oli hariliku võraüraski arvukus märkimisväärselt kõrgem mootorsaaga langetatud püünispuudel (kõik $p < 0,001$). Lisaks püünispuu langetamise meetodile mõjutasid hariliku võraüraski arvukust oluliselt ka püünispuu diameeter ja kraadpäevade summa. Tihedus oli suurem väiksema diameetriga püünispuudel ning aladel, kus kraadpäevade väärtus oli madalam ($p = 0,002$ mõlema faktori puhul).

PERMANOVA mudel selgitas 16,7% ürasekikoosluse varieeruvusest ($R^2 = 0,167$, $p = 0,001$). Püünispuu langetamise viisil oli ürasekikoosluse koosseisule statistiliselt oluline mõju ($F = 6,37$, $p = 0,001$). Ülejäänud 83,3% varieeruvusest tulenes mudeli jääkidest ehk teguritest, mida analüüs ei hõlmanud.

Esimene põhikomponent kuue uuritud liigiga kinnitas mudelite tulemusi, näidates, et püünispuudel, kus hariliku võraüraski arvukus oli suurem, oli ka turjas-niineüraski ja kääbusüraskite arvukus väiksem (Joonis 14A). See muster erines oluliselt töötluste lõikes ($p < 0,001$) ning tulenes eelkõige mootorsaaga langetatud püünispuudest, kus oli rohkem harilikku võraüraskit ning vähem turjas-niineüraskit ja kääbusüraskeid (Joonis 14B). Teine põhikomponent näitas, et püünispuudel, kus kuuse-kooreüraski arvukus oli suurem, oli ka väike-kooreüraski arvukus veidi kõrgem, samas kui seos rääürasekitega oli negatiivne. Seda suundumust mõjutas oluliselt ka kraadpäevade summa ($p < 0,001$), kuid mitte püünispuu langetamise viis ($p = 0,590$).

³⁰ Weslien, J., Öhrn, P., Rosenberg, O. and Schroeder, M., 2024. Effects of sanitation logging in winter on the Eurasian spruce bark beetle and predatory long-legged flies. Forest Ecology and Management, 554, p.121665.



Joonis 14A ja 14B. (A) Uuritud tunnuste kaalud kahel esimesel peakomponendil. (B) Valimite paiknemine vastavalt nende kahele esimesele peakomponendi skoorile, jaotatuna töötluste järgi. Iga valim on tähistatud oma töötusgrupi sümboliga (H – harvester, C – mootorsaag) ning sama grupi valimid on ümbritsetud joonega; suuremad tähed kastides tähistavad gruppide tsentroide ning p-väärtused näitavad töötluste mõju statistilist olulisust, võttes arvesse ka puu rinnasdiameetri ja kraadpäevade summa efekte ning uuringuala ja proovipuu juhuslikke efekte.

Liigilist mitmekesisust käsitlevad mudelid näitasid, et nii keskmine ürasekiliikide arv paleti kohta kui ka Shannon'i mitmekesisuse indeks olid kõrgemad harvesteriga langetatud püünispuudel. Statistiliselt oluline erinevus ilmnes aga ainult liigirikkuse puhul ($p = 0,003$). Siiski ei oma leitud kaasnevad liigid uurimisküsimuse seisukohast tähtsust, kuna tegemist ei ole Eesti oludes metsakahjuritega. Erandiks on ehk väike-kooreürask, kuid madala esinemissageduse tõttu (2,5%) ei saa ka sellele ürasekile suuremat tähtsust omistada. Äramärkimist väärib ka perekond kääbusürask, kes looduslikes oludes asustab peremeespuud peamiselt teiste suuremate mardikate sisenemisavade kaudu, kuid on leidnud harvesteri lõikepea tekitatud koorevigastuse kaudu uue võimaluse koorde sisenemiseks.

Lisaks ilmnes, et mootorsaaga langetatud püünispuudel oli oluliselt rohkem kuuse-kooreüraski emakäikusid ($p = 0,015$), samas täheldati küpsussööma ilminguid sagedamini harvesteriga langetatud püünispuudel ($p = 0,003$). Mõningal juhul olid küpsussööma teostanud mardikad välitöö ajaks ka peremeespuult juba lahkunud, kuid hauet polnud rajatud. Sel juhul oli püünispuu mõju kahjustuste kontrollimise seisukohalt äraspidine, kuid taoliste vaatluste arv oli piisavalt väike ning statistilist olulisust ei ilmnenu.

Kraadpäevade summa oli olulise mõjuga: Kõrgem kraadpäevade arv välitöö hetkel oli positiivselt seotud kuuse-kooreüraski arvukusega ($p < 0,001$), kuid negatiivselt hariliku võraüraski arvukusega ($p = 0,002$). Eelnev iseloomustab kõrgemate temperatuuride positiivset mõju üraseki lendluse algusele ja haudme rajamisele. Variatsioon asustustiheduses välitööalade lõikes aga ilmestab, et metsamajandajad ei saa tugineda püünispuude väljaveo aja valikul üksnes üldistele juhenditele vaid **oluline on jälgida kohapealset olukorda, kuna vanamardikad võivad haudme rajamise järgselt püünispuudelt lahkuda ja asustada läheduses olevaid terveid kuuski.**

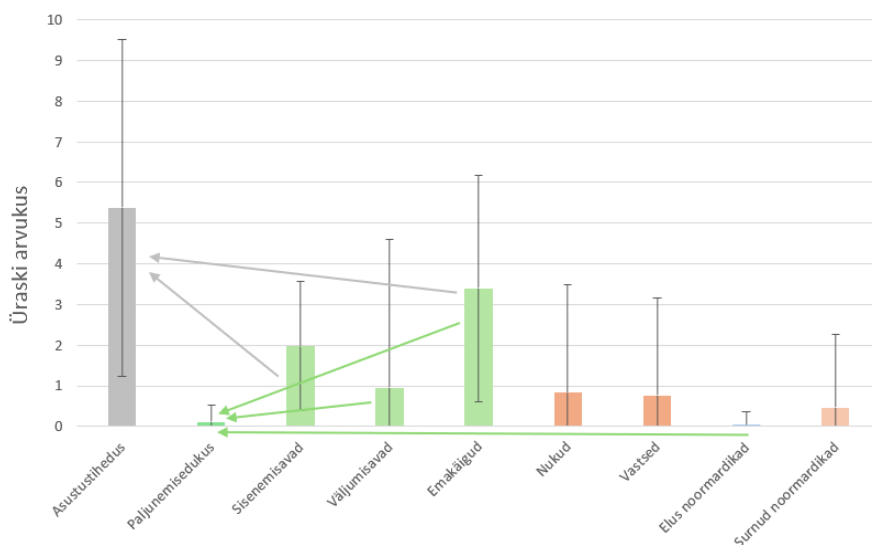
7.3.4 Peremeespuul talvituva kuuse-kooreüraski ellujäämus

Kuuse-kooreüraskeid ja/või nende tegutsemisjälgi leiti 86%-l ($n=627$) talvel langetatud puude koorepalettidest. Elusaid kuuse-kooreüraski noormardikaid ($n=29$) oli ligikaudu 12 korda vähem kui surnud noormardikaid ($n=336$), mis **viitab koore all talvituvate teise põlvkonna isendite suurele suremusele**. Koore alt leitud vanamardikate suremus oli veelgi suurem – elusaid isendeid ($n=12$) leiti ligi 17 korda vähem kui surnuid ($n=199$). Kuuse-kooreüraski varases arengujärgus isendite (vastsete ja/või nukkude) olemasolu tuvastati 25%-l koorepalettidest. Kõik vastsed ja nukkud olid hukkunud.

Kuuse-kooreüraski asustuse ulatus puutüvel (s.t. maksimaalne kõrgus maapinnast, kus üraseki tegutsemisjälgi veel esines) oli oluliselt mõjutatud puu kõrgusest ($R^2=0,44$; $p<0,001$). **Keskmiselt lõppes**

kuuse-kooreüraski asustus 73% kõrgusel puu kogukõrgusest. Kuuse-kooreüraski asustustihedus oli suurem 2022. a võrreldes aastaga 2023, vastavalt $6,5 \pm 4,1$ ja $3,9 \pm 3,7$. See viitab üldisele üraski arvukuse langusele uuritud piirkonnas, kuid võib olla tingitud ka vaid üraski teise põlve madalamast osakaalust.

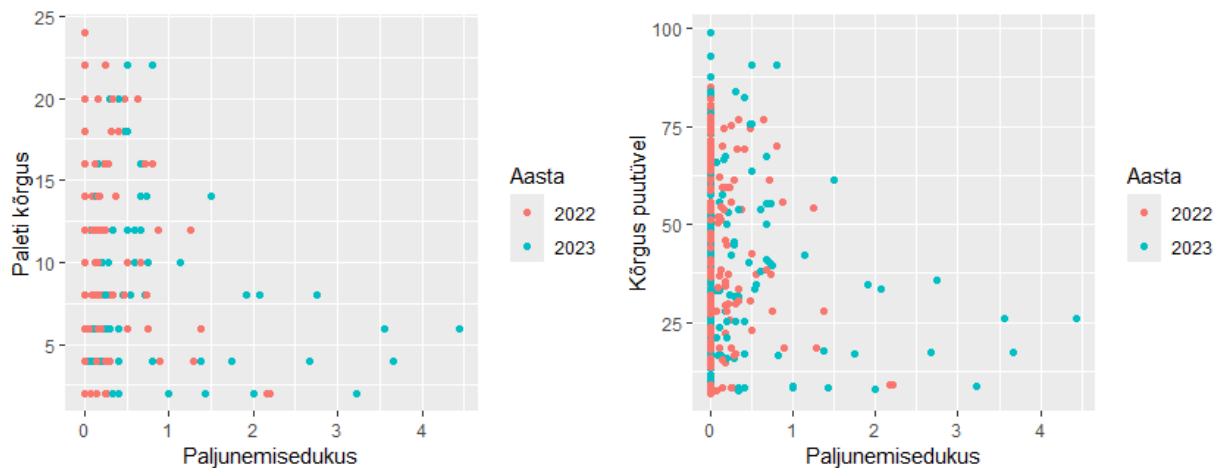
Suvel haudme (II põlvkonna) rajanud kuuse-kooreüraski paljunemisedukus (s.t. elujõuliste järeltulijate arv ühe emasmardika kohta) oli väga madal – keskmiselt oli ühe emasmardika kohta $0,1 \pm 0,4$ emast noormardikat (Joonis 15). **Elujõulise populatsiooni püsimiseks peaks paljunemisedukus olema vähemalt 1.** Aastal 2023 oli kuuse-kooreüraski paljunemine edukam kui 2022. a – vaatlusaastatel hinnati elujõuliste järglaste arvuks vastavalt $0,2 \pm 0,6$ ja $0,1 \pm 0,2$ emast järglast emase vanasmardika kohta. Siiski tulenes 2023. aasta paljunemisedukus täielikult puult juba lahkunud üraskite arvelt; elujõulisi talvituvaid noormardikaid kuuse koore all ei tuvastatud. Andmed on kooskõlas ka aktiivsusperioodi kraadpäevade summaga (madalaim temperatuurilävend $8,3^{\circ}\text{C}$), mis välitöödele eelnenud aastatel (2022 ja 2023) olid vastavalt 1014 ja 1198 kraadpäeva. Viimane näitaja ületab 1114 kraadpäeva lävendi, mis on vajalik kahe põlvkonna täielikuks välja arenemiseks; see omakorda selgitab peremeespuult lahkunud noormardikate suurt hulka. **Uuringuperioodil oli kuuse koore all talvituvate üraskite arvukus marginaalne ning kuuse-kooreüraski kevadine populatsioon sai alguse valdavalt maapinnas talvituvatest üraskitest.** Sellises olukorras ei saa oodata talvise SR olulist mõju üraski arvukuse piiramisel.



Joonis 15. Üraski teise põlvkonna arvukust iseloomustavad näitajad; 2022. ja 2023. a keskmised.

Lihtsa, ühe seletava tunnusega lineaarregressiooni põhjal erines kuuse-kooreüraski asustustihedus statistiliselt oluliselt sõltuvalt proovi võtmise kõrgusest tüvel ($p = 0.017$); erinevus tulenes eelkõige madalamast asustustihedusest tüve kõige ülemises osas. Kui mudelisse lisati täiendavate seletavate tunnustena puu kogukõrgus, tüve läbimõõt proovivõtukõrgusel ning uurimisaasta, ei olnud **proovivõtu kõrguse mõju enam statistiliselt oluline** ($p = 0.079$). Ainsaks statistiliselt oluliseks teguriks ($p < 0.001$) osutus aasta – 2022. a oli üraski asustustihedus oluliselt suurem kui 2023. a.

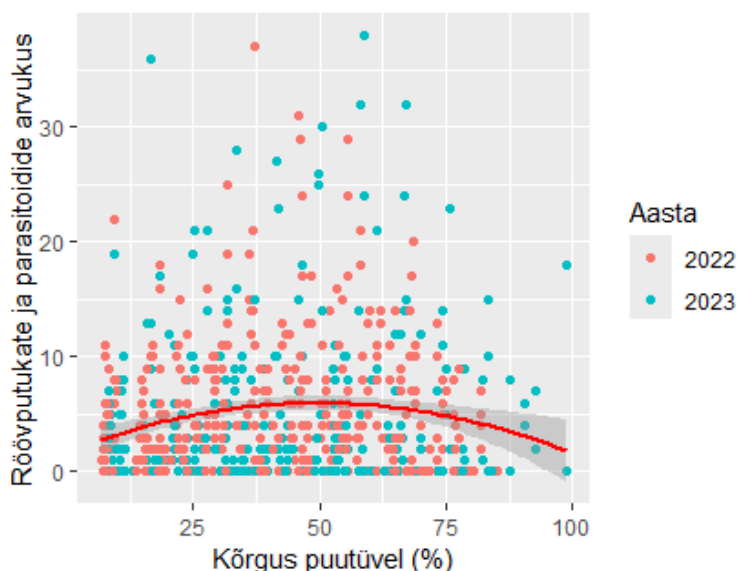
Paljunemisedukuse ja proovi võtmise kõrguse vahelist seost illustreerib joonis 16, kus paljunemisedukust on kujutatud nii absoluutse (meetrites) kui suhtelise (% puu kogukõrgusest) kõrguse suhtes. Paleti võtmise kõrguse ja kuuse-kooreüraski paljunemisedukuse vaheline lineaarne seos on väga nõrk ($R^2 = 0.007$), mis tähendab, et ainuüksi kõrguse põhjal ei ole võimalik paljunemisedukust usaldusväärselt prognoosida. Ka teised levinumad kahe tunnuse vahelist seost kirjeldavad regressioonimudelid ei andnud oluliselt paremat sobivust. Küll aga viitas keerukam, mitut seletavat tunnust ja juhusliku mõjuna metsamassiivi hõlmav lineaarne segamudel sellele, et paleti võtmise kõrgus on paljunemisedukuse määramisel statistiliselt oluline tegur – kõrguse suurenedes paljunemisedukus vähenes ($p = 0.01$). Lisaks mõjutas paljunemisedukust ka aasta (2023. a oli edukus kõrgem kui 2022. a, $p < 0.002$). Siiski oli ka selle mitmetunnuselise mudeli kirjeldusvõime tagasihoidlik (tinglik $R^2 = 0.08$), viidates sellele, et enamik variatsioonist paljunemisedukuses jäi seletamata. Eelnevast saame järeldada, et **majandamisotsuseks vajaliku teadmise (kuuse-kooreüraski asustustihedus ja paljunemisedukus) saab ka puu alaosast, ilma selleks puud langetamata.**



Joonis 16A ja 16B. Kuuse-kooreüraski paljunemisedukus sõltuvalt proovi võtmise kõrgusest. Y-teljel vasakul joonisel absoluutne kõrgus proovi võtmise asukohas (m), paremal joonisel suhteline kõrgus (% puu kogukõrgusest). X-teljel on mõlemal joonisel paljunemisedukus. „Aasta“ viitab paleti võtmise aastale, kogutud andmed iseloomustavad eelneval kalendriaastal aset leidnud üraseki aktiivsuseperioodi.

Kokku tuvastati koorepalettidel 6 taksonit ürasekite looduslikke vaenlasi (röövputukaid ja parasitoidide). Röövputukatest oli arvukaim perekond ürasekikärbes (*Medetera* spp.), keda leiti ühe koorepaleti kohta keskmiselt $1 \pm 1,6$ isendit. Teisi röövputukaid, nagu *Corticus* sp., sipelgmardikaid ja koore-lühitiiba (*Nudobius lentus*), esines vähearvukalt, kokku leiti vastavalt 11, 5 ja 2 isendit. Parasitoididest leiti kõige arvukamalt juuluklaste sugukonna (*Braconidae*) esindajaid – keskmiselt $3 \pm 5,5$ isendit paleti kohta. Koos teiste, täpsemalt määratlemata liiki parasitoididega oli keskmine parasitoidide arv paleti kohta $4 \pm 5,9$. **Andmetest nähtub, et üraseki asustustihedus uuringuperioodil ($5,4 \pm 4,1$) oli sarnases suurusjärgus looduslike vaenlaste keskmise arvukusega samal pinnaühikul, mis viitab viimaste olulisele mõjule üraseki arvukuse piiramisel.**

Kuuse-kooreüraski **looduslike vaenlaste** arvukuse jaotust puutüvel kirjeldab paremini teist järku polünoomiaalne seos ehk ruutfunktsioon ($R^2 = 0.024$; $p < 0.001$), mille järgi on looduslike vaenlaste arvukus kõrgeim tüve keskosas) (joonis 17).



Joonis 17. Röövputukate ja parasitoidide arvukuse muutumine kuuse tüvel vastavalt suhtelisele kõrgusele eri aastatel; kujutatud on ka polünoomiaalse (ruutfunktsiooniline) seose graafik. „Aasta“ viitab paleti võtmise aastale.

Ka negatiivsel binoomjaotusel põhineva segamudeli kohaselt on röövputukate ja parasitoidide arvukuse ning proovi võtmise suhtelise kõrguse vahel oluline paraboolne seos ($p < 0.001$), mis viitab sellele, et **vaenlaste arvukus oli suurim puutüve keskosas**. Diameetril oli vaenlaste arvukusele positiivne mõju ($p < 0.001$). 2023. a oli ka üldine looduslike vaenlaste arvukus kõrgem kui 2022. a ($p = 0.034$).

Looduslike vaenlasi analüüsiti ka eraldi rühmadena. **Röövputukate** ja kõrguse vahelist suhet iseloomustas paremini lineaarne kui ruutfunktsiooniline seos. Negatiivsel binoomjaotusel põhineva segamudeli kohaselt mõjutasid röövputukate arvukust paleti võtmise kõrgus ($p < 0.001$, **kõrguse suurenemisel negatiivne mõju**), aasta (2022. a arvukus kõrgem, $p = 0.01$) ning puu diameetri ja paleti kõrguse koosmõju ($p < 0.001$). **Parasitoidide** arvukust mõjutasid paleti võtmise kõrgus (**arvukus kõrgeim tüve keskosas**, $p < 0.001$), aasta (2023. a arvukus kõrgem, $p = 0.02$) ning puu kogukõrgus ($p = 0.001$, kõrguse suurenemisel positiivne mõju). Varasemad uuringud on leidnud, et võrreldes röövputukatega suureneb parasitoidide arvukus just üraskite masspaljunemise lõppfaasis.²³

Teistest üraskiliikidest esines kõige sagedamini harilikku niineüraskit, kelle tegutsemisjälgi (peamiselt talvituvate vastsete näol) esines 51%-l palettidest (81%-l puudest). Siiski ei saa neid tulemusi laiendada kogu kuuse-kooreüraski aktiivsuseperioodi peale, kuna hariliku niineüraski lendlus toimub juulis-augustis, mis eeldatavasti kevadel kooreüraskite poolt asustatud puid ei mõjuta (vt ka peatükk 7.3.4.3). **Harkkidase kooreüraski asustus esines 2023. a 17%-l proovidest (29%-l puudest).** Harvemini leiti kääbusüraskeid, harilikku võraüraskit ning turjas-niineüraskit – vastavalt 9%-l, 3%-l ja 0,3%-l palettidest. **Eelnev viitab sellele, et erinevad üraskiliigid asustavad peremeespuud sageli koos, et selle kaitsevõimet ületada.**

Harkkidase kooreüraski paljunemisedukus oli kuuse-kooreüraski II põlvkonna poolt 2023. a asustatud puudel samuti väga madal – keskmine elujõuliste emaste järglaste arv emase vanamardika kohta oli 0,15. Uuritud puude kõige alumisel veerandil harkkidase kooreüraski asustust ei ilmnenud, mistõttu ei saa selle liigi kahjustusi jalalseisvalt puult ilma langetamata edukalt tuvastada.

7.3.5 Harkkidase kooreüraski II põlvkonna vaatlus

2024. a oktoobri alguses läbi viidud välitööil ilmnes, et noormardikate poolt juulis asustatud puudel oli välja arenenud harkkidase kooreüraski teine põlvkond ning valdavalt olid uue põlvkonna noormardikad välitöö ajaks peremeespuult juba lahkunud. Palettide analüüsist selgus, et puude asustustihedus oli kõrge: keskmiselt oli $4,0 \pm 0,3$ sisenemisava, $7,7 \pm 0,5$ emakäiku ning $15,1 \pm 2,2$ väljumisava 1 dm² kohta. Paljunemisedukus oli $1,1 \pm 0,2$ – mõõdukas tulemus, mis on siiski piisav elujõulise populatsiooni säilitamiseks samas piirkonnas. Harkkidase kooreüraski asustus tuvastati tüve kõigis osades. Talveks peremeespuult lahkumine viitab sellele, et noormardikad siirdusid maapinda talvituma või läksid uutele puudele küpsussööma teostama.

Kraadpäevade analüüs (temperatuurilävendiga 6,3 °C) näitas statistiliselt usaldusväärset kasvavat trendi ($p < 0,001$, $R^2 = 0,29$), kusjuures kraadpäevade arv suurenes keskmiselt 3,7 ühiku võrra aastas. Vaadeldud perioodi (1945-2024) kõrgeimad kraadpäevade summad esinesid aastatel 2018 ja 2024 (vastavalt 1667 ja 1764 kraadpäeva). Perioodil 1945-1999 oli keskmine temperatuurisumma $1251,5 \pm 17,4$ kraadpäeva, perioodil 2000-2024 aga $1442,8 \pm 27,9$ kraadpäeva. Kuna harkkidase kooreüraski kohta teadmisi napib, ei ole täpselt kirjeldatud kraadpäevade arv ühe põlvkonna täielikuks välja arenemiseks. Mõningate uuringute järgi võib areng olla kuuse-kooreüraskiga sarnane³¹ või teatud juhul isegi kiirem.¹³ Meie vaatlustele tuginedes jääb kahe põlvkonna täieliku väljaarenemise lävend alla 2024. a kraadpäevade summa (1764).

Eelnevast saab järeldada, et soodsate ilmastikutingimuste korral võib harkkidasel kooreüraskil täielikult välja areneda kaks põlvkonda aastas; samuti ei pruugi liik talvituda arengukohal koore all, nagu on olnud senine teadmine. Kraadpäevade analüüs ilmestab selgelt liigile sobiva sigimisperioodi pikenemist.

7.4 KOKKUVÕTE

Käesoleva uuringu peamiseks eesmärgiks oli hinnata talvise SR otstarbekust kuuse-kooreüraski kahjustuste ohjeldamisel võrreldes tavapärase kevadise SR ja puistu looduslikule arengule jätmisega; täiendavaks eesmärgiks oli selgitada kuuse koore all talvituvate üraskite ellujäämust ning võrrelda harvesteriga ja mootorsaaga langetatud püünispuude efektiivsust üraskite püüdmisel. Uuringu vajadus tulenes sellest, et muutunud kliimaoludes ei pruugi senised teadaolevad tõrjevõtted enam oodatud tulemusi anda.

Projekt keskendus väikesemahulisele SR-le keskealistes ja valmivates majandusmetsa kuusikutes, kus ühe aktiivsuseperioodi jooksul oli esinenud kaks kuuse-kooreüraski põlvkonda ning kahjustused esinesid väikeste kompaktsete gruppidenä. Nende kogupindala ühel töötalusläl oli keskmiselt 0,2 ha.

Käesoleva uuringu tulemusi rakendades on oluline arvestada konteksti. **Aastal 2022, mil toimus alade**

³¹ Holuša, J., Lukášová, K. and Lubojacký, J., 2012. Comparison of seasonal flight activity of *Ips typographus* and *Ips duplicatus*. *Scientia agriculturae bohémica*, 43(3), pp.109-115.

väljavalik, oli kuuse-kooreüraski epideemia haripunkt ning järgneval aastal, mil teostati SR-d, toimus üldine üraseki arvukuse langus. Seda toetavad nii Keskkonnaameti metsakaitse-ekspertiiside andmed, Keskkonnaagentuuri seireandmed, uuringu käigus kogutud üraseki asustustiheduse näitajad kui ka röövputukate-parasitoidide vahekord ja arvukus talvel langetatud puudel. Epideemia kollapsi mõjutavad peamiselt sigimismaterjali kättesaadavus, ilmastik, looduslike vaenlaste arvukus, liigisisene konkurents ning maastikulised näitajad – majandusmetsas ka SR-d²². Kokkuvõtvalt ei saa eeldada, et täiesti samasugused tulemused ilmneksid ka üraseki väiksema arvukuse korral, tõenäoliselt oleks varieeruvus erinevate töötluste mõju osas suurem.

SR-te tõhusust hinnati kolme erineva meetodiga: feromoonpüüniste seireandmed, kaugseire- ja GIS analüüs ning proovitükkide analüüs. Neist viimane oli kõige suurema andmehulgaga ja informatiivseim.

Feromoonpüüniste katse ei tuvastanud, et SR oleks oluliselt vähendanud kuuse-kooreüraski arvukust, samas avaldus mudelites tugev töötlusala mõju. Kaugseire- ja GIS-analüüs kinnitas, et raie mõju ei olnud kogu töötlusala tasandil märkimisväärne, kuid üksiku kolde või häilu tasandil vähendas kevadine SR kahjustuste laienemise tõenäosust ligi poole võrra võrreldes kontrollaladega. Kõige kaalukam, proovitükkide analüüs näitas samuti, et **kevadine püünispuudega SR vähendas ürasekikahjustuse ilmnemise tõenäosust proovitükil, ent talvine SR ei erinenud kontrollist;** välja arvatud 2024. a kevadisel vaatlusel, mil üraseki käitumist mõjutasid juba ka projekti kestel ilmnunud metsahäiringud.

Kõigi kolme meetodiga ilmnas, et **metsamassiivi või töötlusala mõju oli suurem kui raie mõju**, mis viitab sellele, et kohalikud tingimused ja epideemia lõppfaas määrasid kahjustuste kulgu rohkem kui raie ise; ehk et sama metsamassiivi eri töötluste tulemused olid omavahel sarnasemad kui töötluste tulemused erinevate massiivide vahel. **Seetõttu võib kevadist SR-t püünispuudega pidada küll tõhusamaks talvisest või puistu looduslikule arengule jätmisest, kuid selle üldine mõju oli tagasihoidlik** ja sõltus tugevalt muudest teguritest (metsamassiivi omadused, vaatlemise skaala, ilmastik, puuliikide mitmekesisus jm). Ka mitmed rahvusvahelised teadustööd on seadnud kahtluse alla tavapäraste tõrjevõtete tõhususe ning leidnud, et SR-st suurema mõjuga võivad olla pigem maastiku-ülesed tegurid või kliimamuutuste mõju^{32;33;34;35;36;37}.

Kuuse-kooreüraski teise põlvkonna asustusega puude osakaal kõigist kahjustustest oli aastatel 2022 ja 2023 tagasihoidlik (vastavalt 20,4% ja 7,6%) ning **koore all talvituvate ürasekite ellujäämus äärmiselt kesine** (0,1 elujõulist emast noormardikat ühe emase vanamardika kohta) – see selgitab talvise SR mõju puudumist. Kuuse-kooreüraski asustustihedus oli puu kesk- ja alaosas sarnane, mistõttu hinnangu puu seisundi kohta saab anda seda langetamata. Feromoonpüüniste katsest ilmes, et kuigi kuuse-kooreüraskil on kevadise ja suvise lendluse haripunktid, **toimub lendlus kogu aktiivsuseperioodi jooksul** (sh sõsarhauete rajamine) ning püünistes on pidevalt erinevas vanuses mardikaid. Ka selle tõttu on otstarbekaim aeg kahjustuse kontrollimiseks kevadel, mil ürasekid väljuvad maapinnast ja lendluse dünaamika on kõige selgem.

Harvesteriga ja mootorsaaga langetatud püünispuude katsest ilmnas, et **langetamise meetod ei mõjutanud kuuse-kooreüraski asustustihedust püünispuudel.** Erinevused avaldusid kaasnevate liikide osas: harvesteriga langetatud püünispuudel esines oluliselt rohkem turjas-niineüraski ja kääbusüraskite isendeid, hariliku võraüraski arvukus oli kõrgem mootorsaaga langetatud püünispuudel. Siiski ei oma need liigid olulist tähtsust metsakahjurina.

Proovitükkidel asustasid peremeespuud koos kuuse-kooreüraskiga sageli ka harilik niineürask ja harkkidane kooreürask; viimasel tuvastati projekti käigus ka täielik kahe põlvkonna välja arenemine 2024. aasta aktiivsuseperioodi jooksul. Kraadpäevade analüüs näitas, et **80-aastase vaatlusperioodi jooksul on nii kuuse-kooreüraski kui ka harkkidase kooreüraski aktiivsuseperiood üha pikenenud**, pakkudes järjest soodsamaid tingimusi sigimiseks.

Projekti raames kogutud teadmisi arvesse võttes on koostatud metsakaitse abinõud, mis on esitatud aruande lisas nr 7.

³² Dobor, L., Hlásny, T., Rammer, W., Zimová, S., Barka, I. and Seidl, R., 2020. Spatial configuration matters when removing windfelled trees to manage bark beetle disturbances in Central European forest landscapes. *Journal of Environmental Management*, 254, p.109792.

³³ For, C.G. and Balog, A., 2021. The effects of the management strategies on spruce bark beetles populations (*Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus*), in Apuseni Natural Park, Romania. *Forests*, 12(6), p.760.

³⁴ Hlásny, T., König, L., Krokene, P., Lindner, M., Montagné-Huck, C., Müller, J., Qin, H., Raffa, K.F., Schelhaas, M.J., Svoboda, M. and Viiri, H., 2021. Bark beetle outbreaks in Europe: state of knowledge and ways forward for management. *Current Forestry Reports*, 7, pp.138-165.

³⁵ Kulakowski, D., 2016. Managing bark beetle outbreaks (*Ips typographus*, *Dendroctonus* spp.) in conservation areas in the 21st century.

³⁶ Seidl, R., Müller, J., Hothorn, T., Bässler, C., Heinrich, M. and Kautz, M., 2016. Small beetle, large-scale drivers: how regional and landscape factors affect outbreaks of the European spruce bark beetle. *Journal of Applied Ecology*, 53(2), pp.530-540.

³⁷ Vanická, H., Holuša, J., Resnerová, K., Ferenčík, J., Potterf, M., Véle, A. and Grodzki, W., 2020. Interventions have limited effects on the population dynamics of *Ips typographus* and its natural enemies in the Western Carpathians (Central Europe). *Forest Ecology and Management*, 470, p.118209.

7.5 EDASISED UURIMISSUUNAD

- Käesolev uuring andis teavet teiste ürasekiliide olulisuse kohta. Senised teadmised ei ole muutuva kliima kontekstis enam ajakohased ning hemiborealse metsavööndi kohta värskeid uuringuid napib. Olulistest kaasnevatest liikidest väärivad esiletõstmist harkkidane kooreürask, harilik niineürask ja puiduüraskid.
- Esmalt on otstarbekas tähelepanu pöörata **harkkidasele kooreüraskile**, kes on võimeline ründama elujõulisi puid ka suuremal pindalal. Mitmed kahjustuskolded on 2025. seire käigus juba teada. Vajalik on kindlaks teha liigi talvitumispai (maas vs puus), põlvkondlus ja täpne osakaal kõigist ürasekahjustustest. Et saada teaduslikult usaldusväärset kinnitust II põlvkonna regulaarses esinemises, on vajalik mitmeaastane seire (feromoonpüünised ja paikvaatlused).
- 2025. a seirati harkkidast kooreüraskit ja puiduüraskeid pilootprojektina ning saadi esialgsed teadmised. **Püüniste sisu täpne analüüs (puiduüraski liigid, ürasekite toon, sügavam kirjanduse ülevaade ja kraadpäevade analüüs) käesoleva projekti hulka ei kuulu ning vajab eraldi uuringut.**
- Täiendavalt tuleks uurida kuuse-kooreüraski ja harkkidase kooreüraski valmikutel esinevaid seente koosluseid, et välja selgitada, kas tuvastatud kooslused võiksid tulevikus omada tähtsust ürasekite biotõrjel.
- Korrata jalalseisvatel kuuskedel talvituvate ürasekite ellujäämuse katset, et tuvastada, kas pikema aegrea ja erineva kraadpäevade summade korral on ka erinevusi ürasekite talvitumisedukuses.

8. PROJEKTIGA HAAKUVAD DOKTORI- JA MAGISTRITÖÖD

Projektiga haakub projektijuhi Kristjan Ait koostatav doktoritöö teemal „Kuuse-kooreüraski häiringujärgne levikudünaamika kaitsealadel ja nende läheduses“. Kristjan Ait on Eesti Maaülikooli metsanduse õppekava doktorant ning käesoleva projekti tulemused on doktoritöö oluliseks sisendiks.

9. PROJEKTI RAAMES AVALDATUD PUBLIKATSIOONID:

Projekti tulemuste põhjal on avaldatud kaks teadusartiklit:

„Bivoltinism in the northern bark beetle *Ips duplicatus* (Sahlberg, 1836) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) observed in Estonia“; Ait, K., Õunap, H., Vodde, F., Metslaid, M. (2025), ajakirjas *EPPO Bulletin*. 55(2);264-272 (EPPO on Euroopa ja Vahemeremaade taimekaitseorganisatsioon)

„Trap log felling methods drive bark beetle communities without affecting *Ips typographus* (L.) densities on Norway spruce“; Ait, K., Palm-Hellennurm, K., Õunap, H., Kaart, T., Vodde, F., Orumaa, A., Metslaid, M. (2025), ajakirjas *European Journal of Forest Research*. 144(3);683-689

Tulemuste põhjal on valmimas käsikiri: „Sanitation felling strategies against *Ips typographus* during an epidemic: A case study in Norway spruce stands of the European hemiboreal forests“. Ait, K., Palm-Hellennurm, K., Õunap, H., Kaart, T., Vodde, F., Orumaa, A., Metslaid, M.

Samuti on avaldatud kaks populaarteaduslikku artiklit ajakirjas Eesti Loodus:

„Kuidas kohanevad ürasekid muutuva kliimaga“; Ait, K., Õunap, H. (2024)

„Ürasekid puus ehk kas talvine sanitaarraie on otstarbekas“; Ait, K., Õunap, H., Palm-Hellennurm, K., Vodde, F., Orumaa, A. (2025)

10. Projekti juht: Kristjan Ait

Allkiri: allkirjastatud digitaalselt

Kuupäev: 17.09.2025

**11. Taotleja esindaja kinnitus aruande
õigsuse kohta :** Kalle Olli; teadusprorektor

Allkiri: allkirjastatud
digitaalselt

Kuupäev: 18.09.2025