

RMK TEADUSPROJEKTI LÕPPARUANNE
(Eesti Maaülikooli osa)

1. PROJEKTI NIMETUS: Kuusikute raieaja ja raieviiside mõju patogeenide levikule ja arvukusele ning puistu elurikkusele viljakates kasvukohatüüpides

2. PROJEKTI KESTUS	Algus: 09.2016	Lõpp: 08.2019
---------------------------	--------------------------	-------------------------

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

Telefon: 731 3169

Aadress: Kreutzwaldi 1, 51014 Tartu

Registrikood: 74001086

Panga rekvisiidid: 10102000308001 SEB Pank

4. PROJEKTI JUHT:	Rein Drenkhan (Ees- ja perekonnanimi)	professor, PhD (Amet, teaduskraad)
--------------------------	--	---------------------------------------

5. PROJEKTI PÕHITÄITJAD

Projekti põhitäitjad:

Ees- ja perekonnanimi	Teaduskraad	Ametikoht
1. Rein Drenkhan	PhD	metsapatoloogia professor
2. Hardi Tullus	PhD	õppetooli juht, professor
3. Raul Rosenvald	PhD	vanemteadur
4. Tiia Drenkhan	PhD	metsapatoloogia teadur

Projektiga seotud abitöötajad:

1. Kalev Adamson	PhD	metsapatoloogia teadur
2. Allar Padari	MSc	lektor
3. Katrin Jürimaa	MSc	laborant
4. Elisabeth Rähn	MSc	doktorant

6. PROJEKTI KULUD KOKKU 135571 eurot

Kulurida	Kokku
Töötasud (põhitäitjad + abitöötajad)	75945,79
Sotsiaalmaks	22405,62
Töötuskindlustusmaks	543,18
Ostetud teenused	2064,12
Transpordi ja lähetuskulud	4179,57
Materjalid, tarvikud, masinad, seadmed	9088,76
Muud kulud	7786,86
Üldkululõiv	13557
Kokku	135571

7. PROJEKTI TULEMUSED (maksimaalselt 10 lehekülge)

Käesolev uurimustöö on Eesti Maaülikooli ja Tartu Ülikooli kolme aastane lepinguline koostööprojekt. Mõlemad ülikoolid esitavad lõpparuande kokkuvõtte ja finantsaruande eraldi, mille lahutamatuks osaks on lõpparuande pikem versioon (LISA). Koostööprojekti täitjad ja aruande koostajad on järgnevad: Rein Drenkhan, Leho Tedersoo, Kalev Adamson, Tiia Drenkhan, Katrin Jürimaa, Piret Lõhmus, Allar Padari, Katrin Rosenvald, Raul Rosenvald, Elisabeth Rähn, Hardi Tullus. Koostööprojekti iga osa koostasid või selle osa sisulist analüüsi juhtisid erinevad autorid, vt. LISA.

Töö eesmärk on selgitada hariliku kuuse puistute majandamise (hooldus-, harvendus- ja sanitaarraie) mõju juuremädanike levikule ja kahjustusele ning seente ja epifüütide elurikkusele võrrelduna majandamata (raiumata) puistutega. Lepinguline töö jagunes järgmisteks osadeks: mullaseente elustik, lamapuidu seente elustik, seente elustik eluspuude puidus ja kändudes, samblike ja sammalde elustik, juurepessu antagonistid ning metsamajanduslik osa. Viimane sisaldab mädanike kahjude hinnanguid kuusikutes ja selle majanduslikke kalkulatsioone.

Käesoleva uuring viidi läbi harvendatud ja harvendamata viljakate kasvukohatüüpide kuusikutes vanuses 4-206 aastat. Proovid koguti 2016 ja 2017 aastal 185 puistust, mis jaotati kuue vanuseklassi (4-20; 21-40; 41-60; 61-80; 81-100; >100 aastat) vahel, igas klassis oli vähemalt 30 puistut (millest 50% harvendatud ja 50% harvendamata). **Kõikidest puistutest koguti mullakoondproovid ja juurdekasvuproovid** 0,25 ha proovialalt. **185 mullaproovi sekveneeriti PacBio Sequel platvormil**, et määrata mullaseente liikide arv ja seente liigirikkus. **Juurdekasvuproovid tüvemädanike hinnanguks** võeti vähemalt 12 juhusliku elusa kuuse jalamilt, **kokku 2247 puult**. Puiduseente elustik määrati 42 viljakast kuusikust (32 harvendatud ja 10 harvendamata, vanus 41-80 aastat) kogutud 504 juurdekasvuproovilt. **Seente liigirikkus kändudes** (s.h. mädaniku tekitajaid) **analüüsiti 298 kännuproovilt**, mis koguti kolmelt 1-2 aastat tagasi harvendatud alalt: E4, C5, Vara (puistute vanus 43-74 aastat). Kuusikud valiti geograafiliselt eri asukohtadest, eri vanusega puistutest ja 1-2 aastat peale raiet, nende alade **411 kännuproovilt isoleeriti puhaskultuuri juurepessu antagonistide** ning hinnati nende liikide kasvukiiruse puhaskultuuris.

Lamapuidu seente proovid koguti ja epifüütide liigiline koosseis hinnati 4 vanusrühmas (41-60; 61-80; 81-100; >100 aastat), **kokku 40 harvendamata kuuse puistus. Nendes 40 puistus ja veel 20 harvendatud puistus (vanuserühmades 41-60, 61-80a) hinnati elus ja surnud puidu (püstised surnud puud, kännud, lamapuud) liigiline koosseis ja maht**. Igalt alalt valiti juhuslikult 5 III kōduastmega lamatüve, (kokku 192), millelt koguti kōdupuidu koondproov 5 puuraugust. Epifüütide liigiline koosseis hinnati kuuse elusatelt tüvedelt (N=200), tüügastelt (N=197) ja samadelt lamatüvedelt, kust võeti seeneproovid. Kõik **seente elustiku puiduproovid (eluspuudest, kōdupuidust, kändudest) sekveneeriti Illumina MiSeq platvormil**.

Kogu töös mulla ja puidu DNA põhist andmestikku (OTU tabelid) kasutati seenelustiku analüüsiks programmi PERMANOVA+ abil, kus olulisuse nivooks oli $\alpha < 0.05$.

Majandusliku kahju ulatuse hindamiseks kasutati harvestri andmestikku (88 lanki vanuses 36-159 aastat) ning käesoleva töö raames kogutud 185 kuusikust pärit 2247 eluspuu juurdekasvuproovi andmeid, s.o. > 76 000 üksikpuu andmeid vanuses 4-206 aastat. Analüüside aluseks oli mädaniku visuaalne hinnang kännukōrguselt, noortel puudel kuni

9 aastat hinnati juurepessu nakkust molekulaarselt. Hinnamuutuste arvutuse aluseks on 50 langi üksikpuu andmed, kus puud jagati sortimentideks vastavalt sortimendi koodile, diameetrile ja mädanikule. Detailsemad andmed vaata lõpparuande pikem versioon (LISA), mis on lahutamatu osa käesoleva lõpparuande kokkuvõtte sisuliseks mõistmiseks.

Mullaseente elustiku tulemused

Kogu mullaseente (s.h mükoriisa, saprotroofid, patogeenid) liigirikkust kuusikutes vanuses 4-206 aastat mõjutasid statistiliselt oluliselt ($p < 0,05$) enim mulla C/N suhe, puistu vanus ning mulla magneesiumi sisaldus.

Kuuse noorendikes (4-20 a.) mullaseente liigirikkus on esmalt kõrge, kuid kahaneb vanuse kasvades ca 10 aastat pärast raiet. Mullaseente elurikkus taastub kuuse enamusega puistutes 40 eluaastaks ning on üsna sarnane kuni 200 eluaastani.

Kuuse vanusklassi 21-40 kogu mullaseente liigirikkus oli madalaim statistiliselt oluliselt ($P > 0,05$) võrreldes teiste vanusklassidega sarnaselt nii harvendamata kui harvendatud puistutes, selle põhjuseks võib olla liitunud puude võradest tingitud rohurinde kadumine ning madalast taimede elurikkusest põhjustatud negatiivne mõju seente liigirikkusele.

Hooldusraietel ja nende intensiivsusel (0x, 1x ja 2x) puudub statistiliselt oluline ($P > 0,05$) mõju mullaseente liigirikkusele, kuid mullaseente liigirikkus on siiski keskmiselt 27,5% madalam harvendatud aladel võrreldes harvendamata aladega. Hooldusraiate intensiivsuse mõju juurepessile ei õnnestunud hinnata, kuna see liik oli mullaproovides väga vähe esindatud.

Kogu mullaseente ja ka eraldi ektomükoriisete, saprotroofide ja taimepatogeenide liigirikkuses ei olnud statistilist erinevust ($P > 0,05$) endise põllu- või rohumaa (N=10) ning põlise metsamaa (N=10) kuuse enamusega puistutes. Mullaseente liigirikkuse keskmised väärtused olid kõikide seenegruppide võrdlusanalüüsis sarnased.

Mullaseente liigirikkus oli keskmiselt kõrgem soojal ajal (aprill-november) harvendatud kuusikutes, kuid siiski statistiliselt ebaoluliselt ($P > 0,05$) võrreldes külmal ajal (detsember-märts) harvendatud puistutega.

Seente kooslustele tervikuna avaldasid statistiliselt olulist mõju ($P < 0,001$) eelkõige puistu vanus, mulla pH, hooldusraied, mulla fosfori ja magneesiumi sisaldus ning mulla C/N suhe. Sarnase seenekoosluste grupi moodustavad vaid noorima vanuserühma puistud (4-20 a.). Teiste vanusegruppide puistute seenekooslused on väga varieeruvad, mis on tingitud eeltoodud faktorite koosmõjust. Hooldusraiate mõju mullaseente kooslustele kuusikutes on vaid 1,8%.

Mädanike hinnangud eluspuudel ja kändudel

Antud töös analüüsiti elusaid kuuski vanuses 41- 80 aastat. Mädaniku tunnustega kuuskedel (N=177 puud) tekitab mädanikku kõige enam juurepess, 86 % proovidest. Juurepessu esinemine eluspuudes kahandas statistiliselt oluliselt ($P < 0,05$) teiste seente liigirikkust elusal puul.

Üks kord raiutud puistutes juurepessu nakkusega elusate kuuskede osakaal (keskmiselt 85%) on statistiliselt oluliselt suurem ($P < 0,05$) võrrelduna raiumata alaga (81%). Kuid kahe hooldusraie

järel on juurepessu nakkusega puude osakaal (78%) statistiliselt oluliselt väiksem ($p < 0,001$) võrreldes üks kord raiutud alaga.

Raie sesoonil (soe või külm) ei olnud olulist mõju seente liigirikkusele tervikuna ega patogeenide (eelkõige juurepess) arvukusele elusatel kuuskedel.

Mädaniku tunnustega puid on oluliselt ($p < 0,05$) vähem põlise metsamaa puistutes võrrelduna endise põllumaa puistuga vanuses 41-80 aastat.

Elusate kuuskede puidus ei olnud seente liigirikkus statistiliselt oluliselt erinev vanuseklassides 41-60 ja 61-80. Puistu vanuse kasvades suurenes statistiliselt oluliselt ($p < 0,05$) juurepessu nakkusega puude osakaal, 82% vanuseklassis 41-60 ja 86% vanuseklassis 61-80.

Kuuse kännu diameeter ei olnud oluliselt seotud seente liigirikkusega. Kuid suurema diameetriga kändud näitasid statistiliselt oluliselt ($p < 0,05$) enam juurepessu esinemist võrreldes peenemate kändudega.

Mädaniku tunnustega kuuse kände oli 36% ja männi kände 17%. Kuid kõik (mädanikuga ja terved) analüüsitud männi kändud ($N=23$) olid 100% juurepessu nakkusega ja kuuse kändudest ($N=260$) olid juurepessu nakkusega 66 %.

Kaitsealuseid ja vääriselupaiga indikaator-seeneliike tuvastati kokku 14 okaspuu kändudel ($N=298$), vt. LISA, tabel 3.

Juurepessu antagonistid

Isoleeritud seeneliikidest testiti puhaskultuuris 8 erinevat seeneliigi kasvukiirust ja vastasmõju juurepessuga: *Phlebiopsis gigantea*, *Phlebia radiata*, *Phlebia tremellosa*, *Phlebia acerina* või *Phlebia rufa*, *Peniophora incarnata*, *Bjerkandera adusta*, *Sistotrema brinkmannii*, *Cylindrobasidium evolvens* ning kontrolliks Soome Rotstop tüvi *Phlebiopsis gigantea*. Valiti välja kuuse kände enim asustavad seened ja potentsiaalsed liigid perekondadest *Phlebiopsis* ja *Phlebia*.

Esialgse laborikatse tulemusena on Eesti päritolu hiidkoorikul (*Phlebiopsis gigantea*) aga ka mõnel teisel testitud seeneliigil oluline potentsiaal juurepessu biotõrjeks.

Surnud puidu kogus

Harvendusraie mõju surnud puidu mahule hinnati vanuseklassides 41-60 ja 61-80 aastat. Kogu surnud puidu ($d > 10$ cm) maht oli oluliselt väiksem harvendatud aladel võrreldes harvendamata aladega ($p < 0,01$). Harvendusraie vähendas ka püstise surnud puidu ja lagunenu lamapuidu mahtu ($p < 0,05$), mis on mõlemad olulised ja spetsiifilised elupaigad.

Keskmi surnud puidu kogused harvendamata kuusikutes suurenesid koos puistu vanusega: 58 m^3 kuni 128 m^3 hektari kohta. Teiste vanusgruppidega võrreldes oli lamapuitu enam > 100 aasta vanustes puistutes.

Harvendatud aladel ei erinenud surnud puidu kogused vanuseklasside vahel ($p > 0,05$) ning varieerusid vahemikus $33-39 \text{ m}^3$ hektarile.

Lamapuidu seente liigirikkus

Puistu vanus ei mõjutanud sarnase dimensiooniga lamapuude seente liigirikkust. Puistu vanusel puudub oluline mõju lamapuude liigirikkusele ja beeta-mitmekesisusele (seos ala tüvede keskmise liigirikkuse ja alale unikaalsete liikide arvu vahel). Teisisõnu, sarnase dimensiooniga ja sarnases kõdufaasis lamapuidu seente liigirikkus ja beetamitmekesisus ei sõltu puistu vanusest. Tuleb siiski märkida, et siit ei saa järeldada, et seente liigirikkus oleks vanades ja noortes kuusikutes sama. Vanadesse kuusikutesse on akumulunud oluliselt suurem kõdupuidu hulk, mistõttu on puistu peale kokku seal suurem elupaikade hulk ning tõenäoliselt ka sealne seente elurikkus, mida antud viisil kogutud andmestik ei võimalda hinnata.

Puistu tasemel tunnustest mõjutas lamapuidu seente liigirikkust positiivselt prooviala mulla C/N suhe. Surnud ja lamapuidu kogus katsealadel seente liigirikkust statistiliselt oluliselt ($p > 0,05$) ei mõjutanud. Seega, antud analüüsi andmete tulemusel suurem kõdupuidu hulk ei näita suuremat seente liigirikkust.

Kuid mõõdetud lamapuidu (tüve) tasemel tunnustest oli seente liigirikkusel oluline mõju kõduastmel. Seente liigirikkus suurenes kõdunemise protsessi käigus, st kõige liigirikamad olid 4-5 kõduastme tüved.

Koosluste tasemel oli puistu vanusel nõrk positiivne mõju kõigis lagustaadiumis lamapuude seenekooslustele ($P < 0,05$).

Kokku leiti lamapuidu seente andmestikust 35 looduskaitseväärtusega seeneliiki (SPEC, species of conservation concern: ohustatud liigid ja põlismetsade indikaatorliigid). Neist sagedasemad olid *Fomitopsis rosea* (roosapess: 15 leidu), *Phellinus nigrolimitatus* (joontaelik: 20 leidu), *Flaviporus citrinellus* (sidrunkollane antrodiell, 11 leidu) ja *Rhodonina placenta* (lõhetümak, 19 leidu). SPEC seente liigirikkus oli suurem vanematel aladel ($p < 0,05$) ja teatud piirkondades ($p < 0,05$; rohkem Järvelja ja Laeva piirkonna aladel). See tähendab, et ajalooliste metsamassiivide ning kaitsealuste põlismetsade läheduses võib ka nooremates puistutes suurema tõenäosusega leida looduskaitseväärtusega liike.

Epifüütide elustik

Sambla- ja samblike liigirikkus kuuskede kasvupindadel kasvab puistu vananedes märgatavalt, nt 81-100 a vanades puistutes esines summaarselt 15 ning >100 a puistutes 27 liiki enam, kui 41-60 a puistutes.

Elusate kuuskede samblike (LICH) liigirikkus on suurim >100 a puistutes, tüügaspuudel aga juba >80 a puistutes; sammaldel (BRY) taolist selget kasvupinna tüübi mõju puistu vanuse kasvades polnud, nt lamapuud toetavad helviksammaldel liigirikkust läbivalt eri vanuses puistutes.

Looduskaitseliselt tähelepanuväärseid liike esines nii nooremates kui ka vanemates puistutes (siiski, >80 a puistutes summaarselt poole võrra enam), kuid nende keskmine arv alal oli madal (≤ 2 liiki) ning puistu vanuseklasside selles osas statistiliselt ($p > 0,05$) ei erinenud.

Sambla- ja samblikukoosluste poolest eristusid omavahel oluliselt >100 a ja <80 a kuusikud

(siiski, 81-100 a kuusikute kooslused ei erinenud oluliselt noorematest vanusegruppidest); ka iseloomulikke liike (n.ö. indikaatorliike) eristus peamiselt vaid >100 a kuusikutes (viis sambliku ja kaks samblaliiki).

Ehkki puistu vanuse ning jämedamõõtmelise kõdupuidu (tüügas- ja lamapuud ning kändud) mahu seos oli positiivne ($p=0,01$), ei seostunud kõdupuidu suurem maht oluliselt sammalde ega samblike summaarse liigirikkusega ($p>0,05$).

Viljakates kasvukohatüüpides kuusikute raievanuse langetamine 80 a pealt 70-60 a-le mõjutab negatiivselt >80 a. kuusikutele iseloomulike sambla- ja samblikuliikide seisundit, sest tõenäosus metsamaastikus neile sobivate kasvupindade tekkeks (nii hulgas kui kvaliteedis) väheneb veelgi, sh mõjutab raievanuse langetamine drastilisemalt: 1. vähemalt kuute (6) praegu soodsas seisundis (punases nimistus) ning ühte ohulähedases seisundis olevat liiki; 2. kooslustele (eriti samblike omale), mis seotud vanade (>100 a) elusate kuuskedega; 3. kooslustele (eriti samblike omale), mis seotud kõdunenud tüügaspuudega.

Raievanuse langetamise mõju epifüütidele (eriti, kui raie tehakse ≥ 81 a kuusikus) saab leevendada vanade elusate kuuskede (n.ö. veteranpuude) säilitamisega, soovitatavalt grupis, ning puistus raie-eelselt olemasolevate tüügas- ja lamapuude alles jätmisega, sest need aitavad säilitada nii raiejärgselt elupaigaspetsialistide populatsioone kui ka toetavad vajalike mikroelupaikade esinemist/tekkimist.

Metsamajanduslik osa

Enamuse kasvukohatüüpide (s.h viljakad) korral mädaniku osakaal kasvab koos vanusega, kusjuures mustika ja jänese kapsa-kõdusoo kasvukohatüüpides mädaniku osakaal kahaneb vanuse kasvades. Kõige suurem juuremädanike kahju on sinilille kuusikutes. Keskmiselt mädanikuga puude osakaal kuuse enamusega puitutes on usaldusväärselt sõltuv vanusest ja kasvukohatüübist ($R^2 = 0,7645$, prognoosiviga 23,11%, $p < 0,0001$). Seega, keskmiselt suureneb mädanikuga puude osakaal iga aastaga 0,3% võrra.

Iga minevikus teostatud hooldusraie (enamasti alustatakse hooldusraietega puistu vanusest alates 20-30 aastat) suurendab keskmiselt mädanikuga puude osakaalu ca 5% võrra ($p < 0,05$), seejuures raie külmal ajal vähendab mädanike kahjustusi ca 3% võrra ning raie soojal ajal ca 9% võrra. Seega, 1-2 hooldusraiet olulist mädaniku kahju puistule ei tekita olenemata raie sesoonist, kuid 3 ja enam harvendusraiet on negatiivse mõjuga kuusiku tervisele.

Varasem maakasutus (mets ja põld) ei olnud oluline mädanike kahjude mõjutaja kuuse enamusega puistutes ($p > 0,05$). Samas on suurema andmehulga põhjal endisel metsamaal mädanikuga puude osakaal keskmiselt ca 2% võrra suurem kui endistel põllumaadel asuvates metsades.

Eelnevaid harvesteri andmeid (88 raielanki) kokku võttes selgub, et oluliselt mõjutavad juuremädanikest tingitud kahjustusi kuuse enamusega puitutes kasvukohatüüp, puistu vanus, hooldusraie ja raie sesoonsus (soe või külm). Põlise metsamaa ja endise põllumaa kuusikud kumbki ei mõjuta oluliselt mädanike tekkimist.

Andmeid kokku võttes on 184 kuuse puistus (jänese kapsas, sinilill ja naadi) vanuses 4-206 aastat mädaniku kahjustusega puid keskmiselt 33%. Kui hinnata vaid lõppraie kuusikuid ca 40

aastat ja enam, s.o harvesteri andmed siis on mädaniku kahjud keskmiselt 53%. Üllatuslikult selgub, et mädanikukahjud (46%) on märkimisväärsed ka kõdusoo ja angervaksa kuusikutes. Kokkuvõtvalt on mädaniku kahjude ulatus 39% (N>76000 puud).

Enamuse analüüsitud kasvukohatüüpide (s.h viljakad) puhul osutus statistiliselt oluliseks (p<0,05) mädanike tõttu hinna muutus ehk mädanikud vähendasid kuuse puistute väärtust. Kahel kasvukohatüübil (JP ja MO) hinnamuutus ei ole statistiliselt oluline (p>0,05).

Harvesteri andmete analüüsi tulemusena, leiti iga kasvukohatüübi ja boniteediklassi kuusiku kohta mädanike tõttu saamata jäänud hind ehk hinnakadu kuuse puistutes vanusevahemikus 36-159 aastat. Kui arvestada saamatajääv hind kõikidele Eesti kuusikutele siis mädanikest tingitud kahjud ulatuvad ca 8,5 miljoni euroni aastas.

Väga olulise aspektina tuleb edasistes kahjustuse analüüsides arvestada eelneva metsapõlve kahjudega ja harvendusraiel väljaraie %-ga. Kumbagi me hetkel ei tea, kuid need andmed on hädasti vaja dokumenteerida ja andmebaasi kanda. Eelneva metsapõlve seisuga saab hästi dokumenteerida harvesteri üksikpuu sortimentide andmeid säilitades.

Kuusikute täpsema kasvukäigu jaoks lisandub andmeid käesolevast tööst niisamuti, kuid hetke töö tulemusena kuuse kasvukäiku ei õnnestunud korrigeerida andmete suure varieeruvuse tõttu. Sellel põhjusel ei saa anda ka usaldatavaid hinnanguid kuusikute mädaniku kahjustest vanuseklasside kaupa. Antud küsimuse lahenduseks on vaja juurde üksikpuu harvesteri andmeid.

Käesoleva analüüsi tulemusena saame öelda seda, et mädanike kahjude tõttu on kuusikute tegelik kasumiküpsus kuni 10 aastat madalam võrreldes terve teoreetilise puistuga (mitte metsa majandamise eeskirja järgse vanusega), aluseks harvesteri 50 lõppraie üksikpuude andmed. Järelikult vaid majanduslikust aspektist lähtudes oli kuuseenamusega puistute raievanuse langetamine mõistlik otsus.

Antud andmestik on oluline rakenduse loomiseks praktilisele metsamajandajale, mille sisuks on täpsem ja ajakohasem kuusikute majandamise põhimõte. Nimetatud rakendus võimaldaks paremini planeerida kuusiku majandamist ning hinnata võimalikke juuremädanike ohte.

Olulisemad tulemused ja järeldused

Kuuse enamusega puistute harvendamine (hooldus-, harvedus ja sanitaarraied) tervikuna ei mõjuta mullaseente liigirikkust niisamuti ka raiete teostamise aeg. Mullaseente liigirikkus kuuse enamusega puistutes oluliselt ei sõltu sellest, kas lõppraiena raiutakse >60 või >80 aasta vanuseid kuusikuid, sest mullaseente kooslused taastuvad juba alates 40 aasta vanustes puistutes.

Puistu vanuse kasvades suurenes oluliselt juurepessu nakkusega puude osakaal, 82% vanuseklassis 41-60 ja 86% vanuseklassis 61-80 ning suurema diameetriga kändud näitasid oluliselt enam juurepessu esinemist võrreldes peenemate kändudega. Seega, **vanemaid ja jämedamaid puid harvendusraietega majandades kasvab juuremädanike nakkuse oht kuuse enamusega puistutes.**

Vanuses 41-80 aastat üks kord raiutud kuusikus juurepessu nakkusega elusate kuuskede osakaal

(85%) on sisuliselt sama raiumata alaga (81%). Seega vanusvahemikus 41-80 puistu harvendamata jätmise märkimisväärselt ei vähendanud juurepessu nakkuse osakaalu. Kuid antud juhul puude juurtes on juurepessu nakkuse osakaal teadmata.

Vanuseklassides 41-60 ja 61-80 oli kogu surnud puidu ($d > 10$ cm) hulk harvendatud aladel võrrelduna harvendamata aladega oluliselt väiksem ($p < 0,01$). Keskmised surnud puidu kogused harvendamata kuusikutes suurenesid koos puistu vanusega: 58 m^3 kuni 128 m^3 hektarile. Harvendatud aladel vanuseklassides 41-60 (39 m^3) ja 61-80 (33 m^3) ei erinenud surnud puidu kogused vanuseklasside vahel oluliselt ($p > 0,05$). **Harvendusraie vähendab eeskätt seisvate surnud puude ja lagunenu lamapuidu mahtu, neid on mõistlik säilitada enam.**

Seisvate ja lamavate surnud puude kogus katsealadel puiduseente liigirikkust oluliselt ei mõjutanud. **Seega, antud analüüsi andmete tulemusel suurem kõdupuidu hulk ei näita suuremat puiduseente liigirikkust.** Kuid mõõdetud tunnustest lamapuidu (tüve) tasemel oli seente liigirikkusel oluline mõju lamatüvede kõduastmel. **Seente liigirikkus suurenes kõdunemise protsessi käigus ehk kõige liigirikkamad olid 4-5 kõduastme tüved.**

Sambla- ja samblike liigirikkus kuuskede kasvupindadel kasvab puistu vananedes märgatavalt, kuid **puistu vanuse mõju oli statistiliselt oluline vaid samblikele** (elusate puude liigirikkus oli kõrgeim > 100 a puistutes ning tüügaspuudel > 80 a puistutes). **Puistu vanuse mõju esines ka epifüütide koosluse tasemel:** eristusid oluliselt > 100 a ja < 80 a kuusikud, kuid 81-100 a kuusikute kooslused ei erinenud oluliselt noorematest vanusegruppidest. Looduskaitsealiselt tähelepanuväärsed liike kasvas nii nooremates kui ka vanemates puistutes ning puistu vanuseklassid selles osas ei eristunud. Kõdupuidu suurem maht puistus sammalde ega samblike summaarse liigirikkust ei suurendanud. Neist tulemustest järeldub, et **raievanuse langetamise mõju on suurim samblikele, ennekõike vähendades vanade puistute elusate ja tüügaspuude liigirikkust.**

Kogu mullaseente ja ka eraldi ektomükoriisete, saprotroofide ja taimepatogeenide liigirikkus ei erinenud endise põllumaa ($N=10$) ning põlise metsamaa ($N=10$) kuuse enamusega puistutes. Niisamuti, kõikide 272 kuuse enamusega puistu järgi varasem maakasutus (ajalooline mets ja endine põld) ei olnud oluline mädanike kahjude mõjutaja kuuse enamusega puistutes. **Seega ei erine mullaseente liigirikkus põlise metsamaa ja endise põllumaa puistutes.**

Kokkuvõttes on 184 kuuse puistus (jänsekapsas, sinilill ja naadi) **vanuses 4-206 aastat mädaniku kahjustusega puid keskmiselt 33%**. Uuendusraie-kuusikutes ca 40 aastat ja enam on mädaniku kahjud keskmiselt 53%. Üllatuslikult selgub, et mädanikukahjud (46%) on märkimisväärsed ka kõdusoo ja angervaksa kuusikutes. **Kokkuvõtvat on mädaniku kahjude ulatus kõikides analüüsitud kuusikutes 39% ($N > 76000$ puud).**

Keskmiselt mädanikuga puude osakaal kuuse enamusega puistutes on usaldusväärselt sõltuv vanusest ja kasvukohatüübist ($R^2 = 0,7645$, prognoosiviga 23,11%, $p < 0,0001$). **Keskmiselt suureneb mädanikuga puude osakaal iga aastaga 0,3% võrra.** Seega puistu vanuse kasvades suureneb mädaniku risk ning puhtalt majanduslikust aspektist on varasem uuendusraie otstarbekam.

Kogu andmestiku järgi iga minevikus teostatud hooldusraie suurendab keskmiselt mädanikuga puude osakaalu ca 5% võrra. Seejuures 1-2 hooldusraiet olulist mädaniku kahju puistule ei tekita olenemata raie sesoonist, kuid enam raiekordi tähendab rohkem mädaniku kahjusid. **Majanduslikust aspektist ja juuremädanike kahjude ohust on vähem**

hooldusraied parem kui rohkem ja siin ei ole oluline niivõrd raie sesoon. Seega pigem teha hooldusraied nooremas puistus ning jätta kuusikud uuendusraieni puutumata.

Võttes aluseks harvesteri andmed, leiti iga kasvukohatüübi ja boniteediklassi kuusiku kohta mädanike tõttu saamata jäänud tulu ehk hinnakadu kuuse puistutes vanusevahemikus 36-159 aastat. **Mädanike tõttu saamata jäänud tulu kõikidele Eesti kuusikutele ulatub 8,5 miljoni euroni aastas.** Seega mädanike kahjud kuusikutes ja selle tõrje on oluline teema.

Käesoleva analüüsi tulemusena saame öelda seda, et mädanike kahjude tõttu on tegelik kuusikute kasumiküpsus kuni 10 aastat madalam võrreldes terve teoreetilise puistuga (mitte metsa majandamise eeskirja järgse vanusega), aluseks 50 uuendusraieala andmed. Järelikult, majanduslikust aspektist lähtudes oli kuuseenamusega puistute raievanuse langetamine mõistlik otsus.

Konkreetsemad seisukohad ja soovitused

Kui arvestada saamata jäänud hind kõikidele Eesti kuuse enamusega puistutele (kuuse osalus $\geq 50\%$) siis mädanikest tingitud kahjud ulatuvad 8,5 miljoni euroni aastas. Kuna mädanike osakaalu puistus mõjutavad oluliselt enam puistu vanus, hooldusraied ja kasvukohatüüp, siis vanemaid ja jämedamaid kuuski hooldusraietega raiudes kasvab juuremädanike nakkuse oht kuuse enamusega puistutes. Seda leevendab, kui teha vaid üks hooldusraie puistu nooremas eas ning edasi jätta puistud puutumata kuni uuendusraieni.

Käesoleva analüüsi tulemusena selgub, et mädanike kahjude tõttu on kuusikute kasumiküpsus kuni 10 aastat madalam võrreldes terve teoreetilise puistuga (mitte metsa majandamise eeskirja järgse vanusega). Järelikult majanduslikust aspektist lähtudes oli kuuseenamusega puistute raievanuse langetamine mõistlik otsus. Siiski, kuusikute kasumiküpsus vajab enam analüüsi ja ka kuuse kasvukäigu korrigeerimist.

Üllatuslikult selgub, et naadi ja kõdusoo kuusikute sanitaarne seisund pole samuti hea, sest mädanikuga puude osakaal oli 46%. Seepärast on vajalik täpsemalt hinnata mädanike kahjude ulatust kõikides kuusikutes ja korrigeerida majandamise põhimõtteid.

Seente, sammalde ja samblike liigirikkus ei sõltu lamapuidu kogusest, vaid pigem selle kvaliteedist (sh laguaste). Harvendatud kuusikutes olid keskmised surnud puidu kogused küll oluliselt väiksemad (33-39 m³ hektarile) kui harvendamata puistutes, kuid ilmselt pole see elustiku jaoks problemaatiline. Siiski, kuna harvendamata kuusikutes on vähem seisvat surnud puitu ja kõrgema laguastmega lamapuitu, siis on soovitus seda enam raietöödel säilitada. Milline on optimaalne seisva ja lamava surnud puidu kogus ning sellest tulenevad teised ohud kuusikute tervisele (nt kuuse-kooreüraskite kahjud), seda käesolev töö ei analüüsinud.

Hooldusraied ei mõjuta mullaseente liigirikkust olenemata raie ajast. Mullaseente liigirikkus kuuse enamusega puistutes oluliselt ei sõltu ka sellest, kas lõppraiena raiutakse >60 või >80 aasta vanuseid kuusikuid. Surnud puidul olev seente liigirikkus ei sõltu oluliselt niisamuti sellest, kas lõppraie vanus on >60 või >80 aastat, olulisim on vajalik substraat. Kuid samblike liikidele on raie vanuse alandamine siiski negatiivse mõjuga, kuna see mõjutab eelkõige eluspuudel elavaid haruldasi liike.

Raievanuse langetamise mõju epifüütidele saab leevendada vanade elusate kuuskede (n.ö.

veteranpuude) säilitamisega, soovitatavalt grupis, ning puistus raie-eelselt olemasolevate tüügas- ja lamapuude alles jätmisega, sest need aitavad säilitada nii raiejärgselt elupaigaspetsialistide populatsiooni kui ka toetavad vajalike mikroelupaikade esinemist/tekkimist.

Majanduslikust aspektist raievanuse langetamine on mõistlik ja teatud elustikurühmadele (nt mullaseened) pigem neutraalne. Kuid raievanuse langetamine ei ole kõikidele elustikurühmadele sobiv, nt vanade elus kuuskede ja tüügaspuudega seotud samblikele. Seega, teatud aladel kuusikute hilisem raiumine või ka puutumata metsade säilitamine on vajalik. Sellisel juhul tuleb arvestada, et hilisem raie tähendab omanikule kulu (s.o keskmiselt mädanikuga puude osakaal kasvab 0,3% võrra aastas) ning see ei saa olla täies ulatuses vaid omaniku kanda. Looduskaitse (ka elustikukaitse) peab olema terve ühiskonna vastutus ehk uuendusraie pikendamisest saamata jäänud tulu tuleb maaomanikele kompenseerida.

Täiendavad uuringud

Usaldusväärsemate majanduslike kahjude arvutamiseks (s.h vanuseklasside kaupa) on vajalik suurem hulk üksikpuu harvesteri andmeid kõikidest kuusele sobivatest kasvukohatüüpidest, mis ühtlasi aitaks korrigeerida ka kuuse kasvukäiku. Korrigeeritud kuuse kasvukäik annab võimaluse arvutada täpsemaid majanduslikke kahjusid puistute vanuseklasside kaupa ning täpsustada kasumi ja mahuküpsust.

Üllatuslikult selgub käesolevast tööst angervaksa- ja kõdusookuusikute üsna vilets tervislik seisund, seega on vajalik detailsemalt analüüsida ka nende kasvukohatüüpide kahjusid ja selle põhjusti.

Eelnevatest analüüsides nähtub, et mulla keemia mõjutab seente liigirikkust ja kooslusi. Seepärast on vajalik juuremädanike kahjude sisukamaks hindamiseks edaspidi kasutada mulla keemilist koostist ja seda on vaja ka paremaks harvesteri andmete interpreteerimiseks.

Täpsemaks seente elurikkuse analüüsiks lamapuidus on vaja suuremat valimit (ka erinevas läbimõõdus tüved) ning eraldi tuleb analüüsida lamapuitu seene- ja epifüütide elurikkust hooldusraietega majandatud puistutes. Ühtlasi tuleb leida optimaalseim surnud puidu kogus arvestades elustiku vajadusi ning sellest tingitud kahjurite ja patogeenide ohtu tervele puistule.

Antud töö tulemusena selgub, et vajalik on luua rakendus praktilisele metsamajandajale, mille sisuks on täpsemad ja ajakohasemad kuusikute majandamise võtted (ka raievõtted) ning mis võimaldaks paremini planeerida kuusikute majandamist ning hinnata võimalike juuremädanike ohtusid.

Vajalikud on Eesti oma potentsiaalsete juurepssu antagonistide tüvede analüüsid ehk nende katsed looduses.

Vajalikud on detailsemad patogeenidest ja kahjuritest tingitud majanduslikud kahjude analüüsid arvestades erinevaid raieviise.

Juuremädanike (eelkõige juurepess) tekitajate paremaks tuvastamiseks mullast tuleb testida sügavamalt võetud mullaproovide sekveneerimist.

7.1 Projekti lühikokkuvõte (maksimaalselt 500 tähemärki)

Mädaniku kahjude ulatus kõikides analüüsitud kuusikutes on 39%. Seega, Eesti kuusikutes mädanike tõttu saamata jäänud tulu metsaomanikule on ca 8,5 miljoni eurot aastas.

Keskmiselt mädanikuga puude osakaal kuuse enamusega puitutes on sõltuv vanusest, hooldusraietest ja kasvukohatüübist. Seega, keskmiselt suureneb mädanikuga puude osakaal iga aastaga 0,3% võrra ja iga minevikus teostatud hooldusraie suurendab keskmiselt mädanikuga puude osakaalu ca 5% võrra, seejuures 1-2 hooldusraiet pigem olulist mädaniku kahju puistule ei tekita olenemata raie sesoonist, kuid enam hooldusraieid on negatiivne mõjuga puistu seisundile.

Käesoleva analüüsi tulemusena selgub, et mädanike kahjude tõttu on tegelik kuusikute kasumiküpsus kuni 10 aastat madalam võrreldes terve teoreetilise puistuga. Majanduslikust aspektist lähtudes oli kuusikute raievanuse langetamine mõistlik otsus.

Hooldusraied ei mõjuta mullaseente liigirikkust olenemata raie ajast. Mullaseente liigirikkus kuuse enamusega puistutes oluliselt ei sõltu ka sellest, kas lõppraiena raiutakse >60 või >80 aasta vanuseid kuusikuid. Surnud puidul olev seente liigirikkus ei sõltu oluliselt niisamuti puistu vanusest, olulisim on sobilik substraat. Kuid samblikele on raie vanuse vähendamine negatiivse mõjuga, kuna see mõjutab eelkõige vanadest eluspuudest ning tüügaspudest sõltuvaid liike.

Seente, sambla ja samblike liigirikkus ei sõltu lamapuidu kogusest, vaid pigem selle kvaliteedist. Harvendusraie vähendab seisvate surnud puude ja rohkem lagununud lamapuidu mahtu.

Majanduslikust aspektist raievanuse langetamine on mõistlik ja teatud elustikurühmadele (nt mullaseened) pigem neutraalne, kuid mitte kõikidele, nt samblikud. Seega, teatud elustiku kaitsmise eesmärgil küpsusvanusest hilisem kuusikute raie või ka puutumata metsade säilitamine on vajalik. Sellisel juhul tuleb arvestada, et hilisem raie tähendab omanikule kulu (s.o keskmiselt mädanikuga puude osakaal kasvab 0,3% võrra aastas) ning see ei saa olla täies ulatuses vaid omaniku kanda. Looduskaitse (ka elustikukaitse) peab olema terve ühiskonna vastutus ehk uuendusraie pikendamisest saamata jäänud tulu tuleb maaomanikele kompenseerida.

8. PROJEKTIGA HAAKUVAD DOKTORI- JA MAGISTRITÖÖD:

Plaanitavad ja projektiga seotud doktoritööd:

Juuremädanike kahjude analüüs ja tõrjestrategie okaspuu enamusega puistutes, Merit Fjodorov, 1. aasta doktorant.

Seente taksonoomia ja dünaamika okaspuuenamusega majandusmetsades, 4. aasta doktorant Elisabeth Rähn.

Projektiga seotud magistritööd:

Piiskop, K. 2019. Juure- ja tüvemädanike kahjustused 41-80 aastastes hariliku kuuse (*Picea abies* (L.) Karst.) puistutes. Eesti Maaülikool, 57 lk.

Fjodorov, M. 2019. Juure- ja tüvemädanike kahjustuste analüüs üle 80 aastastes hariliku kuuse (*Picea Abies* (L.) Karst.) puistutes. Eesti Maaülikool, 43 lk.

Projektiga seotud bakalaureusetööd:

Veeväli, V. 2017. Kuuse- ja männipuitu asustavad ja kahjustavad seened. Eesti Maaülikool, 28 lk.

Ikkonen, J. 2018. Juuremädanike kahjustuste analüüs hariliku kuuse (*Picea abies*) noorendikes. Eesti Maaülikool, 36 lk.
 Klein, G. 2018. Hariliku kuuse (*Picea abies*) radiaalkasvu analüüs juuremädaniku nakkusega küpsetes puistutes. Eesti Maaülikool, 35 lk.
 Rannakivi, S. 2018. Juuremädanike kahjustused 21-40 aastastes kuusikutes. Eesti Maaülikool, 30 lk.
 Tsopp, K. 2018. Radiaalne juurdekasv keskealistes juuremädaniku nakkusega kuusikutes. Eesti Maaülikool, 43 lk.

9. PROJEKTI RAAMES AVALDATUD PUBLIKATSIOONID:

Pooleli olevaid käsikirjad on järgmised:

1. Hariliku kuuse puistutes metsamajandamise mõju seente mitmekesisusele puudes ja kändudes;
2. Metsamajandamise mõju kuusikute mullaseente elurikkusele;
3. Lamapuidu seente elurikkus kuusikutes;
4. Lamapuidu struktuur kuusikutes;
5. Epifüütide liigirikkus kuusikutes;
6. Mädanike kahjude analüüs kuusikutes

10. Projekti juht (nimi): Rein Drenkhan	Allkiri:	Kuupäev: 15.09.2019
---	-----------------	----------------------------

11. Taotleja esindaja kinnitus aruande õigsuse kohta (nimi, amet): Toomas Timmusk, direktor	Allkiri:	Kuupäev: 15.09.2019
---	-----------------	----------------------------

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