

PROJEKTI RAHASTAMISTAOTLUS

1. UURIMISTEEMA NIMETUS: Puude suremuse ja tagajärgede ennustamine

2. PROJEKTI NIMETUS: Puude suremuse ja tagajärgede ennustamine

3. PROJEKTI KESTUS

Algus: 01.01.2026

Lõpp: 31.12.2028

4. PROJEKTI TAOTLEJA: EESTI MAAÜLIKOOL

Telefon: 7313001

Aadress: KREUTZWALDI 1, TARTU

Registrikood: 74001086

Panga rekvisiidid: EE021010102000308001

5. PROJEKTI JUHT:

ANDRES KIVISTE
(Ees- ja perekonnanimi)

PROFESSOR, PHD
(Amet, teaduskraad)

6. PROJEKTI PÕHITÄITJAD FINANTSEERIMISPERIOODI VÄTEL
(Põhitäitjate CV-d, sh. kuni 10 valdkonnaga seotud publikatsiooni loetelu esitada Lisas 1)

Projekti põhitäitjad:

Ees- ja perekonnanimi	Teaduskraad	Ametikoht	Koormus projektis, kuudes
1. Andres Kiviste	PhD	professor	36 kuud
2. Allan Sims	PhD	kaasprofessor	6 kuud
3. Eneli Põldveer	PhD	teadur	6 kuud
4. Mait Lang	PhD	kaasprofessor	24 kuud
5. Allar Padari	MSc	peaspetsialist	12 kuud
6. Toomas Tarmu	MSc	peaspetsialist	24 kuud
7. Randel Rainer Lille	MSc	nooremteadur	24 kuud
Kokku:			132

Projektiga seotud abitööjõud:

Abitööjõud proovitükkide mõõtmisel			
Kokku			

7. TAOTLETAV FINANTSEERIMINE (ilma käibemaksuta) 256 000 eurot

Võimalike täiendavate finantseerimisallikate loetelu:

(finantseerimisallika nimetus)

(summa; eur)

KIK projekt "Metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustiku kordusmõõtmine 2026-2027".
Projekti summa koos omafinantseerimisega 158 067,98 EUR

Detailne projekti eelarve on toodud Lisas 2.

8. PROJEKTI PÕHJENDUS, EESMÄRGID, METOODIKA, INNOVAATILISUS JA RAKENDATAVUS, OODATAVAD TULEMUSED (kuni 3 lk)

8.1. Projekti põhjendus:

Puude suremus on metsadünaamika keskne protsess, millel on otsene mõju puistu struktuurile, tagavarale, süsinikuringele ja elurikkusele. Teaduskirjanduses eristatakse nelja peamist suremuse aspekti (Köster jt 2009, Laarmann jt 2009, Sims jt 2014, Pretzsch jt 2023): 1) konkurentsist lähtuv, kus piiratud ressursside (valgus, vesi, toitained) tõttu puud järk-järgult surevad, 2) patogeenidest põhjustatud suremus, 3) looduslike häiringute (tormid, põud, tulekahjud jne) tagajärjel valdavalt grupiti suremus, 4) inimtekkelistest mõjudest (majandamine, elupaigamuutused) tingitud suremus. Nende komponentide proportsioon muutub ajas ja sõltub nii puistu tihedusest, liigikooslusest kui ka kasvukohast, näiteks tihedates sh majandamata puistutes kasvab konkurentsipõhise suremuse osakaal, samas kui madala tihedusega või looduslike häiringute tingimustes domineerib konkurentsist sõltumatu suremus. Selline eristus on oluline, et teha usaldusväärseid kasvuprognoose ning langetada arukaid majandus- ja kaitseotsuseid.

Eesti Maaülikoolis alustati 1995. aastal Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustiku (KKPRT) rajamisega ning käesolevaks hetkeks on rajatud üle 1000 püsiproovitüki erineva majandamisrežiimiga metsades ning samade proovitükkide kordusmõõtmised toimuvad iga viie aasta järel. Nende proovitükkide mõõtmisandmete põhjal on metsateadlased loonud kaasaegseid mudeleid elusate puude juurdekasvu ja selle muutuste hindamiseks (nt Arumäe ja Lang 2016, Nigul jt 2021, Padari jt 2023). Praegu puudub Eestis terviklik ja kaasaegne puude väljalangemise mudel, mis oleks kooskõlas 30-aastase KKPRT andmestikuga ning võimaldaks ühendada üksikpuu tasandi suremusprotsessid puistu ja maastiku tasandi dünaamikaga. See mudel on vältimatult vajalik Eesti metsade säiliva puistu juurdekasvu prognoosimiseks. Puistu juurdekasv kirjeldab kõigi nende puude kasvu, mis olid perioodi alguses elus. Kui mõni puu sellel perioodil sureb, ei lahutata tema mahtu juurdekasvust maha. Kui juurdekasvust lahutada surnud puude maht, saame puistu tagavara muudu. See tagavara muut on sisuliselt säiliva puistu juurdekasv ning seda saab arvutada kahe inventeerimisajahetke tagavara vahena: tagavara perioodi lõpus miinus tagavara perioodi alguses (Padari jt 2023).

Lisaks väljalangevuse määrale on oluline teada, millised puud ja mis põhjusel puistust välja langevad. KKPRT andmete põhjal tehtud varasemad pilootuuringud on kaardistanud peamised puu suremise põhjused ning tuvastanud, et väiksema suhtelise mõõtmega puud surevad sagedamini konkurentsi tõttu, samas kui suuremad puud on vastuvõtlikumad muudele põhjustele (Laarmann jt 2009, Sims jt 2014, Maleki ja Kiviste 2016). Ruumiline mõõde on samuti oluline. Üksikpuu suremine loob enamasti vaid lokaalse juurdekasvuruumi, samas kui suuremahuline kasvuruumi vabanemine ilmneb alles siis, kui sureb rohkem puid. Seetõttu ei piisa hektaripõhistest keskmistest näitajatest, vaja on arvestada puude ruumilist paiknemist puistus ja naaberpuude omavahelist struktuuri, mis määravad, kas suremuse mõju jääb lokaalseks või mõjutab terve puistu dünaamikat. Viimastel aastatel läbi viidud puistute struktuuriindeksite uuringud, mis põhinevad puude paiknemisel puistus, näitavad, et surnud puude grupilisus ning sellega kaasnevad muutused mõjutavad alles jäävate eluspuude kasvu ning puistu tagavara muutumist (Pöldveer jt 2020, 2021). See toob välja ka praktilise vajaduse, et suremuse analüüs ja modelleerimine peavad arvestama üksikpuu tasemel tunnuseid (nt suhteline diameeter, viimase perioodi kasv) kui ka puude ruumilist paiknemist puistus, et eristada konkurentsipõhist suremust teiste põhjuste tõttu suremusest ja prognoosida, millal ning kuhu kasvuruum tegelikult vabaneb.

Samuti on metsad erineva inim mõjuga: on majandusmetsi, kus hooldusraied on vähendanud looduslikku konkurentsi ja suunanud ressursse kasvama jäetud puudele ning on kaitsealuseid metsi, kuhu kuuluvad erineva looduslikkuse tasemega metsad, mis tähendab, et nendel aladel kujunevad välja mitmesugused (sageli vägagi erinevad) puude suremuse mustrid, seda näitavad nii Eestis (Lõhmus jt 2005, Laarmann jt 2009, Lõhmus ja Kraut 2010, Pöldveer jt 2020) kui ka naaberriikides (Siitonen jt 2000, Kunttu jt 2015, Jonsson jt 2016, Jansons jt 2025) tehtud uuringud. Saadud tulemused näitavad, et suremuse- ja väljalangevuse modelleerimisel tuleb mudelitesse kaasata ka

metsa majandamisrežiim või looduslikkuse tase, et eristada konkurentsist sõltuvaid ja sõltumatuid suremusprotsesse ning integreerida need otsustamismudelitesse.

Usaldusväärne ülevaade surnud puidu hulgast ja dünaamikast eeldab ruumiliselt ulatuslikku, korduvat, kiiret ja objektiivset mõõtmist, mida võimaldab kaugseire - lennukilt tehtav laser-skaneerimine (ALS) ja satelliidipõhised aegread. Eestis on kaugseiret juba edukalt rakendatud puistu tunnuste (nt kõrgus, tagavara, liigilise koosseisu, võrastiku katvuse ja harvendusvajaduse) kaardistamiseks ja seireks (Arumäe ja Lang (2016, 2018), Lang ja Arumäe 2018, Omoniyi ja Sims 2024), mis loob tugeva lähtekoha meetodika laiendamiseks surnud puidu (püstiseisev ja lamapuit) tuvastamisele. Soomes on hiljutine ulatuslik seire näidanud suremuse märgatavat kasvu 2017–2023 ning demonstreerinud, kuidas kõrglahutusega aeropildid ja automaatne pildianalüüs avavad uue võimaluse kiireks ja operatiivseks hindamiseks (Junttila jt 2024). Selline lähenemine on otseselt ülekantav Eesti tingimustele. ALSi ja satelliitandmete integreerimine võimaldab regulaarset ja kulutõhusat surnud puidu kaardistamist, sidudes selle puistu struktuuri ja looduslikkuse näitajatega, et parandada suremus- ja väljalangevusmudeleid ning samuti täpsustada süsiniku- ja elurikkuse hinnanguid.

8.2. Projekti eesmärgid:

2021. aastal loodi RMK tellimisel ja finantseerimisel puistu täisjuurdekasvu mudel. Seda mudelit ei saa kasutada metsa kasvukäigu pikaajaliseks prognoosimiseks ilma puude väljalangemise mudelita. Seega on käesoleva projekti raames koostatav puude väljalangemise mudel oluline metsade kasvu, tagavara, süsinikusidumise ja potentsiaalse puiduressursi saadavuse pikaajaliseks prognoosimiseks. Projekti eesmärk on välja töötada terviklik ja mitmetasemeline puude suremust kirjeldav mudelite süsteem, mis hõlmab puu-, puistu- ja maastikutasandit ning võimaldab paremini mõista ja prognoosida metsade dünaamikat, suremust ja struktuuri pikaajalise arengu kontekstis. Oluline on rõhutada, et projekti põhieesmärkidesse panustavad otseselt just KKPRT pikaajalised andmerekad ning kaitsealade proovitükkide kordusmõõtmised, mis võimaldavad kalibreerida kasvukohapõhised suremusmudelid nii majandatud kui majandamata metsade tingimustes.

Uuringu detailsemad eesmärgid:

- Modelleerida üksikpuude väljalangemist arvestades puude suremise põhjuseid, analüüsides nende seoseid detailsete puistustruktuuri andmetega erineva inimõjuga puistutes (alates tugeva inimõjuga kuni kõrge looduslikkusega puistuteni). Sellel eesmärgil on keskne roll konkurentsist sõltuva ja sõltumatu suremuse eristamisel, mis on vajalik tagamaks puude väljalangemise modelleerimise rakendatavust nii metsanduses kui looduskaitstes.
- Modelleerida puistu rinnaspindala vähenemine puude väljalangevuse tõttu ja puistu isehõrenemise piir. Puistu tasemel isehõrenemise piirmudeli kaasamine võimaldab siduda üksikpuu suremise laiemate struktuurimuutustega ning on vajalik puude tagavara dünaamika usaldusväärseks prognoosimiseks.
- Töötada välja kaugseirepõhine meetodika surnud puidu (püsti seisva ja lamapuidu) mahu ning võrastiku läbipaistvuse muutuse kaardistamiseks ja ajaliseks jälgimiseks. Kaugseiret kasutatakse projekti eesmärkides eeskätt puistu- ja pikslipõhiste tunnuste tuletamiseks (nt võrastiku katvus, kõrguse kvantiilid, vegetatsiooniindeksid), mis võimaldavad laiendada üksikpuu ja puistu mudelite tulemusi maastiku tasemele. Üksikpuu tasandi kaugseirel (nt ALS) põhinevat täielikku tuvastust ei käsitleta projektis, kuna see ei ole praeguste andmete tingimustes realistlik ega vajalik suremusmudelite praktiliseks rakendamiseks.
- Koostada maastikutasemel puude väljalangevuse meetodika ja prognoosimudel. Üldistada üksikpuu ja puistu tulemused maastiku tasemele metsade piirkondlike ja üleriigiliste muutuste hindamiseks.
- Modelleerida puude suremuse mõju puistu tagavara dünaamikale ja arvutada puistu tagavara maksimumi saavutamise vanus. Tagavara maksimumi ja selle järgse vähenemise modelleerimine võimaldab hinnata metsa süsiniku sidumise pikaajalisi mustreid ning toetab RMK otsuseid eri majandus- ja kaitseotsuste stsenaariumide võrdlemisel.
- Prognoosida kaitse all olevate metsade pikaajalist arengut, hindamaks konkurentsi mõju taastumise kiirust pärast majandamise lõppu ning puistu struktuuri arengut majandamata metsades.

8.3. Töö metoodika ja kavandatud tegevused:

Uurimistöö ja selle metoodika jaguneb kolmeks tööpaketiks:

1. Andmeanalüüs ja modelleerimine.
2. Välitööd KKPRT andmestiku täiendamiseks käesoleva projekti jaoks vajalike lisaandmetega.
3. Kaugseireandmete integreerimine ja aegridade analüüs.

Töopakett 1 - Andmete analüüsimine ja modelleerimine

Antud uurimuses on aluseks KKPRT pikaajalised kuni 30-aastased andmerekad, kus igal võrgustikku kuuluval proovitükil (ringproovitükk raadiusega kuni 30 m) on kaardistatud iga puu asukoht, määratud puuliik, rinne, mõõdetud rinnasdiameeter, mudelpuudel kõrgus, kirjeldatud rikked ja puu suremisel märgitud tema võimalikud suremise põhjused ning seisukord. Kõikidel proovitükkidel asuvad lamapuud on täies pikkuses mõõdetud: kaardistatud asukoht ja paiknemine, määratud puuliik, mõõdetud mõlema otsa diameeter ja laguaste (Kiviste jt 2015). Samuti on igal proovitükil läbiviidud puistu looduslikkuse hindamine Eesti Metsakaitsealade Võrgustiku projekti käigus väljatöötatud metoodika alusel (Viilma jt 2001). Iga proovitükki mõõdetakse süstemaatiliselt viieaastaste intervallidega.

KKPRT kordusmõõtmiste andmestikul koostatakse üksikpuu suremise tõenäosuse logistilised prognoosimudelid. Suremust mõjutavate faktoritena (funktsiooni argumentidena) analüüsitakse nii subjektpuu enese andmeid (puu liik, diameeter, kõrgus, vigastused), subjektpuud vahetult ümbritsevate puude andmeid (konkurents- ja struktuuriindekseid) kui ka kogu puistu andmeid (kasvukoht, kõrgusindeks, rinnaspindala, täius, seisund, majandamisrežiim). Statistiliselt oluliseks osutuvate faktorite valikul koostatakse erineva keerulisuse astmega prognoosimudelid, mida oleks võimalik praktikas rakendada nii puukaupa andmete kui ka vaid puistu takseerkirjelduste andmete olemasolul. Puu suremise tõenäosuse mudeli lõppvariandina kalibreeritakse see statistilise metsainventeerimise andmestikul. Lisaks arvestatakse mudelite koostamisel eraldi konkurentsist sõltuvat ja sõltumatut suremust, mis on vajalik suremusprotsesside õigeks eristamiseks erinevates metsakasvukohatüüpides ja looduslikkuse tasemetel.

Puistu kriitilise piiriheduse mudeli loomiseks KKPRT andmestikus mõõtmisandmeid paraku on napilt, sest enamuse KKPRT proovitükke on rajatud RMK hooldatud metsadesse. Probleemi leevendusena on kavas tugineda prof. Artur Nilsoni uurimustele ning kvantiilregressiooni meetodit piirsituatsiooni sõltuvuste modelleerimiseks. Piiriheduse mudelit kasutatakse juba olemasoleva puistu rinnaspindala juurdekasvumudeli täiendamiseks.

Mudelite parameetrite hindamiseks, võrdlemiseks ja usaldatavuse kontrolliks kasutatakse metsateaduses hetkel üldtunnustatud vabavara R andmeanalüüsi ja statistilise modelleerimise pakette.

Töopakett 2 - Välitööd KKPRT andmestiku täiendamiseks käesoleva projekti jaoks vajalike lisaandmetega.

Kuna oluline faktor puude väljalangemisel puistust ja suremise põhjustel on puistu majandamisrežiim, siis on vaja vastavate mudelite loomiseks proovitükkide kordusmõõtmiste andmeid erineva majandusintensiivsusega metsades sh kaitsealustes metsades, mille osatähtsus on viimastel aastakümnetel arvestatavalt suurenenud.

- Uuringus kasutatavaid majandusmetsade proovitükke (KKPRT andmestik) on mõõdetud ja jätkuvalt mõõdetakse puu ja puistu tasemel. Järgneval kahel aastal rahastab nende andmete kogumist Keskkonnainvesteeringute Keskus. Käesolev projekt ei dubleeri neid töid ning katab vaid need mõõtmised, mis on vajalikud täiendava kasvukohalise varieeruvuse ja kõrge looduslikkusega metsade komponendi kaasamiseks suremusmudelitesse.
- Käesoleva projekti raames taotletakse rahastust kaitsealustes metsades 100 proovitüki (mida viimati mõõdeti aastatel 2015–2016) kordusmõõtmiseks, et mõõta metsa loodusliku arengu

käigus toimunud muutusi puude ja puistu tasemel, sealhulgas puude suremust ja selle põhjuseid. Need range kaitse alused proovitükid moodustavad projekti põhitegevuste tuuma ning on mudeli kalibreerimiseks hädavajalikud, kuna võimaldavad eristada majandamata ja majandatud puistute suremusmustreid.

Tööpakett 3 - Kaugseireandmete integreerimine ja aegridade analüüs.

Püsiproovitükkide ajalisi ja ruumilisi andmed seotakse kaugseire andmetega, mis võimaldab laiendada lokaalsete proovitükkide dünaamika järeltõlget regionaalsele tasandile. Selleks saab kasutada puistustruktuuri iseloomustamiseks ja dünaamika jälgimiseks kaugseire andmetest LIDARi andmeid ning 10-20 m ruumilahutusega multispektraalseid satelliidipilte (nt Sentinel-2 MSI, Landsat-8/9 OLI) taimkatte seisundi ja ajaliste muutuste jälgimiseks. Lahendamist vajav probleem võimaliku praktilise rakenduse jaoks on erinevate andmeallikate ajaline kokku sobitamine, sest nii satelliidipiltide kui ka aerolidari andmete tekkimise tõenäosused sõltuvad paljudest teguritest, mis pole hilisema andmekasutaja kontrolli all.

Analüüsi käigus arendatakse välja meetodid, mis seovad puude individuaalsed ja puistutasandi suremusnäitajad otse või kaudselt kaugseirega tuvastatavate tunnustega. Esmalt sisestatakse mudelitesse võrastiku katvuse, puistu suhtelise ja absoluutse tiheduse, tagavara ja, vegetatsiooniindeksid, et luua prototüüp algoritmide suremuse ja surnud puidu üle-eestiliseks kaardistamiseks. Saadud hinnangute põhjal on võimalik edasi simuleerida pikaajalisi stsenaariumeid (nt hooldusrežiim, häiringuriskid jne). Lisaks täpsustatakse kaugseire sisendiks kasutatavad tunnused: (1) ALS-põhised kõrguse kvantiilid ja vertikaalse struktuuri indeksid, (2) Sentinel ja Landsat vegetatsiooniindeksid ning (3) võrastiku katvus ja tihedus. Need tunnused sisestatakse mudelitesse eesmärgiga hinnata, millise täpsuse ja tundlikkusega on võimalik puude suremust regionaalsel tasandil prognoosida.

Üksiku puude tuvastamine pole sealt selle projekti tingimustele vastavalt praktilise rakenduse jaoks üle-eestiliselt võimalik. Võimalikku tulevikurakendust silmas pidades tuleb uurida madallennu ALS punktipilvi, milles punktide tihedus on keskmiselt 20 m² ja nii võib saada ehk tuvastada ka 10%-list katvuse muutust. Kaugseireandmete analüüsi peamiseks eesmärgiks on jõuda arusaamisele, mis täpsusega ja tundlikkusega võimaldavad puude suremust hinnata praeguseks kogunenud ja avaandmetena (kasutaja jaoks tasuta) saadavad mõõtmised. Praegu saame lähtuda olemasolevast teadmisest näiteks üraseaduslike või harvendusraiate korral. Maa-ameti aerolidari andmetest paistab harvendusraie ala kohta katvuse muutus välja, kui väljaraie on ligikaudu 20 % rinnaspindalast. See teave võimaldab määrata mudeli tundlikkuse piirid ning hinnata, milliste ulatuslike kahjustuste korral on kaugseirest saadavad signaalid usaldusväärsed. Multispektraalsete andmete korral tekib oluline määramatus vegetatsiooniperioodi mõjust - piltide saamise tõenäosus sõltub pilvisusest. Projekti käigus hinnatakse realistlikult, millistes tingimustes on kaugseire abil suremuse hindamine operatiivne ja millal mitte, et RMK-l oleks selge arusaam meetodi kasutatavuse piiridest.

8.4. Innovaatilisus ja rakenduslik tähtsus:

Projekt on uuenduslik, sest koondab ühtsesse raamistikku puu-, puistu- ja maastikutaseme analüüsid ning seob puude suremuse otseselt metsa looduslikkuse ja majandamisrežiimiga. Käesolevas töös kalibreeritakse väljalangevusmudeleid erineva ajalooga puistutele, alates intensiivselt majandatud metsadest kuni range kaitse ja väga kõrge looduslikkusega puistuteni. Nii saab vältida „üks mudel kõige jaoks“ lihtsustust ja saadakse realistlikumad prognoosid nii puistu kasvule kui ka surnud puude tekkimisele ja selle dünaamikale.

Projekt tugineb suurel määral KKPRT andmete analüüsile. KKPRT andmed maailma mastaabis on iseenesest innovatiivne andmekogu, sest on kogutud ja kaardistatud puukaupa andmeid järjepidevalt 30 aasta jooksul enam kui tuhandelt proovitükilt. Projekti käigus loodavad puude väljalangevuse mudelid on uudsed ja neid saab kasutada metsa kasvukäigu prognoosimisel erinevatel tasemetel. Innovaatilisust suurendab asjaolu, et projekt seob esmakordselt Eestis konkurentsist sõltuva ja sõltumatu suremuse eristamise konkreetsete puistu struktuuri ja looduslikkuse näitajatega, mis võimaldab väljalangevusmudeleid rakendada nii majandus- kui kaitstavates metsades olukorraspetsiifiliselt.

Tänapäevased kaugseiremeetodid - ALS, multispektraalsed satelliidipildid ja digitaalsed aerofotod eraldi võetuna on metsade seire praktikas rutiinselt kasutusel juba 15-20 aastat. Innovaatilisi lahendusi võib saada nende meetodite koos kasutamise kaudu. Eestis annavad võimaliku innovaatilise lahenduse tekkimiseks aluse meie olemasolevatesse andmebaasidesse kogunenud takseerikirjeldused, proovitükkide mõõtmised ning erinevate kaugseiremeetodite kombineeritud aegread. Käesolev projekt lisab uudse lähenemisena kaugseire andmetest saadud struktuurinäitajate ja üksikpuu väljalangemisandmete otsese sidumise, mille abil luuakse prototüüplahendused puude suremuse regionaalseks kaardistamiseks. Kaugseire roll on siin selgelt rakenduslik: see võimaldab laiendada proovitükkidel hinnatud suremusmustreid maastiku tasemele, mis on vajalik RMK metsakorralduse, seire ja elupaigahinnangute ühtlustamiseks. Teades varasemate uuringute ja kogemuse põhjal kaugseireandmesikus olevate tunnuste korrelatsioone metsa struktuuri kirjeldavate tunnustega on üsna selge, et üle-eestiliseks kasutamiseks praktika jaoks (sh raporteerimine siseriiklikul ja rahvusvahelisel tasemel) üksikute surnud puude tuvastamise lahendust piisava täpsusega ja piiratud eelarve juures pole võimalik saada. Samas aga saame rakendada puistu ja pikslipõhiseid meetodeid, kus vaatlusühik on kasvukäigu proovitükiga sarnaste mõõtmetega. Käesoleva projekti raames loodavad kaugseire andmeid kasutavad meetodid pakuvad välja lahenduse, mis võimaldavad suremuse ja elupaiga kvaliteedi ruumilist analüüsi regionaalsel skaalal kombineerides erineva ruumilahutusega kaugseireandmeid ja maapealseid kohtmõõtmisi. Kaugseire süsteemne kasutamine surnud puidu ning võrastiku muutuste kaardistamisel annab ruumiliselt pideva ja ajas võrreldava ülevaate ka väljaspool mõõdetud proovitükke (sh statistilise metsainventuuri). Projekti innovaatilisust suurendab ka see, et hinnatakse realistlikult kaugseire andmete tundlikkust suremuse tuvastamisel (nt ALS-i 20% katvuse muutuse lävi), mis annab RMK-le selge ülevaate meetodi praktilisest rakendatavusest ja piiridest.

Käesolevas projektis loodud mudelid aitavad luua prognoose majandamata metsade pikaajalise arengu kohta. Puudevahelise konkurentsi taastumise aja määramine on kriitilise tähtsusega teadmine. See võimaldab kaitsealadele luua teaduspõhiseid looduskaitse eesmärke järgivaid nn "alternatiivseid" majandamiskavasid. Kuna mudelid kalibreeritakse erineva looduslikkuse tasemega puistutel, võimaldab projekt esmakordselt hinnata, kui kiiresti ja millisel kujul taastub konkurents pärast majandamise lõppu ning millised tegurid mõjutavad looduslike metsade struktuuri arengutrajektoori.

Uudne lähenemine metsa kasvukäigu modelleerimisel on puistu tagavara maksimumpunkti määramine, st puistu vanuse või seisundi kindlakstegemine, millal tagavara suurenemine asendub kahanemisega. See teave parandab oluliselt metsa vananemise ja pikaajalise süsiniku sidumise võime prognoose. Selle protsessi sidumine suremusmudelitega on Eestis esmakordne ning annab RMK-le otsese tööriista pikaajaliste arengutsenaariumide hindamiseks.

Uuringu käigus loodud mudelid ja meetodikad on suunatud kasutamiseks metsamajanduslike tegevuste kavandamisel. Oluline rakenduslik lisaväärtus seisneb selles, et projekti tulemusena valminud mudelid publitseeritakse võimaldades neid kasutada nii RMK-l, teadlastel kui ka poliitikakujundajatel.

Rakenduslikult toetab projekt metsaseiret, metsakorraldust ja looduskaitset.

8.5 Oodatavad tulemused:

- Kasvukohapõhised üksikpuu suremusmudelid, mis eristavad konkurentsisist sõltuvat ja sõltumatut suremust ning mida saab kasutada puistu kasvumudelite sisendina.
- Puude väljalangevuse tõttu puistu rinnaspindala muutumise mudel.
- Puistu isehõrenemise piiri mudel.
- Välitingimustes testitud kaugseire-algoritmide meetoodika surnud puidu ning võrastiku muutuste ajaliseks jälgimiseks.
- Maastikutasemel puude väljalangevuse meetoodika ja prognoosid tagavara, suremuse ja surnud puude dünaamika kohta.
- Puistu tagavara maksimumi saavutamise vanuse arvutamise meetoodika.
- Kaitsealustesse metsadesse rajatud 100 proovitüki kordusmõõtmine ja kaitsealuste metsade arengu prognoosimudel.

8.6. Taotletava finantseerimise põhjendus:

Töömaht projektis on suur, projekti täidavad 7 põhitäitjat, kes on oma valdkonna eksperdid ja projekti on kaasatud kraadiõppurid (peamiselt välitööde tegemisel ja andmete sisestamisel ning esmasel andmeanalüüsil) toetamaks akadeemilist järelkasvu.

Projekti eelarve on ülesehitatud tööpaketi põhiselt. Projekti põhitäitjateks ja tööde teostajateks on EMÜ töötajad, kes on projektis osalise koormusega, mis sõltub konkreetset ajal vastavatest tööülesannetest ning seetõttu ei saa täpset koormust siinkohal välja tuua.

Suurima mahuga on tööpakett 1, kus toimub andmete analüüsimine ja modelleerimine, kogu paketi maksumus on 136 476 eur.

Projekti vastutav täitja professor Andres Kiviste vastutab kogu projekti käivitamise, juhtimise, koordineerimise ja aruandluse eest, lisaks tegeleb andmeanalüüsi ja modelleerimisega tööpaketis 1 (a' 2000 eur kuus (brutosumma siin ja edaspidi), 36 kuud). Allar Padari tegeleb puistu juurdekasvu ja puude väljalangevuse mudelite arendamise ja nende koostamisega (a' 1000 eur kuus, 12 kuud). Eneli Põldveer tegeleb puistustruktuuri modelleerimisega (a' 1000 eur kuus, 6 kuud). Toomas Tarmu tegeleb andmete ettevalmistamise, kontrolli ja analüüsimisega (a' 500 eur kuus, 24 kuud).

Tööpakett 2 sisaldab tehtavate välitööde tegemist ja andmete sisestamist andmebaasidesse ning andmete esmast kontrolli, kogu paketi maksumus on 40 280 eur. Lisanduvate proovitükkide rajamise, kordusmõõtmise, andmete sisestamise ja esmase andmekontrolli eest vastutab Toomas Tarmu ning välitöödel osalevad lisaks erinevas õppeastmes tudengid. Tööpakett sisaldab tööjõukuluseid välitööde tegemiseks 33 280 eur kahe aasta peale, välitöödeks vajalikke lähetuskuluseid (transpordi- ja majutuskuluseid) kokku 5000 eur kahe aasta peale ning välitööde materjalidele ja tarvikutele kulu orienteeruv kulu on 2000 eur.

Tööpakett 3 sisaldab kaugseireandmete töötlemist ja aegridade analüüsi, kogumaksumusega 55 971 eur. Mait Lang (a' 1000 eur kuus, 24 kuud), Allan Sims (a' 1000 eur, 6 kuud) ja Randel Rainer Lille (a' 500 eur, 24 kuud) tegelevad ALS ja satelliidiandmete analüüsimise ja modelleerimisega.

9. PROJEKTI PÕHITÄITJA POOLT VAREM TÄIDETUD VÕI KÄIMASOLEVATE TEADUS- JA ARENDUSPROJEKTIDE LÜHIKIRJELDUS NING TÄITJA ROLLI KIRJELDUS NENDES PROJEKTIDES:

- * "Metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustiku kordusmõõtmine 2026-2027". KIK projekt. 01.04.2026 - 30.06.2028. 158 067,98 EUR. Põhitäitja A. Kiviste
- * "Metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustiku kordusmõõtmine 2024-2025". KIK projekt. 01.05.2024 - 30.06.2026. 133 267,44 EUR Põhitäitja A. Kiviste
- * "Metsaökosüsteemide majandamise, kasvu ja looduslike häiringute ilmingute tuvastamine kosmosest mõõdetud spektraalsest signaturist". ETAG Grant. 01.01.2024 - 31.12.2028. 962 000 EUR. Vastutav täitja M. Lang
- * "Maaparandussüsteemide korrashoiu tõhususest männi-, kuuse-, ja kaseenamusega puistute kasvukäigu, põhjavee taseme aastasisese dünaamika ja puidu tiheduse varieeruvuse näitel". 01.06.2024 - 31.05.2026. 106 978,49 EUR. KIK projekt. Vastutav täitja M. Hordo
- * "Kaseenamusega puistute kasvu ja süsiniku sidumise modelleerimine endistel põllu- ja rohumaaal". 01.07.2024 - 30.09.2025. 53 344 EUR. KIK projekt. Vastutav täitja A. Padari
- * "Puistuelemendi tagavara juurdekasvu mudeli väljatöötamine Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustiku andmetel ja selle kohta aruande esitamine". RMK projekt. 09.10.2020 - 30.06.2021. 61 050 EUR. Vastutav täitja A. Padari
- * "Natura 2000 metsaaladele seatud piirangute tõttu maaomanikul saamata jääva sissetuleku arvutamise meetodika koostamise läbiviimiseks" (22.08.2023 - 30.06.2024); Vastutav täitja: Allar Padari
- * "Metsaökosüsteemide looduslikkuse taastamise tulemuslikkuse hindamine" 01.01.2023 - 30.06.2024. 82 052,70 EUR. KIK projekt. Põhitäitja E. Põldveer
- * "Metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustiku kordusmõõtmine 2022-2023". 01.06.2022 - 30.04.2024. 83412,32 EUR. KIK projekt. Põhitäitja A. Kiviste
- * "Puude kõrguskasvu, puidu tiheduse ja põhjavee taseme dünaamika kuivendatud männienamusega puistutes peale kraavivõrgu rekonstrueerimist". KIK projekt. 01.06.2022 - 31.05.2024. 92 747,12 EUR. Vastutav täitja M. Hordo
- * "Ülakõrgusele tugineva puistute boniteerimismudeli loomine". KIK projekt. 01.09.2021 - 15.06.2023. 64 188,32 EUR. Vastutav täitja A. Kiviste.

10. Projekti juht (nimi): ANDRES KIVISTE	Kuupäev: 15.10.25
Taotleja esindaja (nimi, amet): KALLE OLLI, TEADUSPROREKTOR	Kuupäev: 15.10.25

Palume rahastamistaotlus saata elektrooniliselt aadressil teadus@rmk.ee

ELULOOKIRJELDUS (CV)

1. **Eesnimi:** ANDRES
2. **Perekonnanimi:** KIVISTE
3. **Töökoht:** Eesti Maaülikool, Metsanduse ja inseneeria instituut, Metsa- ja maakorralduse ning metsatööstuse õppetool
4. **Ametikoht:** Metsandusliku modelleerimise professor
5. **Sünniaeg:** 22.05.1953
6. **Haridus:** Kõrgem, Tartu Riiklik Ülikool, matemaatika
7. **Teenistuskäik:**

01.01.2022–... Eesti Maaülikool, Metsanduse ja inseneeria instituut, Metsa- ja maakorralduse ning metsatööstuse õppetool, Metsandusliku modelleerimise professor (0,75 koormusega)

01.01.2017–31.12.2021 Eesti Maaülikool, Metsandus- ja maaehitusinstituut, Metsakorralduse ja metsatööstuse õppetool, (0,75 koormusega)

01.01.1999–31.12.2016 Eesti Maaülikool, Metsandus- ja maaehitusinstituut, metsakorralduse osakond, Professor (1,00 koormusega)

01.01.1992–31.12.1999 Eesti Põllumajandusülikool, dotsent

01.01.1990–31.12.1992 Eesti Põllumajanduse Akadeemia, lektor

01.01.1974–31.12.1990 Eesti Põllumajanduse Akadeemia, insener

8. **Teaduskraad:** Põllumajandusteaduste kandidaat metsakorralduse ja -takseerimise erialal (PhD)
9. **Teaduskraadi andnud asutus, aasta:** VNIILM (Üleliiduline Metsamajanduslik Teaduslik Uurimisinstituut, Moskva), 1991
10. **Tunnustused:** Haridusministeerium tänukiri Taavi Kaevu magistritöö juhendamise eest
11. **Teadustöö põhisuunad:** Puistu ehituse ja kasvukäigu modelleerimine

12. Publikatsioonid (kuni 10, avaldatud viimase 5 aasta jooksul):

Vodde, F.; Ait, K.; Orumaa, A.; Jõgiste, K.; Kaart, T.; **Kiviste, A.**; Õunap, H.; Stanturf, John A.; 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, 122469. DOI: 10.1016/j.foreco.2024.122469.

Tarmu, T.; Kiisk, R.; **Kiviste**, A.; Sims, A.; Laarmann, D. (2025). Assessment of wood decay in middle-aged Norway spruce (*Picea abies*) stands in Estonia using PiCUS 3 Sonic Tomography. *Forest Ecosystems*, 14, 100364. DOI: 10.1016/j.fecs.2025.100364.

Potapov, A.; Mehtätalo, L.; **Kiviste**, A.; Metslaid, S.; Kaart, T.; Stanturf, J. A.; Hordo, M. (2023). Basal area growth response of Scots pine to drainage: An analysis using a mixed-effects modelling approach. *Forest Ecology and Management*, 532, 120825. DOI: 10.1016/j.foreco.2023.120825.

Padari, A.; **Kiviste**, A.; Laarmann, D.; Kangur, A. (2023). The model of stand basal area gross growth on the data of the Estonian Network of Forest Research Plots. *Forestry Studies*, 78 (1), 91–142. DOI: 10.2478/fsmu-2023-0007.

Tarmu, T.; **Kiviste**, A.; Näkk, A.; Sims, A.; Laarmann, D. (2022). The Application of Sonic Tomography (PiCUS 3 Sonic Tomograph) to Detect and Quantify Hidden Wood Decay in Managed Norway Spruce Stands. *Forests*, 13 (8), 1260. DOI: 10.3390/f13081260.

Korjus, H.; **Kiviste**, A.; Hordo, M. (2022). Planning and analysis in multifunctional forestry. *Forestry Studies*, 77 (1), 1–1. DOI: 10.2478/fsmu-2022-0008.

Kiviste, A.; Padari, A.; Metslaid, S. (2022). A date-dependent model for determining the share of tree seasonal radial growth for Estonian conditions. *Forestry Studies*, 77 (1), 76–89. DOI: 10.2478/fsmu-2022-0014.

Bāders, E.; Jõgiste, K.; Elferts, D.; Vodde, F.; **Kiviste**, A.; Luguza, S.; Jansons, Ā. (2021). Storm legacies shaping post-windthrow forest regeneration: learnings from spatial indices in unmanaged Norway spruce stands. *European Journal of Forest Research*, 140 (4), 819–833. DOI: 10.1007/s10342-021-01368-x.

Pöldveer, E.; Potapov, A.; Korjus, H.; **Kiviste**, A.; Stanturf, J. A.; Arumäe, T.; Kangur, A.; Laarmann, D. (2021). The structural complexity index SCI is useful for quantifying structural diversity of Estonian hemiboreal forests. *Forest Ecology and Management*, 490, 119093. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119093.

Kuupäev: 13.10.2025

ELULOOKIRJELDUS (CV)

1. **Eesnimi:** ALLAN
2. **Perekonnanimi:** SIMS
3. **Töökoht:** EESTI MAAÜLIKOOL
4. **Ametikoht:** metsastatistika ja metsandusliku modelleerimise kaasprofessor
5. **Sünniaeg:** 23.08.1975
6. **Haridus:** Kõrgharidus
7. **Teenistuskäik:**
 - 01.01.2024– Eesti Maaülikool, Metsa- ja maakorralduse ning metsatööstuse õppetool kaasprofessor
 - 01.07.2021–31.12.2023 Eesti Maaülikool, Metsa- ja maakorralduse ning metsatööstuse õppetool, vanemteadur
 - 01.07.2021–31.12.2023 Eesti Maaülikool, Metsa- ja maakorralduse ning metsatööstuse õppetool, vanemteadur
 - 01.04.2016–30.06.2021 Keskkonnaagentuur, metsaosakonna juhtivspetsialist
 - 01.11.2015–31.03.2016 Keskkonnaagentuur, keskkonnanalüüsi osakonna juhataja
 - 01.01.2010–09.03.2016 Eesti Maaülikool, metsakorralduse osakond, vanemteadur
 - 01.01.2009–31.12.2009 Euroopa Metsainstituut (Bordeaux), külalisteadlane
 - 01.01.2005–31.12.2009 Eesti Maaülikool, metsakorralduse osakond, teadur
 - 01.01.2007–31.12.2007 Euroopa Metsainstituut (Joensuu), külalisteadlane
 - 01.07.2002–31.12.2004 Eesti Maaülikool, metsakorralduse osakond, spetsialist
8. **Teaduskraad:** Doktorikraad
9. **Teaduskraadi andnud asutus, aasta:** Eesti Maaülikool, 2009
10. **Tunnustused:** Üliõpilaste teadustööde riikliku konkursi III preemia, 2003
11. **Teadustöö põhisuunad:** Metsanduslik modelleerimine, kaugseire
12. **Publikatsioonid (kuni 10, avaldatud viimase 5 aasta jooksul):**
 - Tarmu, Toomas; Kiisk, Risto; Kiviste, Andres; Sims, Allan; Laarmann, Diana (2025). Assessment of wood decay in middle-aged Norway spruce (*Picea abies*) stands in Estonia using PiCUS 3 Sonic Tomography. *Forest Ecosystems*, 14, 100364. DOI: 10.1016/j.fecs.2025.100364.
 - Omoniyi, Temitope Olaoluwa; Sims, Allan (2024). Enhancing the Precision of Forest Growing Stock Volume in the Estonian National Forest Inventory with Different Predictive Techniques and Remote Sensing Data. *Remote Sensing*, 16 (20), ARTN 3794. DOI: 10.3390/rs16203794.
 - Gschwantner, Thomas; Alberdi, Iciar; Bauwens, Sébastien; Bender, Susann; Borota, Dragan; Bosela, Michal; Bouriaud, Olivier; Breidenbach, Johannes; Donis, Jānis; Fischer, Christoph; Gasparini, Patrizia; Heffernan, Luke; Hervé, Jean-Christophe;

- Kolozs, László; Korhonen, Kari T.; Koutsias, Nikos; Kovácssevis, Pál; Kučera, Miloš; Kulbokas, Gintaras; Kuliešis, Andrius ... Tomter, Stein M. (2022). Growing stock monitoring by European National Forest Inventories: Historical origins, current methods and harmonisation. *Forest Ecology and Management*, 505, 119868. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119868.
- Kuusk, Andres; Sims, Allan (2022). Validation of the hot-spot model with terrestrial laser scanning. *Remote Sensing of Environment*, 279, 113108. DOI: 10.1016/j.rse.2022.113108.
- Tarmu, Toomas; Kiviste, Andres; Näkk, Ain; Sims, Allan; Laarmann, Diana (2022). The Application of Sonic Tomography (PiCUS 3 Sonic Tomograph) to Detect and Quantify Hidden Wood Decay in Managed Norway Spruce Stands. *Forests*, 13 (8), 1260. DOI: 10.3390/f13081260.
- Kangur, Ahto; Nigul, Kristi; Padari, Allar; Kiviste, Andres; Korjus, Henn; Laarmann, Diana; Pöldveer, Eneli; Mitt, Risto; Frelich, Lee E.; Jõgiste, Kalev; Stanturf, John A.; Paluots, Teele; Kängsepp, Vivika; Jürgenson, Harli; Noe, Steffen M.; Sims, Allan; Metslaid, Marek (2021). Composition of live, dead and downed trees in Järvselja old-growth forest. *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 75 (1), 15–40. DOI: 10.2478/fsmu-2021-0009.

Kuupäev: 15.10.2025

ELULOOKIRJELDUS (CV)

1. **Eesnimi:** ENELI
2. **Perekonnanimi:** PÕLDVEER
3. **Töökoht:** Eesti Maaülikool, Metsanduse ja inseneeria instituut, Metsa- ja maakorralduse ning metsatööstuse õppetool
4. **Ametikoht:** Metsakorralduse teadur
5. **Sünniaeg:** 30.11.1991
6. **Haridus:** Kõrgem, Eesti Maaülikool, metsandus
7. **Teenistuskäik:**
01.01.2023–... Eesti Maaülikool, Metsanduse ja inseneeria instituut, Metsa- ja maakorralduse ning metsatööstuse õppetool, teadur
01.08.2018–22.06.2022 Eesti Maaülikool, Metsanduse ja inseneeria instituut, Metsa- ja maakorralduse ning metsatööstuse õppetool, nooremteadur
18.07.2016–31.12.2017 Eesti Maaülikool, Metsandus- ja maaehitusinstituut, metsakorralduse osakond, nooremteadur
8. **Teaduskraad:** filosoofiadoktor metsanduse erialal
9. **Teaduskraadi andnud asutus, aasta:** Eesti Maaülikool, 2022
10. **Tunnustused:** III preemia üliõpilaste teadustööde riiklikul konkursil bio- ja keskkonnateaduste valdkonnas, doktoriõppe aste
11. **Teadustöö põhisuunad:** Puistu ruumilise struktuuri modelleerimine
12. **Publikatsioonid (kuni 10, avaldatud viimase 5 aasta jooksul):**

Põldveer, Eneli; Paluots, Teele; Korjus, Henn; Arumäe, Tauri; Kangur Ahto; Laarmann, Diana (2025). Ecological quality and structural diversity of Western Taiga habitat (*9010) in Estonia's Natura 2000 network. Environmental Monitoring and Assessment. DOI: 10.1007/s10661-025-13922-w.

Paluots, Teele; Liira, Jaan; Leis, Mare; Laarmann, Diana; Põldveer, Eneli; Franklin, Jerry F.; Korjus, Henn (2024). Long-Term Cumulative Effect of Management Decisions on Forest Structure and Biodiversity in Hemiboreal Forests. Forests, 15 (11), 2035. DOI: 10.3390/f15112035.

Põldveer, Eneli; Laarmann, Diana; Korjus, Henn (2022). Puistu ruumilise struktuuri arvutuslik kirjeldamine. Forestry Studies, 76, 90–98. DOI: 10.2478/fsmu-2022-0006.

Põldveer, Eneli; Potapov, Aleksei; Korjus, Henn; Kiviste, Andres; Stanturf, John A.; Arumäe, Tauri; Kangur, Ahto; Laarmann, Diana (2021). The structural complexity index SCI is useful for quantifying structural diversity of Estonian hemiboreal forests. *Forest Ecology and Management*, 490, 119093. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119093.

Nigul, Kristi; Padari, Allar; Kiviste, Andres; Noe, Steffen M.; Korjus, Henn; Laarmann, Diana; Frelich, Lee E.; Jõgiste, Kalev; Stanturf, John A.; Paluots, Teele; Põldveer, Eneli; Kängsepp, Vivika; Jürgenson, Harli; Metslaid, Marek; Kangur, Ahto (2021). The Possibility of Using the Chapman-Richards and Näslund Functions to Model Height-Diameter Relationships in Hemiboreal Old-Growth Forest in Estonia. *Forests*, 12 (184), 1–15. DOI: 10.3390/f12020184.

Põldveer, Eneli; Korjus, Henn; Kiviste, Andres; Kangur, Ahto; Paluots, Teele; Laarmann, Diana (2020). Assessment of spatial stand structure of hemiboreal conifer dominated forests according to different levels of naturalness. *Ecological Indicators*, 110, 105944. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105944.

Kuupäev: 15.10.2025

ELULOOKIRJELDUS (CV)

1. Eesnimi: MAIT

2. Perekonnanimi: LANG

3. Töökoht: EESTI MAAÜLIKOOL

4. Ametikoht: Metsade kaugseire kaasprofessor

5. Sünniaeg: 06.04.1973

6. Haridus: Eesti Maaülikool, doktorikraad (2006)
Eesti Põllumajandusülikool, magistrikraad (2001)

7. Teenistuskäik:

01.01.2024– Tartu Ülikool, Loodus- ja täppisteaduste valdkond, Tartu observatoorium metsade kaugseire kaasprofessor (0,90)

01.09.2022– Eesti Maaülikool, Metsanduse ja inseneeria instituut, Metsa- ja maakorralduse ning metsatööstuse õppetool, kaasprofessor (0,10)

01.02.2022– 01.09.2022 Eesti Maaülikool Dotsent (0,10)

01.12.2022–31.12.2023 Tartu Ülikool, Loodus- ja täppisteaduste valdkond, Tartu observatoorium, metsade kaugseire kaasprofessor (0,70)

01.02.2022–30.11.2022 Tartu Ülikool, Loodus- ja täppisteaduste valdkond, Tartu observatoorium, metsade kaugseire kaasprofessor (0,90)

01.09.2017–31.08.2022 Eesti Maaülikool, Metsanduse ja inseneeria instituut, Metsa- ja maakorralduse ning metsatööstuse õppetool, dotsent (0,10)

01.01.2021–31.01.2022 Tartu Ülikool, Loodus- ja täppisteaduste valdkond, Tartu observatoorium metsade kaugseire kaasprofessor (0,50)

31.08.2017–31.01.2022 Eesti Maaülikool dotsent (0,50)

01.05.2018–31.12.2020 Tartu Ülikool, Loodus- ja täppisteaduste valdkond, Tartu observatoorium metsade kaugseire vanemteadur (0,50)

01.01.2018–30.04.2018 Tartu Ülikool, Loodus- ja täppisteaduste valdkond, Tartu observatoorium vanemteadur (0,50)

2008–31.12.2017 Tartu Observatoorium Vanemteadur (0,50)

2007–2017 Eesti Maaülikool, Metsandus- ja maaehitusinstituut, metsakorralduse osakond Vanemteadur (0,50)

2004–2008 Tartu Observatoorium Teadur (0,50)

2006–2007 Eesti Maaülikool, Metsandus- ja maaehitusinstituut, metsakorralduse osakond Teadur (0,50)

2002–2006 Eesti Maaülikool, Metsandus- ja maaehitusinstituut Lektor (0,50)

2003–2004 Tartu Observatoorium insener (0,50)

1994–2003 Tartu Observatoorium lepinguline töötaja (1,00)

2001–2002 Eesti Maaülikool Lektor (0,50)

8. Teaduskraad: filosoofiadoktor metsakorralduse erialal

9. Teaduskraadi andnud asutus, aasta: Eesti Maaülikool (2006)

10. Tunnustused:

11. Teadustöö põhisuunad: metsakorraldus ja takseerimine, võrastiku struktuur, metsade kaugseire, puistu võrastiku struktuuri modelleerimine

12. Publikatsioonid (kuni 10, avaldatud viimase 5 aasta jooksul):

Lang, Mait; Antsov, Mikk; Mumma, Andres; Suitso, Indrek; Kuusk, Andres; Piip, Kaarel (2025). Comparison of forest canopy gap fraction measurements from drone-based video frames, below-canopy hemispherical photography, and airborne laser scanning. *European Journal of Remote Sensing*, 58 (1), 2456629. DOI: 10.1080/22797254.2025.2456629.

Zhang, S.; Korhonen, L.; Lang, M.; Pisek, J.; Diaz, G.M.; Korpela, I.; Xia, Z.; Haapala, H.; Maltamo, M. (2024). Comparison of Semi-physical and Empirical Models in the Estimation of Boreal Forest Leaf Area Index and Clumping with Airborne Laser Scanning Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 62, 5701212. DOI: 10.1109/TGRS.2024.3353410.

Díaz, Gastón Mauro; Lang, Mait; Kaha, Mihkel; (2024). Simple calibration of fisheye lenses for hemispherical photography of the forest canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 352, 110020. DOI: 10.1016/j.agrformet.2024.110020.

Lang, Mait; Tampuu, Tauri; Trofimov, Heido (2024). Forest stand height predicted from ICESat-2 ATLAS data for forest inventory and comparison to airborne laser scanning metrics. *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 80 (1), 1–19. DOI: 10.2478/fsmu-2024-0001.

Ivanovs, Janis; Lazdiņš, Andis; Lang, Mait (2023). The influence of forest tree species composition on the forest height predicted from airborne laser scanning data – A case study in Latvia. *BALTIC FORESTRY*, 29 (1), 663. DOI: 10.46490/BF663.

Kaha, Mihkel ; Lang, Mait; Zhang, Shaohui; Pisek, Jan (2023). Note on the compatibility of ICOS, NEON, and TERN sampling designs, different camera setups for effective plant area index estimation with digital hemispherical photography. *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 79 (1), 21–36. DOI: 10.2478/fsmu-2023-0010.

Arumäe, Tauri; Lang, Mait; Sims, Allan; Laarmann, Diana (2022). Planning of Commercial Thinnings Using Machine Learning and Airborne Lidar Data. *Forests*, 13 (2), 206. DOI: 10.3390/f13020206.

Dostálová, Alena; Lang, Mait; Ivanovs, Janis; Waser, Lars T.; Wagner, Wolfgang (2021). European wide forest classification based on Sentinel-1 data. *Remote Sensing*, 13 (3), 337. DOI: 10.3390/rs13030337.

George, J.P.; Neumann, M.; Vogt, J.; Cammalleri, C.; Lang, M. (2021). Assessing effects of drought on tree mortality and productivity in European forests across two decades: A conceptual framework and preliminary results. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 932. IOP, 1–10. DOI: 10.1088/1755-1315/932/1/012009.

Kuupäev: 15.10.25

ELULOOKIRJELDUS (CV)

1. **Eesnimi:** ALLAR
2. **Perekonnanimi:** PADARI
3. **Töökoht:** EESTI MAAÜLIKOOL
4. **Ametikoht:** Metsanduslike andmebaaside peaspetsialist
5. **Sünniaeg:** 16.07.1968
6. **Haridus:** Eesti Põllumajandusülikool, magistrikraad (1997)
7. **Teenistuskäik:**

2020–...	Eesti Maaülikool, peaspetsialist
2006–2020	Eesti Maaülikool, teadur
1998–2006	Eesti Maaülikool, spetsialist
8. **Teaduskraad:** põllumajandusteaduse magister metsanduse erialal
9. **Teaduskraadi andnud asutus, aasta:** Eesti Põllumajandusülikool, 2004
10. **Tunnustused:** -
11. **Teadustöö põhisuunad:** metsanduslikud andmebaasid, metsanduslik modelleerimine, metsaressursid
12. **Publikatsioonid (kuni 10, avaldatud viimase 5 aasta jooksul):**

Uri, Marek; Kukumägi, Mai; Soosaar, Kaido; Varik, Mats; Becker, Hardo; Aun, Kristiina; Aosaar, Jürgen; Krasnova, Alisa; Schindler, Thomas; Buht, Mikko; Sepaste, Agnes; Padari, Allar; Sellin, Arne; Metslaid, Marek; Jõgiste, Kalev; Kaasik, Marko; Uri, Veiko (2024). Short-term effect of the harvesting method on ecosystem carbon budget in hemiboreal Scots pine forest: Shelterwood cutting versus clear-cut. Forest Ecology and Management, 562, Art No 121963. DOI: 10.1016/j.foreco.2024.121963.

Buht, M.; Padari, A.; Aosaar, J.; Varik, M.; Aun, K.; Uri, M.; Becker, H.; Kukumägi, M.; Sepaste, A.; Uri, V. (2023). Biomass allocation and equations for silver birch (*Betula pendula*) and downy birch (*Betula pubescens*) in Estonia. Scandinavian Journal of Forest Research. DOI: 10.1080/02827581.2023.2273250.

Padari, A.; Kiviste, A.; Laarmann, D.; Kangur, A. (2023). The model of stand basal area gross growth on the data of the Estonian Network of Forest Research Plots. Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused, 78 (1), 91–142. DOI: 10.2478/fsmu-2023-0007.

Kollo, Joonas; Padari, Allar; Krasnova, Alisa; Kangur, Ahto; Noe, Steffen (2023). Development of a footprint description tool utilizing SMEAR Estonia eddy-covariance data and footprint modelling in combination with remote sensed forest species and land

cover data. *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 79 (1), 90–104. DOI: 10.2478/fsmu-2023-0014.

Padari, A.; Kangur, A. (2023). Validation of saw log and technological wood assortment recovery and reduction predictions based on cut-to-length harvester data. *Forestry Studies*, 79 (1), 66–89. DOI: 10.2478/fsmu-2023-0013.

Uri, V.; Kukumägi, M.; Aosaar, J.; Varik, M.; Becker, H.; Aun, K.; Lõhmus, K.; Soosaar, K.; Astover, A.; Uri, M.; Buht, M.; Sepaste, A.; Padari, A. (2022). The dynamics of the carbon storage and fluxes in Scots pine (*Pinus sylvestris*) chronosequence. *The Science of The Total Environment*, 817, ARTN 152973. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.152973.

Kiviste, A.; Padari, A.; Metslaid, S. (2022). A date-dependent model for determining the share of tree seasonal radial growth for Estonian conditions. *Forestry Studies*, 77 (1), 76–89. DOI: 10.2478/fsmu-2022-0014.

Nigul, Kristi; Padari, Allar; Kiviste, Andres; Noe, Steffen M.; Korjus, Henn; Laarmann, Diana; Frelich, Lee E.; Jõgiste, Kalev; Stanturf, John A.; Paluots, Teele; Põldveer, Eneli; Kängsepp, Vivika; Jürgenson, Harli; Metslaid, Marek; Kangur, Ahto; (2021). The Possibility of Using the Chapman-Richards and Näslund Functions to Model Height-Diameter Relationships in Hemiboreal Old-Growth Forest in Estonia. *Forests*, 12 (184), 1–15. DOI: 10.3390/f12020184.

Lutter, R.; Stål, G.; Ceder, L.A.; Lim, H.; Padari, A.; Tullus, H.; Nordin, A.; Lundmark, T. (2021). Climate benefit of different tree species on former agricultural land in Northern Europe. *Forests*, 12 (12). DOI: 10.3390/f12121810.

Kangur, Ahto; Nigul, Kristi; Padari, Allar; Kiviste, Andres; Korjus, Henn; Laarmann, Diana; Põldveer, Eneli; Mitt, Risto; Frelich, Lee E.; Jõgiste, Kalev; Stanturf, John A.; Paluots, Teele; Kängsepp, Vivika; Jürgenson, Harli; Noe, Steffen M.; Sims, Allan; Metslaid, Marek (2021). Composition of live, dead and downed trees in Järvselja old-growth forest. *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 75 (1), 15–40. DOI: 10.2478/fsmu-2021-0009.

Kuupäev: 15.10.25

ELULOOKIRJELDUS (CV)

1. **Eesnimi:** TOOMAS
2. **Perekonnanimi:** TARMU
3. **Töökoht:** EESTI MAAÜLIKOO
4. **Ametikoht:** Metsakorralduse peaspetsialist
5. **Sünniaeg:** 13.03.1992
6. **Haridus:** Eesti Maaülikool, magistrikraad (2018)
7. **Teenistuskäik:** 2025 - Eesti Maaülikool, peaspetsialist
2019 - 2025 Eesti Maaülikool, nooremteadur
8. **Teaduskraad:** magister metsanduse erialal
9. **Teaduskraadi andnud asutus, aasta:** Eesti Maaülikool, 2018
10. **Tunnustused:**
11. **Teadustöö põhisuunad:** Bio- ja keskkonnateadused, metsandusteadus
(puistu kasvukäigu modelleerimine, uuenduslike
metsanduslike vahendite ja lähenemise kasutamine)
12. **Publikatsioonid:**

Tarmu, T., Laarmann, D., Kiviste, A. 2020 Mean height or dominant height - What to prefer for modelling the site index of Estonian forests? Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused, 72 (1), 121–138.

Tarmu T., Kiviste A., Näkk A., Sims A., Laarmann D. 2022 The Application of Sonic Tomography (PiCUS 3 Sonic Tomograph) to Detect and Quantify Hidden Wood Decay in Managed Norway Spruce Stands. Forests, 13 (8), 1260.

Tarmu, T., Kiisk, R., Kiviste, A., Sims, A., Laarmann, D. 2025. Assessment of wood decay in middle-aged Norway spruce (Picea abies) stands in Estonia using PiCUS 3 Sonic Tomography. Forest Ecosystems. 14. 100364.

Kuupäev: 15.10.25

ELULOOKIRJELDUS (CV)

1. **Eesnimi:** RANDEL RAINER
2. **Perekonnanimi:** LILLE
3. **Töökoht:** EESTI MAAÜLIKOOL
4. **Ametikoht:** Metsanduse ja kaugseire nooremteadur
5. **Sünniaeg:** 29.11.1998
6. **Haridus:** Eesti Maaülikool, magistrikraad (2025)
7. **Teenistuskäik:**

2025–...	Eesti Maaülikool, nooremteadur
2024–2025	Eesti Maaülikool, spetsialist
8. **Teaduskraad:** põllumajandusteaduse magister metsamajanduse ja metsaökoloogia erialal
9. **Teaduskraadi andnud asutus, aasta:** Eesti Maaülikool, 2025
10. **Tunnustused:** 2025, SA Artur Nilsoni Fond, Karo Metsa ja Voore Metsa nimeline stipendium
2023, II preemia üliõpilaste teadustööde riiklikul konkursil põllumajandusteaduste ja veterinaaria valdkonnas, rakenduskõrghariduseõppe ja bakalaureuseõppe aste
2023, Metsanduse ja inseneeria instituudi preemia
11. **Teadustöö põhisuunad:** metsade kaugseire, metsade looduslikkuse hindamine
12. **Publikatsioonid (kuni 10, avaldatud viimase 5 aasta jooksul):** -

Kuupäev: 15.10.25

LISA 2. Projekti eelarve, kulud ilma käibemaksuta.

Kulud vastavalt raamatupidamisele	Kokku	Kulude jagunemine aastate kaupa		
		1	2	3
Töötasud	168873	36433	68440	64000
Sotsiaalmaks	55728	12023	22585	21120
Töötuskindlustusmaks	1126	292	440	394
Ostetud teenused	0	0	0	0
Lähetuskulud	5000	2500	2500	0
Materjalid, tarvikud	2000	1000	1000	0
Masinad, seadmed	0	0	0	0
Muud kulud	0	0	0	0
Üldkululõiv	23273	5225	9497	8551
Kokku	256000	57472	104462	94065

LISA 3. Kasutatud kirjandus

- Arumäe, T. and Lang, M. 2016. ALS-based wood volume models of forest stands and comparison with forest inventory data. *Forestry Studies*, 64(1), 5–16. DOI: 10.1515/fsmu-2016-0001
- Arumäe, T. and Lang, M., 2018. Estimation of canopy cover in dense mixed-species forests using airborne lidar data. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), pp.132-141.
- Jansons, Ā., Matisone, I., Šņepsts, G. 2025. Deadwood in the hemiboreal forest stands in Latvia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, pp. 1-16.
- Jonsson, B.G., Ekström, M., Esseen, P.A., Grafström, A., Ståhl, G., Westerlund, B. 2016. Dead wood availability in managed Swedish forests—Policy outcomes and implications for biodiversity. *Forest Ecology and Management*, 376, pp. 174-182.
- Junttila, S., Blomqvist, M., Laukkanen, V., Heinaro, E., Polvivaara, A., O'Sullivan, H., Yrttimaa, T., Vastaranta, M., Peltola, H. 2024. Significant increase in forest canopy mortality in boreal forests in Southeast Finland. *Forest Ecology and Management*, 565, p. 122020.
- Kiviste, A., Hordo, M., Kangur, A., Kardakov, A., Laarmann, D., Lilleleht, A., Metslaid, S., Sims, A., Korjus, H. 2015. Monitoring and modeling of forest ecosystems: the Estonian Network of Forest Research Plots. *Forestry Studies*, 62, 26–38.
- Kunttu, P., Junninen, K., Kouki, J. 2015. Dead wood as an indicator of forest naturalness: A comparison of methods. *Forest Ecology and Management*, 353, pp. 30-40.
- Köster, K., Ilisson, T., Tukia, H., Jogiste, K., Möls, T. 2009. Early effects after forest disturbance in decomposition of trees in two windthrown areas in East Estonia. *Baltic Forestry*, 15(2), pp. 143-150.
- Laarmann, D., Korjus, H., Sims, A., Stanturf, J. A., Kiviste, A., Köster, K. 2009. Analysis of forest naturalness and tree mortality patterns in Estonia. *Forest Ecology and Management*, 258(Suppl), S187–S195. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.07.014>
- Lang, M. and Arumäe, T. 2018. Assessment of forest thinning intensity using sparse point clouds from repeated airborne lidar measurements. *Forestry Studies*, 68(1), pp. 40-50.
- Lõhmus, A., Lõhmus, P., Remm, J., Vellak, K. 2005. Old-growth structural elements in a strict reserve and commercial forest landscape in Estonia. *Forest Ecology and Management*, 216(1–3), 201–215. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.05.031>
- Lõhmus, A., and Kraut, A. 2010. Stand structure of hemiboreal old-growth forests: Characteristic features, variation among site types, and a comparison with FSC-certified mature stands in Estonia. *Forest Ecology and Management*, 260(1), 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.018>
- Maleki, K. and Kiviste, A. 2016. Individual tree mortality of silver birch (*Betula pendula* Roth) in Estonia. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 9(4), p.643. <https://doi.org/10.3832/for1672-008>
- Nigul, K., Padari, A., Kiviste, A., Noe, S.M., Korjus, H., Laarmann, D., Frelich, L.E., Jõgiste, K., Stanturf, J.A., Paluots, T., Põldveer, E. 2021. The possibility of using the Chapman–Richards and Näslund functions to model height–diameter relationships in hemiboreal old-growth forest in Estonia. *Forests*, 12(2), p.184.
- Omoni, T.O. and Sims, A. 2024. Enhancing the precision of forest growing stock volume in the Estonian national forest inventory with different predictive techniques and remote sensing data. *Remote Sensing*, 16(20), p.3794.
- Padari, A., Kiviste, A., Laarmann, D. and Kangur, A. 2023. The model of stand basal area gross growth on the data of the Estonian Network of Forest Research Plots. *Forestry Studies*, 78(1), pp.91-142.
- Pretzsch, H., del Río, M., Arcangeli, C., Bielak, K., Dudzinska, M., Forrester, D.I., Kohnle, U., Ledermann, T., Matthews, R., Nagel, R. and Ningre, F. 2023. Competition-based mortality and tree losses. An essential component of net primary productivity. *Forest Ecology and Management*, 544, p.121204. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121204>
- Põldveer, E., Korjus, H., Kiviste, A., Kangur, A., Paluots, T., Laarmann, D. 2020. Assessment of spatial stand structure of hemiboreal conifer dominated forests according to different levels of naturalness. *Ecological Indicators*, 110, 105944.
- Põldveer, E., Potapov, A., Korjus, H., Kiviste, A., Stanturf, J.A., Arumäe, T., Kangur, A., Laarmann, D. 2021. The structural complexity index SCI is useful for quantifying structural diversity of Estonian hemiboreal forests. *Forest Ecology and Management*, 490, 119093.
- Siitonen, J., Martikainen, P., Punttila, P., Rauh, J. 2000. Coarse woody debris and stand characteristics in mature managed and old-growth boreal mesic forests in southern Finland. *Forest ecology and management*, 128(3), pp. 211-225.

- Sims, A., Mändma, R., Laarmann, D., Korjus, H. 2014. Assessment of tree mortality on the Estonian Network of Forest Research Plots. *Forestry Studies*, 60, 57–68. ISSN 1406-9954.
- Viilma, K., Öövel, J., Tamm, U., Tomson, P., Amos, T., Ostonen, I., Sørensen, P., Kuuba, R. 2001. Estonian Forest Conservation Area Network. Final Report of the Estonian Forest Conservation Area Network Project. Tartu, Triip Grupp. 95 + 306.