

Eesti Maaülikooli ja Tartu Ülikooli koostööprojekt

RMK lepinguline projekt 2016 - 2019:

Kuusikute raieaja ja raieviiside mõju patogeenide levikule ja arvukusele ning puistu elurikkusele viljakates kasvukohatüüpides

lõpparuande pikem versioon (LISA)

Projektijuhid: Rein Drenkhan ja Leho Tedersoo

Koostööprojekti täitjad ja aruande koostajad:

Rein Drenkhan, Leho Tedersoo, Kalev Adamson, Tiia Drenkhan, Katrin Jürimaa, Piret Lõhmus, Allar Padari, Katrin Rosenvald, Raul Rosenvald, Elisabeth Rähn, Hardi Tullus

Tartu 2019

Sisukord

Sissejuhatus.....	3
1. Materjal ja metoodika.....	4
2. Tulemused.....	6
2.1 Kuuse enamusega puistutes mullaseente liigirikkust mõjutavad keskkonna- ja metsamajanduslikud faktorid	6
2.2 Seente liigirikkus eluspuudes ja kändudes ning seda mõjutavad faktorid. Juurepessu antagonistid	17
2.2.1 Eluspuude seente liigirikkus.....	17
2.2.2 Kändude seente liigirikkus	18
2.2.3 Juurepessu antagonistid	19
2.3 Lamapuit kuuse enamusega puistutes ja sellega seotud seente elustik	19
2.3.1. Surnud puidu kogused harvendatud ja harvendamata kuusikutes	19
2.3.2 Lamapuidu seente liigirikkus ning seda mõjutavad faktorid	21
2.4 Sammalde ja samblike liigirikkus ning koosseis olenevalt puistu vanusest.....	23
2.5 Metsamajanduslik osa	28
2.5.1 Juuremädanike kahjude analüüs koondandmete alusel	29
2.5.2 Juuremädanikest tingitud hinna analüüs harvesteri andmete alusel.....	35
2.5.3 Eesti kuusikutes mädanike tekitatud majanduslik kahju	40
3 Olulisemad tulemused ja järeldused.....	43
4 Konkreetsemad seisukohad ja soovitused.....	45
5 Täiendavad uuringud	46
6 KOKKUVÕTE	47
Kasutatud kirjandus	48
LISAD	49

Sissejuhatus

Käesolev uurimustöö on Eesti Maülikooli ja Tartu Ülikooli kolme aastane lepinguline koostööprojekt. Iga osa koostasid või selle osa sisulist analüüsi juhtisid erinevad autorid, kes on nimetatud iga vastava aruande osa ees.

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.

Lepingulise koostööprojekti eesmärgid olid järgmised:

1. Hinnata erinevate metsamajandamise võtete, hooldusraiate korduse ning teostamise aja (puistu vanus ja aastaeg) mõju patogeenide arvukusele, mulla-elustikule ja epifüütidele viljakates kuuse-enamusega metsades.
2. Analüüsida teaduslikult kuusikute raieringi pikkuse mõju kuuse tüvepuidu sortimentide väljatulekule, tüvekahjustuste ulatusele ja elurikkusele.
3. Hinnata juuremädanikest tingitud majandusliku kahju suurust ja patogeenide arvukust viljakates kuusepuistutes (sh kändudes ja mullas) ning ühtlasi tuvastada potentsiaalseid juuremädanike antagonistide Eesti mulla- ja kliimatingimustes.
4. Koostada arvutusmudelid, mis võimaldavad erinevate sisendite (mädanike osakaal ja levik tüves, hooldusraiate aeg puistu vanusest ja vegetatsiooniperioodist lähtuvalt, mulla elurikkus) abil kirjeldada kuusikute kasvukäiku ja arvutada erinevaid tegureid arvestavad küpsusvanused, nt mahu- ja hinnaküpsus.

1. Materjal ja metoodika

Käesoleva uuringu tarbeks valiti välja majandatud või harvendatud (st teostatud hooldus-, harvendus- ja sanitaarraied) kuuse enamusega puistud eelkõige viljakates (jänesekapsa, sinilille ja naadi) kasvukohatüüpides vanuseklassides 4-20, 21-40, 41-60, 61-80, 81-100 ja >100 aastat. Kontroll või majandamata või raieteta või harvendamata (st ei ole tehtud hooldus-, harvendus- ega sanitaarraieid) aladena kasutati võimalikult sarnase kasvukohatüübi, koosseisu ja vanusega puistusid. Igast vanusevahemikust valiti 30 puistut (s.o raiutud ja kontrollalad kokku). Noorimas vanuseklassis olid kõik valitud alad raieteta, kuna selles vahemikus hooldusraieid ei tehta. Proovid koguti sügisel 2016 ja kevadel 2017 kokku 185 alalt (Lisa 1 ja 2).

Mullaproovid koguti 186 alalt 0-5 cm sügavuselt ja vastavalt tunnustatud metoodikale Tedersoo et al. (2014) järgi. Mullaproovid sekveneeriti PacBio Sequel platvormil, mis on hetkel maailmas tippase. Mullaseente liigirikkuse väärtusena on kasutatud operatiivsete taksonoomiliste üksuste (OTU; vastab ligikaudu liikide arvule) arvu ja DNA järjestuse (sekventside) arvu suhte jääke (*standard residuals*), mida kasutati modelleerimisel ning seente elustiku arvutustes. Lihtsuse mõttes kasutame edaspidi termineid liik ja liigirikkus.

Kogu töös mulla ja puidu DNA põhise andmestikku (OTU tabelid) kasutati seenelustiku analüüsiks programmi PERMANOVA+ (Anderson et al. 2008) abil, kus olulisuse nivooks oli $\alpha < 0.05$.

Juurdekasvuproovide andmed koguti 185 kuuse enamusega puistust 2247 puult (vähemalt 12 juhuslikult valitud juurdekasvuproovi puistu kohta), et hinnata mädaniku kahju ulatust visuaalselt ja molekulaarselt. Molekulaarselt hinnati ka seente liigirikkust eluspuudes, sh tervetes ja kahjustustega puudes. Antud teema raames analüüsiti 42 kuuse enamusega puistut (32 harvendatud ja 10 harvendamata) jänesekapsa ja sinilille kasvukohatüübist (vanus 41-80 aastat), millest 37 asusid põlisel metsamaal (mets enne 1900. aastat) ning 5 endisel põllumaal. Proovid võeti 0,25 ha prooviaialal, kus koguti vähemalt 12 juhusliku puu juurdekasvuproovid juurekaelalt. Seente liigirikkust analüüsiti kokku 504 eluspuu juurdekasvuproovist.

Pilootalade kännuandmed. Kokku analüüsiti 411 kännuproovi neljalt alalt E4, C5, D7, Vara (vanus 43-74 aastat). Üks ala (D7) on lõppraielank, mida seente liigirikkuse analüüsis ei kasutatud. Kolmel alal olid raied tehtud 1-2 aastat enne proovide kogumist, mille põhjal hinnati seente liigirikkust (sh mädaniku tekitajaid) kändudes. Analüüsiti 260 kuuse, 23 männi, 8 haava ja 7 kase kändu, kokku 298 kännuproovi. Kändude seente elustiku andmed saadi sekveneerimise teel Illumina MiSeq platvormil. Kuusikud (E4, C5, D7) 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 kasvukiirust puhaskultuuris.

Lamapuidu ja epifüütide andmed. Lamapuidu ja epifüütide proovid koguti 4 vanusrühmast (41-60; 61-80; 81-100; >100 aasta), kokku 40 harvendamata kuusepuistust (iga vanuserühma

kohta 10 ala). Lamapuidu proove koguti kokku 200, analüüsiti 192. Eesmärgiks oli igalt alalt valida juhuslikult 5 sarnast lamatüve (III kõduaste, st noatorkel läheb tera 1-5 cm puitu; rinnasdiameeter 20-30 cm). Kõikidest uuritud puistutest ei olnud võimalik uuringuks viit lamatüve leida, mistõttu kuues 50-70 aastases puistus piirduti proovidega 3-4 lamatüvest. Sobiva materjali vähesuse tõttu tuli kaasata ka mitmeid vähem (II kõduaste) ja rohkem (IV kuni V kõduaste) kõdunenud lamatüvesid. Kõik puiduproovid sekveneeriti seente määramiseks Illumina MiSeq platvormil.

Lamapuidu koguseid mõõdeti kahe 50-meetrise transektiga ristuvate tüvede põhjal. Seisvate surnud puude ja kändude maapealse osa maht mõõdeti 900 m² proovialadelt.

Epifüütide liigirikkuse ja koosseisu andmestiku kogumiseks valiti igal proovialal (900 m²) uuringuks kuuse elusad tüved, tüügaspuud ja lamapuud, sh igat tüüpi viis tüve. Kokku hinnati epifüüte kuuse 200 elusalt, 197 tüügas- ja 194 lamatüvel. Tüügaspuud olid vähemalt 1,5 m kõrgused tüved (latv võis olla murdunud) rinnasdiameetriga >10 cm (sh tüügaspuude valikul kõdupuidu klassi ning paljandunud puidu osatähtsust tüve alumisel 2 m ei arvestatud). Kirjeldatavatel lamapuudel eristati 4 m tüveosa, mille mõlema otsa diameeter oli 20 cm (erandkorras võis olla ka 18-19 või 21-23 cm) ning tüve kõduaste valdavalt II-III (erandkorras IV).

Sambla- ja samblikuliikide kooslused inventeeriti elusatel tüvedel ja tüügaspuudel tüve jalamilt kuni 1,8 m kõrguseni (sh kaasati ka oksad, kui need esinesid) ning lamatüvedel ülalpool kirjendatud tingimustele vastaval 4 m tüveosal. Liike registreeriti nii tüve koorelt kui ka puidult. Väritingimustes raskesti määratavad liigid koguti kaasa ning määrati liikideni laboris mikroskoobi ja värvustestide abil (samblamaterjali määras EMÜ brüoloog Mare Leis; samblikud TÜ lihhenoloog Piret Lõhmus).

Majandusliku kahju analüüs ja harvesteri andmed. Majandusliku kahju hinnanguks koguti viljakatest ja vähemviljakatest kasvukohatüüpidest 88 langi andmed (sh 50 alalt üksikpuu ja 38 alalt koondandmed) Järva-, Jõgeva-, Põlva- ja Võrumaalt vanusevahemikus 33-134 aastat (Lisad 3 ja 4). Kokku analüüsiti 50 langilt 73930 puu andmeid, keskmiselt 1478 puud langi kohta. Analüüsitavatest puudest olid 66% kuused, 14% männid, 12% kased ja 8% teised puuliigid. Lisaks kasutati RMK arhiivi andmeid nimetatud 88 ala kohta, mille eesmärk oli täpsustada uuendusviisi, hooldusraieid ja eelnevaid kahjustusi. Hooldusraiete ajalugu on teada viimase 10-20 aasta kohta, kuid kaugem tagasivaade on lünklik. Kõik puud jagati sortimentideks vastavalt sortimendi koodile, diameetrile ja mädanikule (vt. vahearuanne 2008; Drenkhan ja Tedersoo 2018). Sortimentide hinnad arvutati vastavalt RMK 2017. a. hinnakirjale (Drenkhan ja Tedersoo 2018).

Juuremädaniku kahjude ulatuse hindamiseks ja vastavate mudelite koostamiseks kasutati harvestri andmestikku (88 lanki) ning käesoleva töö raames kogutud 185 kuusikust pärit 2247 puu andmeid. Kokku kasutati enam kui 76 000 üksikpuu andmeid. Analüüside aluseks oli mädaniku visuaalne hinnang kännu kõrguselt, noortel puudel kuni 9 aastat hinnati juurepessu nakkust molekulaarselt kasutades konventsionaalse PCR liigispetsiifilisi primereid.

2. Tulemused

2.1 Kuuse enamusega puistutes mullaseente liigirikkust mõjutavad keskkonna- ja metsamajanduslikud faktorid

Autorid: Elisabeth Rähn, Indrek Hiiesalu, Leho Tedersoo, Rein Drenkhan

Mullaseeni mõjutavad olulisimad faktorid

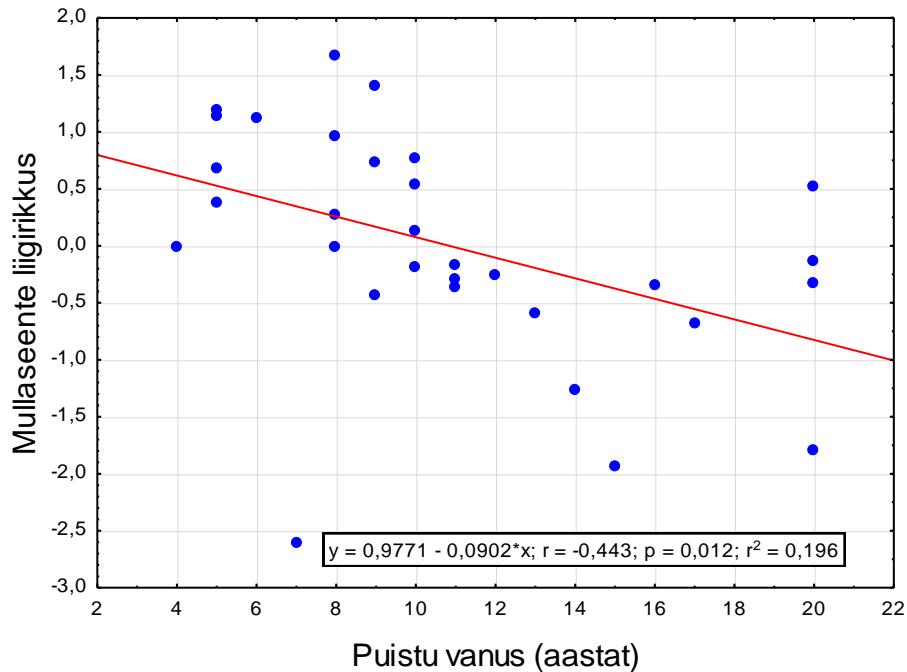
Kõikide mullaseente liigirikkust kuusikutes vanuses 4-206 aastat mõjutasid enim ja statistiliselt oluliselt ($P < 0,05$) negatiivselt mulla C/N suhe, positiivselt puistu vanus ning mulla magneesiumi sisaldus (Tabel 1). Sealhulgas ektomükoriisa-seente liigirikkusele avaldasid positiivset mõju mulla pH ja magneesiumi sisaldus ning puistu rinnaspindala (Tabel 1). Saprotroofsete seente liigirikkusele avaldas negatiivset mõju mulla C/N suhe ja harvendusraie, positiivset mulla pH (Tabel 1). Taimepatogeenidele avaldas positiivset mõju vaid kuuse osakaal puistus (Tabel 1). Raie ja vanuse koosmõju ning mullaparameetrid ei mõjutanud ühegi seente funktsionaalse rühma liigirikkust.

Tabel 1. Mullaseente liigirikkust mõjutavad faktorid 4-206 aastastes kuusikutes.

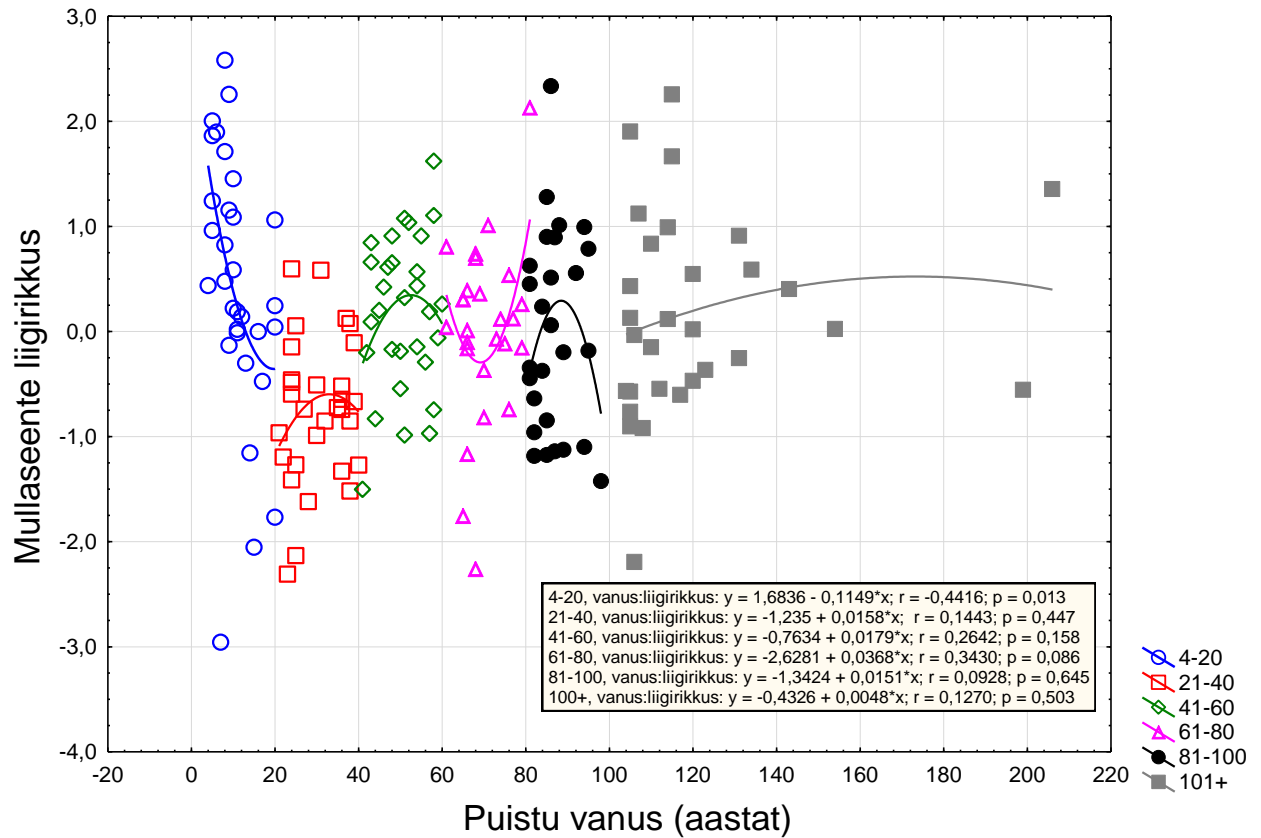
<i>Seente funktsionaalne rühm ja faktorid</i>	<i>Kirjeldab variatsioonist (%)</i>	<i>p-väärtus</i>
Kõik seened		
vanusegrupp	2.5	0.022
I rinde liikide arv	1.4	0.027
mulla Mg	2.1	0.010
mulla Ca	1.1	0.041
mulla C/N	3.2	0.002
Ektomükoriisa		
rinnaspindala	1.7	0.01
I rinde liikide arv	0.09	0.033
mulla pH	5.6	<0.001
mulla Mg	1.6	0.011
Saprotroofid		
harvendusraie	1.9	0.005
mulla pH	1.9	0.005
mulla C/N	8.3	<0.001
orgaanilise C sisaldus mullas	0.07	0.044
Taimepatogeenid		
kuuse osakaal	1.6	0.046

Kõikide seente elustiku sõltuvus vanusest ja raiest

Puistu vanus on üks statistiliselt olulisemaid faktoreid, mis mõjutab kogu seente liigirikkust kuusenoorendikes (Joonis 1). Kuusenoorendikes (4-20 aastat) jääb mullaseente liigirikkus sarnaseks vana metsapõlve omaga ning kahaneb ligi 10 aastat pärast raiet. Mullaseente elurikkus taastub kuusiku 40 eluaastaks ning on stabiilne kuni 200 eluaastani (Joonis 2).

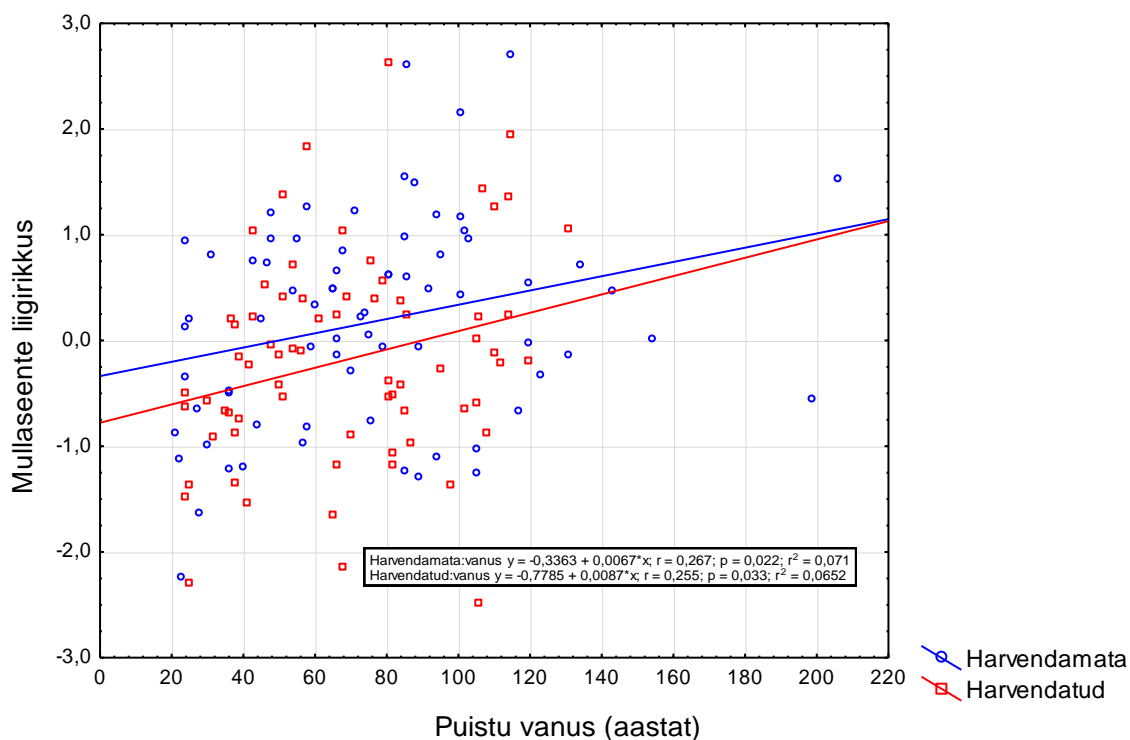


Joonis 1. Kogu mullaseente liigirikkuse ja vanuse seos kuuse noorendikes vanuses 4-20 aastat. Punktid tähistavad kuuse enamusega puistuid erinevas vanuses. Mullaseente liigirikkuse väärtusena on kasutatud liikide arvu ja liikide rohkuse suhte jääke (*standard residuals*).



Joonis 2. Kõik kuusikud (harvendatud ja harvendamata, N=173) vanuses 4-206 aastat, grupeeritud vanuseklasside järgi. Sümbolid tähistavad kuusikuid vastavalt erinevate vanusegruppide kaupa. Elurikkuse langus toimub esimese 20 aasta jooksul, millele järgneb tõus platoole ca 40. aastal. Algne langus on seletatav ääre-efektiga, kus eelneva vana metsa kooslus vaesestub ja asendub noore kuusiku pioneerkooslusega.

Harvendusraie üldiselt kuuse enamusega puistutes statistiliselt olulist ($P > 0,05$) mõju kogu mullaseente liigirikkusele ei avaldanud, kuid keskmine seente liigirikkus oli siiski kõrgem harvendamata aladel (Joonis 3).



Joonis 3. Harvendatud (punane) ja harvendamata (sinine) kuusikute mullaseente sõltuvus vanusest. Analüüsist on välja jäetud <20 aasta vanused puistud.

Seente liigirikkus oli kõige madalam vanuseklassis 21–40 aastat, kui hinnati kogu mullaseente liigirikkust vanuseklasside kaupa. Nende kuusepuistute (21–40 aastat) mullaseente liigirikkus erines statistiliselt oluliselt ($P > 0,05$) kõikidest teistest (4–20, 41–60, 61–80, 81–100 ja >100) vanuseklassidest. Kõiki mullaseeni (sh grupis 4–20) koos analüüsidest selgus statistiliselt oluliselt suurim mullaseenete elurikkus üllatuslikult noorimas vanuseklassis (4–20) võrrelduna kõikide teistega (Joonis 4A). Seda tulemust võib selgitada eelneva metsapõlve mõjuga või nn. ääre-efektiga, kus vana metsakoosluse asemele rajatud puistus vaesestub seenestik noortele kuusikutele omaste pioneerliikide esiletõusu arvelt.

Kuuse vanusegrupi 21–40 kogu mullaseente liigirikkus oli madalaim sarnaselt nii harvendamata kui ka harvendatud puistutes (Joonis 4A). Selle põhjuseks võib olla liitunud puude võradest tingitud rohurinde kadumine ning madala taimede elurikkuse negatiivne mõju seenete elurikkusele.

Kogu mullaseente liigirikkus jõudis platooni umbes 40. aastaks, mis viitab sellele, et kooslused enam oluliselt ei täienenud (Joonis 4A). Kui vaadata laiemas skaalas kuuse vanuseklasside liigirikkust, siis puistute summaarne liigirikkus kasvas vanusega, mis viitab sellele, et vanemad kuusikud kokkuvõttes toetavad suuremat elurikkust kui nooremad kuusikud läbi koosluste suurema varieeruvuse.

Harvendamata aladel olid liigirikkuse keskmised väärtused kõigis vanuseklassides veidi kõrgemad (keskmiselt 27,5%) võrreldes harvendatud aladega (Joonis 4A), ent tulemused ei olnud statistiliselt olulised ($P > 0,05$). Ka >100 harvendamata kuusiku liigirikkus oli 10% kõrgem kui harvendatud kuusiku liigirikkus.

Mullaseente elustikurühmi mõjutavad puistu vanus ja harvendusraie

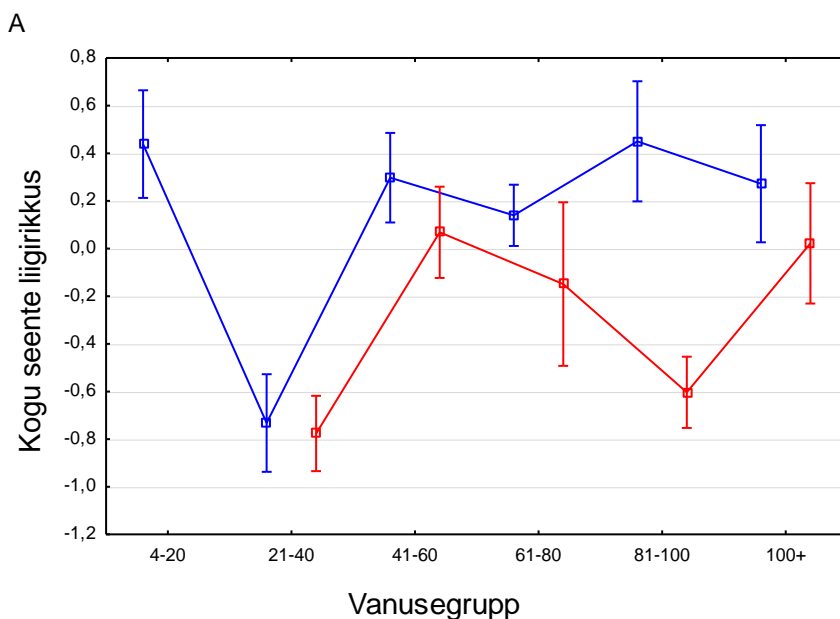
Majandamise suhtes tundlikematele ektomükoriisa-seentele avaldasid statistiliselt olulist ($P < 0,05$) mõju mulla pH, magneesiumi sisaldus ning puistu rinnaspindala (Tabel 1).

Ektomükoriisa-seente liigirikkusele harvendusraie statistiliselt olulist ($P > 0,05$) mõju ei avaldanud, ent keskmine liigirikkus oli madalam harvendatud aladel. Vanuseklassis >100 ektomükoriisa-seente liigirikkus on raiumata aladel 10% kõrgem võrreldes raiutud alade puistutega (Joonis 4B).

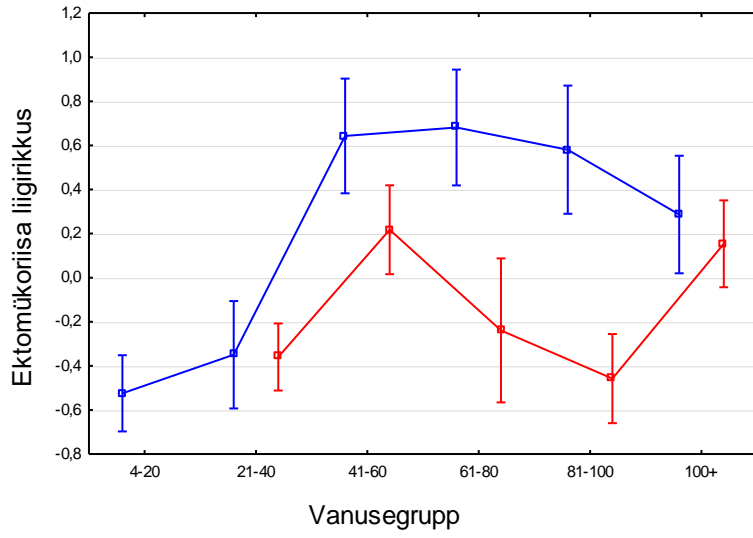
Puistu vanusel statistiliselt oluline mõju ektomükoriisa-seente liigirikkusele puudus ($P > 0,05$), kuid see oli madalaim vanuseklassis 4-20 ja kõrgeim vanuseklassis 41-60 harvendatud aladel ja vanuses 61-80 harvendamata aladel. Harvendamata aladel vanuseklassid 4-20 ja 21-40 olid sarnase madalama liigirikkusega võrreldes kõikide vanemate vanuseklassidega. Noorima vanuserühma ektomükoriisa-seente madalaim elurikkus viitab kiirele raiejärgsele mõjule ning taastumisele 41-60 vanuseklassis.

Puistu vanusel ja harvendusraiel puudus oluline mõju saprotoofidele, kuid keskmine liigirikkus oli veidi kõrgem harvendamata aladel (Joonis 4C). Suurim saprotoofide liigirikkus esines noorimas vanuserühmas 4-20, mis viitab asjaolule, et noorimas vanuserühmas on lõppraiejärgselt raiejäätmete hulk, mis on sobiv nimetatud seenerühmale.

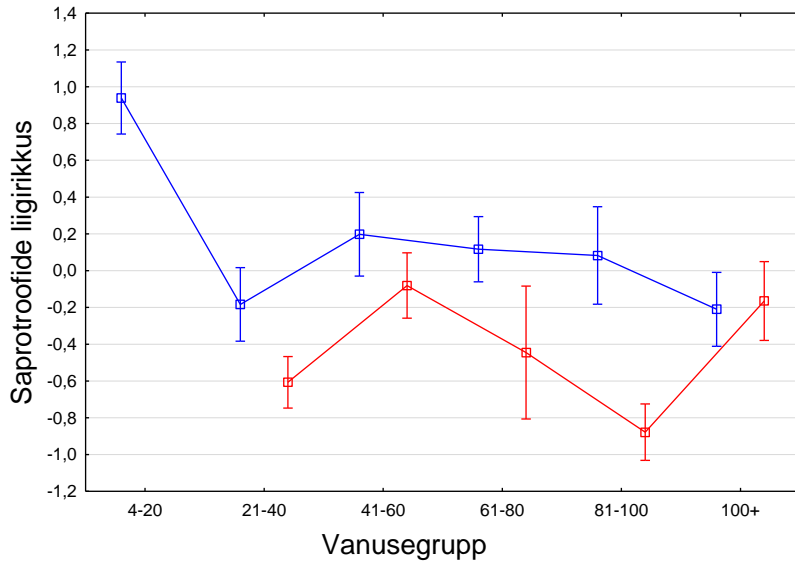
Taimepatogeenide liigirikkusele ei avaldanud puistu vanus ega raie olulist mõju, kuid kuuse osakaal puistus kirjeldas taimepatogeenide liigirikkust positiivselt, seda siiski marginaalselt 1,6% (Tabel 1). Kuuskedele olulisimat patogeeni juurepessu õnnestus tuvastada mullast küllaltki harva, mistõttu meil polnud piisavalt andmeid, et testida metsa vanuse ja harvendusraie mõju sellele patogeenile. Seega, juuremädanike ja harvendusraiate seoseid kirjeldavad järgnevad peatükid, kus on analüüsitud puiduproove.



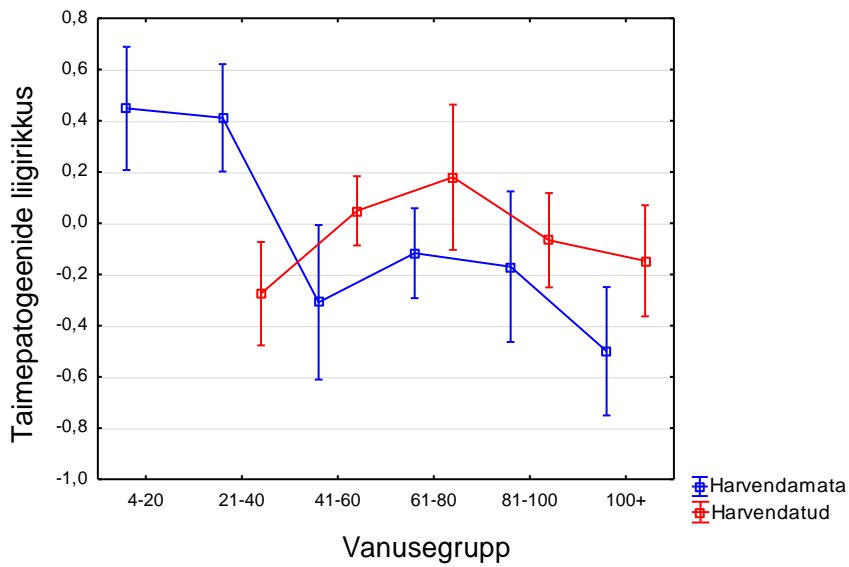
B



C



D

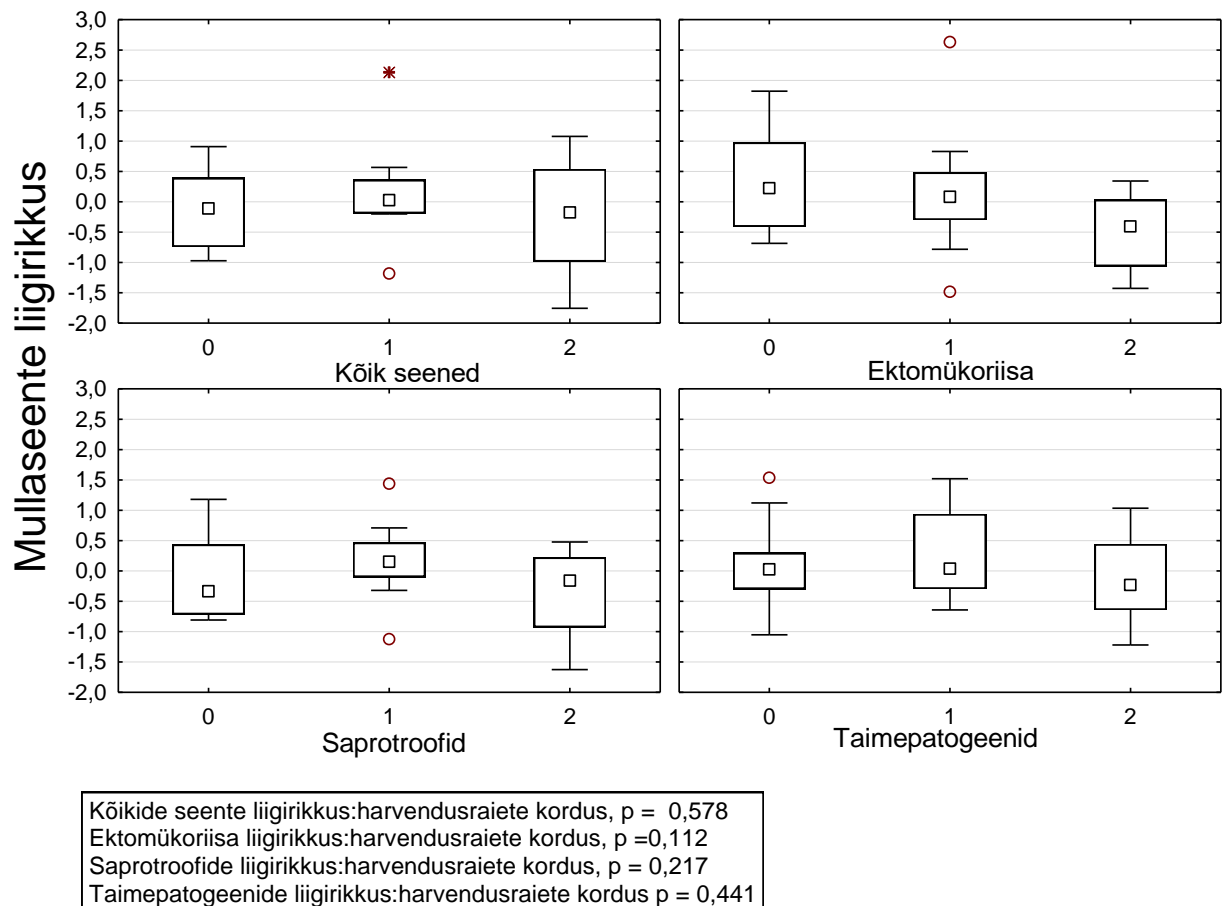


Joonis 4. Kogu seente (A), ektomükoriisa (B), saprotroofide (C) ja taimepatogeenide (D) liigirikkuse kaalutud keskmised erinevates vanuserühmades 4-20, 21-40, 41-60, 61-80, 81-100, 100+. Y-teljel on liigirikkuse väärtused ja x teljel on vanuseklassid. Sinine joon tähistab harvendamata ja punane harvendatud alasid.

Metsamajanduse seisukohast oluliste faktorite mõju seente elurikkusele

Harvendusraiate kordus

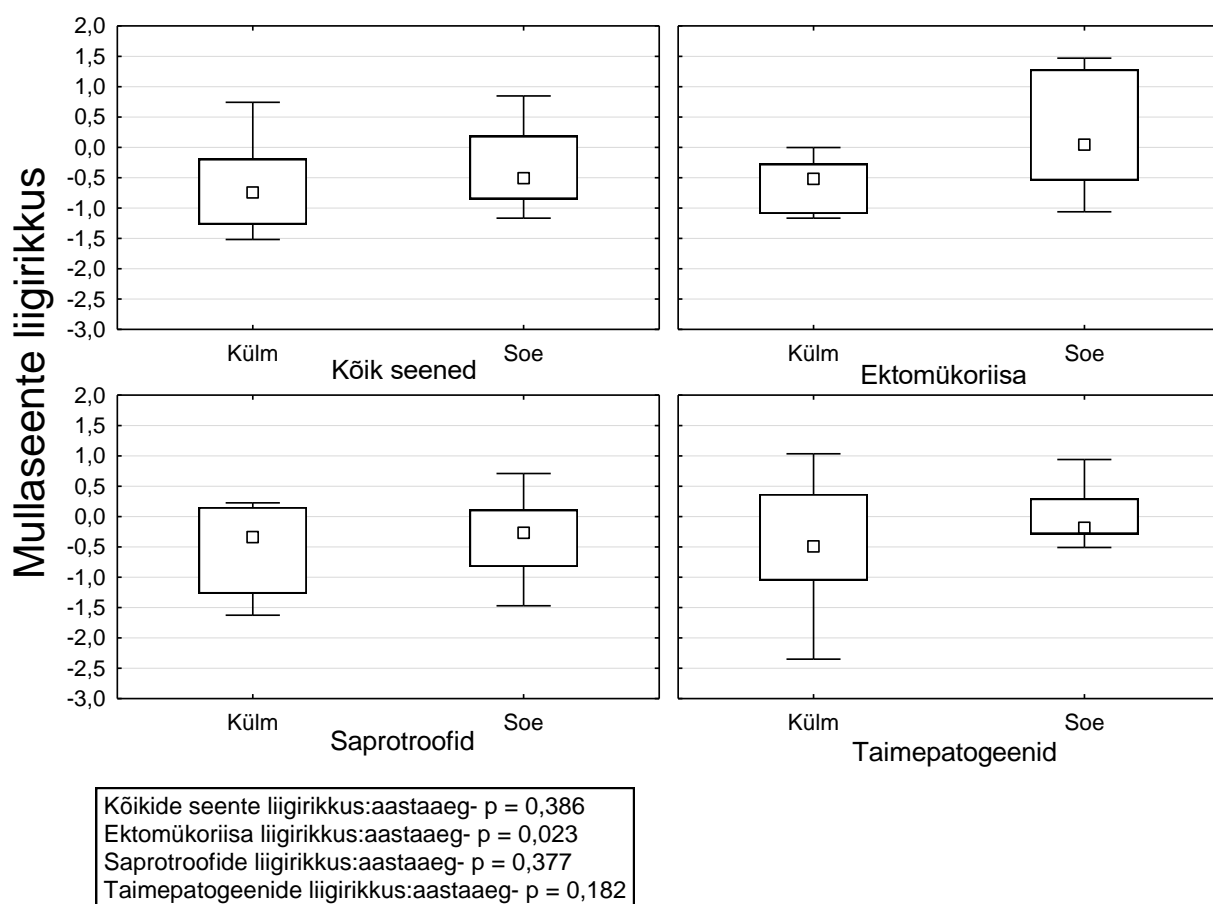
Harvendamata (N=10), ühe korra (N=10) ja kaks korda (N=10) harvendatud puistutes oli seente liigirikkus kõikides gruppides sarnane ($P > 0,05$). Selles võrdluses oli ektomükoriisa-seente keskmine liigirikkus siiski kõrgem harvendamata puistutes. Teistes seenerühmades oli kahekordse harvendusraie järel puistutes seente liigirikkus pigem madalam võrreldes harvendamata ja üks kord harvendatud aladega (Joonis 5).



Joonis 5. Harvendusraiate korduse mõju seente liigirikkusele harvendamata (N=10), üks kord (N=10) ja kaks korda harvendatud (N=10) puistutes rühmitatud erinevate seenerühmade kaupa. P-väärtused näitavad liigirikkuse statistilist erinevust erinevate harvendusraiate korduste vahel. Testitavad alad valiti andmestikust juhuslikult.

Raie teostamise aeg

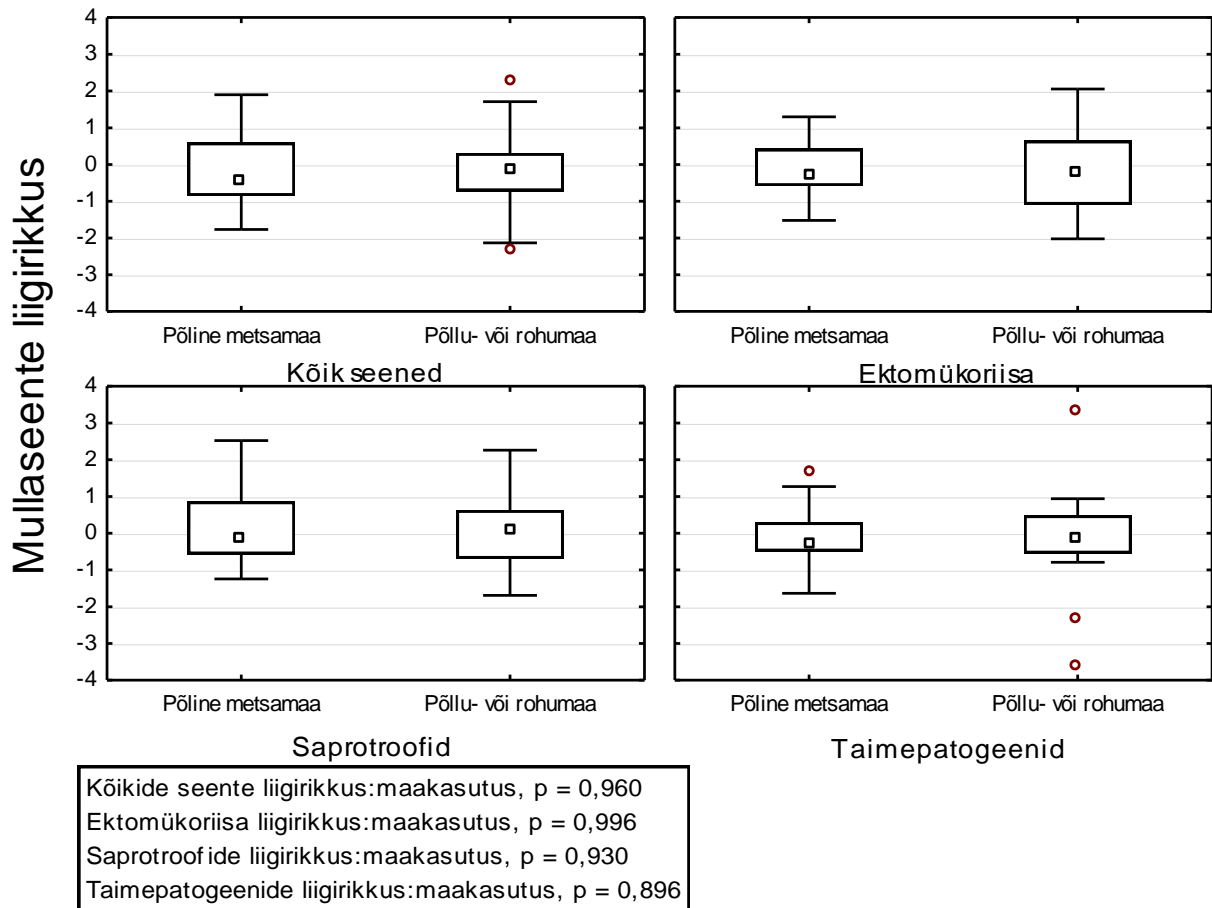
Kõikide seente funktsionaalsete rühmade liigirikkus oli kõrgeim aladel, kus viimane harvendusraie oli teostatud soojal (aprill-november) perioodil võrreldes talvise raiega, kuid see polnud statistiliselt oluline. Statistiliselt oluline positiivne sooja-aja raie mõju võrreldes külma-aja raiega oli vaid ektomükoriisa-seente liigirikkusele. Raie teostamise aja mõju mullaseente elurikkusele segavad mitu hooldusraiet, kus üks võib olla teostatud soojal ajal ja teine talvel, ent arvutustes arvestati viimast raie aega.



Joonis 6. Liigirikkuse keskmised soojal ja külmal ajal teostatud harvendusraiate korral rühmitatud erinevate seenegruppide kaupa. P-väärtused näitavad liigirikkuse statistilist erinevust harvendusraie sesoonide vahel.

Maakasutuse ajalugu

Kogu seente, 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. See viitab asjaolule, et mullaseente elurikkus ei erine endise põllumaa (siin on mets kasvanud vähem kui 100 aastat) ja metsamaa (mets on olnud kauem kui 100 aastat) puistute vahel.

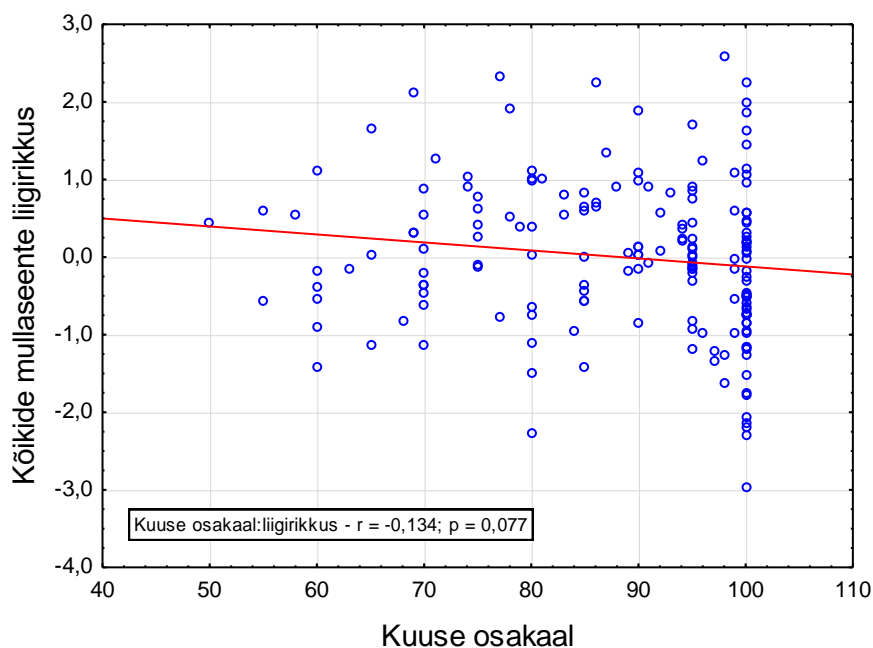


Joonis 7. Liigirikkuse keskmised põlisel metsamaal (N=21) ning endisel põllu- või rohumaal (N=21), rühmitatud erinevate seenegruppide kaupa. P-väärtused tähistavad liigirikkuse statistilist erinevust erineva maakasutusajaloo vahel. Maakasutuse andmed pärinevad 1900. aasta ajaloolistelt kaartidelt. Testitavad alad valiti andmestikust juhuslikult.

Seeneelustiku sõltuvus kasvukohatüübist ja puistu koosseisust

Kasvukohatüübil (sinilill, jänesekapsa ja naadi) puudus oluline mõju seente liigirikkusele majandatud ja majandamata aladel eraldi.

Kuuse osakaalu kasvades kogu seente ($P > 0.05$) (joonis 8) ja ektomükoriisa-seente ($P < 0.05$) liigirikkus kahaneb, taimepatogeenide ($P < 0.05$) ja saprotroofide ($P > 0.05$) liigirikkus aga kasvab. Seos kuuse osakaalu ja erinevate seenerühmade liigirikkuse vahel oli pigem tagasihoidlik ($r < 0.3$).



Joonis 8. Kogu mullaseente liigirikkuse ja kuuse osakaalu (%) seos.

Keskkonna- ja metsamajanduslike faktorite mõju mullaseente kooslustele

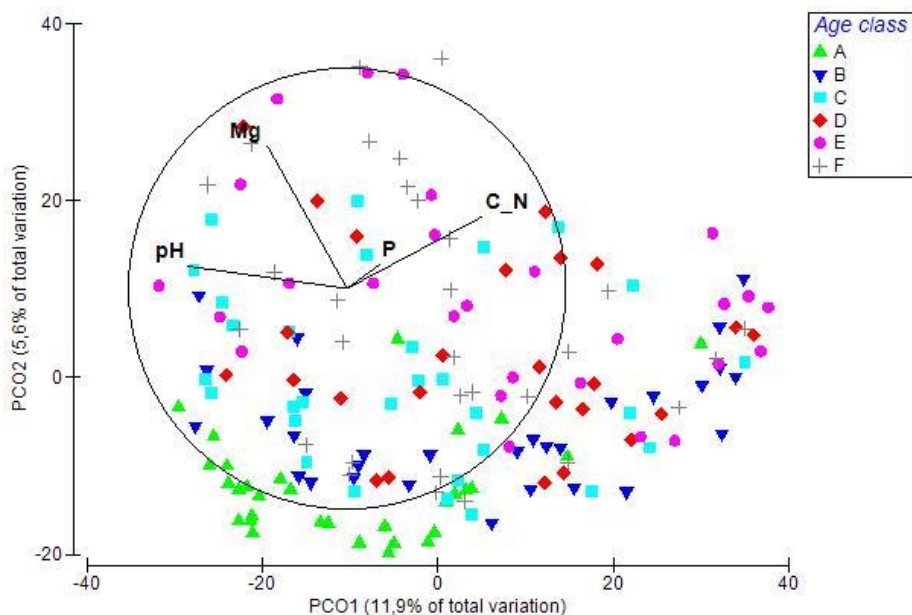
Seente kooslustele tervikuna avaldasid statistiliselt olulist mõju ($P < 0,001$) puistu vanus, harvendusraie, mulla pH, fosfori ja magneesiumi sisaldus mullas ning C/N suhe (Tabel 2). Kui vaadata eraldi ektomükoriisa ja saprotroofsete seente kooslusi siis avaldasid olulisimat mõju puistu vanus, mulla pH ning mulla C/N suhe (Tabel 2). Taimepatogeenide kooslustele avaldasid olulisimat mõju puistu vanus, mulla pH ja fosfori sisaldus ning harvendusraie ja mulla C/N suhe (Tabel 2).

Tabel 2. Mullaseente koosluseid mõjutavad faktorid

<i>Seente funktsionaalne rühm ja faktorid</i>	<i>Kirjeldab variatsioonist (%)</i>	<i>p-väärtus</i>
Kõik seened		
harvendusraie	1.8	<0.001
vanusegrupp	5.3	<0.001
mulla pH	5.2	<0.001
mulla P	1.3	<0.001
mulla Mg	1.3	<0.001
mulla C/N	2.2	<0.001
Ektomükoriisa		
harvendusraie	1.6	<0.001
vanusegrupp	6.8	<0.001

mulla pH	6.6	<0.001
C/N	3.1	<0.001
Saprootroofid		
harvendusraie	2.2	<0.001
vanusegrupp	5.4	<0.001
mulla pH	5.9	<0.001
mulla P	1.7	<0.001
mulla C/N	3.4	<0.001
mulla C	1.5	<0.001
Taimepatogeenid		
harvendusraie	1.1	<0.001
vanusegrupp	4	<0.001
mulla pH	2.1	<0.001
mulla P	1.4	<0.001
mulla C/N	1.1	<0.001

Joonis 9 kirjeldab seenekoosluste paiknemist ehk sarnasust alade vahel. Sarnase seenekoosluste grupi moodustavad noorima vanuserühma puistud (A – 4-20 aastat). Teiste vanusegruppide puistute seenekooslused on väga varieeruvad, mis on tingitud eeltoodud faktorite koosmõjust. Harvendusraiete mõju mullaseente kooslustele kuusikutes on vaid 1,8%.



Joonis 9. Harvendatud ja harvendamata alade seente kooslused. Märgid kirjeldavad alasid erinevates vanusegruppides: 4-20 (A), 21-40 (B), 41-60 (C), 61-80 (D), 81-100 (E), 100+ (F). Mulla C/N suhe, P, Mg ja pH osutavad puistutele mis olid nende mullafaktorite poolt enam mõjutatud.

Kokkuvõte mullaseente elustikust

- Kõikide mullaseente liigirikkust kuusikutes vanuses 4-206 aastat mõjutasid statistiliselt oluliselt enim mulla C/N suhe, puistu vanus ning mulla magneesiumi sisaldus.

- Kuuse noorendikes (4-20) mullaseenete liigirikkus on esmalt kõrge, kuid kahaneb vanuse kasvades ligi 10 aastat pärast raiet. Mullaseente elurikkus taastub kuuse enamusega puistutes 40 eluaastaks ning on sarnane kuni 200 eluaastani.
- Kuuse vanusklassi 21-40 kogu mullaseente liigirikkus oli madalaim sarnaselt nii harvendamata kui harvendatud puistutes, mille põhjuseks võib olla liitunud võradest tingitud rohurinde kadumine ning madalast taimede elurikkusest tingitud negatiivne mõju seente elurikkusele. Madalaim seente liigirikkus oli vanuseklassis 21-40 ja see erines statistiliselt oluliselt kõikidest teistest vanuserühmadest.
- Harvendusraiel puudub statistiliselt oluline mõju mullaseente liigirikkkusele, kuid mullaseente liigirikkus on siiski keskmiselt 27,5% madalam harvendatud aladel võrreldes harvendamata aladega.
- Harvendusraiate intensiivsuse mõju kuusikutes oli mitte-oluline kõigile seenerühmadele. Selle mõju juurepessule ei õnnestunud hinnata, kuna see liik oli mullaproovides väga vähe esindatud.
- Kogu seente, ektomükoriisete, saprotroofide ja taimepatogeenide liigirikkkuses ei olnud statistilist erinevust ($P > 0,05$) endise põllu- või rohumaa ($N=10$) ning põlise metsamaa ($N=10$) kuuse enamusega puistutes.
- 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. Seega, mullaseenete liigirikkkust raieaeg märkimisväärselt ei mõjuta.
- Seente koosluste tervikuna avaldasid statistiliselt olulist mõju ($P < 0,001$) eelkõige puistu vanus, mulla pH, harvendusraied, 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. Harvendusraiate mõju mullaseente kooslustele kuusikutes on vaid 1,8%.

2.2 Seente liigirikkus eluspuudes ja kändudes ning seda mõjutavad faktorid. Juurepessu antagonistid

Autorid: Kalev Adamson, Rein Drenkhan, Tiia Drenkhan, Leho Tedersoo, Elisabeth Rähn, Kätlin Piiskop, Merit Fjodorov, Katrin Jürimaa, Viljar Veeväli

2.2.1 Eluspuude seente liigirikkus

Kuuse enamusega puistute eluspuude 502 puu juurdekasvuproovist tuvastati kokku 5768 liiki, neist (riigi tasemel) alveolaate 18, seeni 5528, taimi 211, teadmata organisme 11. Seeneliikidest moodustasid arbuskulaarmükoriisa-seened 0,04%, taimepatogeenid 10,1%, ektomükoriisa-seened 2,3%, seente parasiidid 1,6%, saprotroofid 33,1% ja määramata eluviisiga seened 52,8%.

Kuuse enamusega puistute elusate puude elustikku puidus iseloomustavad järgnevad tulemused.

- Mädaniku tunnustega kuuskedel (N=177 puud) tekitas mädanikku kõige enam juurepess - 86% proovidest olid nakatunud. Juurepessu esinemine eluspuudes kahandas statistiliselt oluliselt ($P<0,05$) teiste seente liigirikkust elusal puul.
- Kõikidest 502 kuuseproovist (visuaalselt mädanikuga ja terved proovid kokku) esines mädaniku tekitajana juurepessu (83% proovidest), lisaks verev nahkist (*Stereum sanguinolentum*; 7% puudest), jalg-jänesepässi (*Onnia tomentosa*; 4%) ja põhjatorikut (*Climacocystis borealis*; 3%).
- Kahelt elusalt kuuselt tuvastati vääriselupaiga indikaatorliik *Phlebia centrifuga*.
- Hooldusraied suurendavad 43% seente liigirikkust 41-80 aastaste puude elusas puidus võrrelduna mitteraiutud alade kuuskedega. Raiutud alade kuuskede puiduseente liigirikkus suurenes eelkõige saprotroofsete (lagundajad) seente arvelt.
- 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. Kuna juurepessu nakkusega puud raiutakse välja.
- Raiesesoonil (soe või külm) ei olnud olulist mõju seente liigirikkusele tervikuna ega patogeenide (eelkõige juurepess) arvukusele elusatel kuuskedel.
- Põlise metsamaa elusa kuuse puidus on seente liigirikkus (sh patogeensed seened) statistiliselt oluliselt ($p<0,05$) suurem kui endisel põllumaal kasvanud puudel. Mädaniku tunnustega puid on oluliselt ($p<0,05$) vähem põlise metsamaa puistutes.
- Elusate kuuskede puidus vanuseklassides 41-60 ja 61-80 ei olnud seente liigirikkus statistiliselt oluliselt erinev; niisamuti ei erinenud märkimisväärselt seente elustik ka peenematel ja jämedamatel puudel ($p>0,05$).
- Puistu vanuse kasvades suurenes statistiliselt oluliselt ($p<0,05$) juurepessu kahjutuse osakaal visuaalselt mädanikuga ja tervetel puudel: 82% vanuseklassis 41-60 (N=262 puud) ja 86% vanuseklassis 61-80 (N=240 puud).

2.2.2 Kändude seente liigirikkus

Kuuse enamusega puistute 298 kännuproovist tuvastati 5408 seeneliiki.

Olulisimad tulemused seoses kändude analüüsiga on järgmised:

- Kuuse kännu diameeter ei olnud oluliselt seotud seente liigirikkusega. Suurema diameetriga kännud näitasid statistiliselt oluliselt ($p<0,05$) enam juurepessu esinemist võrreldes peenemate kändudega.
- Mädaniku tunnustega kuuse kände oli 36% ja männi kände 17%. Kõik (mädanikuga ja väliselt terved) analüüsitud männi kännud (N=23) olid 100% juurepessu nakkusega ja kuuse kändudest (N=260) olid juurepessu nakkusega 66%.
- Seente liigirikkus ei erinenud statistiliselt oluliselt ($p>0,05$) mädanikuga ja mädanikuta kuuse kändudel. Antud tulemus erineb eluspuude tulemusest, sest juurepessu nakkus mõjutab seente liigirikkust eluspuu puidus negatiivselt.
- Kaitsealuseid ja vääriselupaiga indikaator-seeneliike tuvastati 14 okaspuu kännult (N=298), vt. tabel 3.
- Haruldaste seeneliikide esinemine kändudel on nõrgalt kuid statistiliselt oluliselt ($p<0,05$) ja positiivselt seotud juurepessu mädaniku tunnustega.

Tabel 3. Kaitsealused ja vääriselupaiga seeneliigid okaspuu kändudel raiutud puistutes.

Kaitsealused ja vääriselupaiga seeneliigid	Sekventside arv	Kändude arv	Puuliik	Kännu diameeter (cm)
<i>Amylocorticium subincarnatum</i>	2	1	<i>P. abies</i>	10
<i>Ceriporia reticulata</i>	30	2	<i>P. abies</i>	10; 31
<i>Crustoderma dryinum</i>	167	3	<i>P. abies</i>	22; 33; 67
<i>Dentipellis fragilis</i>	1	1	<i>P. abies</i>	14
<i>Fomitopsis rosea</i>	3	1	<i>P. abies</i>	25
<i>Lycoperdon echinatum</i>	1	1	<i>P. abies</i>	40
<i>Phellinus chrysoloma</i>	4	1	<i>P. abies</i>	31
<i>Phlebia centrifuga</i>	5	2	<i>P. abies</i>	19; 23
<i>Sistotrema radulooides</i>	1	1	<i>P. abies</i>	16
<i>Skeletocutis odora</i>	25	1	<i>P. sylvestris</i>	26

2.2.3 Juurepessu antagonistid

Seeni isoleeriti puhaskutltuuri 411 kännult ja aladelt E4, C5, D7. Isoleeritud seeneliikidest testiti puhaskultuuris 8 erineva 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*.

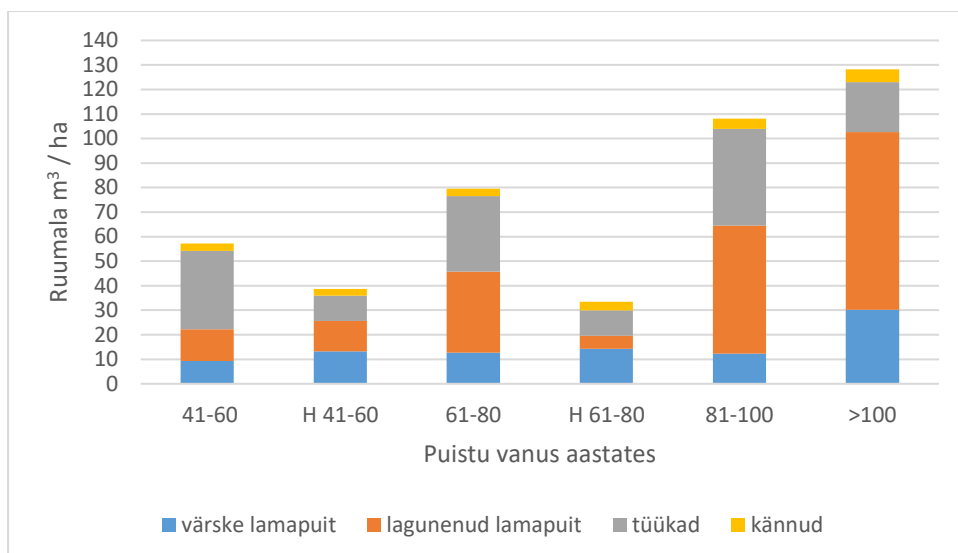
Esialgse laborikatse tulemusena on Eesti päritolu hiidkoorikul (*Phlebiopsis gigantea*) ja ka mõnel teisel testitud seeneliigil oluline potentsiaal juurepessu biotõrjeks.

2.3 Lamapuit kuuse enamusega puistutes ja sellega seotud seente elustik

2.3.1. Surnud puidu kogused harvendatud ja harvendamata kuusikutes

Autorid: Raul Rosenvald, Katrin Rosenvald

Antud analüüsis hinnati jämeda ($d > 10$ cm) surnud puidu mahtu neljas erinevas vanuseklassis, kusjuures kahes nooremas vanuseklassis võrreldi harvendatud ja harvendamata kuusikute surnud puidu mahtu (vt. joonis 10).



Joonis 10. Jämeda ($d > 10$ cm) surnud puidu maht (m^3/ha) viljakates kuusikutes. $N = 60$ ala, igas grupis 10 prooviala. H - tähistab harvendatud puistusid. Värske lamapuit – kõduaste 1-2; lagununud lamapuit – kõduaste 3-5; tüükad – seisvad surnud puud kõrgusega >1.3 m; kännud – looduslikud ja inimtekkelised kännud kõrgusega <1.3 m.

Vanuseklassis 41-60 oli kogu surnud puidu ($d > 10$ cm) hulk harvendatud aladel võrrelduna harvendamata aladega oluliselt väiksem ($p=0,003$). Surnud puidu tüüpidest oli püstise surnud puidu maht oluliselt väiksem harvendatud puistutes ($p=0.029$), ent teiste surnud puidu tüüpide kogus ei olnud erinev harvendatud ja harvendamata puistute vahel.

Ka vanuseklassis 61-80 oli kogu surnud puidu ($d > 10$ cm) hulk harvendatud aladel võrrelduna harvendamata aladega oluliselt väiksem ($p=0,001$). Surnud puidutüüpidest oli püstiste surnud puude maht ($p > 0.01$) ja lagununud lamapuidu maht ($p=0.001$) oluliselt väiksem harvendatud puistutes.

Harvendamata puistutes oli vanuseklasside vahel kogu surnud puidu ($d > 10$ cm) hulk oluliselt erinev ($p=0.03$), kuid omavahel erinesid oluliselt vaid vanuseklassid 41-60 ja >100 . Värske lamapuidu (kõduaste 1-2) kogus erines vanuseklasside vahel ($p=0.01$): vanuseklass >100 aastat erines kõigist teistest vanuseklassidest Tukey HSD testi järgi. Lamapuidu (kõduastmed 3-5) puhul oli oluline erinevus vanuseklasside vahel ($p > 0.01$), vanuseklass >100 aastat erines oluliselt klassidest 41-60 ja 61-80.

Harvendatud aladel vanuseklassides 41-60 ja 61-80 ei erinenud surnud puidu kogused vanuseklasside vahel oluliselt.

Keskmine surnud puidu kogused harvendamata kuusikutes suurenesid koos puistu vanusega ja ulatusid $58 m^3$ kuni $128 m^3$ hektari kohta. Teiste vanusegruppidega võrreldes oli lamapuitu enam >100 aasta vanustes puistutes.

Harvendatud puistutes (mõõdetud ainult nooremates vanuseklassides) keskmised surnud puidu kogused jäid alla $40 m^3$ hektari kohta. Harvendusraie vähendab eeskätt seisvate surnud puude ja lagununud lamapuidu mahtu.

Surnud puidu kogused kuusikute kõigis vanusrühmades on küllalt suured ja ületavad elurikkuse jaoks soovitatavat 50 tm/ha piiri (Hanski ja Walsh 2004). Harvendatud puistutes on küll surnud puidu kogused sellest väiksemad, kuid mitte olulisel määral. Küll on harvendatud puistutes võrrelduna harvendamata kuusikutega vähem seisvat surnud puitu ja tugevasti lagunenud lamapuitu. Need on teatud elustikule spetsiifilised elupaigad, ning seega soovitame neid mõlemaid harvendusraiate käigus säilitada, arvestades et nii seisvate tüügaste kui ka lagunenud lamapuidu *majanduslik* väärtus on tühine.

2.3.2 Lamapuidu seente liigirikkus ning seda mõjutavad faktorid

Autorid: Kadri Runnel, Leho Tedersoo, Rein Drenkhan

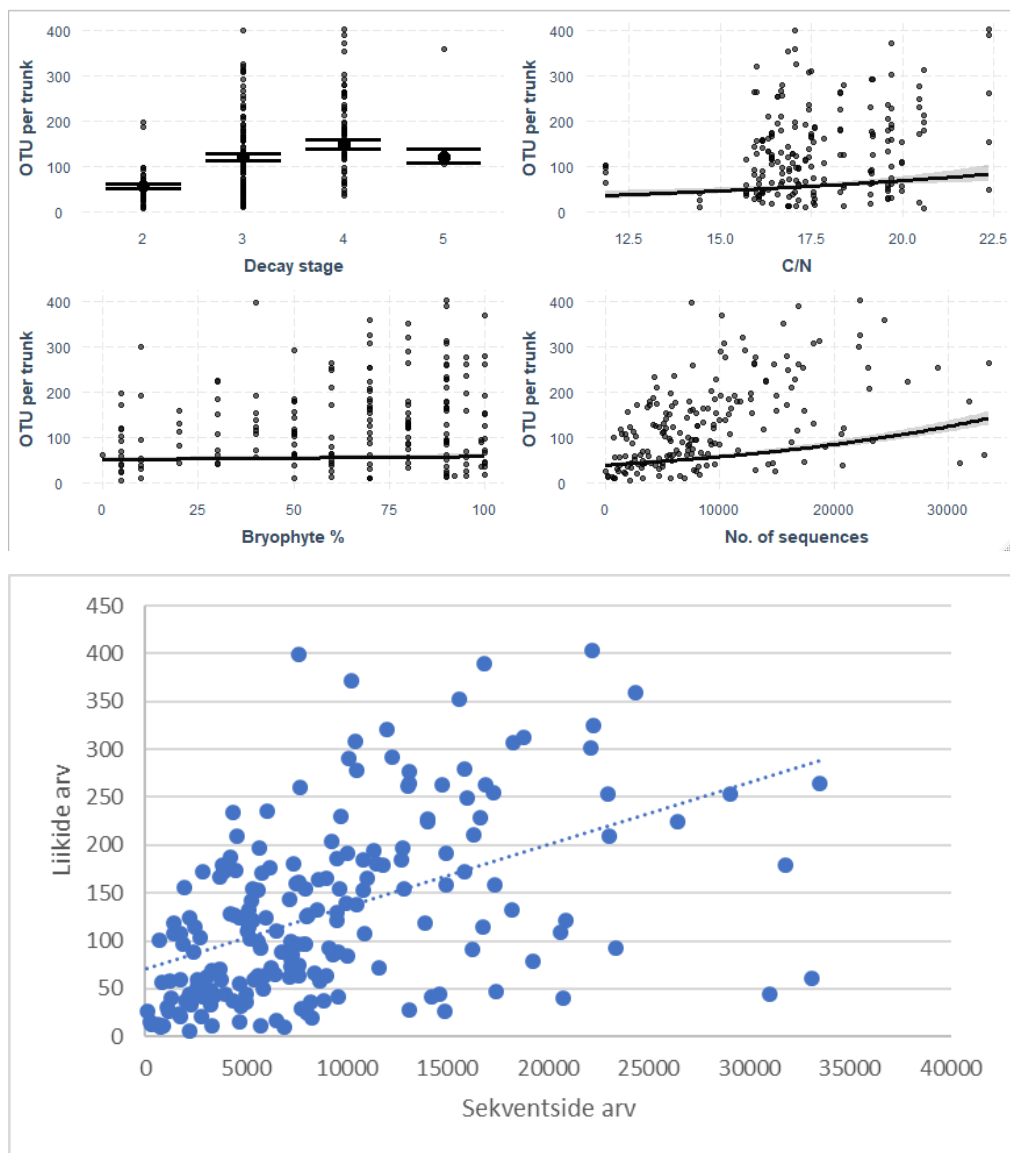
Puistu vanuse mõju seente elurikkusele

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 (Joonis 10), 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 seente liigirikkust positiivselt lamapuidus ainsana prooviala mulla C/N suhe. Surnud ja lamapuidu kogus katsealadel seente liigirikkust statistiliselt oluliselt ei mõjutanud. Seega, antud analüüsi tulemusena suurem kõdupuidu hulk ei näita suuremat seente liigirikkust.

Mõõdetud lamapuidu (tüve) tasemel tunnustest oli kõduastmel seente liigirikkusele väga oluline mõju. Seente liigirikkus suurenes kõdunemise protsessi käigus, st kõige seente rikkamad olid 4-5 kõduastme tüved.



Joonis 11. OTUde (liikide) arvu sõltuvus lamapuidu tüvedel kõduastmest (üleval vasakul), mulla süsiniku lämmastiku suhtest (üleval paremal), sammalde katvusest (keskel vasakul) ja sekventside arvust (all).

Koosluste tasemel oli puistu vanusel nõrk positiivne mõju kõigis lagustaadiumis lamapuidu seenekooslustele ($P < 0,05$). Lamapuidu (tüved) kõdunemise edenedes muutuvad koosluste kirjeldamisel üha olulisemaks järgmised mulla omadused: C/N suhe ja mineraalainete sisaldus. Väljendub ka kasvukohatüübi oluline mõju lamapuidu seenelustikule. Üldiselt on kõik seosed nõrgad, st nende tuvastamiseks on vaja suuremat lamatüvede valimit ala kohta.

Kokku leiti lamapuidu seente andmestikust 35 looduskaitseväärtusega seeneliigi (SPEC, species of conservation concern: ohustatud liigid ja põlismetsade indikaatorliigid) DNA järjestusi. Neist sagedasemad olid *Fomitopsis rosea* (roosa pess, 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 ($p = 0,047$) ja teatud piirkondades ($p = 0,024$; rohkem Järvelja ja Laeva piirkonna aladel). See tähendab, et ajalooliste metsamassiivide ning kaitsealuste põlismetsade läheduses võib ka nooremates puistutes suurema tõenäosusega leida looduskaitseväärtusega liike.

2.4 Sammalde ja samblike liigirikkus ning koosseis olenevalt puistu vanusest

Autor: Piret Lõhmus

Kokku leiti 40 proovialal inventeeritud kuuse elusatelt (N=200), tüügas- (N=197) ja lamatüvedelt (N=194)¹ 168 liiki sambলাid ja samblike (rühmade liigirikkus eraldi vastavalt 77 ja 91²), neist looduskaitseliselt tähelepanuväärseid liike³ registreeriti 22 (10 liiki vanuseklassides 41-60 ja/või 61-80 a ning 20 liiki kahes vanemas vanusegrupis) ning helviksambলাid⁴ ja kalitsioideid⁵ pisisamblike vastavalt 13 ja 18 (Lisa 5 ja 6).

Kõikide kasvupindade ühine analüüs näitas, et epifüütide (BRY+LICH) summaarne ja keskmine liigirikkus puistu vanusegrupi kohta suurenes ajas, olles >100 puistutes oluliselt kõrgem 41-60 ja 61-80 a puistute omast (ANOVA test, Tabel 4; Joonis 12A). Saadud tulemust kujundas peamiselt samblike ning eraldi ka kalitsioide pisisamblike oluliselt suurem keskmine liigirikkus vanema vanusegrupi elus- ja/või tüügaspuidel (Tabel 4); taoline positiivne seos on kalitsioide liigidel oluline ka kui liigirikuse analüüsi kaasati puistu vanus pideva tunnusena (Joonis 12B, 13A-B). Sammaldel (ja eraldi ka helviksammaldel) taolist vanusegruppide olulist keskmise erinevust ei esinenud, kuigi positiivne seos kogu liigirikuse ja puistu vanuse (kui pideva tunnuse) vahel oli olemas (Joonis 12B, 13A).

Tabel 4. Viljaka kasvukoha kuusikute sammalde (BRY) ja samblike (LICH) ning looduskaitseliselt tähelepanuväärsete (LK_TPV), kalitsioide pisisamblike (CAL) ning helviksammalde (HEP) liikide kogu ning keskmine arv ($x \pm SD$) kõigil uuritud substraadidel ning eraldi substraaditüüpide kaupa olenevalt puistu

¹ s.t. kuuel alal oli tüügas- või lamapuid 1-2 võrra vähem, st kirjeldatud kasvupindu ala kohta n=13 või 14;

² s.o. vastavalt 61 % ja 43 % liikide arvust, mis olen registreerinud LKB tööühma puistupõhistes (2 ha) inventuurides samadelt substraadid tüüpidelt, st kuuse elusatelt, tüügas ja lamapuudelt (BRY n=116 ja LICH n=136 prooviala), sh antud RMK uuringuga lisandus uue teadmisenä kuuse antud kasvupindu asustavate liikide nimestikku 4 sambla ja 7 samblike liiki.

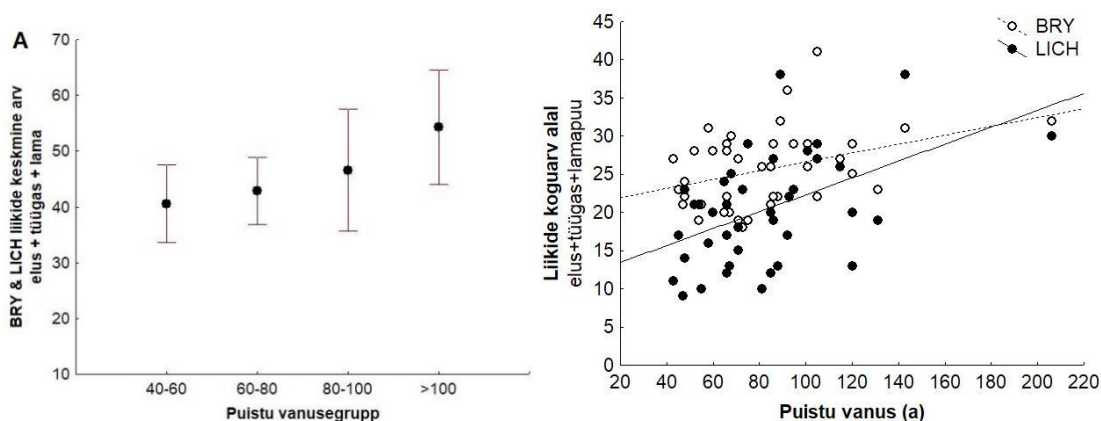
³ s.t. kaitsealused, Eesti punases nimestikus olevad (k.a. ohulähedased liigid), haruldased (<10 leiukoha) ning vääriselupaiga indikaatorliigid;

⁴ varasema nimega maksasambলাid; ühe kuni mõneraku paksuste lehtedega sammaltaimed, milledest paljud eelistavad kasvada lamapuude ja kändude kõdupuidul, vanade puude korbal või niiskel maapinnal;

⁵ n.ö. *calicioids*, mis on ökoloogiline pisisamblike rühm, mille hulgas esineb palju vanametsa indikaatorliike ja/või vanade puude mikroelupaikadega (nt korbapraod, kõdupuit) seotud liike.

vanusegrupist (iga grupi siseselt 10 prooviala). Kirjatähedega on tähistatud org.rühma siseselt statistiliselt oluliselt erinevad puistu vanusegrupid (ANOVA, Tukey HSD test).

	Vanuse- grupp (n=10)	BRY+LICH		BRY		LICH		LK_TPV		CAL		HEP	
		Liike	x ± SD	Liike	x ± SD	Liike	x ± SD	Liike	x ± SD	Liike	x ± SD	Liike	x ± SD
Kõik	40-60	101	40,6±7 A	60	24,4±3,9	41	16,2±5,1 A	7	0,9±1,3	8	2,3±1,8 A	15	4,3±2,7
substraadid	61-80	109	42,9±6 A	54	23,2±4,7	55	19,7±5,6	4	0,8±0,4	12	3,1±2 A	9	2,9±1,4
	81-100	116	46,6±10,9	56	26,5±5	60	20,1±8,2	13	1,8±3	12	4,9±2,3	15	5±3,1
	>100	129	54,3±10,3 B	59	28,5±5,5	70	25,8±6,9 B	16	2,9±2,2	15	7,3±2,4 B	16	6±3,4
Elus	40-60	57	23,5±5,2	28	11,5±3	29	12±3,9 A	1	0,1±0,3	1	0,1±0,3 A	3	1,7±0,8
	61-80	65	24,5±5,2	31	12±2,8	34	12,5±3,4	2	0,3±0,5	5	0,9±1,6 AB	3	1,5±0,5
	81-100	76	25,9±4,7	39	13±2,7	37	12,9±4,8	7	0,7±1,3	6	2±1,8 B	6	1,6±0,7
	>100	82	29,8±7	32	12,1±2,3	50	17,7±5,9 B	8	0,9±1,3	6	3,1±1,4 BC	5	1,3±0,8
Tüügas	40-60	63	22,7±4,9	33	11,5±3,6	30	11,2±3,5	4	0,6±1	8	2,1±1,6 A	3	1,3±0,5
	61-80	78	25±5,2	39	12,2±3,2	39	12,8±4,2	3	0,6±0,5	9	2,5±1,4 A	6	1,5±0,5
	81-100	77	25,1±8,2	35	12,4±4,4	42	12,7±6,7	7	1,1±2,1	12	3,9±2,6	7	1,9±1,5
	>100	87	29,1±7,7	41	13,1±4,8	46	16±5,1	9	2±1,8	15	6±2,2 B	12	2,8±2,7
Lama	40-60	62	21,9±3,8	51	19±3,5	11	2,9±1,8 A	2	0,2±0,4	1	0,1±0,3	15	3,8±2,6
	61-80	64	22,7±4,9	47	17,7±4,7 A	17	5±1,8 B	0		0		8	2,4±1,3
	81-100	61	23,9±5,9	48	20,2±5,4	13	3,7±1,8	3	0,3±0,7	0		13	4,4±3
	>100	65	27,1±5,2	51	23,9±5,1 B	14	3,2±1,3	4	0,4±0,7	0		14	5,4±3,5



Joonis 12. Sambla ja samblikuliikide (vastavalt BRY ja LICH) (A) keskmine arv alal olenevalt puistu vanusegrupist ning (B) koguarv alal organismirühmade lõikes olenevalt puistu vanusest (pideva tunnusega; seos oluline: BRY $R^2_{adj}=0,134$, $p=0,02$; LICH $R^2_{adj}=0,22$ $p=0,001$).

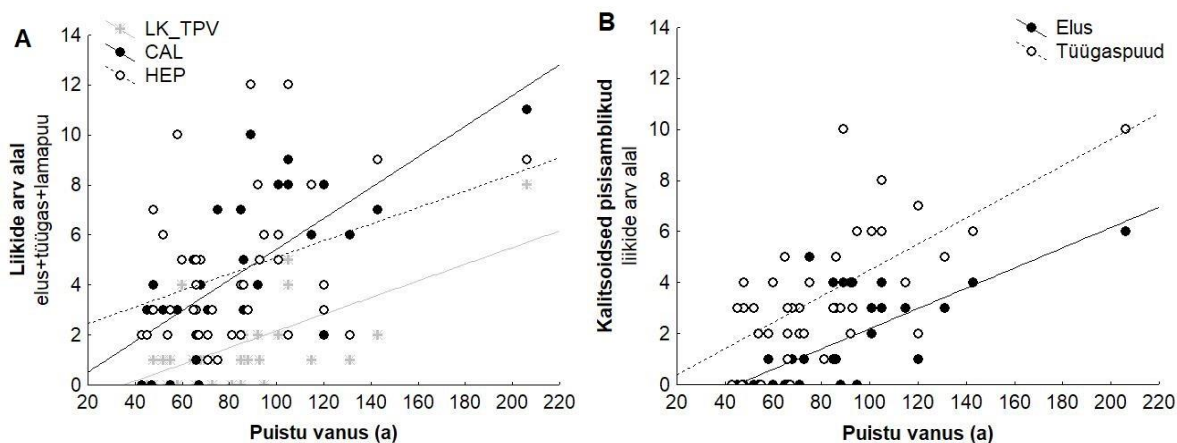
Looduskaitsele tähelepanuväärseid liike esines kõikides puistu vanusegruppides (Tabel 5), samas nende keskmine arv kuusikute vanusegruppide vahel oluliselt ei erine (seda ka kasvupindasid eraldi analüüsid; Tabel 4). Ehkki LK_TPV liikide arv võib ka vanades puistutes olla madal, oli oluline positiivne seos puistu vanuse (pidev tunnus) ning liigirikkuse vahel siiski olemas (Joonis 13A).

Ehkki oluline positiivne seos puistu vanuse ning jämedamõõtmelise kõdupuidu (tüügas- ja lamapuu ning kändud) mahu vahel oli olemas ($R^2_{adj} = 0,17$ $p=0,01$), ei seostunud kõdupuidu suurem maht sammalde ega samblike summaarse liigirikkusega (BRY $R^2_{adj} = 0,02$, $p=0,35$; LICH $R^2_{adj} = 0,02$, $p=0,12$; Joonis 14A). Detailsem analüüs näitas, et olulist seost pole ka

lamapuudel registreeritud helivksammalde liigirikkuse ning enam kõdunenud lamapuude (kõduaste 3-5) mahu vahel ($R^2_{adj} = 0,08$ $p=0,07$; Joonis 14B).

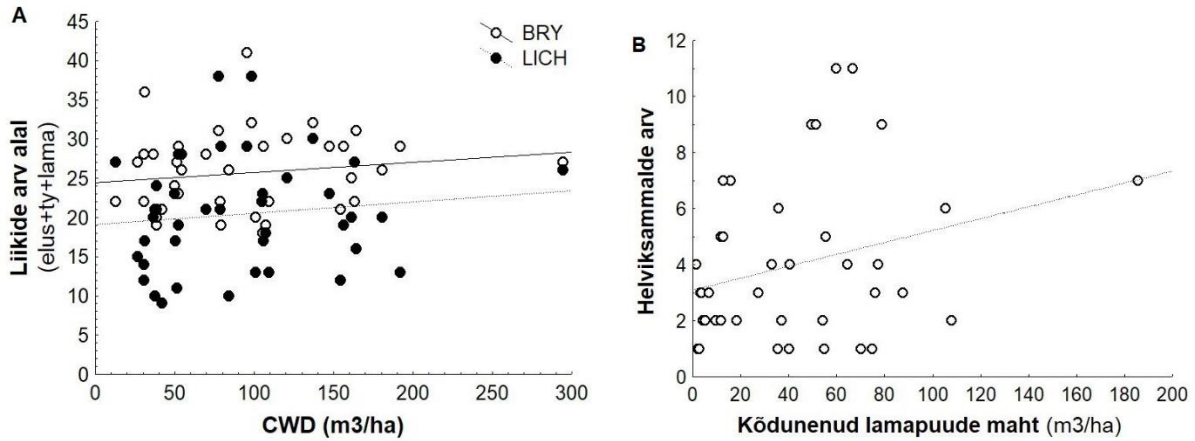
Tabel 5. Looduskaitiselt tähelepanuväärsete (LK_TPV) sambla- (BRY) ja samblikuliikide (LICH) esinemissagedus puistu vanusegruppides (grupi siseselt n=10 ala). Alusandmed: punase nimestiku ohukategooriad (RE, CR, EN, VU, NT⁶) ning hindamise aasta, haruldus Eestis (BRY r – <8 leiukota; LICH: r – 2-5, str – 6-10 leiukohta), vääriselupaiga indikaatorliik (VEP).

LK_TPV	Rühm	Liik	Puistu vanusegrupp			
			40-60 a	61-80 a	81-100 a	>100
NT(2008), LC (2017)	BRY	<i>Campyllum halleri</i>	1	-	1	-
LK III; NT(2008), LC(2017), VEP	BRY	<i>Crossocalyx hellerianus</i>	-	-	-	1
VU(2008), LC(2017)	BRY	<i>Eurhynchium striatum</i>	1	-	-	-
CR(2008) EN(2017), r	BRY	<i>Fuscocephaloziopsis catenulata</i>	-	-	1	1
RE(2008), CR(2018)	BRY	<i>Hypnum fertile</i>	1	-	-	1
NT(2008), LC(2017)	BRY	<i>Plagiothecium latebricola</i>	1	1	1	1
VEP	BRY	<i>Riccardia latifrons</i>	2	-	1	-
VEP	BRY	<i>Riccardia palmata</i>	1	-	1	1
LK III; NT(2008, 2017), VEP	BRY	<i>Scapania apiculata</i>	-	-	-	1
VEP	LICH	<i>Arthonia leucopellaea</i>	-	-	1	1
VEP	LICH	<i>Arthonia vinosa</i>	-	2	1	2
r	LICH	<i>Bacidia hemipolia</i>	-	-	-	1
VEP	LICH	<i>Chaenotheca brachypoda</i>	3	4	5	9
VEP	LICH	<i>Chaenotheca chlorella</i>	-	1	1	4
EN, LKII, VEP	LICH	<i>Chaenotheca gracilentia</i>	-	-	-	1
str, NT	LICH	<i>Chaenotheca gracillima</i>	1	-	-	-
NT	LICH	<i>Chaenothecopsis consociata</i>	-	-	-	2
r	LICH	<i>Fellhanera gyrophorica</i>	-	-	1	1
VEP	LICH	<i>Lecanactis abietina</i>	-	-	1	-
VU; LK II	LICH	<i>Micarea hedlundii</i>	-	-	1	1
NT	LICH	<i>Microcalicium disseminatum</i>	-	-	2	1
VEP	LICH	<i>Xylopsora friesii</i>	-	-	1	-



⁶ Sammalde puhul on arvestatud ettevaatusprintsibiina ka 2008 a hindamise tulemusi, kuivõrd 2017 a hindamisel ei kasutatud A kriteeriumi (mistõttu said mitmed varem ohustatud kategoorias olevad ning pms. vanemate metsadega seotud liigid uue hinnangu – Soodsas seisundis, LC).

Joonis 13. Looduskaitsele tõeplepanuväärsete (LK_TPV), kalitsoidsete pisisamblike (CAL) ja helviksammalde (HEP) arv alal (A) ning detailsemalt kalitsoidsete pisisamblike arv elus ja tüügaspuudel (B) olenevalt puistu vanusest. Lineaarsed seosed olulised - 2A: LK_TPV $R^2_{adj}=0,28$, $p<0,01$; CAL $R^2_{adj}=0,47$, $p<0,01$; HEP $R^2_{adj}=0,11$, $p=0,02$; 2B: Elus $R^2_{adj}=0,52$ $p<0,01$; Tüügaspuud $R^2_{adj}=0,44$, $p<0,01$).



Joonis 14. Sambla (BRY) ja samblikuliikide (LICH) arv (A) ning detailsemalt lamattüvedelt registreeritud helviksammalde (HEP) arv alal (B) ning nende seos lamapuude (kõduaste 3-5) mahuga (CWD).

Sambla- ja samblikukoosluse sarnasuse/erinevuse analüüsiks puistu vanusegruppide vahel ühendati iga ala kõigi kolme kasvupinna (elus, tüügas- ja lamapuud) liigileidude andmed (liigimaatriksis kasutati esinemissageduse väärtust, mis oli max 15). Selgus, et epifüütide koosseisud erinesid oluliselt kahe noorema ja kõige vanema puistu vanusegrupi vahel (MRPP test, Tabel 6, Joonis 15A); sama tulemus saadi ka sambla ning samblikukooslusi eraldi analüüsides (MRPP test). Kasvupindade kaupa tehtud analüüs näitas, et enam erinevusi vanusegruppide vahel ilmnes elusate puude kooslustes: >100 a puistute kuused on omanäolisemad kõigist teistest vanusegruppidest, lisaks erinevad ka 81-100 a ning 41-60 a puistute kooslused (Tabel 6, Joonis 15B). Tüügas- ja lamapuude kooslusi eraldi analüüsides ilmnes >100a puistute tüügaste koosluste erinevus 41-60 puistutes olevatega ning lamapuude koosluste erinevus 100+ ja 61-80 a puistutes (Tabel 6).

Indikaatorliikide analüüsi⁷ järgi eristusid⁸ >100 a kuusikutele iseloomulikena⁹ neli liiki varjusamblikke (*Chaenotheca chlorella* ja *C. brachypoda*, mis on ennekõike seotud tüügaspuudega ning *C. chrysocephala* ja *C. ferruginea*, mis kasvavad peamiselt elusate vanade puude korbal) ning sõrmjas porosambliku (*Cladonia digitata*, peamiselt vanade puude jalamil); sammaldel eristusid iseloomulikena kõdupuidul kasvav maksasammal harilik ripsik (*Blepharostoma trichophyllum*) ning vanade puude jalamil kasvav kase-kaksikhammas (*Dicranum montanum*). Teistele vanusegruppidele iseloomulike liikidena eristusid 81-100

⁷ Vastavalt avaldatud meetodile: Dufrêne, M., & Legendre, P. (1997). Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67, 345–366. Analüüs arvutab liikidele indikaatorväärtuse ehk millisele grupile (antud juhul vanusegrupile) on ta spetsiifiline tulenevalt liigi sagedusele ja ohtusele erinevates gruppides, ning testib selle olulisust Monte Carlo testiga.

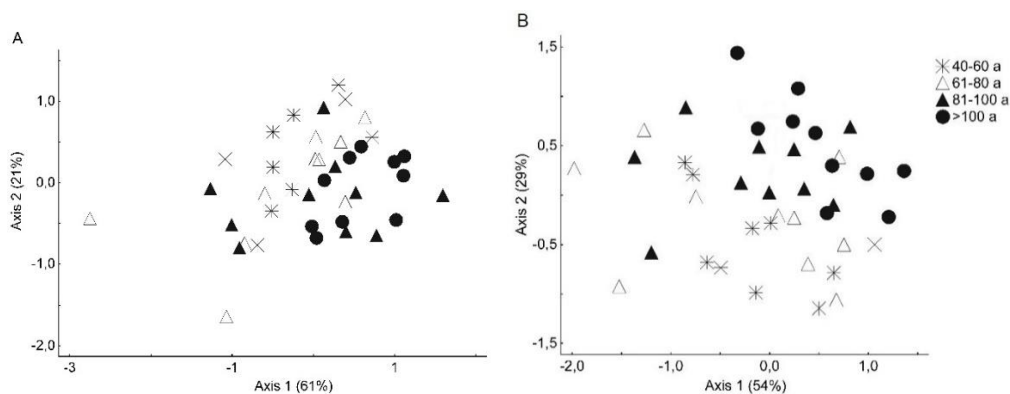
⁸ Nende liikide indikaatorväärtus oli vahemikus IV=28,6-57,7 ning $p<0,05$.

⁹ S.t. neid liike mõjutab kuusikute raievanuse langetamine eriti selgelt.

puistutele pisisamblik *Arthonia spadicea* ning 41-60 puistutele harilik kaksikhammas (*Dicranum scoparium*).

Tabel 6. Kuuse uuritud kasvupindadel (elus-, tüügas ja lamapuudel koos ning tüübiti ka eraldi) kasvavate sambla- ja samblikukoosluste erinevused viljakate kuusikute erinevate vanuseklasside vahel (statistilised olulisused erinevused jämedatud kirjas, MRPP testi põhjal).

Kõik kasvupinnad	Puistu vanus	40-60	60-80	80-100
	60-80	0,697		
	80-100	0,107	0,423	
	>100	<0,001	0,007	0,08
Elusad puud				
	60-80	0,612		
	80-100	0,019	0,315	
	>100	<0,001	0,005	0,06
Tüügaspuud				
	60-80	0,761		
	80-100	0,164	0,932	
	>100	0,021	0,149	0,345
Lamapuud				
	60-80	0,450		
	80-100	0,216	0,056	
	>100	0,062	0,021	0,367



Joonis 15. NMS ordinaatsiooni graafik, mis illustreerib sambla- ja samblikukooslust viljakate kuusikute erinevate vanusegruppide proovialadel üle kõigi kasvupindade (elus, tüügas- ja lamapuudel (A) ning eraldi ainult elusatel kuuskedel (B)).

Kokkuvõte

- Viljakate kuusikute sambla- ja samblikuelustik (nii summaarne kui keskmine) on suhteliselt liigirikas (kokku hõlmab vähemalt 168 liiki, kuid liikide arv, eriti samblikel, on tõenäoliselt suurem, vt. alamärkust #2);
- Liigirikkus kuuse kasvupindadel kasvab puistu vananedes märgatavalt (nt. 81-100 a vanades puistutes esines summaarselt 15 ning >100a puistutes 27 liiki enam, kui 41-60 puistutes);
- Elusate kuuskede samblike (LICH) liigirikkus on suurim >100 aastastes puistutes, tüügaspuudel aga juba >80 a puistutes; sammaldel (BRY) taolist selget kasvupinna tüübi mõju puistu vanuse kasvades polnud (nt. lamapuud toetavad helviksammaldele liigirikkust läbivalt eri vanuses puistutes);

- Looduskaitseks 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 vanusegrupid selles osas statistiliselt ei erinenud;
- Sambla- ja samblikukoosluste poolest eristusid omavahel oluliselt >100 a ja <80 a kuusikud (siiski, 81-100 kuusikute kooslused ei erinenud oluliselt noorematest vanusegruppidest); ka iseloomulikke liike (n.ö. indikaatorliike) eristus peamiselt vaid >100 a kuusikutes (viis sambliku ja kaks samblaliiki).

Järeldused sammalde ja samblike analüüsist

- Viljakates kasvukohatüüpides kuusikute raievanuse langetamine 80 a pealt 70-60 a-le mõjutab negatiivselt 80 a. ning vanemate kuusikutele iseloomulikke sambla- ja samblikuliikide seisundit, sest tõenäosus metsamaastikus neile sobivate kasvupindade tekkeks (nii hulgas kui kvaliteedis) väheneb veelgi; seejuures mõjutab raievanuse langetamine drastilisemalt
 1. vähemalt 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.

2.5 Metsamajanduslik osa

Autorid: Allar Padari, Rein Drenkhan, Hardi Tullus

Majandusliku kahju hinnanguks kasutati 88 langi andmed vanusevahemikus 33-134 aastat (Lisad 3 ja 4). Kokku analüüsiti 50 langilt 73930 üksikpuu andmeid. Harvesteri andmestiku põhiline eesmärk on hinnata juuremädanikest tingitud majandusliku kahju suurust kuusikutes. Koondandmete analüüs kasutati käesolevas projektis kogutud 184 kuusiku prooviala andmed 2220 puult. Kokku kasutati enam kui 76 000 üksikpuu andmeid 272 proovialalt (Tabel 7).

Tabel 7. Proovialade ja harvesteri andmete jaotumine kasvukohatüüpide ja alade kaupa.

Kasvukohatüüp	Prooviala andmed	Harvesteri andmed	N
---------------	------------------	-------------------	---

AN		2	2
JK	131	17	148
JM	1	10	11
JO		7	7
JP		3	3
MO		3	3
MS		12	12
ND	18	5	23
SL	34	27	61
SS		2	2
Kokku	184	88	272

3.5.1 Juuremädanike kahjude analüüs koondandmete alusel

Iga ala kohta arvatati mädanikuga puude arvuline osakaal. Selle seos vanusega on esitatud kasvukohatüüpide kaupa (Joonis 16). Selgelt nähtub, et enamikus kasvukohatüüpides (sh viljakad) mädaniku osakaal kasvab koos vanusega. Mustika ja jänesekapsa-kõdusoo kasvukohatüüpides mädaniku osakaal kahaneb vanuse kasvades. Kõige suurem juuremädanike kahju on sinilille kuusikutes. Kogu andmestikku kirjeldab regressioonijoon (sinine punktiirjoon; joonis 10).

Dispersioonanalüüsi tulemusel selgitati, kas mädanikuga puude osakaal on usaldusväärselt sõltuv vanusest ja kasvukohatüübist. Dispersioonanalüüsil kasutati statistikatarkvara *R* funktsiooni *lm* ning järgmist valemikuju:

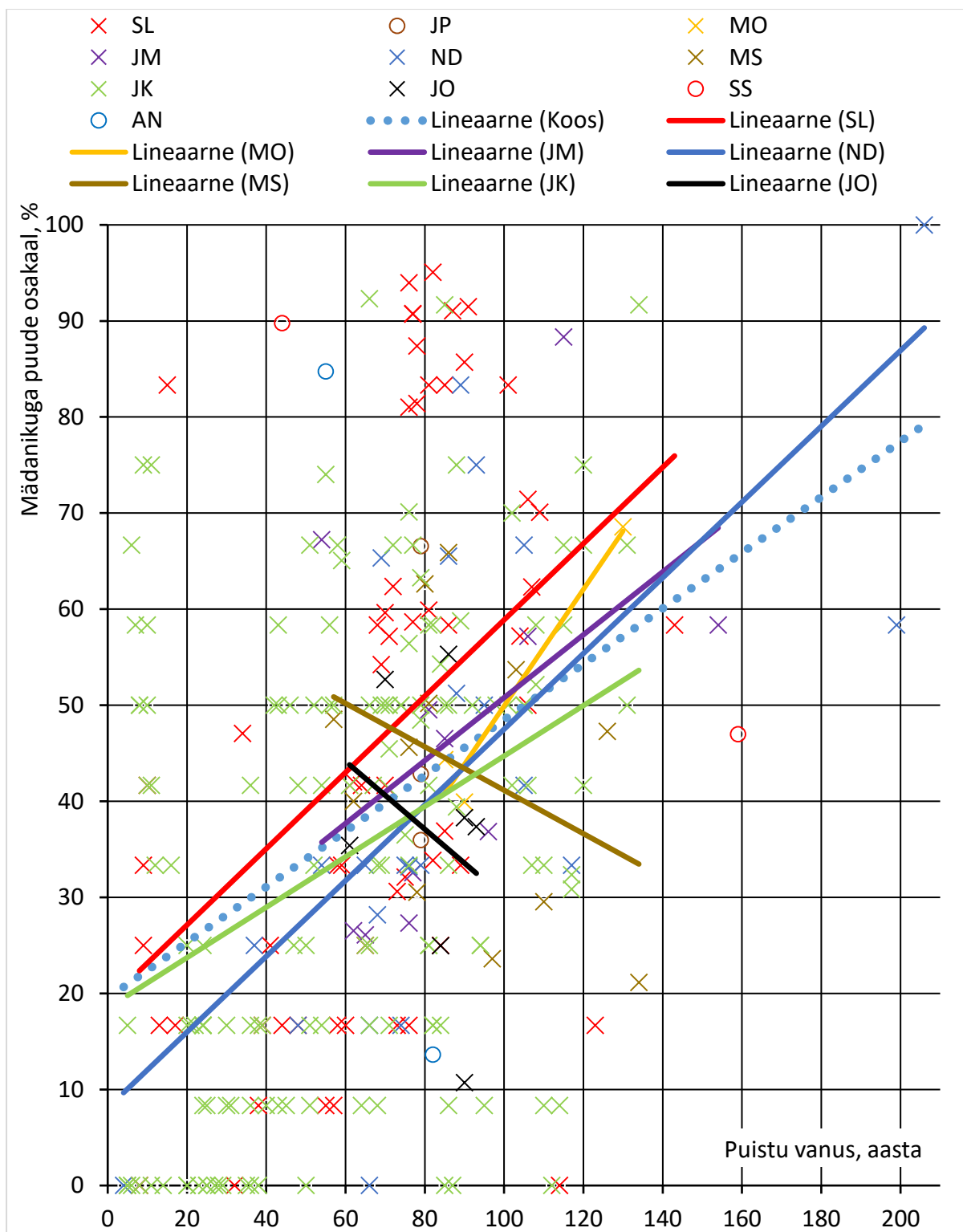
$$K\% = a + b \cdot A, \quad (1)$$

kus $K\%$ – mädanikuga puude esinemise osakaal, %;

A – puistu vanus, aasta;

a – kasvukohatüübist sõltuv valemi kordaja;

b – valemi kordaja.



Joonis 16. Mädanikuga puude osakaalu sõltuvus puistu vanusest ja kasvukohatüübist.

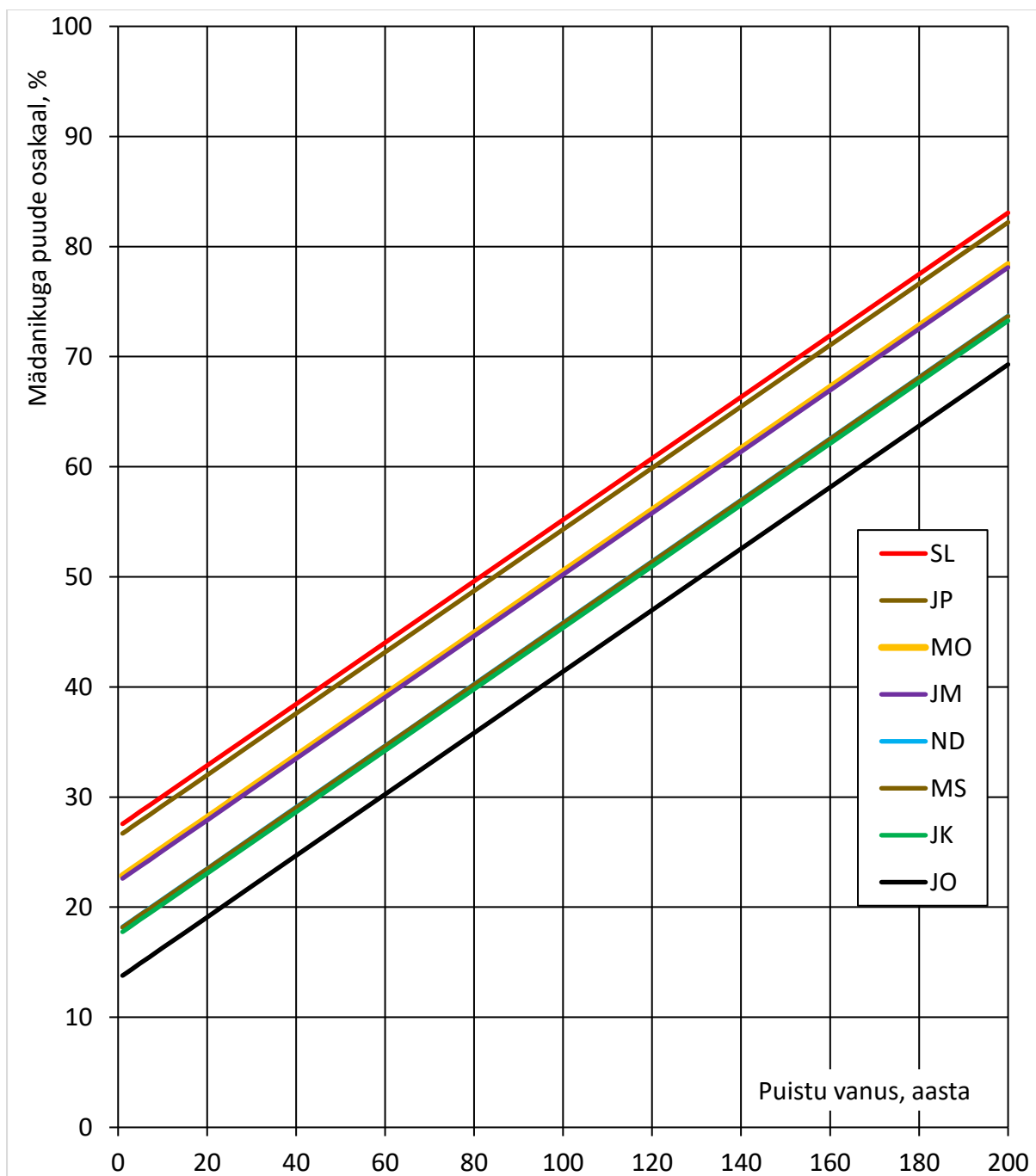
Mädanikuga puude osakaal on usaldusväärset sõltuv vanusest ja kasvukohatüübist ($R^2 = 0,7645$, prognoosiviga 23,11% ning $p < 0,0001$). Valemikordajate väärtused ja olulisuse tõenäosused on esitatud tabelis 8. Siit selgub, et kolme kasvukohatüübi (jänesekapsa kõdusoo, mustika kõdusoo ja jänesekapse-pohla) seosed ei ole statistiliselt usaldatavad ($p < 0,05$). Samas

väiksema usaldusnivoo juures on need kasvukohatüübid usaldusväärsed ning ei ole põhjust neid valemist välja jätta.

Tabel 8. Valemi 1 kordajate väärtused ja olulisuse tõenäosused

Kordaja	Kordaja hinnang	p-väärtus
a _{JK}	17,478	<0,0001
a _{JM}	22,322	0,0052
a _{JO}	13,508	0,1524
a _{JP}	26,417	0,0560
a _{MO}	22,574	0,1089
a _{MS}	17,882	0,0213
a _{ND}	17,922	0,0033
a _{SL}	27,286	<0,0001
b	0,2789	<0,0001

Valemi 1 kuju kasutades saadi dispersioonanalüüsi tulemusel mudelid, millega on võimalik ennustada vanuse ja kasvukohatüübi järgi mädanikuga puude osakaalu. Visuaalselt on dispersioonanalüüsi tulemus esitatud joonisel 17.



Joonis 17. Dispersioonanalüüsiga leitud mädanikuga puude osakaalu sõltuvus puistu vanusest ja kasvukohatüübist. Mudeli aluseks on andmed jooniselt 16.

Järgnevalt uuriti, kas mädaniku osakaal sõltub varem teostatud harvendusraietest ja sellest kui varem (s.o 100 aastat tagasi) oli metsa asemel metsa või põllumaa. Harvendusraiate puhul uuriti kahte tunnust – a) harvendusraiate arv ning b) harvendusraie teostamise aeg. Harvendusraiate arv ja aeg saadi RMK infosüsteemist. Raiete teostamise aeg šifreeriti järgmiselt: 0 – harvendusraie pole teostatud, 1 – harvendusraie teostati külmal ajal (detsember kuni märts), 2 – harvendusraie teostamise aega pole teada ning 3 – harvendusraie teostati soojal ajal (aprill kuni november). Eelmise metsapõlve puhul kasutati kahte väärtust: 1 – oli enne 1900 aastat

metsamaa või 0 – ei olnud varem metsamaa. Harvendusraiete ja eelmise metsapõlve mõju analüüsimiseks lisati dispersioonvalemissse 1 need kolm tunnust järgmiselt:

$$K\% = a + b \cdot A + c \cdot N_{HR} + d \cdot T_{HR} + e \cdot E, \quad (2)$$

kus $K\%$ – mädanikuga puude esinemise osakaal, %;

A – puistu vanus, aasta;

N_{HR} – minevikus toimunud harvendusraiete arv;

T_{HR} – harvendusraie teostamise aeg (0 – ei ole toimunud, 1 – külm aeg, 2 – ei tea, 3 – soe aeg);

E – eelmine maakategooria (1 – metsamaa, 0 – mittemetsamaa);

a – kasvukohatüübist sõltuv valemi kordaja;

b, c, d, e – valemi kordajad.

Dispersioonanalüüsi tulemusena saadi valemi $R^2 = 0,7699$, prognoosiveaks 23% ning $p < 0,0001$. Valemi kordajate a, b, c, d ning e hinnangud ning p -väärtused on esitatud tabelis 9.

Tabel 9. Valemi 2 kordajate hinnangud ja olulisuse tõenäosused

Kordaja	Kordaja hinnang	p-väärtus
a _{JK}	16,738	0,0010
a _{JM}	19,860	0,0257
a _{JO}	12,160	0,2257
a _{JP}	25,141	0,0810
a _{MO}	21,661	0,1378
a _{MS}	15,988	0,0632
a _{ND}	17,357	0,0246
a _{SL}	26,031	<0,0001
b	0,278	<0,0001
c	4,925	0,0415
d	-3,013	0,0288
e	1,911	0,6722

Puistu vanuse (4-206 aastat) mõju on usaldusväärne ning **keskmiselt suureneb mädanikuga puude osakaal (%) iga aastaga ca 0,3% võrra**. Kasvukohatüüpide olulisest mõjust mädaniku osakaalule oli juttu eelpool.

Harvendusraiate mõju mädanike tekkele on statistiliselt oluline ($p < 0,05$). Iga minevikus teostatud hooldusraie (sh harvendus- ja sanitaarraie) suurendab keskmiselt mädanikuga puude osakaalu ca 5% võrra, seejuures hooldusraie külmal ajal vähendas mädanike osakaalu ca 3% võrra ning raie soojal ajal vähendas ca 9% võrra. See tähendab, üks harvendusraie külmal ajal suurendab mädanikuga puude osakaalu 2% ja soojal ajal vähendab mädanikuga puude osakaalu 4% võrra. Kui on toimunud mitu harvendusraiet, siis arvestatakse viimati toimunud raie sesooni mõju. Näiteks, kaks hooldusraiet puistu eluea jooksul ja viimane tehakse suvel tähendab see 1% suuremat mädaniku osakaalu ($5 + 5 - 9 = 1\%$). Kui teha 3 raie oleks mädaniku osakaal juba 6%. Talvise raie järel oleks kahe raie mõjul mädanikuga puude osakaal 7% ($5 + 5 - 3 = 7\%$) ning kolme raie mõju 12% ($5 + 5 + 5 - 3 = 12\%$) võrra suurem. Seega, 1-2 hooldusraiet olenemata raie sesoonist pole majanduslikult oluliselt negatiivse mõjuga, kuid kolm ja enam raie on. Antud juhul raie aja analüüsi suurim nõrkus seisneb asjaolus, et hooldusraiate täpne aeg on teada vaid viimase 20 aasta kohta, kuid varasemate raiate aeg mitte. Sellepärast arvestame viimase raieaja mõjuga ning ei saa kindlat väita, et mõju mädanike ulatusele puidus on tingitud vaid külmal või soojal ajal teostatud hooldusraietest. Talviste hooldusraiate negatiivset mõju puistute sanitaarsele seisundile võib selgitada soojemate talvedega, mis ei takista juurepessu levikut nagu see oli varem. Lisaks peab arvestama ka sellega, et dispersioonanalüüs teostati andmetega, mis oli võimalik saada. Näiteks, kui analüüsis harvendusraieteta alal on palju mädanikuga puid, siis nende alade andmed vähendavad ka kahjustatud puude arvu suurenemist harvendusraiate puhul. Ka oli harvendusraie teostamise aja kohta suhteliselt vähe andmeid. Seega raie sessiooni mõju tuli küll statistiliselt oluline, kuid siiski laiade usalduspiiridega ning vääriks edasist andmete kogumist ja täpsemat analüüsi.

Varasem maakasutus (mets ja põld) ei olnud oluline mädanike kahjude mõjutaja kuuse enamusega puistutes ($p = 0,6722$). Samas on keskmiselt endise metsamaa puhul mädanikuga puude osakaal ca 2% võrra suurem kui endistel põllumaadadel asuvates metsades.

Eelnevaid summeerides selgub, et oluliselt mõjutavad juuremädanikest tingitud kahjustusi kasvukohatüüp, puistu vanus, hooldusraiate kordused ja raieaeg (soe või külm). Põlise metsamaa ja põllumaa kuusikud ei mõjuta oluliselt mädanike tekkimist.

Andmeid kokku võttes on 184 kuuse puistus (jänsekapsas, sinilill ja naadi) **vanuses 4-206 aastat mädaniku kahjustusega puid keskmiselt 33%**. Kui vaadata vaid **lõppraie kuusikuid ca 40 aastat ja enam** (harvesteri andmed), siis **on mädaniku kahjustusega puid keskmiselt 53% (sh ka angervaksa ja kõdusoo kuusikud)**. **Kõik andmed kokku võtta on mädaniku kahjude ulatus kuusikutes 39% ($N > 76000$ puud)**.

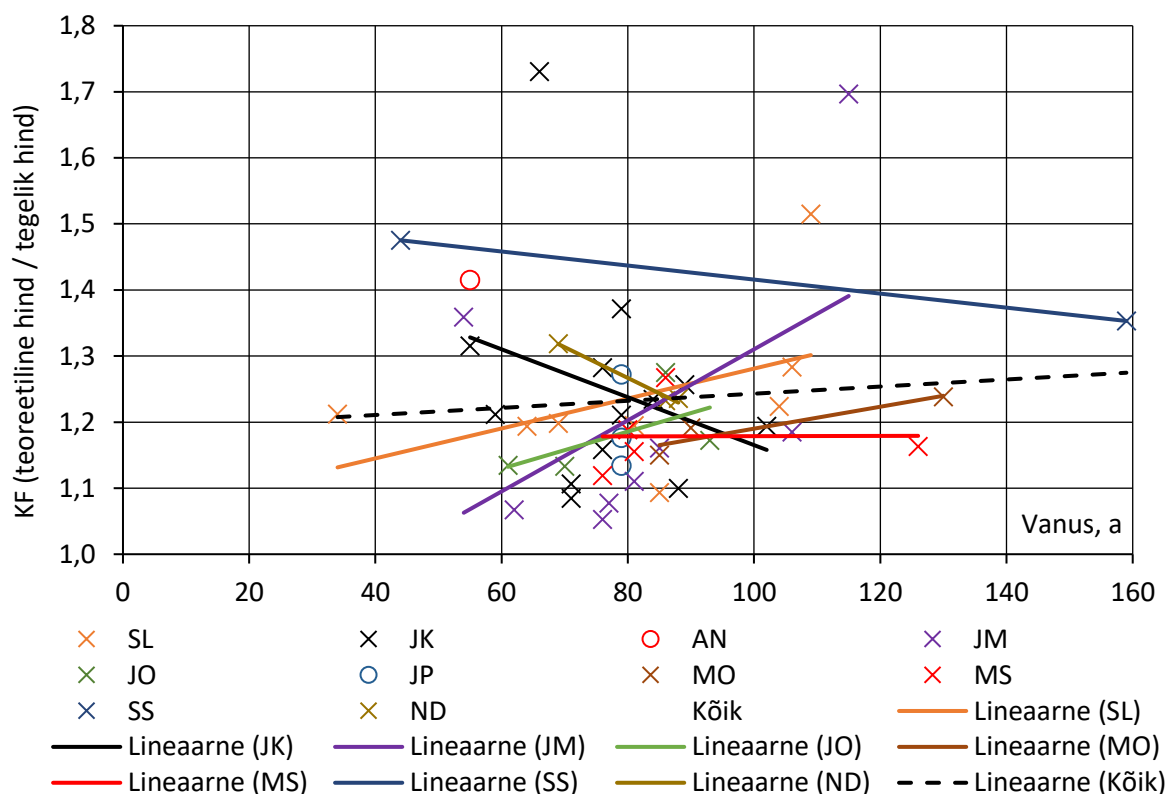
Väga olulise aspektina tuleb edasistes kahjustuse analüüsides arvestada eelneva metsapõlve kahjudega ja harvendusraie ajal väljaraie protsendiga. Kumbagi me hetkel ei tea, kuid need andmed on hädasti vaja dokumenteerida ja andmebaasi kanda. Eelneva metsapõlve seisut saab hästi dokumenteerida harvesteri üksikpuu sortimentide andmeid säilitades ning vajadusel saab neid hiljem analüüsida.

Kuusikute täpsema kasvukäigu jaoks lisandub andmeid käesolevast tööst, 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.

Siiski on antud andmestik oluline uue rakenduse loomiseks praktilisele metsamajandajale, mille sisuks on täpsem ja ajakohasem kuusikute majandamise alus. Nimetatud rakendus võimaldaks paremini planeerida kuusiku majandamist ning hinnata võimalike juuremädanike ohte.

2.5.2 Juuremädanikest tingitud hinna analüüs harvesteri andmete alusel

Hinnaarvutuste aluseks olid sortimendid ja RMK 2017. aasta müügihinnad, mille järgi igale langile arvutati vahelaohind (hind_tegelik) ehk mädanikuga sortimentide hind. Seejärel muudeti tüüka poolt alates mädanikuga sortimendid terveteks vastavalt peenema otsa diameetrile palgiks, peenpalgiks või paberipuiduks ning arvutati igale langile uus hind (hind_teooretiline) ehk terve puidu sortimendi hind. Seejärel saadi teoreetilise hinna koefitsient (KF) ehk eelpool nimetatud suuruste jagatis: $\text{hind_teoreetiline} / \text{hind_tegelik}$ (vt. Joonis 18).



Joonis 18. Hinnamuutumise koefitsiendi sõltuvus puistu vanusest ja kasvukohatüübist harvesteri andmetel (N=50 lanki).

Hinnamuutuse koefitsiendid enamikul kasvukohatüüpidel vanuse kasvades suurenevad, kolmel kasvukohatüübil kahanevad. Ühel juhul neist oli vaid kaks lanki (SS) ning see võib olla juhuslik. Kahel juhul oli vaatlusi rohkem: JK 14 lanki ja ND 3 lanki.

Kui kasutati kõiki andmeid koos (harvester ja käesoleva töö andmed) (Joonis 16) oli JK kasvukohatüübi juuremädanike kahjude sõltuvus vanusest positiivne. Seega edasisel analüüsil ei pööratud tähelepanu langevale trendile ning kasutati järgnevalt kirjeldatud dispersioonanalüüsil kõiki kasvukohatüüpe. Samas peab tulevikus analüüsima oluliselt suuremat arvu lõppraielanke ning sealset sortimendi väljatulekuid, et täpsustada hinna trende. Võimalik, et kasvukohatüüpide puhul ongi vanuse muutudes erinevad suhtelised hinnamuutused, kuid 50 langi andmete analüüs seda usaldusväärset ei näita.

Harvesteri andmete järgi teostati dispersioonanalüüs, kus kasutati valemit:

$$KF-1 = a \cdot A, \quad (3)$$

kus KF on hinna muutumise koefitsient (teoreetiline ehk mädanikuta hind / tegelik hind);

A – puistu vanus, aasta;

a – kasvukohatüübist tingitud koefitsient.

Dispersioonanalüüsi jaoks teisendati valem lineaarsele kujule:

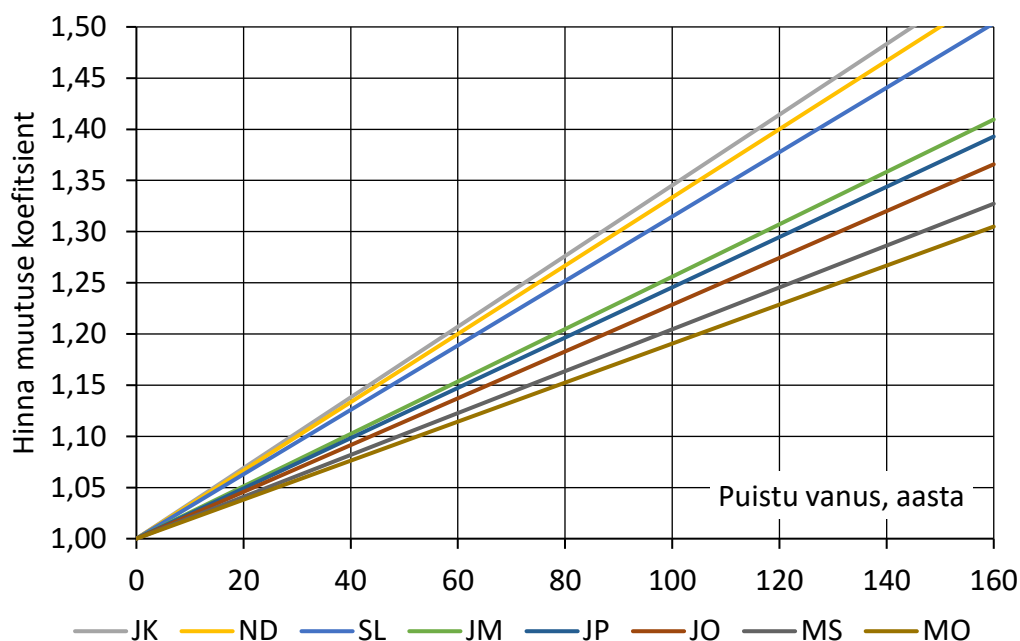
$$(KF-1)/A = a \quad (4)$$

Dispersioonanalüüsi tulemused on toodud tabelis 10 ja visuaalselt on valemi tulemusi näha joonisel 19 ($R^2 = 0,7402$, $SE = 0,0022$ ja $p < 0,0001$).

Tabel 10. Valemiga 4 teostatud mädanikust tingitud hinna muutuse dispersioonanalüüsi tulemused kasvukohatüüpide kaupa.

Kasvukohatüüp	a	p-väärtus
JK	0.00345	<0.0001
ND	0.00333	0.0109
SL	0.00315	0.0002
JM	0.00256	0.0018
JP	0.00246	0.0560
JO	0.00229	0.0407
MS	0.00205	0.0406
MO	0.00191	0.1345

Peaaegu kõikide kasvukohatüüpide puhul osutus konstanti a väärtus usaldusväärselt erinevaks 0-st ($p < 0,05$), kahel kasvukohatüübil (JP ja MO) ei ole oluline ($p > 0,05$). Nende kasvukohatüüpide puhul ei saa 95%-lise usaldusega väita, et seal toimub mädaniku tõttu usaldusväärne hinna muutus.



Joonis 19. Dispersioonanalüüsiga saadud hinna muutuste koefitsiendid sõltuvalt vanusest ja kasvukohatüübist (valem 3).

Paralleelselt teostati samade andmete järgi ka teine dispersioonanalüüs, mille kasutamiseks teostati algselt regressioonanalüüs, kus kasutati valemit:

$$KF-1 = a \cdot A + b \cdot \text{SQRT}(A), \quad (5)$$

kus KF – hinna muutumise koefitsient (teoreetiline ehk mädanikuta hind/tegelik hind);

A – puistu vanus, aasta;

a, b – valemi konstandid.

Regressioonanalüüsi tulemusena saadi konstantide a ja b hinnanguks vastavalt -0,001235 ning 0,037119. Regressioonivõrrandi $R^2 = 0,7325$, prognoosiviga 0,1435 ning $p < 0,0001$. Regressioonanalüüsil saadud valemi kordajaid kasutati kasvukohatüübi mõju hindamisel järgmises dispersioonanalüüsis, kus valemikuju oli järgmine:

$$(KF-1) = a \cdot (-0,001235 \cdot A + 0,037119 \cdot \text{SQRT}(A)), \quad (6)$$

kus KF on hinna muutumise koefitsient (teoreetiline ehk mädanikuta hind/tegelik hind);

A – puistu vanus, aasta;

a – kasvukohatüübist tingitud koefitsient.

Dispersioonanalüüsi jaoks teisendati valem lineaarsele kujule:

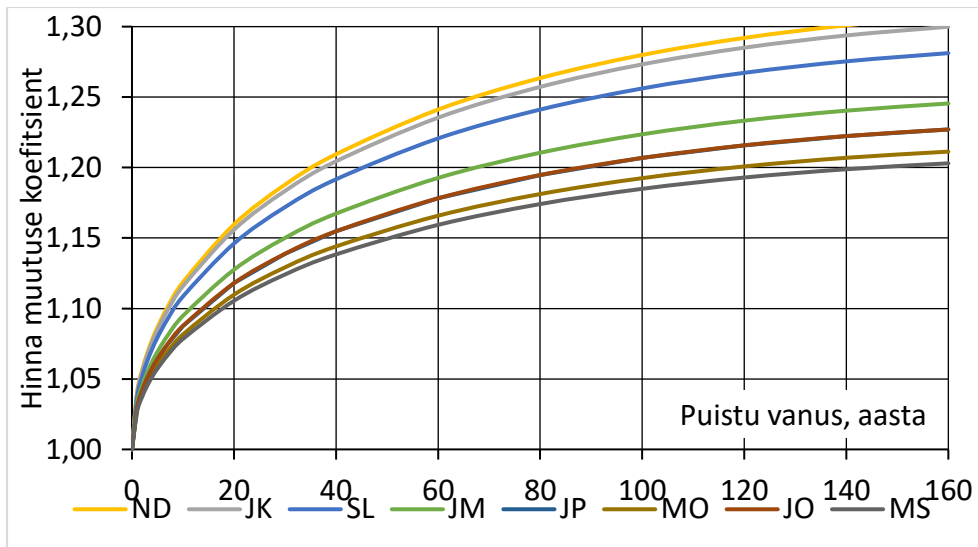
$$(KF-1)/(-0,001235 \cdot A + 0,037119 \cdot \text{SQRT}(A)) = a \quad (7)$$

Dispersioonanalüüsi tulemused on toodud tabelis 11 ja visuaalselt on valemi tulemusi näha joonisel 20 ($R^2 = 0,7795$, $SE = 0,6232$ ja $p < 0,0001$).

Tabel 11. Valemiga 7 teostatud mädanikust tingitud hinna muutuse dispersioonanalüüsi tulemused kasvukohatüüpide kaupa.

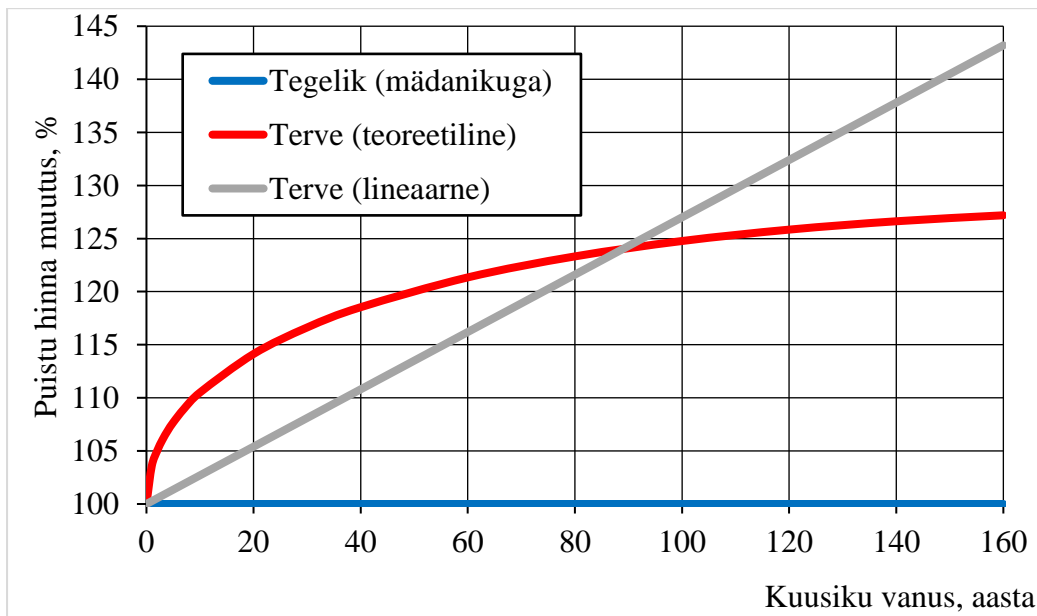
Kasvukohatüüp	a	p-väärtus
JK	1.1030	<0.0001
ND	1.1299	0.0032
SL	1.0340	<0.0001
JM	0.9026	0.0002
JP	0.8349	0.0255
JO	0.7702	0.0178
MS	0.7465	0.0107
MO	0.7770	0.0369

Peaegu kõikide kasvukohatüüpide puhul osutus konstanti a väärtus usaldusväärsest erinevaks 0-st ($p < 0,05$). Kahe kasvukohatüübi (JP ja MO) puhul ei saa 95%-lise usaldusega väita, et seal toimub mädaniku tõttu usaldusväärne hinna muutus.



Joonis 20. Dispersioonanalüüsiga saadud hinna muutuste koefitsiendid sõltuvalt vanusest ja kasvukohatüübist (valem 6).

Joonisel 19 ja 20 on esitatud samade algandmete järgi kahe erineva dispersioonanalüüsi tulemused. Joonisel 19 esitatud dispersioonanalüüsi kasuks räägib lihtsus, kuid joonisel 20 esitatud analüüs andis tugevamad seosed. Kui jätta välja kasvukohatüübid ning analüüsida kogu andmete puhul vaid hinna muutuse sõltuvust vanusest, saame kaks erinevat valemit. Mõlemad on usaldusväärsed, kuid pisut erinevad. Kasutades valemit 3 ja 6 ilma kasvukohatüübifaktorita, saame kaks hinnamuutust kirjeldavat joont (joonis 21).



Joonis 21. Kahte erinevat valemikujut kasutades saadud hinna muutuste koefitsiendi sõltuvus puistu vanusest. Arvutatud teoreetiline hinnamuut (punane ja hall joon) kui kuusepuistu oleks terve ehk juuremädanikest vaba ehk mitu % võrra enam on puistu väärtus võrreldes tegeliku puistu väärtusega (sinine joon). Alus: harvesteri andmestik ehk 73930 puu ja sellest saadud sortimentide andmed ning 2017. aasta RMK hinnakiri.

Praeguste andmete järgi on mõlemad valemid statistiliselt usaldusväärsed. Samas kasumiküpsuse arvutamisel annavad kummagi valemi kasutamine erinevaid tulemusi. Seega oleks vaja analüüsida rohkem lõppraielanke, et teha kindlaks kõige sobilikum vanuse ja hinna seose kuju ning selle järgi arvutada mädanike kahjud vanuseklasside kohta.

Siiski käesoleva analüüsi tulemusena saame öelda seda, et **mädanike kahjude tõttu on tegelik (mädanikuga) kuusikute kasumiküpsus kuni 10 aastat madalam võrreldes teoreetilise (terve) puistuga** (mitte metsa majandamise eeskirja järgse vanusega) arvestades harvesteri andmetest pärit kasvukohatüüpe (Tabel 13). **Järelikult majanduslikust aspektist lähtudes oli kuuseenamusega puistute raievanuse langetamine mõistlik otsus.**

Lisaks tuleb märkida seda, et boniteet mõjutab kasumiküpsust nii tervel kui ka haigel puistul. Aga boniteet ei mõjuta statistiliselt oluliselt hinnakadu, seega mädanike kahju oli terves kasvukohatüübis olenemata boniteedist.

2.5.3 Eesti kuusikutes mädanike tekitatud majanduslik kahju

Metsaregistrisse on 9.05.2019 a. seisuga kantud andmed 2,05 miljoni hektari metsa kohta. See on kogu metsa pindalast 80-85%, mis sõltub millistest allikatest võtta kogu metsa pindala. Metsaregistri andmetel on 272,6 tuhat hektaril puistud, mille esimese rinde puistu koosseisukoefitsient näitab vähemalt 50% kuuske ja enam. Nimetame neid edaspidi kuusikuteks. Kuusikute pindalaga kaalutud keskmiseks koosseisu koefitsiendiks on 73,5%. Kuusikute jagunemine boniteediklasside vahel näitab, et ca 2/3 kuusikutest on esimese ja teise boniteediga ning neljanda ja kehvema boniteediga kuusikuid on alla 3% (Tabel 12).

Tabel 12. Metsaregistri andmete järgi kuusikute jagunemine boniteediklasside vahel

Boniteediklass	Pindala, ha	Osakaal, %
0	48384	17,7
1	99048	36,3
2	86825	31,9
3	30777	11,3
4	6161	2,3
5	1140	0,4
6	277	0,1
Kokku	272612	100,0

Kuusikute jagunemine kasvukohatüüpide kaupa tähendab kuni 1% kõikidest kuusikutest, ülejäänud (<1%) on liidetud kokku ning need moodustasid kuusikutest 4,1% (Tabel 13).

Tabel 13. Metsaregistrisse sisestatud kuusikute jagunemine kasvukohatüüpide vahel. Kursiivis ja paksus kirjas on harvesteri andmeid esindavad kasvukohatüübid.

Kasvukohatüüp	Pindala, ha	Osakaal, %
<i>JM</i>	<i>48973</i>	<i>18,0</i>
<i>SL</i>	<i>44100</i>	<i>16,2</i>
<i>JK</i>	<i>42941</i>	<i>15,8</i>
<i>AN</i>	<i>33548</i>	<i>12,3</i>
<i>ND</i>	<i>26439</i>	<i>9,7</i>
<i>JO</i>	<i>21659</i>	<i>7,9</i>
<i>MS</i>	<i>16187</i>	<i>5,9</i>
KM	6997	2,6
<i>MO</i>	<i>6470</i>	<i>2,4</i>
TA	6601	2,4
<i>JP</i>	<i>3870</i>	<i>1,4</i>
KL	3436	1,3
Teised	11393	4,1
Kokku	272612	100,0

Kuusikutest kasvab kõige enam jänesekapsa-mustika, sinilille, jänesekapsa ja angervaksa kasvukohatüüpides, mis moodustavad kuusikute pindalast 62,3%. Harvesteri andmetest 50 langi andmed sisaldasid andmeid 10 kasvukohatüübi kuusikute kohta (Tabel 13). Üks kasvukohatüüp (siirdesoo) on peidetud teiste kasvukohatüüpide reale ja moodustas kuusikutest 0,4%. Kokku esindavad harvesteri andmed **kasvukohatüüpide järgi kõikidest kuusikutest 90%**.

Edasine majanduslik arvutus on teostatud ainult nende kasvukohatüüpide kohta, mille kohta on harvesteri andmeid. Arvutati välja 50 langi andmete järgi, milline on keskmine hinnakadu €/ha/aasta. Esmalt arvutati hinnakadu (terve ehk teoreetilise metsa hind miinus mädanikuga ehk tegelik metsa hind), mis seejärel jagati hinnakao pindalaga ja puistu raievanusega. Tulemuseks saadi hinnakadu hektari kohta aastas igale harvesteri andmetes esindatud kasvukohatüübile ja boniteediklassidele (puuduvad boniteediklassid arvutati teoreetiliselt olemasolevate andmete järgi). Edasi leiti vastavate kasvukohatüüpide ja boniteediklasside

pindalad metsaregistri andmete järgi; seejärel arvutati hinnakadu pinna kohta. Meetod arvestab ühtlase kasutuse langiga, mis ei käsitle hetke olukorda. Samuti eeldab meetod seda, et üle Eesti on raiutavate lankide kuuse keskmised vanused ja tagavarad sarnased vastavalt kasutada olnud 50 harvesteri langi andmetele. Seega võib arvata, et hinnakadu hinnatakse pigem alla. Kui arvestada, et metsaregistris on 80-85% Eesti metsa pindalast ning andmed on 90% kasvukohtade kohta, siis edasine arvutus hõlmab ca 75% kõikidest Eesti kuusikutest. Võttes aluseks harvesteri andmed, leiti iga kasvukohatüübi ja boniteediklassi kuusiku kohta mädanike tõttu saamata jäänud hind ehk hinnakadu kuuse puistutes vanusevahemikus 36-159 aastat. **Laiendades saadud hinnakadu 75% kuusikutele, saadi kuusikute kasvatamisel juuremädanike kahjude tõttu saamata jäävaks tuluks 6,4 miljonit eurot aastas.** Kui arvestada, et arvutused hõlmavad ca kolmveerand kuusikutest, siis võib saamata jääv tulu metsaomanikule olla juuremädanike tõttu kogu Eesti kuusikutes ca 8,5 miljonit eurot aastas.

Eelnev hinnakadu on arvutatud kõikide 50% ja enam kuuse osalusega puistute kohta, väiksema kuuse koosseisuga puistud siin ei kajastu. Seega selles arvutuses ei kajastu mädanike kahjud kuuse aastase raiemahu kohta. Need kahjud on kahtlemata suuremad, kuid vajavad detailsemat analüüsi.

Majandusliku osa kokkuvõte

- Kokku kasutati enam kui 76 000 üksikpuu andmeid ja 272 kuuse enamusega (kuuse osakaal >50%) puistu andmeid.
- Tulemustest nähtub, et enamuse kasvukohatüüpide (sh viljakad) korral mädaniku osakaal kasvab koos vanusega, kusjuures mustika ja jänesekapsa-kõdusoo kasvukohatüüpides mädaniku osakaal kahaneb vanuse kasvades. Kõige suurem juuremädanike kahju on sinilille kuusikutes. **Keskmiselt mädanikuga puude osakaal kuuse enamusega puistutes on usaldusväärsest sõltuv vanusest ja kasvukohatüübist ($R^2 = 0,7645$, prognoosiviga 23,1%, $p < 0,0001$).** 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 kuusikule ei tekita olenemata raie sesoonist, kuid enam kui 2 hooldusraiet on negatiivse mõjuga puistu sanitaarsele seisundile.
- Varasem maakasutus (mets ja põld) ei olnud oluline mädanike kahjude mõjutaja kuuse enamusega puistutes ($p > 0,05$). Samas on endisel metsamaal mädanikuga puude osakaal keskmiselt ca 2% võrra suurem kui endistel põllumaadel asuvates metsades.
- Eelnevaid andmeid kokku võttes selgub, et oluliselt mõjutavad juuremädanikest tingitud kahjustusi kuuse enamusega puistutes kasvukohatüüp, puistu vanus, hooldusraie ja raie sesoonsus (soe või külm). Põlise metsamaa ja põllumaa kuusikud ei mõjuta oluliselt mädanike tekkimist.
- Andmeid kokku võttes on 184 kuuse puistus (jänesekapsas, sinilill ja naadi) vanuses 4-206 aastat mädaniku kahjustusega puid keskmiselt 33%. Kui vaadata vaid lõppraie kuusikuid ca 40 aastat ja enam (s.o harvesteri andmete baasil) on mädaniku kahjud

keskmiselt 53%. Üllatuslikult selgub, et mädanikukahjud (46%) on märkimisväärsed ka kõdusoo ja angervaksa kuusikutes. Kõik andmed kokku võtta on mädaniku kahjude ulatus 39% (N>76000 puud).

- Enamuse analüüsitud kasvukohatüüpide (sh 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 ($p>0,05$).
- Võttes aluseks harvesteri andmed, leiti iga kasvukohatüübi ja boniteediklassi kuusiku kohta mädanike tõttu saamata jäänud hind ehk hinnakadu kuuse puistutes vanusevahemikus 36-159 aastat. **Kui arvestada saamatajääv tulu kõikidele Eesti kuuse enamusega puistutele siis mädanikest tingitud kahjud metsaomanikule ulatuvad ca 8,5 miljoni euroni aastas.**
- Väga olulise aspektina tuleb edasistes kahjustuse analüüsides arvestada eelneva metsapõlve kahjudega ja harvendusraie ajal väljaraie %-ga. Kumbagi me hetkel ei tea, kuid need andmed on hädasti vaja dokumenteerida ja andmebaasi kanda. **Eelneva metsapõlve seisu 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 lahendamiseks on vaja analüüsida enam üksikpuu harvesteri andmeid.
- Käesoleva analüüsi tulemusena saame öelda seda, et mädanike kahjude tõttu on kuusikute kasumiküpsus kuni 10 aastat madalam võrreldes terve teoreetilise puistuga (mitte metsa majandamise eeskirja järgse vanusega), aluseks harvesteri 50 lõppraie andmed. **Järelikult majanduslikust aspektist lähtudes oli kuuseenamusega puistute raievanuse langetamine mõistlik otsus.**
- Antud andmestik on oluline uue rakenduse loomiseks praktilisele metsamajandajale, mille sisuks on täpsem ja ajakohasem kuusikute majandamise alus. Nimetatud rakendus võimaldaks paremini planeerida kuusiku majandamist ning hinnata võimalike juuremädanike ohte.

3 Olulisemad tulemused ja järeldused

Kuuse enamusega puistute harvendamine (hooldus-, harvedus ja sanitaarraied) tervikuna ega raiete teostamise aeg ei mõjuta kogu mullaseente liigirikkust. Mullaseente elurikkus 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 kahjutusega puude osakaal, 82% vanuseklassis 41-60 ja 86% vanuseklassis 61-80 ning suurema diameetriga kannud näitasid oluliselt enam juurepessu esinemist võrreldes peenemate kändudega. Seega, **vanemaid ja jämedamaid puid harvendusraietena majandades kasvab juuremädanike nakkuse oht kuuse enamusega puistutes.**

Vanuses 41-80 aastat oli üks kord raiutud kuusikutes juurepessu nakkusega elusate kuuskede osakaal (85%) sisuliselt sama raiumata aladel (81%) kasvavate kuusikutega. Seega, vanusvahemikus 41-80 puistu harvendamata jätmine märkimisväärselt ei vähendanud juurepessu nakkuse osakaalu.

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 ja varieerusid 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 lagunenud lamapuidu mahtu, mistõttu 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.**

Sammalde 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. Looduskaitsele tähelepanuväärseid 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 põllu- või rohumaa ($N=10$) 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 elurikkus põlise metsamaa ja endise põllumaa puistutes.**

Andmeid kokku võttes on 184 kuuse puistus (jänese kapsas, sinilill ja naadi) **vanuses 4-206 aastat mädaniku kahjustusega puid keskmiselt 33%**. Lõppraie kuusikutes ca 40 aastat ja enam on mädaniku kahjud keskmiselt 53%. Üllatuslikult selgub, et mädanikukahjud (46%) on märkimisväärsed ka kõdusoo ja angervaksa kuusikutes. **Kokkuvõtvalt 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 lõppraie 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 eurooni aastas.** Seega mädanike kahjud kuusikutes ja selle tõrje on oluline teema.

Käesoleva analüüsi tulemusena selgub, 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.**

4 Konkreetsemad seisukohad ja soovitus

Kui arvestada saamata jäänud hind kõikidele Eesti kuuse enamusega puistutele (kuuse osalus $\geq 50\%$) siis mädanikest tingitud kahjud ulatuvad 8,5 miljoni eurooni aastas. Kuna mädanike osakaalu puistus mõjutavad oluliselt enam puistu vanus, hooldusraied ja kasvukohatüüp, siis vanemaid ja jämedamaid kuuski harvendusraietega 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 (laguaste). Harvendatud kuusikutes olid keskmised surnud puidu kogused küll oluliselt väiksemad (33-39 m³ hektari kohta) 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 populatsioone 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.

5 Täiendavad uuringud

Usaldusväärsemate majanduslike kahjude arvutamiseks (sh 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 põhjuseid.

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 seente 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 täpsem ja ajakohasem kuusikute majandamise võtted (ka raievõtted) ning mis võimaldaks paremini planeerida kuusikute majandamist ning hinnata võimalike juuremädanike ohte.

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.

6 KOKKUVÕTE

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 puistutes on sõltuv vanusest, hooldusraietest ja kasvukohatüübist. Seega, keskmiselt suureneb mädanikuga puude osakaal iga aastaga 0,3% võrra ja iga minevikus teostatud hooldus- ja harvendusraie 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 tüügaspuudest sõltuvaid liike.

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

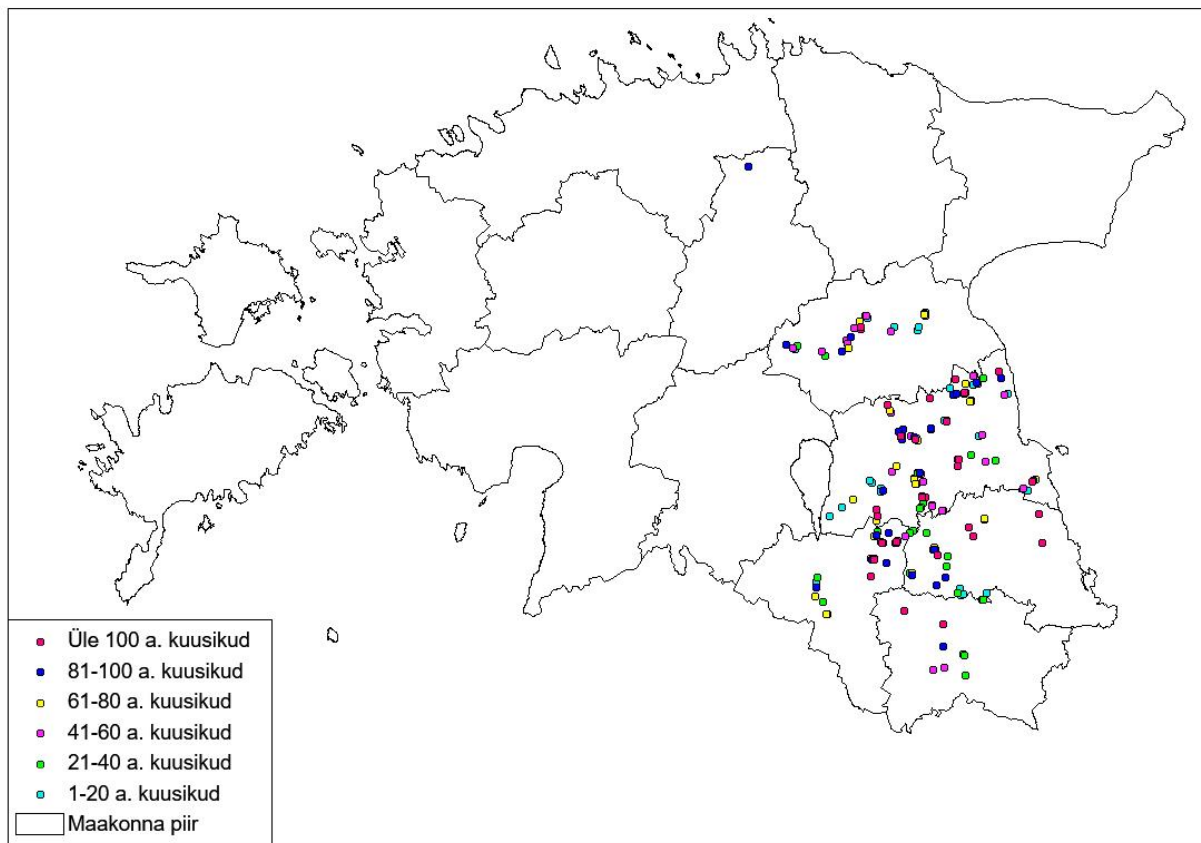
Majanduslikust aspektist raievanuse langetamine on mõistlik ja teatud elustikurühmadele (nt mullaseened) pigem neutraalne, kuid mitte kõikidele, nt samblikud. Seega, teatud elustiku kaitsmise eesmärgil küpsusvanusest hilisem kuusikute raie või ka puutumata metsade säilitamine on vajalik. Sellisel juhul 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.

Kasutatud kirjandus

- Anderson, M., Gorley, R.N, Clarke, R.K. 2008. Permanova+ for Primer: Guide to Software and Statistical Methods. Plymouth, Devon: Primer-E Limited.
- Drenkhan, R., Tedersoo L. 2018. RMK projekti „Kuusikute raieaja ja raieviiside mõju patogeenide levikule ja arvukusele ning puistu elurikkusele viljakates kasvukohatüüpides“ vahearuanne 2018.
- Dufrêne, M., & Legendre, P. 1997. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67, 345–366.
- Hanski, I., Walsh, W., 2004. How Much, How To? Practical Tools for Forest Conservation. BirdLife European Task Force, Helsinki.
- Tedersoo, L.; Bahram, M.; Põlme, S.; Kõljalg, U.; Yorou, N.S.; Wijesundera, R.; Villarreal-Ruiz, L.; Vasco-Palacios, A.; Quang Thu, P.; Suija, A.; Smith, M.E.; Sharp, C.; Saluveer, E.; Saitta, A.; Ratkowsky, D.; Pritsch, K.; Riit, T.; Põldmaa, K.; Piepenbring, M.; Phosri, C. ... Abarenkov, K. (2014). Global diversity and geography of soil fungi. *Science*, 346 (6213), 1078.10.1126/science.1256688.

LISAD

Lisa 1. Projekti jaoks valitud kuusikud ja proovide kogumise alad



Lisa 2. Valitud katsealade nimekiri

Sample code	Site name	County	N	E	Age	Site type	Time collected
A7	KS040_12	Tartumaa	58,4153	27,0114	4	ND	18.04.2017
A4	KV168_1	Tartumaa	58,5467	26,869	5	JK	17.11.2016
A2	TT214_9	Tartumaa	58,4639	26,82	5	JK	17.11.2016
A30	LA157-16	Jõgevamaa	58,7484	26,5147	5	SL	11.05.2018
A19	PW164_11	Põlvamaa	57,9382	27,0567	5	JK	02.06.2017
A17	PE055_16	Tartumaa	58,2562	26,4417	6	JK	30.05.2017
A29	LA209-19	Jõgevamaa	58,7405	26,6562	6	JK	27.01.2017
A24	AA276_1	Valgamaa	57,9711	26,0601	7	JK	08.06.2017
A3	TT213_6	Tartumaa	58,4632	26,8102	8	SL	07.12.2016
A12	VA069_7	Tartumaa	58,5723	26,9797	8	JK	20.04.2017
A14	PM178_9	Jõgevamaa	58,6814	25,9416	8	JK	26.04.2017
A20	SV081_4	Põlvamaa	58,0698	26,7546	8	JK	01.06.2017
A9	KV124_26	Tartumaa	58,5637	26,8439	9	JK	28.04.2017
A22	QB004_2	Põlvamaa	57,9185	27,0302	9	SL	02.06.2017
A28	VZ227_8	Jõgevamaa	58,7763	26,3627	9	SL	02.05.2017
A11	AK103_6	Tartumaa	58,5437	27,1766	10	JK	20.04.2017
A18	PE061_7	Tartumaa	58,2481	26,4362	10	JK	30.05.2017
A25	VZ210_8	Jõgevamaa	58,7824	26,3495	10	SL	02.05.2017
A23	EV200-4	Põlvamaa	57,9295	26,9065	10	JK	02.06.2017
A5	VA146_14	Tartumaa	58,5235	26,9637	11	JK	01.12.2016
A8	KS217_1	Tartumaa	58,3446	26,8874	11	JK	18.04.2017
A21	EV187_9	Põlvamaa	57,9508	26,9006	11	JK	02.06.2017
A13	LA175_10	Jõgevamaa	58,7923	26,6976	12	JK	27.04.2017
A15	CO071_16	Tartumaa	58,1996	26,2109	13	SL	30.05.2017
A31	PS009_3	Tartumaa	58,171	26,1442	14	JK	30.05.2017
A27	PE046_5	Tartumaa	58,2749	26,3885	15	SL	30.05.2017
A10	TT060_3	Tartumaa	58,4107	26,6483	16	JK	18.04.2017
A26	PE043_11	Tartumaa	58,2818	26,3757	17	SL	30.05.2017
A1	TT093_1	Tartumaa	58,3028	26,6511	20	JK	27.10.2016
A6	LA210_3	Jõgevamaa	58,7484	26,6605	20	JK	27.04.2017
A32	JS298_12	Tartumaa	58,2507	27,2946	20	JK	28.06.2017
A16	EV202_21	Põlvamaa	57,9331	26,9164	20	JK	02.06.2017
B2	KM024_2	Tartumaa	58,2144	26,686	24	JK	23.11.2016
B1	KM033_1	Tartumaa	58,1995	26,67	24	JK	23.11.2016
B11	VL527_3	Valgamaa	57,8731	26,1284	24	JK	07.06.2017
	Tapu, era						
B5	gps 772	Tartumaa	58,1889	26,8032	25	JK	24.11.2016
B12	QB006_2	Põlvamaa	57,9186	27,0368	25	JK	02.06.2017
B3	AK031_9	Tartumaa	58,5916	27,0344	29	JK	24.03.2017
B14	EV005_6	Põlvamaa	57,9984	26,6065	38	JK	28.06.2017
B4	KM050_19	Tartumaa	58,2046	26,7389	30	JK	23.11.2016

B6	KM033_4	Tartumaa	58,1957	26,6688	32	SL	23.11.2016
B9	EV191_7	Põlvamaa	57,9389	26,8883	36	JK	02.06.2017
B8	LA176_7	Jõgevamaa	58,7895	26,6929	38	JK	27.04.2017
B16	SV096_3	Põlvamaa	58,0482	26,8278	35	JK	27.06.2027
B15	PM197-8	Jõgevamaa	58,6594	26,1145	39	SL	26.06.2017
B10	VZ211_6	Jõgevamaa	58,7836	26,3544	38	SL	02.05.2017
B13	SV080_6	Põlvamaa	58,0703	26,7497	39	JK	01.06.2017
B7	TT018-1	Tartumaa	58,4267	26,5636	37	ND	10.2017
BB2	OP015_12	Valgamaa	58,1237	26,419	36	JK	21.05.2017
BB1	TT104_5	Tartumaa	58,2881	26,6331	30	JK	27.10.2016
BB7	KM111_11	Tartumaa	58,1273	26,6242	25	JK	27.06.2017
BB6	OP078_4	Valgamaa	58,1221	26,6108	31	JK	27.06.2017
BB10	SV012_11	Põlvamaa	58,1224	26,7051	24	JK	27.06.2017
BB4	PM174_23	Jõgevamaa	58,6917	25,951	24	JK	26.06.2017
BB5	TT093_10	Tartumaa	58,2995	26,6519	21	JK	21.06.2017
BB13	QT054_6	Tartumaa	58,357	26,963	22	JK	26.06.2017
BB11	KS164_1	Tartumaa	58,3431	27,1077	23	JK	26.06.2017
BB14	SV126_16	Põlvamaa	58,0206	26,8204	36	JK	27.06.2017
BB3	RG214-7	Võrumaa	57,685	26,9311	36	JK	28.06.2017
BB9	RG015-7	Võrumaa	57,7499	26,9201	27	JK	28.06.2017
BB12	VL417_4	Valgamaa	57,9109	26,0991	40	JK	27.06.2017
BB15	AA244_2	Valgamaa	57,986	26,0706	24	JK	27.06.2017
BB8	RG016-6	Võrumaa	57,7493	26,9241	28	JK	28.06.2017
C7	PM191_19	Jõgevamaa	58,6734	26,0978	41	SL	02.05.2017
C11	SV080_5	Põlvamaa	58,0698	26,7465	42	JK	01.06.2017
C5*	QT078_4	Tartumaa	58,338	27,0465	43	JK	11.11.2016
C17	PE018_10	Tartumaa	58,3088	26,5011	43	JK	30.05.2017
C9	VA063_26	Tartumaa	58,5753	27,0039	46	JK	20.04.2017
C14	VZ211-7	Jõgeva	58,783	26,3555	48	SL	02.05.2017
C3	KM051_11	Tartumaa	58,203	26,7366	50	JK	24.11.2016
C15	OP084-14	Valgamaa	58,1095	26,584	50	JK	08.06.2017
C2	VA146_16	Tartumaa	58,5222	26,964	51	JK	01.12.2016
C1	KM075_7	Tartumaa	58,1886	26,7948	51	JK	24.11.2016
C4	AK092_5	Tartumaa	58,5431	27,1624	51	JK	24.03.2017
C6	LA182_2	Jõgevamaa	58,7816	26,6997	54	JK	27.04.2017
C13	VL394_20	Valgamaa	57,9272	26,0545	54	JK	07.06.2017
C10	KS030_26	Tartumaa	58,4203	27,031	56	JK	18.04.2017
C8	PM176_13	Jõgevamaa	58,6848	25,9282	56	JK	26.04.2017
C16	PM232_13	Jõgevamaa	58,7096	26,2412	57	SL	28.04.2017
C12	LA161-22	Jõgevamaa	58,7365	26,5002	58	SL	11.05.2017
CC6	PM245-15	Jõgevamaa	58,6973	26,2435	59	SL	26.06.2017
CC7	VA109-2	Tartumaa	58,5482	26,9294	58	JK	22.06.2017
CC3	OP026-7	Valgamaa	58,112	26,3986	44	SL	21.06.2017
CC5	RG120-8	Võrumaa	57,7034	26,743	57	JK	28.06.2017

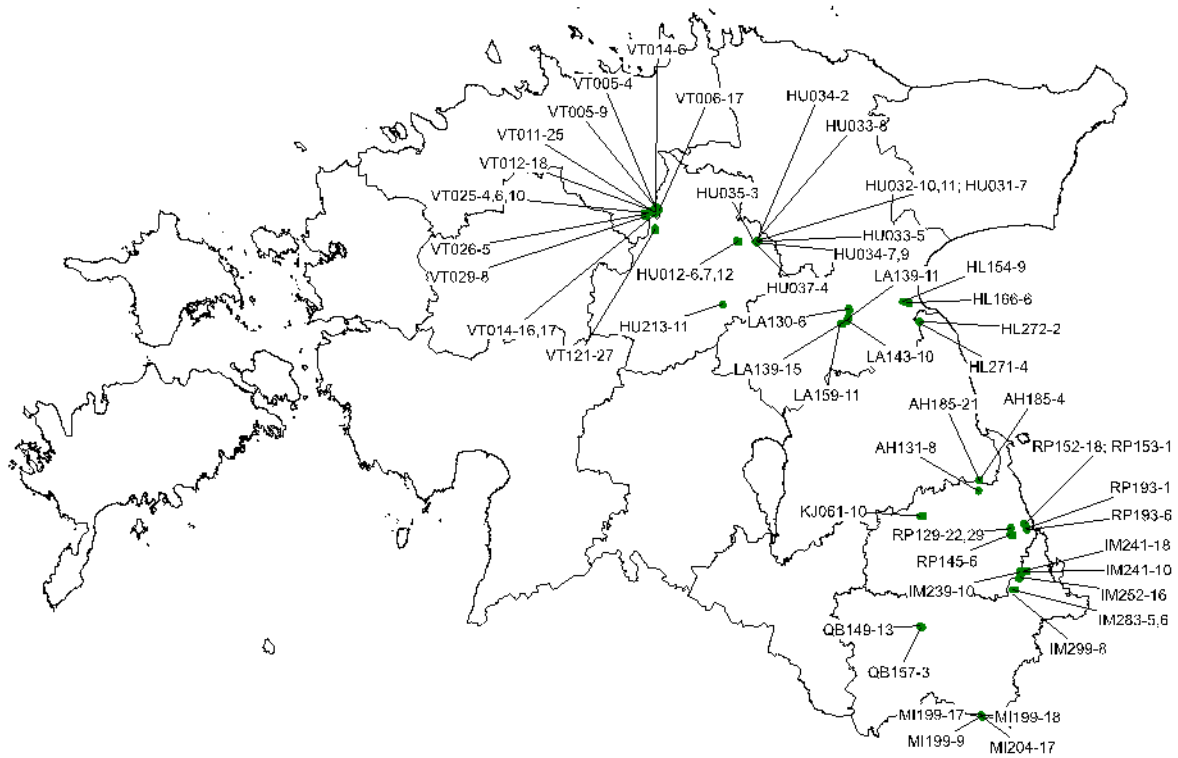
CC4	RG098-17	Võrumaa	57,7111	26,8111	52	JK	28.06.2017
D8	SV079_1	Põlvamaa	58,0759	26,7486	61	JK	01.06.2017
D10	VL525_2	Valgamaa	57,8742	26,1187	64	JK	07.06.2017
D6	VZ243_2	Jõgevamaa	58,7668	26,3177	65	SL	02.05.2017
D14	OP096_13	Valgamaa	58,0416	26,3829	65	JK	06.06.2017
D15	TT108_3	Tartumaa	58,2839	26,6361	66	JK	31.05.2017
D9	VL394_14	Valgamaa	57,929	26,055	66	JK	07.06.2017
D16	VA155_2	Tartumaa	58,5206	26,959	68	JK	01.12.2016
D13	LA176_16	Jõgevamaa	58,7872	26,6923	68	JK	27.04.2017
D2	TT110_11	Tartumaa	58,2716	26,6408	69	JK	27.10.2016
D5	VA056_8	Tartumaa	58,5756	26,9335	69	JK	20.04.2017
D3	KJ089_11	Põlvamaa,	58,1649	27,0408	70	JK	16.01.2017
D1	TT115_1	Tartumaa	58,2706	26,6439	72	JK	27.10.2016
E4*	KJ091_7	Põlvamaa,	58,1628	27,0428	74	JK	16.01.2018
D4	AK069_6	Tartumaa	58,5943	27,1426	76	JK	29.12.2016
D12	EV006_10	Põlvamaa	57,9979	26,6219	77	JK	06.06.2017
D11	EV146_19	Põlvamaa	57,9618	26,7648	79	JK	07.06.2017
DD6	TT242-8	Tartumaa	58,4367	26,7312	79	ND	22.06.2017
DD4	OP026-10	Valgamaa	58,1108	26,4015	70	SL	21.06.2017
DD5	OP051-9	Valgamaa	58,0894	26,4532	76	SL	21.06.2017
DD7	PE075-8	Tartumaa	58,2243	26,2788	74	ND	27.06.2017
DD15	PE011-20	Tartumaa	58,3254	26,5294	74	JK	17.07.2017
D7*	RA079-8	Järvamaa	59,2377	25,666	81	JK	09.03.2017
E3	AK069_12	Tartumaa	58,5943	27,1395	81	JK	29.12.2016
E2	KV167_10	Tartumaa	58,5433	26,8636	81	JK	17.11.2016
E12	EV150_5	Põlvamaa	57,9606	26,7653	81	JK	07.06.2017
E5	VA062_4	Tartumaa	58,5785	26,998	82	JK	20.04.2017
E13	TT096_3	Tartumaa	58,3032	26,6695	82	JK	31.05.2017
E10	EV012_18	Põlvamaa	57,9918	26,6224	82	JK	06.06.2017
E6	PM278_8	Jõgevamaa	58,674	26,2147	84	SL	28.04.2017
E14	OP096_20	Valgamaa	58,0412	26,3879	84	JK	06.06.2017
E11	OP121_17	Valgamaa	58,0283	26,4732	85	SL	06.06.2017
E1	KV174_4	Tartumaa	58,5406	26,8671	86	JK	17.11.2016
E7	PM168_37	Jõgevamaa	58,6935	25,8898	86	JK	26.04.2017
E15	EV132_3	Põlvamaa	57,9848	26,8149	95	JK	27.06.2017
E9	AA311_1	Valgamaa	57,9553	26,0658	87	JK	06.06.2017
E8	SV080_7	Põlvamaa	58,0697	26,7501	98	JK	01.06.2017
EE7	TT242-12	Tartumaa	58,44	26,7299	94	JK	22.06.2017
EE6	VA108-9	Tartumaa	58,5445	26,9246	94	JK	22.06.2017
EE5	OP022-10	Valgamaa	58,115	26,4131	89	SL	21.06.2017
EE4	OP059-10	Valgamaa	58,1218	26,4865	81	SL	21.06.2017
EE8	RG268-4	Võrumaa	57,7762	26,8045	85	JK	28.06.2017
F13	KV091_25	Tartumaa	58,5894	26,8709	102	JK	28.04.2017
F15	PE117_7	Tartumaa	58,192	26,4111	105	JK	30.05.2017

F12	PW023-4	Põlvamaa	58,1108	26,9794	105	JK	09.06.2017
F1	TT280_10	Tartumaa	58,5325	26,7231	106	SL	24.03.2017
F4	KM018_6	Tartumaa	58,2282	26,6775	106	JK	31.05.2017
F2	KS235_16	Tartumaa	58,3264	26,887	107	JK	18.04.2017
F3	SV159_3	Põlvamaa	58,0518	26,7682	108	JK	01.06.2017
F14	KM021_2	Tartumaa	58,2305	26,7018	110	JK	31.05.2017
F7	SP035_4	Võrumaa	57,8834	26,576	110	JK	07.06.2017
F5	OP162-4	Valgamaa	57,9879	26,3791	114	SL	08.06.2017
F8	RP141-8	Põlvamaa	58,0918	27,3816	112	JK	09.06.2017
F10	KS218-1	Tartumaa	58,3455	26,8926	114	JK	09.06.2017
F11	RP109-12	Põlvamaa	58,1805	27,3613	115	JK	09.06.2017
F9	SP130-1	Võrumaa	57,8414	26,7996	120	JK	08.06.2017
F6	KJ078-27	Põlvamaa	58,1384	26,9538	131	JK	09.06.2017
FF5	PM245-8	Jõgevamaa	58,748	26,3195	199	ND	26.06.2017
FF4	TT217-2	Tartumaa	58,4621	26,8192	134	JK	22.06.2017
FF6	VA105-1	Tartumaa	58,5502	26,9268	154	JK-MS	22.06.2017
FF3	OP045-27	Valgamaa	58,0898	26,4471	123	SL	21.06.2017
FF15	JS242-6	Tartumaa	58,2759	27,3218	117	ND	26.06.2017
DD1	TT079-8	Tartumaa	58,4034	26,6563	71	JK	15.09.2016
FF1	TT075-14	Tartumaa	58,4048	26,6382	120	JK	16.09.2016
CC1	TT113-6	Tartumaa	58,2767	26,6885	48(52)	JK	19.09.2016
DD2	TT097-2	Tartumaa	58,3011	26,6752	71	JK	20.09.2016
CC2	TT038-3	Tartumaa	58,4162	26,6154	47	JK	23.09.2016
EE1	KV176-8	Tartumaa	58,5446	26,8832	92	JK	26.09.2016
EE2	TT045-2	Tartumaa	58,4125	26,6349	81	JK	03.10.2016
DD3	KM014-12	Tartumaa	58,2344	26,6767	61(67)	JK	05.10.2016
EE3	Era19	Tartumaa	58,4304	26,5434	85	JK	11.10.2016
FF2	TT075-13	Tartumaa	58,405	26,6412	120	JK	12.10.2016
CC8	PE139-16	Tartumaa	58,1581	26,4163	58	SL	03.05.2017
DD8	PE139-9	Tartumaa	58,1601	26,4154	68	SL	03.05.2017
CC9	OP070-6	Valgamaa	58,0982	26,5388	43	JK	05.05.2017
FF8	OP073-7	Valgamaa	58,0943	26,5317	101	JK	05.05.2017
EE9	OP074-7	Valgamaa	58,09	26,5267	86	JK	08.05.2017
FF7	PE132-1	Tartumaa	58,1719	26,4184	143	SL	09.05.2017
EE10	PE062-1	Tartumaa	58,2493	26,4542	88	JK	10.05.2017
FF11	OP099-11	Valgamaa	58,0383	26,4036	115	JK	12.05.2017
EE12	OP099-14	Valgamaa	58,0413	26,4007	85	JK	12.05.2017
FF10	CK068-3	Tartumaa	58,51	26,4808	105	ND	15.05.2017
DD9	OP072-17	Valgamaa	58,0921	26,5275	66	JK	16.05.2017
DD10	JS230-5	Tartumaa	58,2835	27,3422	75	ND	17.05.2017
CC10	TT052-17	Tartumaa	58,4132	26,5591	54	ND	22.05.2017
FF13	TT033-15	Tartumaa	58,4177	26,5576	105	ND	22.05.2017
EE15	JS227-3	Tartumaa	58,2819	27,3248	89	ND	26.05.2017
FF9	JS226-9	Tartumaa	58,2788	27,3237	206	ND	26.05.2017

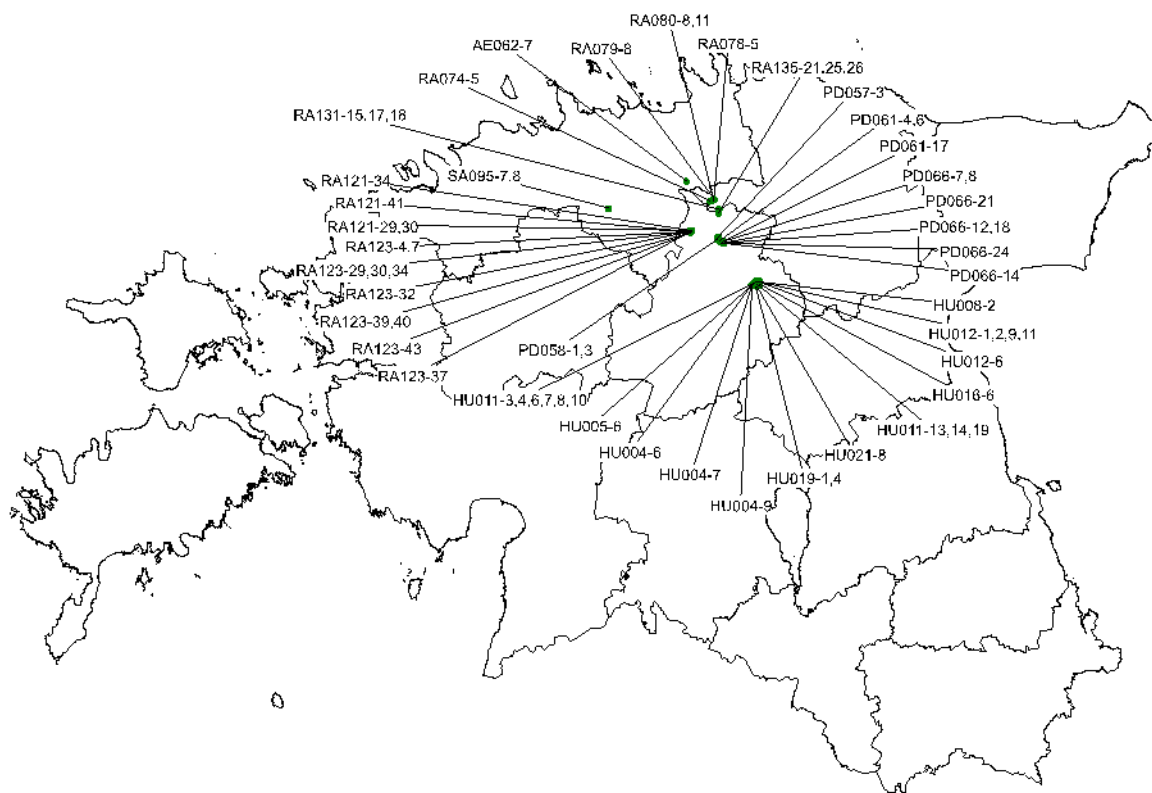
DD14	TT033-13	Tartumaa	58,4204	26,5605	66	ND	02.06.2017
FF12	VZ256-28	Jõgevamaa	58,7416	26,3198	101	SL	06.06.2017
EE13	PM229-1	Jõgevamaa	58,7188	26,2646	86	SL	06.06.2017
CC11	OP044-14	Valgamaa	58,0932	26,4386	60	SL	08.06.2017
DD11	OP051-14	Valgamaa	58,0895	26,4533	73	SL	08.06.2017
CC12	JS267-2	Järvselja	58,2584	27,2695	48	JK	14.06.2017
CC14	VZ253-1	Jõgevamaa	58,7456	26,2813	55	SL	15.06.2017
DD12	PM319-9	Jõgevamaa	58,6854	26,2507	66	ND	15.06.2017
EE11	TT066-21	Tartumaa	58,4057	26,5641	87(93)	ND	19.06.2017
EE14	TT002-2	Tartumaa	58,4384	26,5697	95	ND	29.06.2017
CC13	CK146-20	Tartumaa	58,4872	26,4968	48	ND	04.07.2017
DD13	CK227-9	Tartumaa	58,4948	26,4931	65	ND	04.07.2017
CC15	VA020-7	Tartumaa	58,6008	26,9804	45	JK	05.07.2017
FF14	AK068-7	Tartumaa	58,6148	27,1278	131	JK	05.07.2017

*Pilootalad

LISA 3. Harvesteri uuendusraie langid üksikpuu andmetega pärinevad Järva-, Harju-, Jõgeva-, Põlva- ja Võrumaalt. Joonisele on lisatud raielankide kvartalite ja eralduste numbrid.



LISA 4. Harvesteri uuendusraie langid koondandmetega pärinevad Järva ja Harjumaalt. Joonisele on lisatud raielankide kvartalite ja eralduste numbrid.



Lisa 5. Proovialadelt (n=40) registreeritud samblaliigid ning nende suhteline sagedus (%) üle kõigi kasvupindade (“Kokku”) ning eraldi elus, tüügas ja lamapuude lõikes. * = helviksammal.

Samblaliik	KOKKU	ELUS	TÜÜGAS	LAMA	Samblaliik (jätk)	KOKKU	ELUS	TÜÜGAS	LAMA
<i>Amblystegium radicale</i>	5	-	5	-	* <i>Lepidozia reptans</i>	30	5	10	25
<i>Amblystegium serpens</i>	20	3	13	13	* <i>Lophocolea heterophylla</i>	100	98	98	100
<i>Amblystegium subtile</i>	3	-	-	3	* <i>Lophocolea minor</i>	3	-	-	3
<i>Aulacomnium palustre</i>	3	-	-	3	* <i>Lophozia longiflora</i>	5	-	-	5
<i>Blepharostoma trichophyllum</i>	38	-	13	35	* <i>Nowellia curvifolia</i>	63	-	8	63
<i>Brachythecium erytharhizon</i>	5	-	-	5	<i>Orthotrichum speciosum</i>	18	3	3	13
<i>Brachythecium salebrosum</i>	28	-	10	20	* <i>Plagiochila aspleniooides</i>	43	15	8	35
<i>Brachythecium starkei</i>	3	3	-	-	* <i>Plagiochila porelloides</i>	8	3	-	5
<i>Brachythecium velutinum</i>	68	40	33	38	<i>Plagiomnium affine</i>	63	43	33	53
<i>Bryum flaccidum</i>	5	-	5	3	<i>Plagiomnium cuspidatum</i>	48	15	13	40
<i>Callicladium haldanianum</i>	25	8	3	18	<i>Plagiomnium elatum</i>	10	3	5	8
<i>Calliergonella cuspidata</i>	3	-	-	3	<i>Plagiomnium ellipticum</i>	38	13	18	28
<i>Calypogeia muelleriana</i>	30	-	5	30	<i>Plagiomnium undulatum</i>	25	8	8	18
<i>Campylium halleri</i>	5	-	-	5	<i>Plagiothecium cavifolium</i>	10	5	5	-
<i>Cephalozia bicuspidata</i>	8	-	3	5	<i>Plagiothecium curvifolium</i>	80	80	45	15
<i>Cephalozia lunulifolia</i>	33	-	8	30	<i>Plagiothecium denticulatum</i>	33	18	8	10
<i>Chiloscyphus pallescens</i>	5	-	-	5	<i>Plagiothecium laetum</i>	85	83	50	48
<i>Chiloscyphus polyanthos</i>	3	-	-	3	<i>Plagiothecium latebricola</i>	10	8	5	-
<i>Cirriphyllum piliferum</i>	45	3	5	40	<i>Plagiothecium succulentum</i>	10	8	-	3
<i>Climacium dendroides</i>	3	-	-	3	<i>Platygyrium repens</i>	10	3	3	8
<i>Crossocalyx hellerianus</i>	3	-	-	3	<i>Pleurozium schreberi</i>	98	35	45	98
<i>Dicranum montanum</i>	85	80	70	50	<i>Ptilidium pulcherrimum</i>	90	53	50	85
<i>Dicranum polysetum</i>	38	5	3	35	<i>Ptilium crista-castrensis</i>	40	-	-	40
<i>Dicranum scoparium</i>	93	55	55	88	<i>Pylaisia polyantha</i>	13	5	10	5
<i>Eurhynchium angustirete</i>	93	70	60	78	* <i>Radula complanata</i>	45	28	23	20
<i>Eurhynchium pulcherrimum</i>	5	-	5	3	<i>Rhizomnium punctatum</i>	28	3	5	25
<i>Eurhynchium striatum</i>	3	3	-	-	<i>Rhodobryum roseum</i>	40	10	15	30
<i>Fuscocephaloziopsis catenulata</i>	5	-	3	5	<i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>	5	-	3	3
<i>Herzogiella seligeri</i>	93	20	48	88	<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	93	20	30	90
<i>Homalia trichomanoides</i>	3	3	-	-	* <i>Riccardia latifrons</i>	8	-	-	8
<i>Hylocomium splendens</i>	95	18	25	95	* <i>Riccardia palmata</i>	8	-	-	8
<i>Hypnum cupressiforme</i>	88	73	60	75	<i>Sanionia uncinata</i>	100	50	60	98
<i>Hypnum fertile</i>	5	-	-	5	* <i>Scapania apiculata</i>	3	-	3	-
<i>Hypnum pallescens</i>	100	80	75	73	<i>Sciuro-hypnum oedipodium</i>	100	95	90	73
<i>Isoetecium alopecurooides</i>	3	-	-	3	<i>Sciuro-hypnum populeum</i>	3	-	3	-
* <i>Jamesoniella autumnalis</i>	18	5	8	15	<i>Sciuro-hypnum reflexum</i>	38	13	28	13
* <i>Jungermannia sp. (subulata?)</i>	3	-	3	-	<i>Tetraphis pellucida</i>	40	25	18	25
					<i>Thuidium delicatulum</i>	5	-	-	5
					<i>Thuidium tamariscinum</i>	5	3	-	5

Lisa 6. Proovialadelt (n=40) registreeritud samblikuliigid ja nende suhteline sagedus (%) üle kõigi kasvupindade ("Kokku") ning eraldi elus, tüügas ja lamapuu kasvupindade lõikes. *= kaltsiidsete samblike rühma kuuluv liik.

Samblikuliik	KOKKU	ELUS	TÜÜGAS	LAMA	Samblikuliik	KOKKU	ELUS	TÜÜGAS	LAMA
<i>Absconditella lignicola</i>	30	-	-	30	<i>Lecanora norvegica</i>	3	-	3	-
<i>Arthonia leucopellaea</i>	5	5	5	-	<i>Lecanora pulcaris</i>	8	-	8	-
<i>Arthonia spadicea</i>	73	65	43	3	<i>Lecanora symmicta</i>	13	-	13	-
<i>Arthonia vinosa</i>	13	8	5	3	<i>Lecidea leprarioides</i>	8	8	-	-
<i>Bacidia hemipolia</i>	3	3	-	-	<i>Lecidea nyländeri</i>	70	60	38	3
<i>Bacidia subincompta</i>	3	-	3	-	<i>Lecidea turgidula</i>	25	-	25	-
<i>Biatora efflorescens</i>	58	43	35	-	<i>Lecidella elaeochroma</i>	3	3	-	-
<i>Biatora helvola</i>	45	38	15	-	<i>Lepraria</i> spp.	100	100	100	40
<i>Biatora ocelliformis</i>	3	-	3	-	<i>Loxospora elatina</i>	35	30	13	-
<i>Bryoria capillaris</i>	10	8	5	-	<i>Melanelia exasperata</i>	3	3	-	-
<i>Buellia griseovirens</i>	18	15	5	-	<i>Melanelia subaurifera</i>	8	8	-	-
<i>Buellia schaeferi</i>	3	-	3	-	<i>Micarea denigrata</i>	3	3	-	-
* <i>Calicium glaucellum</i>	5	-	5	-	<i>Micarea hedlundii</i>	5	5	3	3
* <i>Calicium viride</i>	5	3	3	-	<i>Micarea melaena</i>	5	3	3	-
* <i>Chaenotheca brachypoda</i>	53	-	53	-	<i>Micarea misella</i>	18	-	15	3
* <i>Chaenotheca brunneola</i>	8	-	8	-	<i>Micarea prasina</i>	100	98	93	75
* <i>Chaenotheca chlorella</i>	15	-	15	-	* <i>Microcalicium disseminatum</i>	8	5	5	-
* <i>Chaenotheca chrysocephala</i>	38	38	18	-	* <i>Mycocalicium subtile</i>	53	-	53	-
* <i>Chaenotheca ferruginea</i>	43	40	15	-	<i>Ochrolechia androgyna</i>	3	3	3	-
* <i>Chaenotheca furfuracea</i>	38	8	33	3	<i>Ochrolechia microstictoides</i>	5	5	-	-
* <i>Chaenotheca gracilenta</i>	3	-	3	-	<i>Opegrapha vulgata</i>	3	3	-	-
* <i>Chaenotheca gracillima</i>	3	-	3	-	<i>Parmelia sulcata</i>	28	28	10	-
* <i>Chaenotheca</i> sp. (<i>Trichaptum</i> il)	8	-	8	-	<i>Parmeliopsis ambigua</i>	3	3	-	-
* <i>Chaenotheca stemonea</i>	65	38	55	-	<i>Peltigera membranacea</i>	3	-	-	3
* <i>Chaenotheca trichialis</i>	38	23	28	-	<i>Peltigera neopolydactyla</i>	3	-	-	3
* <i>Chaenotheca xyloxena</i>	58	-	58	-	<i>Peltigera polydactylon</i>	8	-	-	8
* <i>Chaenothecopsis consociata</i>	5	5	-	-	<i>Peltigera praetextata</i>	10	-	-	10
* <i>Chaenothecopsis pusilla</i>	3	-	3	-	<i>Pertusaria amara</i>	8	8	-	-
* <i>Chaenothecopsis savonica</i>	3	-	3	-	<i>Phlyctis argena</i>	78	50	63	5
<i>Cladonia botrytes</i>	3	-	-	3	<i>Physcia tenella</i>	3	3	-	-
<i>Cladonia cenotea</i>	20	13	5	3	<i>Placynthiella icmalea</i>	23	5	10	10
<i>Cladonia coniocraea</i>	95	88	78	78	<i>Platismatia glauca</i>	20	20	5	-
<i>Cladonia cornuta</i>	3	-	3	-	<i>Pseudevernia furfuracea</i>	5	5	-	-
<i>Cladonia digitata</i>	18	18	8	-	<i>Pycnora sorophora</i>	5	-	5	-
<i>Cladonia fimbriata</i>	73	53	40	25	<i>Ramalina farinacea</i>	13	5	8	-
<i>Cladonia norvegica</i>	3	-	-	3	<i>Ropalospora viridis/Fuscidea subulata</i>	15	8	8	3
<i>Cladonia ochrochlora</i>	15	13	5	5	<i>Sarea difformis</i>	5	3	3	-
<i>Cladonia rangiferina</i>	5	-	5	-	<i>Sarea resiniae</i>	40	33	13	-
<i>Dimerella pineti</i>	100	98	85	30	<i>Thelocarpon epibolum</i>	5	-	-	5
<i>Evernia prunastri</i>	13	8	5	-	<i>Trapeliopsis flexuosa</i>	5	-	-	5
<i>Fellhanera gyrophorica</i>	5	5	-	-	<i>Usnea hirta</i>	3	3	-	-
<i>Hypocenyomyce scalaris</i>	3	3	-	-	<i>Usnea subfloridana</i>	3	3	-	-
<i>Hypogymnia physodes</i>	80	80	43	5	<i>Violella fucata</i>	75	60	38	8
<i>Lecanactis abietina</i>	3	3	-	-	<i>Vulpicida pinastri</i>	35	30	20	3
<i>Lecanora compallen/stanislai</i>	50	30	33	-	<i>Xylopsora friesii</i>	3	3	-	-
<i>Lecanora expallens</i>	50	38	35	-					