

Eesti Maaülikool
Metsandus- ja maaehitusinstituut



Keskkonnainvesteeringute Keskuse
(leping nr. 3-2_8/5671-5/2016)
2016.a. metsanduse programmi
projekti nr. 12 391
„Olulisimate juuremädanike kahjustuste uuring okaspuu puistutes“
täitmise

LÕPPARUANNE

Koostajad: Tiia Drenkhan, Allar Padari, Marili Laas, Katrin Jürimaa, Rein Drenkhan

Tartu 2018

Sisukord

1 Sissejuhatus	3
2 Materjal ja metoodika	5
2.1 Katsealade üldiseloomustus	5
2.1 Välitööde metoodika	8
2.1.1 Noorendikud.....	9
2.1.2 Harvendusraie- ja uuendusraie puistud.....	9
3 Laboratoorsed uuringud	11
3.1 Hariliku männi noorendikud.....	11
3.2 Hariliku männi harvendus- ja uuendusraie alad	11
3.3 Molekulaarsed (DNA) uuringud.....	12
4 Tulemused	13
4.1 Hariliku männi noorendikud.....	14
4.2 Hariliku männi harvendusraie alad.....	15
4.3 Hariliku männi uuendusraie alad.....	16
4.4 Hinnang juuremädanike poolt põhjustatud kahjude kohta	17
4.5 Juurepessu kahjustuste modelleerimine männi enamusega puistutes.....	18
5 Kokkuvõte ja järeldused	22
Kasutatud kirjandus.....	25

1 Sissejuhatus

Vastavalt Eesti Maaülikooli (EMÜ) ja SA Keskkonnainvesteeringute Keskuse (KIK) vahel 30. novembril 2016. aastal sõlmitud lepingule nr. 3-2_8/5671-5/2016 teostati 2016.-2018. aastal olulisimate juuremädanike tekitajate leviku ja kahjustuse uuringud okaspuupuistutes.

Projekti vastutavaks täitjaks: Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituudi metsakasvatuse- ja metsaökoloogia õppetooli teadur Tiia Drenkhan ning projekti täitjateks Eesti Maaülikooli metsakasvatuse- ja metasökoloogia õppetooli laborant Katrin Jürimaa, doktorant Marili Laas, teadur Kalev Adamson ja dotsent Rein Drenkhan. Juurepessu kahjustuse modelleerimise mudelid koostas metsakorralduse- ja metsatööstuse osakonna teadur Allar Padari.

Käesolev projekt on jätkuprojekt KIKi projektile nr. 3698 (2012-2014) „Olulisemate juuremädanike tekitajate leviku ja kahjustuste uuring Eestis“, mille tulemustes toodi välja võimalik kahjude hinnang sõltuvalt puistu keskmisest vanusest viljakate kuuse- ja männienamusega puistutes ning esitati mudelid juuremädanike ja eelkõige juurepessu kahjustuste (leviku) modelleerimiseks. Projekti esimeses järgus koguti proove vaid uuendusraie puistutest, seetõttu oli mudeli prognoosi täpsuse parandamiseks vajalik koguda lisaproove ka noorendike ja harvendusraie puistutest. Seda eesmärki silmas pidades koguti käesoleva projekti raames proove erineva vanusega männipuistutest: noorendikud, harvendusraie ja uuendusraie alad. Aruandes esitatakse hariliku männi andmestik, hariliku kuuse erinevates vanusevahemikus (1-20; 21-40; 41-60; 61-80; 81-100 ja üle 100) kogutud proovide tulemusi analüüsitakse ning esitatakse vastavad andmed RMK projekti „Kuusikute raieaja ja raieviiside mõju patogeenide levikule ja arvukusele ning puistu elurikkusele viljakates kasvukohatüüpides“ (kestvus 01.09.2016-31.08.2019) raames, mille põhitäitjate hulgas on ka käesoleva aruande autorid (R. Drenkhan, A. Padari, T. Drenkhan).

Käesoleva projekti eesmärgiks on olulisemate juuremädanike tekitajate (juurepess ja külmaseen) leviku ulatuse ja liigilise koosseisu ning esinemise sageduse uurimine viljakates kasvukohatüüpides ning juurepessu kahjustuste modelleerimise mudeli täiendamine hariliku männi puistutest kogutud andmete põhjal.

Okaspuupuistutes, mis moodustavad enamuse meie metsadest ja annavad olulisema osa saadavast tarbepuistust, põhjustavad juuremädanikud enim kahjustusi. Hinnanguliselt kaotab üksnes juurepessu tõttu metsaomanik kuni kolmandiku potentsiaalsest metsatulust ning kahju kogu Euroopas ulatub ca 790 miljoni euron aastast (Woodward *et al.*, 1998). Lisaks tuleb arvestada patogeenide võimalikke kahjutusi kliimamuutuste kontekstis, sest ilmastikus toimuvad muutused soodustavad patogeenide levikut. Projekti tulemused on olulised rahvusvahelises koostöös, näiteks juurepessu geneetilise struktuuri uuringute osas. Juurepessu geneetilise struktuuri tundmine on oluline efektiivsema tõrjestrategie välja töötamiseks, see annab informatsiooni seene geneetilisest mitmekesisusest ning aitab hinnata patogeeni levikupotentsiaali ja elujõulisust. Tulemuste analüüsimisel on oluline taustainfona silmas pidada eelmise metsapõlve kändude nakkuskoormust noorendikes (so. mädaniku olemasolu kändudel) ning mädaniku ulatust raiekändudel (harvendusraie, uuendusraie alad).

Käesoleva projekti tulemuste põhjal ei esitata konkreetseid numbreid juuremädanike poolt tekitatava majandusliku kahju suuruse kohta. Küll aga antakse hinnang sõltuvalt puistu vanusest ja metsa arenguklassist ning raieviisist männienamusega puistutes.

Tulemuste põhjal peetakse ettekanne ning kirjutatakse rakendusliku suunitlusega populaarteaduslik artikkel. Seminari toimumise ajast ning artikli ilmumisest teavitatakse eraldi.

Juuremädanike teemal on projekti teostamise ajal ilmunud:

Drenkhan, R., Tedersoo, L., Drenkhan, T. 2017. Kuusikute raieaeg ja haiguste levik. Metsamees, 30–33.

Kartau, M. 2018. Salapärase juurepess on väljakutse nii metsamajandajatele, teadlastele kui ka poliitikutele. Eesti Mets, 1, 10-14.

Projekti toel on valminud bakalaureusetööd:

Fjodorov, M. 2017. Juuremädanike esinemine ja võrdlev analüüs harvendusraiate järgsetes kuusikutes. Bakalaureusetöö, Eesti Maaülikool, Tartu, 35lk.

Ikkonen, J. 2018. Juuremädanike kahjustuste analüüs hariliku kuuse (*Picea abies* L.) noorendikes. Bakalaureusetöö, Eesti Maaülikool, Tartu, 36 lk.

Rannakivi, S. 2018. Juuremädanike kahjustused 21-40 aastastes kuusikutes. Bakalaureusetöö, Eesti Maaülikool, Tartu, 29 lk.

Projekt on kaasa aidanud T. Drenkhan filosoofiadoktori kraadi valmimisele ja kaitsmisele:
Drenkhan, T. 2017. Hariliku männikärsaka (*Hylobius abietis* L.) seos patogeensete ja saprotroofsete seente ning viirustega. Eesti Maaülikool, Tartu, 123 lk.

2 Materjal ja meetodika

2.1 Katsealade üldiseloostus

Välitoid teostati 40 hariliku männi enamusega ($\geq 50\%$) puistus. Prooviajad valiti koostöös Riigimetsa Majandamise Keskuse (RMK) varumisjuhtidega 17 harvendusraie (HR) ja 12 uuendusraie (UR) puistust, alad valiti ka 11 männinoorendikust.

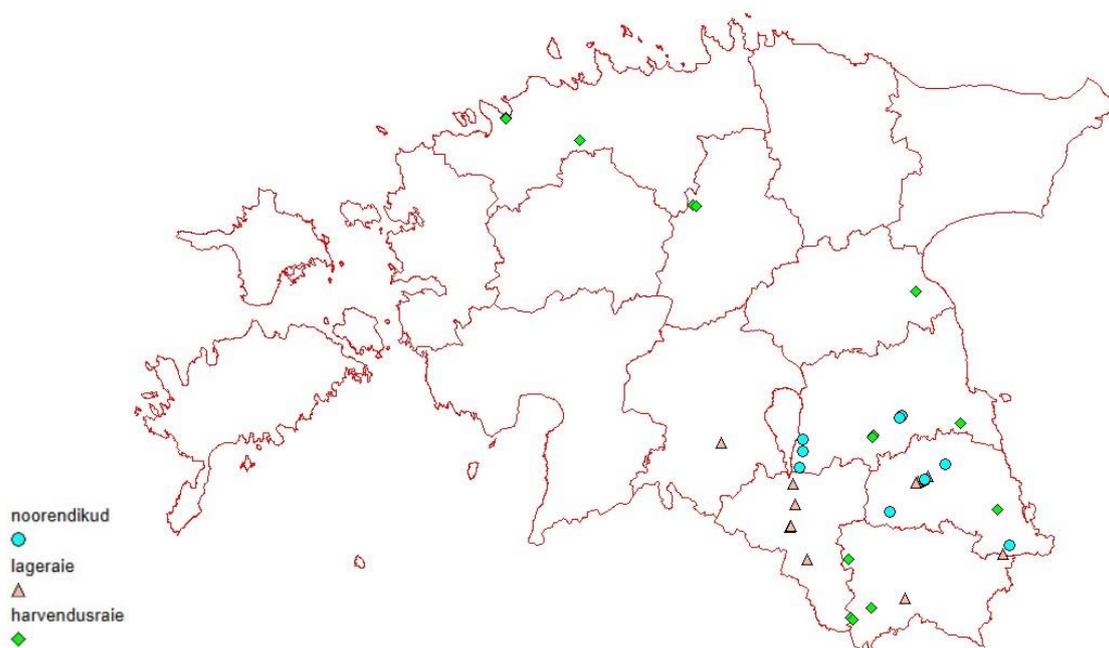
Männinoorendikud olid vanusevahemikus 5-9, harvendusraie puistud 35-80 ja uuendusraie puistud 92-149 aastat (tabel 1).

Tabel 1. Projekti käigus analüüsitud hariliku männi katsealad

Jr k nr	metskond	kvartal, eraldus	eraldise pindala (ha)	kasvuk oha tüüp (KKT)	peapu liik ($\geq 50\%$)	noorendik/raieviis (HR-harvendusraie UR-lageraie)	puistu vanus	puistu koosseis
1	Tartumaa	QT004_14	1.61	JK	MA	noorendik	9	100MA
2	Tartumaa	QT007_7	1	JP	MA	noorendik	9	100MA
3	Tartumaa	PS029_17	1.2	PH	MA	noorendik	8	100MA
4	Tartumaa	CO084_10	1.5	JK	MA	noorendik	8	100MA
5	Tartumaa	CO035_8	2	JK	MA	noorendik	9	100MA
6	Põlvamaa	KJ121_1	2.8	JP	MA	noorendik	9	98MA2KU
7	Põlvamaa	OR134_1	2.5	JP	MA	noorendik	5	100MA
8	Põlvamaa	OR127_10	1.1	JP	MA	noorendik	8	100MA
9	Põlvamaa	PW051_19	1.6	JP	MA	noorendik	9	97MA3KU
10	Põlvamaa	PW048_7	2.1	JP	MA	noorendik	7	100MA
11	Põlvamaa	EV121_24	1.96	PH	MA	noorendik	8	99MA1KU
12	Võrumaa	AS 012_51	0,36	JK	MA	HR	46	86MA7KS5KU2 HB
13	Tartumaa	KM012_7	2,94	SL	MA	HR	60	78MA18KU2HB 2KS
14	Tartumaa	KM012_2 7	1,51	JK	MA	HR	58	90MA6KU4KS
15	Põlvamaa	IM227_16	0,67	JM	MA	HR	55	95MA5KU
16	Põlvamaa	IM227_12	0,62	JM	MA	HR	55	99MA1KU
17	Järvamaa	VT324_12	2,97	JK-kõduso o	MA	HR	72	47MA32KS21KU
18	Järvamaa	VT123_37	0,89	JK-kõduso o	MA	HR	68	65MA35KU
19	Jõgevamaa	HL225_6	1,4	JP	MA	HR	53	94MA6KU
20	Jõgevamaa	HL225_3	1,22	PH	MA	HR	57	88MA9KU3KS
21	Tartumaa	AH083_33	0,61	PH-MS	MA	HR	59	97MA3KS
22	Tartumaa	AH083_34	0,44	PH-MS	MA	HR	69	96MA4KU
23	Harjumaa	SK193_19	0,84	JK-PH	MA	HR	64	100MA
24	Harjumaa	CE240_2	2,67	JK-PH	MA	HR	65	95MA3KU1HB1 KS
25	Harjumaa	CE240_8	2,77	JK-MS	MA	HR	70	87MA10KS3HB
26	Valgamaa	TH124_27	1,22	JP	MA	HR	35	100MA

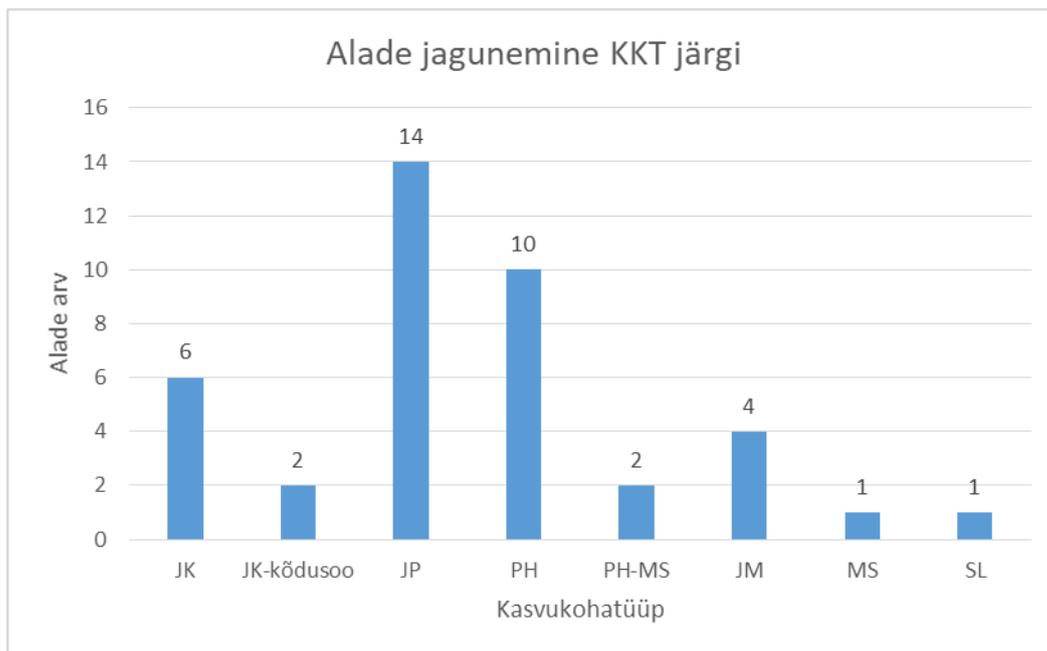
27	Võrumaa	SR414_7	0,58	MS	MA	HR	80	100MA
28	Võrumaa	SR457_5	0,71	JP	MA	HR	35	87MA10KS3KU
29	Valgamaa	VL407_8	3	PH	MA	UR	97	100MA
30	Põlvamaa	PW012_2	2.1	PH	MA	UR	109	100MA
31	Valgamaa	AA208_13	3.1	JK-PH	MA	UR	99	96MA2KS2KU
32	Põlvamaa	OR174_15	2.9	PH	MA	UR	92	98MA2KS
33	Põlvamaa	OR174_18	1	PH	MA	UR	141	100MA
34	Võrumaa	RG166_1	1.1	JP	MA	UR	101	85MA10KU5KS
35	Valgamaa	AA102_11	2.7	PH	MA	UR	92	85MA10KU5KS
36	Viljandimaa	OI238_12	2.4	JK	MA	UR	143	60MA40KU
37	Valgamaa	VL405_11	2.6	JK-MS	MA	UR	107	62MA21KU17KS
38	Põlvamaa	PW024_8	1.6	JK-PH	MA	UR	149	77MA18KU5KS
39	Valgamaa	VL049_26	3	PH	MA	UR	127	89MA11KU
40	Põlvamaa	PW017_6	2.5	PH	MA	UR	96	98MA2KS

Katsealad paiknesid Lõuna-Eestis (Tartumaal, Põlvamaal, Võrumaal, Jõgevamaal, Valgamaal), Kesk-Eestis (Järvamaal) ja Põhja-Eestis (Harjumaal). Alade paiknemine joonisel 1.

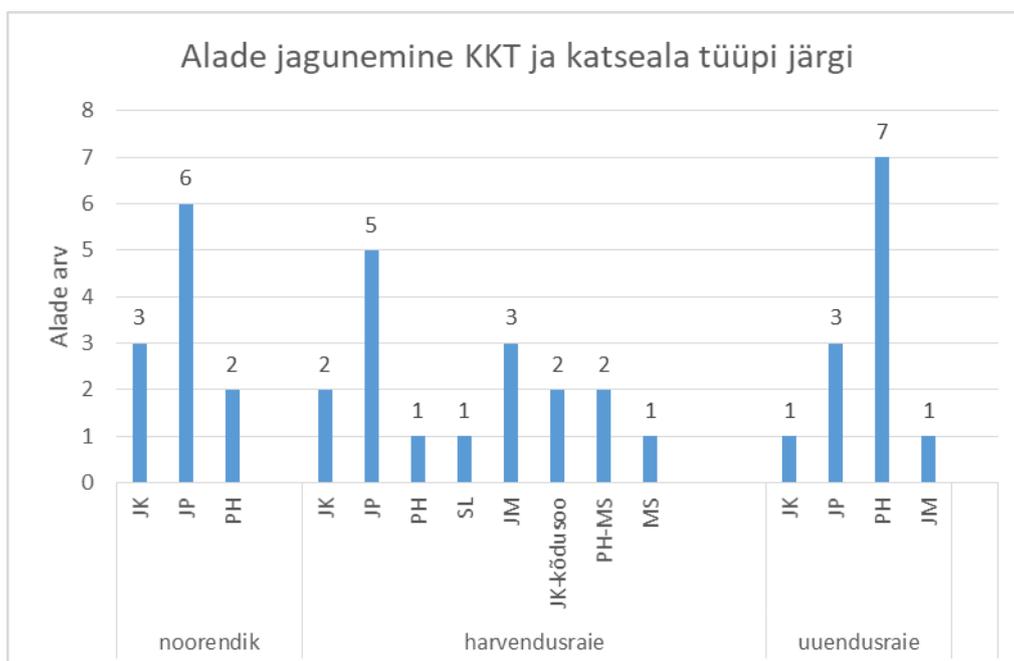


Joonis 1. Projekti raames uuritud katsealade kaart

Kasvukohatüüpide (KKT) järgi jagunesid puistud: jänsekapsa-pohla (JP), pohla (PH), jänsekapsa (JK), jänsekapsa-mustika (JM), jänsekapsa-kõdusoo (JK-kõdusoo), pohla-mustika (PH-MS), mustika (MS) ja sinilille (SL) (joonis 2).



Joonis 2. Kastealade jagunemine kasvukohatüüpide järgi



Joonis 3. Katsealade arv kasvukohatüübi, metsa arenguklassi ja raieviisi järgi

Harvendusraie alade jagunemine kasvukohatüüpide alusel oli kõige varieeravam: esindatud olid kõik 8 erinevat kasvukohatüüpi (joonis 3).

2.1 Välitööde metoodika

Välitöödel kasutati erinevaid töövahendeid (joonis 4):

- Mõõdulint (50m)
- Vaiad prooviringi keskpunktide ja ruutude nurkade märkimiseks
- peitel
- haamer
- piiritus (95%) töövahendite desinfitseerimiseks
- gaasipõleti
- klupp
- juurdekasvupuur
- välitöölehed, kirjutusalus- ja vahend
- akutrell, tarvikud
- Eppendorf (MCT) tuubid saepuru kogumiseks
- labidas
- kirves
- saag
- oksakäärid
- GPS koordinaatide võtmiseks



Joonis 4. Välitöödel kasutatavad töövahendid

Välitööd teostati (hilis)sügisel, talvel ja (vara)kevad. Harvendus- ja uuendusraie aladel koguti proove võimalusel kohe peale raiet, aga hiljemalt kuni nädal peale raie tegemist (sõltuvalt ilmastikuoludest): kui õhutemperatuur püsib miinuskraadides, siis võib proove koguda ka kuni nädal peale raiumist. Reeglina, mida varem peale raiet proovid kogutakse, seda väiksem on proovide saastumise oht sekundaarsete seente poolt. Väga oluline on proovide kogumisel kasutatavate töövahendite puhastamine ristsaaste vältimiseks – saepuru- ja juurdekasvuproovide kogumisel steriliseeriti peitlit ja puure iga proovi võtmise järel piiritusega ja gaasilambi leegis. Puuri puhastamiseks eemaldati esmalt paberiga kogunenud saepuru, seejärel puhastati piiritusega ja gaasilambi leegis. Noorendikest juureproovide kogumisel puhastati töövahendeid (kirves/saag) samuti eelpool nimetatud vahendite (piiritus, gaasipõleti) abil.

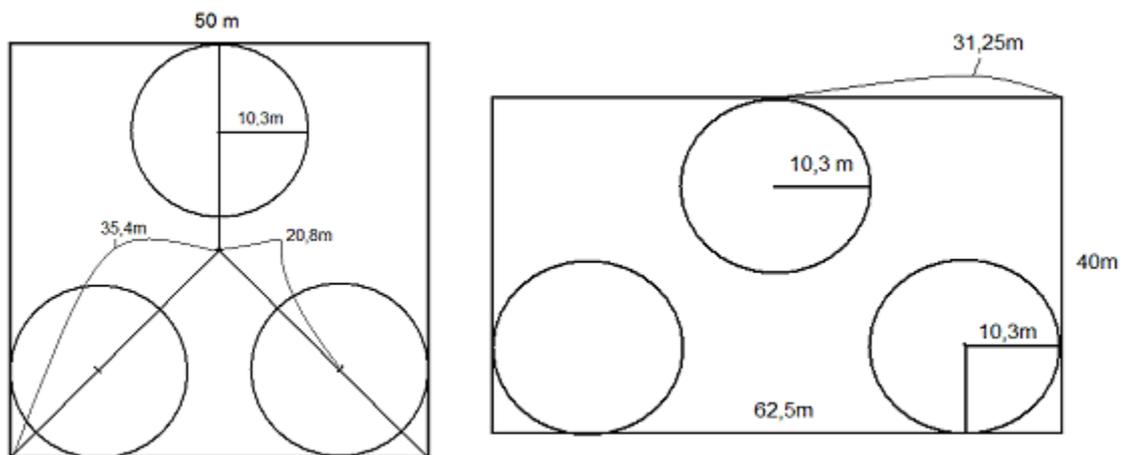
2.1.1 Noorendikud

Männinoorendikest (vanuses 5-9 aastat) koguti kokku 110 puu juured. Selleks valiti iga ala kohta juhuslikult 10 puud ning kaevati need maast välja. Seejärel puhastati juured mullast ja juurestik eemaldati ülejäänud tüve küljest kasutades kirvest või saage. Iga puu juured pandi eraldi kilekotti, märgistati ja viidi laborisse ning hoiustati kuni puhastamiseni + 4°C juures. Laboris analüüsiti peen- ja jämejuuri ühe proovina. Juureproovide kogumisel võeti proove vaid visuaalselt tervetelt puudelt. Analüüsiti juuremädanikesse nakatumist sõltuvalt puistu tekkeviisist: istutus (QT004_14, CO084_10, CO035_8, OR127_10), külv (QT007_7, PS029_17, KJ121_1, PW051_19, EV121_24) ja seemnetekkeline (OR134_1, PW048_7) (metsaregister 2018).

2.1.2 Harvendusraie- ja uuendusraie puistud

Välitööd teostati valdavalt talvel (uuendusraie alad) ning talvel ja varakevadel (harvendusraie alad). Katsealadeks valiti okaspuuenamusega alad: diameetriga üle 10 cm puude hulgas pidi olema rohkem kui 50% okaspuid.

Välitööd alustati 50 x 50m prooviruutude (kui raielangi laius või kuju ei võimaldanud 50 x 50m ruutu, kasutati 40x62,5m ristkülikut) mahamärgimisega. Kuni 2 ha suurustel lankidel märgiti maha üks prooviruut. Suurematel kui 2 ha lankidel tehti 2 prooviruutu, ruudud paigutati üksteisest 100 m (tsentrist tsentriini) kaugusele. Prooviruudud paigutati langi servast 10 m sissepoole, vältimaks nn servaeefekti tekkimist. Seejärel märgistati prooviruudu sees 3 prooviringi, raadiusega 10,3m (joonis 5). Prooviruute ja -ringe püsivalt ei märgistatud, kõigi ruutude ja ringide keskpunktidest võeti geograafilised koordinaadid.



Joonis 5. Prooviruutude võimalikud paigutused katsealal

Kõikidelt (k.a. lehtpuud) proovivõtu ringides olevatelt kändudelt (diameeter ≥ 10 cm) mõõdeti diameeter (kaasa arvatud koor) 1 cm täpsusega. Tehti kaks mõõtmist kännu pinnalt ning märgiti üles nende keskmine väärtus. Diameetrite väärtused märgiti üles vastavalt puuliigile ringis. Kännud markeeriti värviga, et vältida kaks korda samalt kännult diameetri mõõtmist. Proovivõtu ringides kasvavate puude või seisvate surnud puude diameetrid mõõdeti juurekaelalt. Märgiti üles kõik proovivõtu ringides olevad kännud ning eraldi toodi välja kas känd oli: värske, kuiv (puu on raiutud käesoleva raie käigus, kuid oli juba enne kuivanud) või vana (puu ei ole raiutud käesoleva raie käigus, kuid känd on selgesti eristatav. Pehkinud ja/või oluliselt lagunenenud kändudel diameetrit ei mõõdetud ning kändude loendamisel neid ei arvestatud. Ka muul põhjusel (oksavalli või palgivirna all olevaid) mitte mõõdetavaid kände

loendamisel ei arvestatud. Igalt alalt kõikide prooviringide seest koguti proovid nii kuuse- kui ka männikändudelt. Käesolevas aruandes esitatakse tulemused vaid männi proovide kohta.

Peale kändude mõõtmist ja märgistamist võeti kõikidelt värsketelt okaspuukändudelt peitli, haamri ja akutrelli abil saepuru kahte Eppendorf (MCT) tuubi. Selleks eemaldati peitli ja haamri abil kännu pealmiselt pinnalt puidukiht (joonis 6), järgmisest kihist puuriti akutrelli abil saepuru, mis pandi iga kännu kohta kahte MCT tuubi ja märgistati vastava järjekorranumbriga välitöölehel.



Joonis 6. Saepuru proovide kogumine kändudelt

Hariliku männi puistutes on juurepessu levikut vähem uuritud. Uuringuid teeb keerulisemaks asjaolu, et mädaniku olemasolu puudel ja kändudes on raskesti märgatav, eriti harvendusraie ealistes puistutes, sest mädanik ulatub vaid kännu kõrgusele ja reeglina kännu pinnast kõrgemale ei ulatu. Seetõttu koguti harvendusraie aladel lisaks saepuru proovidele ka juurdekasvuproovid kännujuurtest, et analüüsida võimalikku juurepessu vegetatiivset levikut. Harvendusraie aladel teostati raied ajavahemikus jaanuarist kuni aprillikuuni. Harvendusraie puistutes koguti igalt alalt (v.a. aladelt IM227_16, IM227_12, VT324_12, VT123_37, HL225_6, HL225_3) juhuslikult valitud kändude juurtest juurdekasvuproovid, iga ala kohta vähemalt 10 juurdekasvuproovi (joonis 7). Prooviala või ringi piiril olevad terved puud või kändud arvati mõõtmiste/hindamiste hulka siis, kui puu või känd oli tsentriga prooviala poole. Kui oli vastupidi siis jäi mõõtmisest välja.

Uuendusraie alade proovid koguti perioodil 2012-2014 kogutud ning veel analüüsimata saepuruproovide hulgast (Drenkhan, 2014b), raied teostati novembrist kuni jaanuarikuuni.



Joonis 7. Juurdekasvuproovide kogumine kännujuurtest

Käesoleva projekti raames oli kogu proovide maht oli 916 bioloogilist proovi: noorendikest 110 juureproovi, harvendusraialadelt 509 proovi (s.h. 393 saepuruproovi ja 116 juurdekasvuproovi) ja uuendusraialadelt 297 saepuruproovi. Kõikidest noorendike ja uuendusraie alade proovidest analüüsiti 3 patogeeni esinemist: kuuse-juurepess, männi-juurepess ja külmaseen. Proovid millest juuremädanikke ei tuvastatud, testiti ka universaalpraimeriga (so. mistahes seene määramine proovist). Kokku analüüsiti laboratoorselt enam kui 2000 proovi.

3 Laboratoorsed uuringud

Laboratoorsed tööd teostati Eesti Maaülikooli Metsandus- ja maehitusinstituudi Metsapatoloogia ja -geneetika laboris Tartus (Kreutzwaldi 5, 0B3).

3.1 Hariliku männi noorendikud

Hariliku männi juured puhastati esmalt jooksva vee all ning seejärel löigati kääridega (steriliseeritud piirituses ja leegis) igalt puult jämedamaid (läbimõõduga 2mm ja enam) ja peenemaid (läbimõõduga kuni 1mm) juuri, mis pandi eraldi 2,0 mL MCT tuubidesse. Igalt puu juurelt võetud proovid pandi MCT tuubidesse kahes korduses. Juureproovid võeti juhusliku valiku alusel alates juuretípust liikudes puu juurekaela suunas. Ühelt taimelt võeti juuri vähemalt kolmest juhuslikust erinevast juurestiku asukohast, need tükeldati DNA eraldamise paremaks õnnestumiseks.

3.2 Hariliku männi harvendus- ja uuendusraie alad

Välitöödel kändudest kogutud saepurud numereeriti laboris vastavalt MCT tabeli järjekorrale. Juurdekasvuproovide korral hinnati visuaalselt mädaniku olemasolu või tumenemist. Steriliseeritud (piirituses ja gaasilambi leegis) skalpelli abil eemaldati puidu pealmine kiht, et vältida saastunud puidu kasutamist edasistes uuringutes. Analüüsimiseks võeti puiduproov järgmisest kihist. Kui esines tumenemist, siis tehti lõige tumenemise äärealalt liikudes koore suunas, kui tumenemist ei esinenud, siis alustati lõiget võimalikult säsi lähedalt. Iga juurdekasvuproovi kohta pandi puidutükke kahes korduses MCT tuubi. Proovid hoiustati -20 °C juures kuni DNA eraldamiseni.

3.3 Molekulaarsed (DNA) uuringud

DNA eraldamine

DNA eraldati puidust: juured, saepuru ja juurdekasvuproovid. Puitmaterjali purustamiseks lisati MCT tuubi kolm kuni viis 3 mm läbimõõduga steriilset metallkuuli ning purustati homogenisaatoriga (Retsch GmbH, Haan, Saksamaa). DNA eraldamiseks kasutati DNA Thermo Scientific GeneJET Genomic DNA Purification Kit (Leedu), järgides tootja poolt ette antud protokollit. Eraldatud DNA säilitati kuni PCR segu valmistamiseni temperatuuril -20 °C.

PCR segu valmistamine

Universaalpraimerite paariga ITS1-F (5'-CTTGGTCATTTAGAGGAAGTAA-3') (Gardes, Bruns 1993) ja ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') (White et al. 1990) tehti kindlaks seente DNA eraldamise õnnestumine ning seene DNA olemasolu proovides.

PCR segu valmistamisel kasutati 5x HOT FIREPol Blend Master Mix (7,5 mM MgCl₂) (Solis BioDyne, Tartu). Analüüside kontrollimiseks tehti negatiivne kontroll, kuhu lisati DNA asemel destilleeritud vett.

Ahelreaktsioon seene- universaalpraimeritega viidi läbi termotsükleriga Tprofessional Thermocycler (Biometra GmbH, Göttingen, Saksamaa) vastavalt Drenkhan jt. 2014a avaldatud protokollile.

Kasutatud liigispetsiifilised praimerid ja nende järjestused:

- Mäni-juurepessu (*Heterobasidion annosum*) spetsiaalpraimerid MJ-F (5'-GGTCCTGTCTGGCTTTGC-3') ja MJ-R (5'-CTGAAGCACACCTTGCCA-3') (Hantula ja Vainio 2003) ja HetAn-F (5'-TCGGTCGGGTTCTTTTGAC-3') ja HetAn-R (5'-CACAATCGTGGCGTACCA 3') (Riit 2014)
- Kuuse-juurepessu (*Heterobasidion parviporum*) spetsiaalpraimerite paar KJ-F (5'-CCATTAACGGAACCGACGTG-3') ja KJ-R (5'-GTGCGGCTCATTCTACGCTATC-3') (Hantula ja Vainio 2003).
- Perekond külmaseen (*Armillaria spp*) ArmiR ja ArmiF (Riit 2014)

Liigispetsiifiliste praimerite PCR segu valmistamine:

20 µl PCR-i segu valmistamiseks kasutati 4µl 5x HOT FIREPol Blend Master Mix'i (OÜ Solis Biodyne, Tartu), 4µl reaktsiooni kohta, lisati 2x0,5 µl (20 µM) praimerit (s.o ITS1F ja ITS4; KJ-F ja KJ-R; MJ-F ja MJ-R; HetAn-F ja HetAn-R; ArmiR ja ArmiF), 1 µl DNA-d ja 14 µl destilleeritud vett, et reaktsioonisegu lõppkogus oleks 20 µl.

PCR produkti kontrollimine agarosgeelis

Valmistati 1% agarosgeel, mis sisaldas 1 g agarosi (SeaKem® LE Agarose, Lonza), 100 ml 0,5xTBE-d (Trisboraat-EDTA, Sigma) puhvrit ning 10µl etiidiumbromiidi (EtBr, Naxo OÜ). Geeli laeti ka DNA Ladder, DNA fragmendi pikkusega vahemikus 100 – 1000bp (Naxo OÜ). Järgnes PCR-i produkti elektroforees 1% agarosgeelis 75 V pinge juures 55 min. Amplifitseeritud DNA lõigu olemasolu ja vastava lõigu pikkus geelil tehti kindlaks UV kiirte all vastava transilluminaatoriga Quantum ST4-3026/WL/25M. Geelipilti töödeldi tarkvaraga Quantum ST4 Express v16.04.

4 Tulemused

Mädaniku tüüpi hinnati noorendike ealistes puistutes eelmise metsapõlve käändudel ning harvendus- ja uuendusraie puistutes olemasolevate raiekändude põhjal. Tabelist 2 nähtub, et perifeerse ja tsentraalse mädanikuga kände oli noorendikes (8 ala), harvendusraie aladel (4) ning uuendusraie puistutes (11 ala).

Tabel 2. Hariliku männi enamusega katsealadelt mädaniku tüüp ja juuremädanike tekitajate liigiline koosseis

metskond	kvartal, eraldus	KKT	proovitüüp*	mädaniku tüüp käändudel**	juuremädaniku tekitaja(d)***
Tartumaa	QT004_14	JK	J	P, T	HA; ARM
Tartumaa	QT007_7	JP	J	T	HA
Tartumaa	PS029_17	PH	J	0	HP; ARM
Tartumaa	CO084_10	JK	J	T	HA; ARM
Tartumaa	CO035_8	JK	J	T	HA; ARM
Põlvamaa	KJ121_1	JP	J	T	HA
Põlvamaa	OR134_1	JP	J	P	HA; ARM
Põlvamaa	OR127_10	JP	J	P	HA; ARM
Põlvamaa	PW051_19	JP	J	0	HA; HP; ARM
Põlvamaa	PW048_7	JP	J	P, T	HA; HP; ARM
Põlvamaa	EV121_24	PH	J	0	HA
Võrumaa	AS 012_51	JK	SP/JUURDEK	0	HA
Tartumaa	KM012_7	SL	SP/JUURDEK	0	HA; ARM
Tartumaa	KM012_27	JK	SP/JUURDEK	P+T	0
Põlvamaa	IM227_16	JM	SP/JUURDEK	0	0
Põlvamaa	IM227_12	JM	SP/JUURDEK	P+T	0
Järvamaa	VT324_12	JK-kõdusoo	SP/JUURDEK	P+T+tumen	0
Järvamaa	VT123_37	JK-kõdusoo	SP/JUURDEK	P+T+tumen	0
Jõgevamaa	HL225_6	JP	SP/JUURDEK	0	0
Jõgevamaa	HL225_3	PH	SP/JUURDEK	0	HA
Tartumaa	AH083_33	PH-MS	SP/JUURDEK	0	0
Tartumaa	AH083_34	PH-MS	SP/JUURDEK	0	0
Harjumaa	SK193_19	JP	SP/JUURDEK	0	0

Harjumaa	CE240_2	JP	SP/JUURDEK	0	HA
Harjumaa	CE240_8	JK-MS	SP/JUURDEK	0	0
Valgamaa	TH124_27	JP	SP/JUURDEK	0	0
Võrumaa	SR414_7	MS	SP/JUURDEK	0	HA
Võrumaa	SR457_5	JP	SP/JUURDEK	0	HA; HP
Valgamaa	VL407_8	PH	SP	T+P	HA; HP
Põlvamaa	PW012_2	PH	SP	T+P	HA
Valgamaa	AA208_13	JP	SP	T	HP; ARM
Põlvamaa	OR174_15	PH	SP	T+P	HA
Põlvamaa	OR174_18	PH	SP	T+P	HA; HP
Võrumaa	RG166_1	JP	SP	T+P	HA; HP
Valgamaa	AA102_11	PH	SP	T+P	HA; HP; ARM
Viljandimaa	OI238_12	JK	SP	T+P	HA; HP
Valgamaa	VL405_11	JK-MS	SP	T	HA; ARM
Põlvamaa	PW024_8	JP	SP	T+P	HA; ARM
Valgamaa	VL049_26	PH	SP	P	HP; ARM
Põlvamaa	PW017_6	PH	SP	0	HA

* J-juur; SP/JUURDEK-saepuru/ juurdekasvuproov; SP-saepuru

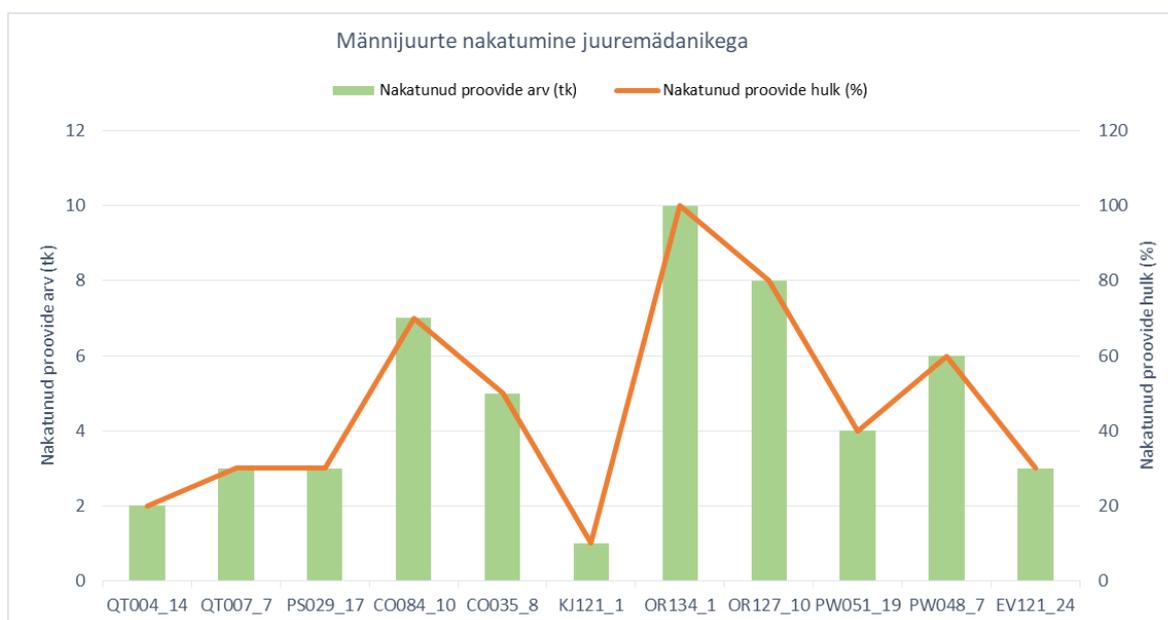
** P-perifeerne; T-tsentraalne; tumen-tumenemine; 0-mädanik puudub

*** HA-männi-juurepess; ARM-külmaseen; HP-kuuse-juurepess; 0-juuremädanike esinemist ei tuvastatud

Juuremädanike poolt olid nakatunud kõik männi noorendikud ja uuendusraie puistud (100%), harvendusraie aladest olid nakatunud 6 puistut (35%).

4.1 Hariliku männi noorendikud

Nakatunud juuri (puid) oli kõikides analüüsitud kasvukohatüüpides (JK, JP, PH), juuremädanike liigilise koosseisu osas oli valdav männi-juurepessu esinemine, järgnes külmaseen ning kahelt alalt määrati ka kuuse-juurepessu olemasolu.



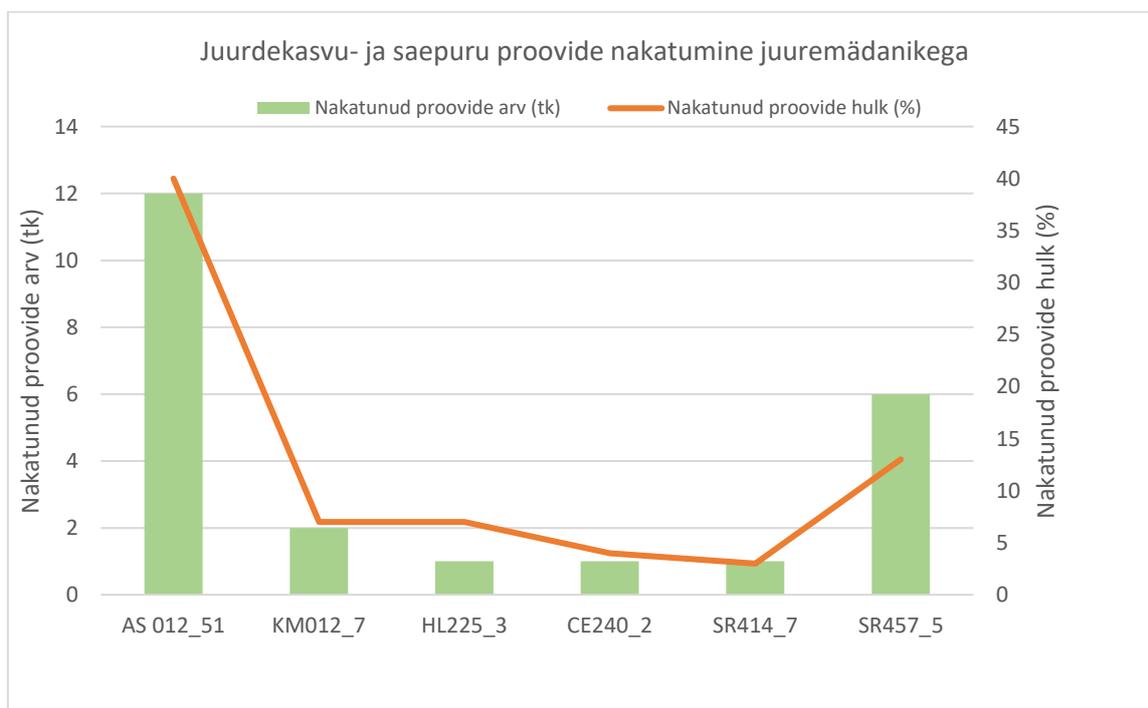
Joonis 8. Mäni noorendikes juurte nakatumise osakaal juuremädanike poolt

Suurima nakkuse osakaaluga alal OR134_1 oli nakatunud puude hulk 100%. Samuti oli nakatunud puude kõrge osakaal aladel OR127_10 (80%), CO084_10 (70%), PW048_7 (60%) (joonis 8). Teistel aladel 50% või vähem. Juuremädanike poolt enim nakatunud olid jänesekapsa-pohla (JP) kasvukohatüübi alad.

Juuremädanikesse nakatumise osas olid erinevused puistu tekkeviisi osas minimaalsed: juurepessu ja/või külmaseene nakkust tuvastati nii istutuse, külvi, kui ka seemnetekkelistest puistutest. Kuigi, analüüsitud alade hulgast on suurima nakkuse osakaaluga kaks seemnetekkelist puistut, so. OR134_1 (100%) ja PW048_7 (60%). Istutuse teel rajatud puistutes oli nakkuse osakaal vahemikus 20-80% ja külvi teel rajatud puistutes 10-40%.

4.2 Hariliku mäni harvendusraie alad

Harvendusraie ealistest männikutest koguti juuremädanikest nakatunud proove jänesekapsa (JK), sinilille (SL), pohla (PH), jänesekapsa-pohla (JP) ja mustika (MS) kasvukohatüüpidest. Juuremädanike tekitajatest määrati valdavalt mäni-juurepessu esinemine, ühel alal koos mäni-juurepessuga ka külmaseen ning ühelt alal mäni-juurepessu esinemine kuuse-juurepessuga (tabel 2).



Joonis 9. Mäni harvendusraie puistutes proovide nakatumine juuremädanike poolt

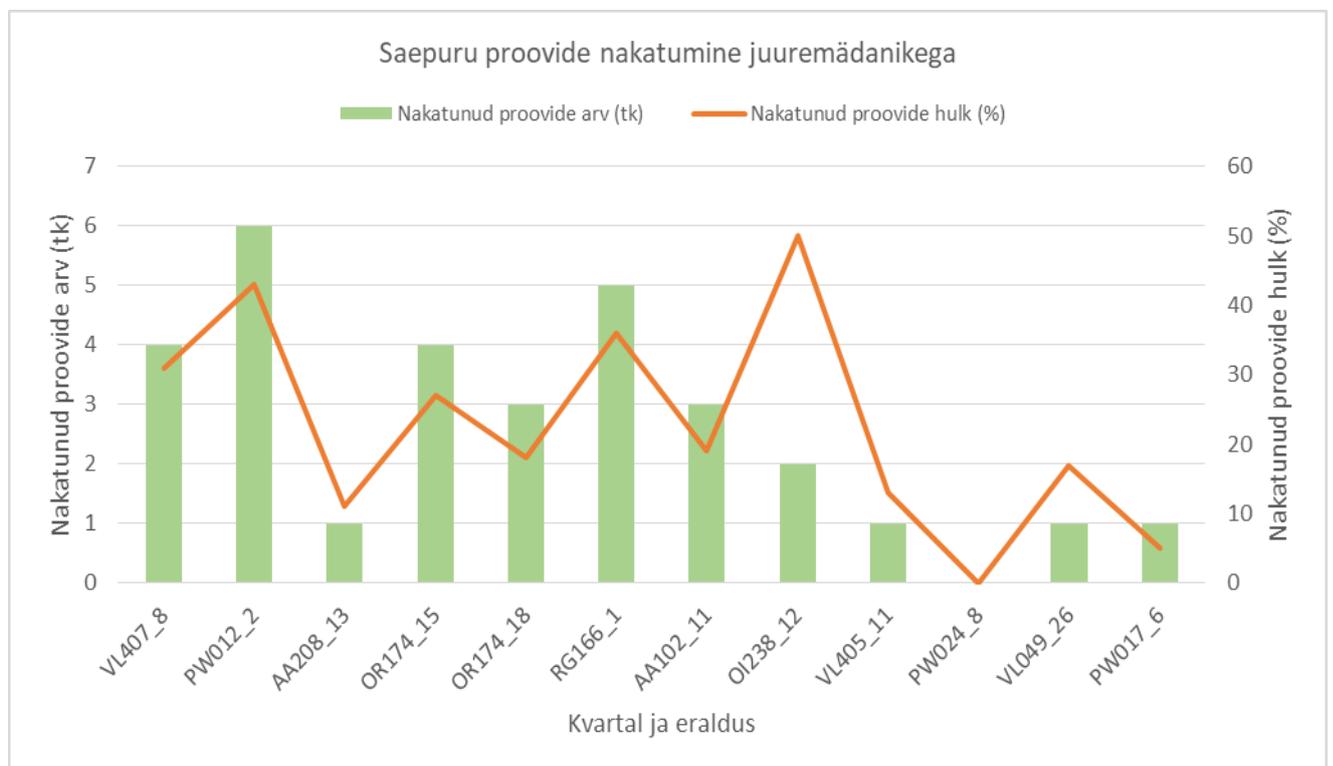
Suurima nakkuse osakaaluga puistu oli AS012_51 (40% kogutud proovidest nakatunud), ala SR457_5 nakkuse osakaal 13% ning KM012_7 ja HL225_3 oli nakatunud 6% kogutud proovidest (joonis 9). Joonisel 9 on kajastatud vaid juuremädanike poolt nakatunud alad, nakatumata alasid joonisel kajastatud pole, nakatumata alasid oli kokku 11 (tabel 2). Kasvukohatüüpide lõikes erinevusi ei esinenud, nakkuse vabad alad pärinesid jänesekapsa,

jänesekapsa-pohla, jänesekapsa-mustika ja pohla-mustika kasvukohatüüpidest. Mädaniku olemasolu ei tuvastatud 7 ala kändudelt (IM227_16, HL225_6, AH083_33, AH083_34, SK193_19, CE240_8, TH124_27). Seetõttu, valdav osa puistutest olid uuritud kändude põhjal mädanikuta.

Juurdekasvuproovide tulemused kännujuurtest pandi kokku sama ala kändudest kogutud saepuruproovide tulemustega (proovid analüüsiti siiski eraldi), sest 11 alalt kogutud juurdekasvuproovidest (kokku 116 proovi) olid nakatunud kahelt alalt kogutud juurdekasvuproovid (kokku 3 proovi). Alalt KM012_7 (sinilille kasvukohatüüp) määrati juuremädanike esinemine ühe kännujuure juurdekasvuproovist ning samas proovis olid esindatud männi-juurepess ja külmaseen. SR457_5 (jänesekapsa-pohla kasvukohatüüp) kahest proovist määrati kuuse-juurepessu esinemine. Raiekändude hindamisel nendel aladel (KM012_7 ja SR457_5) mädaniku esinemist juhuslikult valitud kändudelt ei tuvastatud.

4.3 Hariliku männi uuendusraie alad

Juuremädanike poolt nakatunud proove tuvastati kõikidelt uuendusraie katsealadelt ja erinevatest kasvukohatüüpidest (PH, JP, JK, JK-MS). Patogeenide liigiline koosseis oli nendel aladel varieeruvaim – kolmel alal (PW012_2, OR174_15, PW017_6) määrati ainult männi-juurepessu esinemine, üheksal alal mitme liigi koosinemine (VL407_8, AA208_13, OR174_18, RG 166_1, AA102_11, OI238_12, VL 405_11, PW024_8, VL049_26) (tabel 2). Samuti määrati 8 ala kändudest nii tsentraalse, kui ka perifeerse mädaniku esinemine, kahel alal tsentraalse ning ühel alal perifeerse mädaniku esinemine (tabel 2). Ühe ala (PW017_6) kändudest mädaniku esinemist ei tuvastatud.



Joonis 10. Mäni uuendusraie aladel puude nakatumine juuremädanikega

Suurima nakkusega osakaaluga (50%) olid ala OI238_12 (jänesekapsa kasvukohatüüp), PW012_2 (pohla kasvukohatüüp) 43% ja RG166_1 (jänesekapsa-pohla kasvukohatüüp) 36% (joonis 10). Teistel aladel oli nakatunud proovide osakaal madalam. Enim nakatunud aladel (OI238_12, PW012_2 ja RG166_1) tuvastati kändudel nii tsentraalse, kui ka perifeerse mädaniku (joonis 11) esinemine, see viitab juurepessu ja/või külmaseene olemasolule kändudes.

Ala OI238_12 koosseisus oli ka hariliku kuuse osakaal kõrge (60MA40KU). Varasematest uuringutest (Drenkhan, 2014b) on teada, et kuuse esinemine männipuistu koosseisus suurendab juurepessuga nakatumise riski oluliselt.



Joonis 11. Juurepessu poolt tekitatud perifeerne mädanik hariliku männi kettal

4.4 Hinnang juuremädanike poolt põhjustatud kahjude kohta

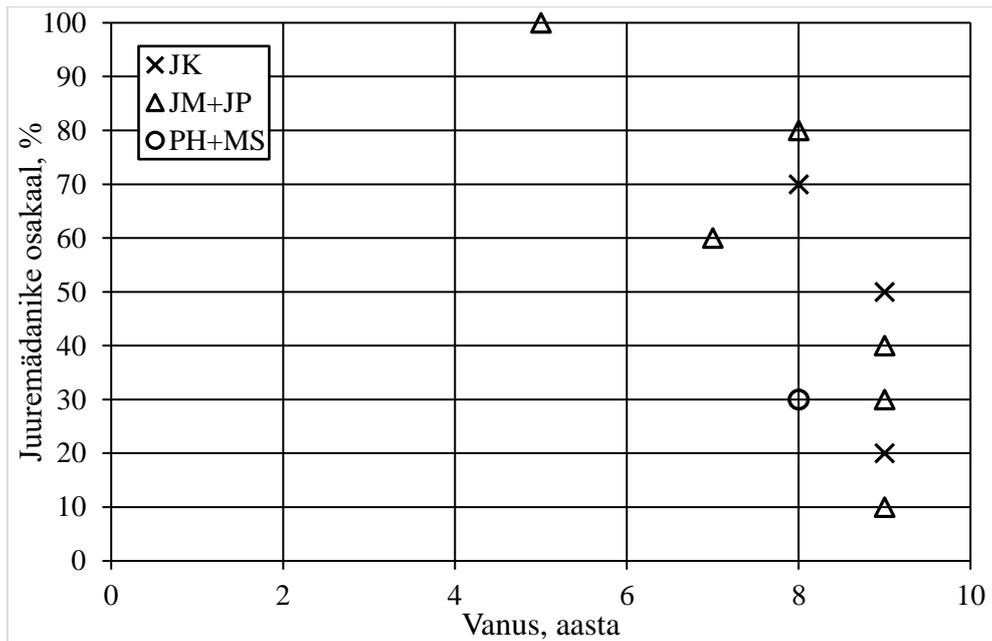
Analüüsitud 40 hariliku männi puistut vanusevahemikus 5-149 aastat on juuremädanike poolt nakatunud 29 puistut, seega on patogeenide poolt kahjustatud üle poole analüüsitud aladest. Juuremädanike tõttu võib hariliku männi noorendikes (5-9 aastat) puude väljalangevuse osakaal olla suur. Käesoleva töö tulemustest selgus, et kõik noorendikud olid juuremädanike poolt nakatunud, nakkuse osakaal 10-100%.

Harvendusraie ealistes puistutes (35-80 aastat) on uuritud alade põhjal juuremädanike poolt nakatunud puude osakaal vahemikus 3-40%, uuendusraie puistutes (92-149 aastat) 5-50%. Üldiselt on harilik mänd haigustele vastupidavam (võrreldes hariliku kuusega) suurema vaigusisalduse tõttu. Sellele vaatamata on harilik mänd juurepessu suhtes vastuvõtlikum just noores eas, kui mänd võib hukkuda patogeeni nakkuse tõttu juba varajases eas. Reeglina, mida enam on hariliku männi puistus, s.o esimeses ja/või teises rindes harilikku kuuske, seda enam võib suurened juuremädanike osakaal puistus ning mänd olla juuremädanike poolt kahjustatud.

Kui männi noorendikes ja uuendusraie puistutes on juuremädanikesse nakatumise tase ühtlaselt kõrge, siis analüüsitud harvendusraie proovide tulemused olid oluliselt ebahühtlasemad. Nakatumise osakaal ala kohta on kas kõrge või madal või nakkus puudus üldse.

4.5 Juurepessu kahjustuste modelleerimine männi enamusega puistutes

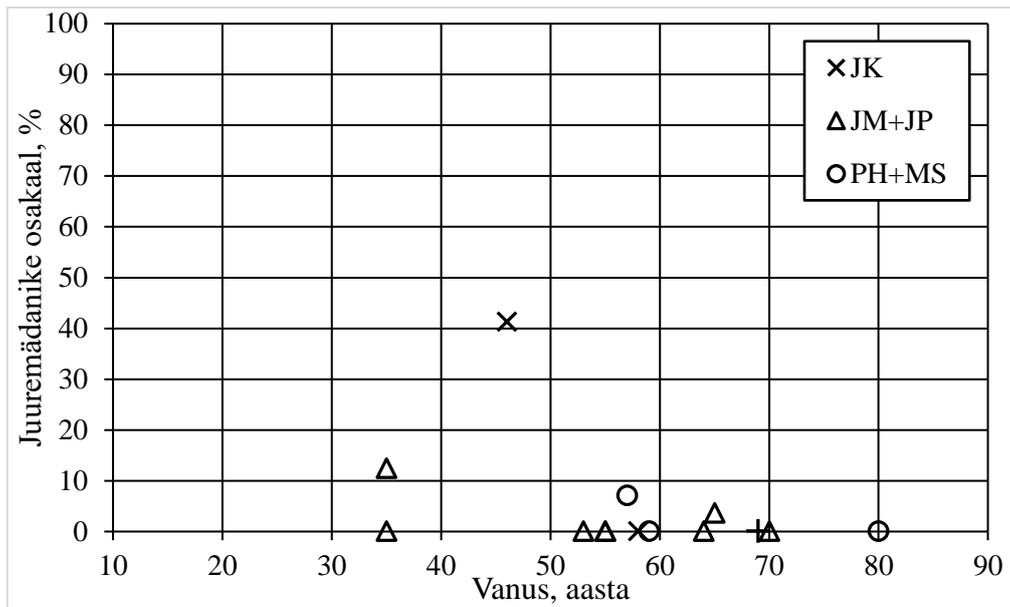
Kokku teostati juuremädanike hindamist 40 männi enamusega alal, millest jänesekapsa kasvukohatüübis oli 6, jänesekapsa kõdusoo tüübis 2, sinilille kasvukohatüübis 1, pohla + mustika kasvukohatüübis 13 ning jänesekapsa-pohla + jänesekapsa-mustika kasvukohatüüpides 18 puistut.



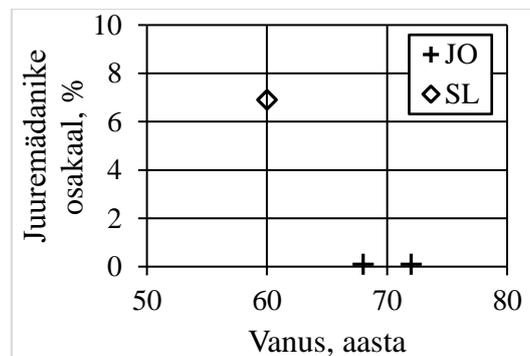
Joonis 12. Juuremädanike esinemine alla 10 aasta vanustes männikutes

Joonisel 12 on toodud kuni 10-aasta vanustes männikutes tuvastatud juuremädanike esinemise osakaal. Kokku oli selliseid alasid 11, mis jagunesid: jänesekapsa; jänesekapsa-mustika + jänesekapsa-pohla ning mustika + pohla kasvukohatüüpide vahel vastavalt 3, 6 ja 2 puistut. Joonisel 12 on näha, et männinoorendikes on juuremädanike osakaal märkimisväärne, kuid vanuse suurenedes hakkab osakaal langema. Keskmiselt oli jänesekapsa männikutes juuremädanike poolt nakatunud 46,7% ning jänesekapsa-mustika + jänesekapsa-pohla kasvukohatüüpides 53,3% juureproovidest. Kuna varieeruvus on suur ja vaatlusandmeid suhteliselt vähe, siis mädanike esinemise 95%-usalduspiirid neis kasvukohatüüpides on vastavalt 0,4% – 92,9% ja 20,1% – 86,5%. Pohla kasvukohatüübis oli kaks ala, millel juuremädanike osakaal oli 8-aastases puitus mõlemal juhul 30%.

Joonisel 13 on esitatud juuremädanike esinemissagedused männipuistute kohta, mille vanus jääb vahemikku 35 kuni 80 aastat. Kuna sinilille kasvukohatüübis oli tehtud hindamised ühes puistus ning jänesekapsa kõdusooos kahes puistus, siis need tulemused on esitatud eraldi joonisel 14. Joonisel 14 on näha, et kõdusoo kasvukohatüübi puistustest juuremädanike esinemist ei tuvastatud, mis on ühtlasi ka antud analüüsi kontrolliks. Sinilille kasvukohatüübis leiti juuremädanike tekitajaid 7% puudest.

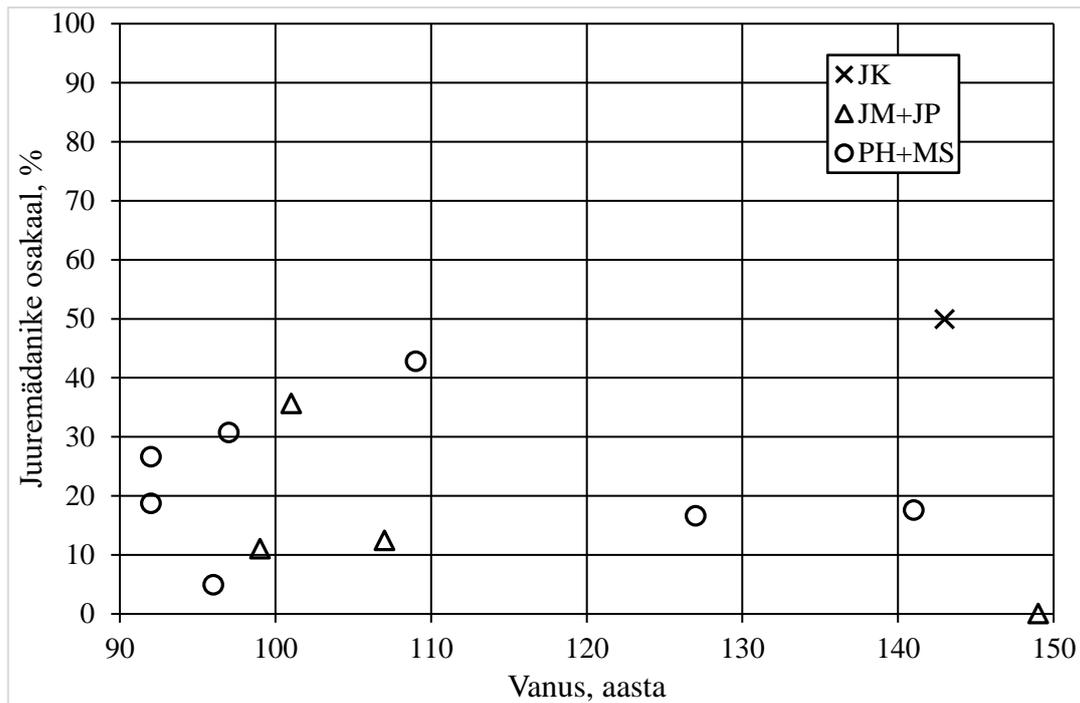


Joonis 13. Juuremädanike esinemine 35 kuni 80 aasta vanustes männikutes



Joonis 14. Juuremädanike esinemine 35 kuni 80 aasta vanustes männikutes

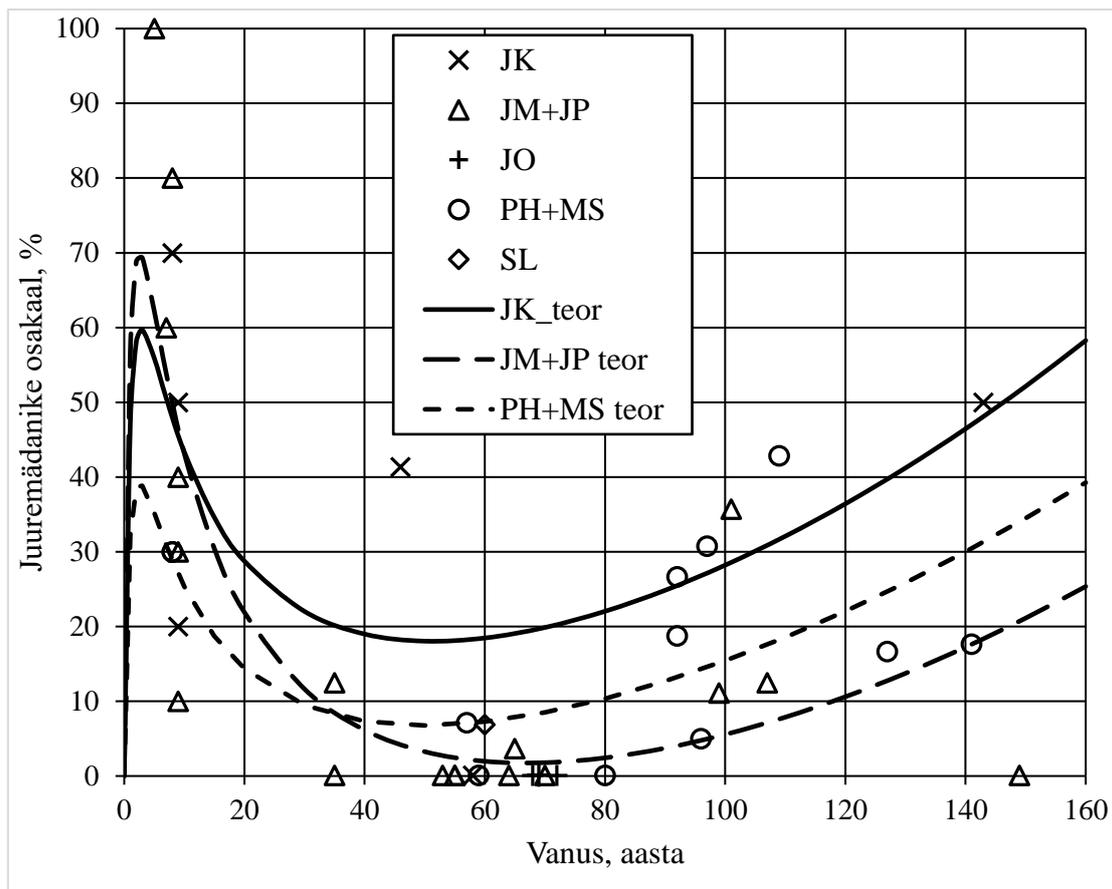
Joonistel 13 ja 14 on näha, et 35 kuni 80 aastastes männikutes esineb juuremädanike tekitajaid suhteliselt vähe ning trend on vanuse kasvades langev. Kokku analüüsiti proove 17 puistust. Enamikes puistutes jäi juuremädanike tekitajate esinemise osakaal alla 10% puudest. Erandid olid üks jänesekapsa kasvukohatüübi 46 aastane puistu ja üks jänesekapsa-pohla kasvukohatüübi 35 aastane puistu. Viimastel oli juuremädanike esinemise osakaal vastavalt 41,4% ja 12,5%. Jänesekapsa kasvukohatüübis oli esindatud 2 puistut, mis olid vanusega 46 ja 58 aastat ning juuremädanike tekitajaid leiti neid puistutes vastavalt 41,4% ja 0% puudest. Pohla + mustika kasvukohatüübi puistuid oli valimis 4 ala, millest kolmel juuremädanike tekitajaid ei leitud ning ühes oli juuremädanike tekitajaid 7,1% puudest. Kõige rohkem oli esindatud jänesekapsa-mustika ning jänesekapsa-pohla kasvukohatüübi puistuid. Neid oli kokku 8, millest 6 alal ei leitud juuremädanike tekitajaid, ühes puistus leiti juuremädanike tekitajaid 3,7% ning ühes 12,5% proovidest.



Joonis 15. Juuremädanike tekitajate esinemine üle 90 aasta vanustes männikutes

Joonisel 15 on esitatud küpsetes männikutes leitud juuremädanike tekitajate osakaal. Kokku oli analüüsis 12 puistut, millest üks oli jänesekapsa, neli jänesekapsa-mustika + jänesekapsa-pohla ning 7 pohla + mustika kasvukohatüübi puistud. Valimis olnud puistute ja kogutud proovide analüüsimisel selgus, et võrreldes 35-80-aastaste puistutega esineb küpsetes metsades juuremädanike tekitajaid rohkem. Juuremädanike tekitajaid ei leitud vaid ühes jänesekapsa-pohla 149-aastasest männikus. Keskmiselt leiti jänesekapsa-pohla + jänesekapsa-mustika kasvukohatüübis juuremädanike tekitajaid 14,8% puudest (95%-usalduspiirid 0,0 – 38,7%) ning pohla + mustika kasvukohatüübis 22,6% puudest (95%-usalduspiirid 11,4 – 33,8%).

Joonisel 16 on toodud kõigis 40 puistus leitud juuremädanike tekitajate esinemise osakaal koos regressioonivalemitega.



Joonis 16. Vaatluses olnud 40 puistu vaatlusandmed koos silutud regressioonijoonetega kolmes enam esinenud kasvukohatüübis

Regressioonanalüüsil kasutati järgmist valemikuju:

$$KF_{juuremädanik} = \left[e^{(a_0 \cdot A + a_1 \cdot \ln(A+1) + a_2 \cdot \frac{A}{A+1})} - 1 \right] \cdot 100, \quad (1)$$

kus $KF_{juuremädanik}$ - juuremädanike tekitajatega puude osakaal, %;
 A - puistu vanus, aasta;
 a_0, a_1, a_2 - valemi kordajad.

Analüüsiks teisendati valem lineaarsele kujule:

$$\ln \left(\frac{KF_{juuremädanik}}{100} + 1 \right) = a_0 \cdot A + a_1 \cdot \ln(A+1) + a_2 \cdot \frac{A}{A+1}, \quad (2)$$

kus $KF_{juuremädanik}$ - juuremädanike tekitajatega puude osakaal, %;
 A - puistu vanus, aasta;
 a_0, a_1, a_2 - valemi kordajad.

Regressioonanalüüsi tulemused ja valemikordajad on esitatud tabelis 3.

Tabel 3. Valemite 1 ja 2 kordajad ning regressioonanalüüsi statistikud valemile 2

Kasvukohatüüp	R ²	p-väärtus	a ₀	a ₁	a ₂
JK	0,846	0,0976	0,0061	-0,3430	1,2338
JM + JP	0,789	<0,0001	0,0062	-0,4452	1,5003
PH + MS	0,768	0,0016	0,0053	-0,2867	0,9463

5 Kokkuvõte ja järeldused

Analüüsitud 40 alast on juuremädanike poolt nakatunud 29 männikut (73%). Juuremädanike poolt olid nakatunud kõik noorendikud ja uuendusraie ealised puistud, harvendusraie aladest olid nakatunud 6 puistut. Katsealade valimis olid valdavalt jänesekapsa-pohla kasvukohatüübi puistud (kokku 14 puistust), nendest tuvastati nakatumist 10 alalt. Pohla kasvukohatüübi alasid oli valimis 10, juuremädanike nakkust tuvastati kõikidel aladel.

Kõikides analüüsitud vanusegruppides (noorendikud, HR, UR) domineerib juuremädanike liigilise koosseisu poolest kõige enam männi-juurepess (10 alal), 8 alal tuvastati männi-juurepess koos külmaseenega, seejärel männi-juurepess koos kuuse-juurepessuga (5 alal), männi-juurepess koos külmaseene ja kuuse-juurepessuga (3 ala) ja kuuse-juurepess koos külmaseenega (3 ala). Seega, männi enamusega puistutes domineerib selgelt männi-juurepess, kokku 26 alal. Arvatust rohkem esines kõikides metsatüüpides kogutud proovide hulgas külmaseent, kokku 14 alalt, kuuse-juurepessu esinemine tuvastati 11 alalt. See on seotud asjaoluga, et mänd kasvades koos kuusega on samuti nakatunud eelkõige kuuse-juurepessu poolt. Juurepessu liikidest oli noorendikes männi-juurepessu osakaal 85% ja kuuse-juurepessu määrati 15% hinnatud proovidest; harvendusraie puistutes olid vastavad osakaalud 77% ja 23% ning uuendusraie puistutes 89% ja 11%.

Puistute koosseisus nii jänesekapsa-pohla, kui ka pohla kasvukohatüüpides oli valdavalt 90% või enam esindatud harilik mänd. Uuendusraie aladel ja jänesekapsa-pohla kasvukohatüübis oli hariliku kuuse osakaal puistu koosseisus suurim alal PW024_8 (77MA18KU5KS), milles eranditult olid nakatunud hariliku kuuse proovid. Samal alal (PW024_8) olid hariliku männi proovid (8 proovi) patogeeni vabad. See omakorda ei tähenda, et mänd oleks nakatumata, vaid valimisse sattunud proovidest patogeeni olemasolu ei tuvastatud. Alal RG166_1 (85MA10KU5KS) oli kokku nakatunud 25% kõikidest kogutud proovidest (kuusk+mänd) ning nakatunud proovide osakaal oli suurem hariliku kuuse proovide hulgas, so. 43% kuuse proovidest. Alal AA208_13 (96MA2KS2KU) oli samuti nakatunud enam hariliku kuuse proove, so. 33% kuuse proovidest. Saadud tulemus on kooskõlas eelneva uuringu tulemustega, mille põhjal järeldati, et hariliku kuuse esinemine männipuistu koosseisus võib suurendada oluliselt juurepessuga nakatumise riski (Drenkhan, 2014b).

Kui samas aruandes (Drenkhan, 2014b) järeldati, et uuendusraie järgselt männi puhtpuistutes (100MA) alates 70-aasta vanusest juuremädanike mõju oluliselt väheneb, siis käesoleva uuringu tulemused seda järeldust pigem toetavad, sest tulemustest selgus, et mäandidelt kogutud saepuruproovid on küll nakatunud (44 männi proovist oli nakatunud 13, so. 29%), kuid alade vähesuse tõttu (3 ala) sisulisemaid järeldusi teha ei saa.

Varasemate uuringute tulemused on näidanud (Cleary jt 2013), et hariliku kuuse puistute nakatumist juuremädanikega mõjutab väga oluliselt millisesse kasvukohta uus puistu rajatakse. Kui eelmine metsapõlvkond on olnud juuremädanike poolt kahjustatud, siis väga suure tõenäosusega nakatub ka uus metsapõlvkond (Wang jt 2014). Sarnast seaduspärasust on käesoleva uuringu tulemused näidanud ka hariliku männi puhul. Analüüsitud noorendiku ealistest puistutest (alla 10 aasta) olid juuremädanike poolt nakatunud kõikide valimisse sattunud kasvukohatüüpide (JK, JP, PH) alad. Puistute eelnev raieajalugu ei ole teada, kuid eelmise metsapõlve kändudelt tuvastatud mädaniku info kohaselt esines perifeerset ja

tsentraalset mädanikku 8 ala kändudel ning uue põlvkonna puud oli samuti nakatunud (tabel 2). Juuremädanike liigilise koosseisu poolest olid esindatud männi-juurepess, kuuse-juurepess ning külmaseen. Sedavõrd suur nakatumise osakaal (10-100%) juuremädanikesse männi noorendikes on uus tulemus mida siiani polnud teada.

Käesoleva töö tulemused harvendusraie ealiste puistute osas näitavad suhteliselt madalat juuremädanike osakaalu – 17 puistust tuvastati juuremädanike esinemine 6 puistus. Juuremädanike poolt nakatunud männi proovide hulk oli vahemikus 3-40% ala kohta. Mänd on noores eas juuremädanike osas küll vastuvõtlik (Wang jt 2014), kuid suurem osa nakatunud puud tõenäoliselt hukuvad enne harvendusraie ealiseks saamist ning raiutakse esimesel harvendusraiel puistu koosseisust välja. Harvendusraied teostati uuritud puistutes ajavahemikus jaanuarist kuni aprillikuuni ning kasvukohatüüpide valim oli varieeruv (8 erineva kasvukoha puistud). Raieaeg on ka männikutes harvendusraiate teostamisel oluline faktor. Rootsist tehtud uuringu tulemused näitavad, et juunist septembrikuuni teostatud harvendusraie järel (puistud vanuses 29-49 aastat) tuvastati männi-juurepessu nakkust 73% puudel (Rönning jt 2006). Käesolevas uuringus harvendusraie puistutes nakatunud alade juhuslikult hinnatud kändudelt mädaniku olemasolu ei tuvastatud ning juurdekasvuproovide analüüsimisel ei leitud seost juurte nakatumise rohkuse osas juuremädanike tekitajatega. Uuendusraie alade kändudelt hinnati mädaniku olemasolu sarnaselt noorendikes hinnatud eelmise metsapõlve kändudega. Seega, eelmise metsapõlve sanitaarne seisund on oluline uue metsapõlve tervisliku seisundi kujunemisel ning käesoleva uuringu tulemuste põhjal on mõjutatud männikud pohla, jänesekapsa ja jänesekapsa-pohla kasvukohatüüpides.

Varasemate teadmiste põhjal on hariliku kuuse puistud viljakatel kasvukohatüüpidel juuremädanike poolt ohustatud ning seetõttu võiks kaaluda teiste puuliikide kultiveerimist või tekitada teadlikult segapuistu just juuremädanike poolt kahjustatud aladele (Hanso, Hanso, 1999). Käesoleva uuringu tulemused näitavad, et ka hariliku männi puistud viljakatel kasvukohatüüpidel (pohla, jänesekapsa, jänesekapsa-pohla) on juba noorendike eas juuremädanike poolt ohustatud ning üldine soovitus on viljakate kasvukohatüüpide puistute uuendamisel kujundada teadlikult segapuistu. Hariliku männi monokultuursetes puistutes ja liivmuldadel, samuti kui puistu koosseisus on harilik kuusk, harvendusraietel kasutada juurepessu tõrjel preparaati Rostop (Rönning jt 2006).

Regressioonanalüüsi tulemuste põhjal on männikutes vanuses 5-149 aastat selgelt näha tugev juuremädanike nakkus 5-35 puistu eluaastani ehk kuni harvendusraieni (joonis 16). Edasi on vastuvõtlikud puud surnud ning harvendusraiate käigus kahjustatud puud raiutakse, seega on juurepessu nakkusega puude osakaal tagasihoidlik vanusevahemikus 35-70 eluaastat. Alates 70-80 eluaastast taas juuremädanike kahjustuste osakaal kasvab. Nendest tulemustest nähtub, et hooldus- ja harvendusraiate teostamine vanusevahemikus 35-70 või isegi kuni lõppraieni on mõistlik. Kuid arvestades edasist juuremädanike osakaalu kasvu ning eelneva metsapõlve olulisust ka männikute nakatumisel juuremädanikesse on hooldus- ja harvendusraiate ning lõppraie järel otstarbekas okaspuu kännud pritsida biopreparaadiga ROTSTOP.

Uuringute teostamine on olnud töömahukas, seetõttu on siin aruandes toodud tulemuste maht optimaalne. Uurimistöö tulemused pärinevad seitsmest maakonnast kogutud aladelt ning aruandes on esitatud proovide tulemused hariliku männi aladelt vanusevahemikus 5-149 aastat.

Käesolevas uuringus koguti proove olemasoleva informatsiooni uuendamiseks ja täiendamiseks ning juuremädanike kahjustusi üldistava prognoosimudeli võimekuse parandamiseks. Aruandes on esitatud hariliku männi puistutest kogutud proovide andmestik ning kaasatud on nii noorendikud, harvendusraie kui ka uuendusraie ealised puistud. Alad pärinevad erinevatest kasvukohatüüpidest just sel põhjusel, et täiendada juba koostatud mudeli

algandmete valimit (Drenkhan, 2014b). Siiski on hädavajalik koguda lisaproove juurde kõikidest vanusevahemikest ning analüüsida ka juuremädanike kahjustuse osas vähem viljakaid kasvukohatüüpe nii kontrolli mõttes, kui ka andmestiku ja prognoosimudeli tasakaalustamiseks.

Järeldused ja soovitused:

1. hariliku männi puistud viljakatel kasvukohatüüpidel (pohla, jänsekapsa, jänsekapsa-pohla) on juba noorendike eas juuremädanike nakkuse poolt ohustatud;
2. käesoleva uuringu andmete põhjal koostatud prognoosimudelid näitavad, et uuritud katsealadel männikutes vanuses 5-149 aastat on juuremädanike nakkus kõrge puistutes vanusevahemikus 5-35 aastat ehk kuni harvendusraieni, vähenes 35-70 aastani ning lõppraie eas suurenes taaskord;
3. sellest lähtuvalt on harvendusraiate teostamine männikutes vanusevahemikus 35-70 aastat mõistlik ajavahemik;
4. viljakate kasvukohatüüpide (JK, JP, PH) hariliku männi puistud olid juuremädanikesse vähem nakatunud (10-40%) juhul kui puistu oli rajatud külvi teel;
5. viljakate kasvukohatüüpide männipuistute uuendamisel on sõltuvalt eelmise metsapõlve nakatumise ulatusest mõistlik kaaluda uuendamist kas külvi või istutuse või segapuistu rajamise teel või kombineerides nimetatud meetodeid;
6. hooldus- ja uuendusraietel **viljakates kasvukohatüüpides** kasutada kändude töötlemisel biopreparaati ROTSTOP, et vähendada eelmise metsapõlve mõju männikute nakatumisel juurepessu

Kasutatud kirjandus

Drenkhan, R., Adamson, K., Jürimaa, K., Hanso, M. 2014a. *Dothistroma septosporum* on firs (*Abies* spp.) in the northern Baltics. *Forest Pathology*, 44 (3), 250–254.10.1111/efp.12110.

Drenkhan, T. 2014b. Keskkonnainvesteeringute Keskuse 2012.a. metsanduse programmi projekti nr. 3698 „Olulisimate juuremädanike tekitajate leviku ja kahjustuse uuring Eestis“ täitmise lõpparuanne, Eesti Maaülikool, Metsandus- ja maaehitusinstituut, Tartu. http://mi.emu.ee/userfiles/instituudid/mi/MI/Projektid/projekt_3698_juurem%C3%A4danikud_juuni2014.pdf

Cleary, M.R., Arhipova, N., Morrison, D.J., Thomsen, I.M., Sturrock, R.N., Vasaitis, R., Gaitnieks, T., Stenlid, J. 2013. Stump removal to control root disease in Canada and Scandinavia: A synthesis of results from long-term trials. *Forest Ecology and Management*, 290, 5-14.

Gardes, M., Bruns, T.D. 1993. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes – application to the identification of mycorrhizae and rusts. – *Molecular Ecology*. 2, (2), 113-118.

Hanso, S., Hanso, M. 1999. Juurepessu levimisest Eesti metsades. *Metsanduslikud uurimused*, 31, 162-172.

Rönnerberg, J., Petrylaitė, E., Nilsson, G., Pratt, J. 2006. Two studies to assess the risk to *Pinus sylvestris* from *Heterobasidion* spp. in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 21, 405-413.

Wang, L., Zhang, J., Drobyshev, I., Cleary, M., Rönnerberg, J. 2014. Incidence and impact of root infection by *Heterobasidion* spp., and the justification for preventative silvicultural measures on Scots pine trees: A case study in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 315, 153-159.

White, T.J., Bruns, T., Lee, S., Taylor, J. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. – In: *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*. Eds. M. Innis, D. Gelfand, J. Sninsky, T. White. London: Academic Press. 482 p.

Woodward, S., Stenlid, J., Karjalainen, R., Hüttermann, A. 1998. *Heterobasidion annosum*: Biology, Ecology, Impact and Control. Woodward, S., Stenlid, J., Karjalainen, R., Hüttermann, A. (eds.). 1998. CAB International, Wallingford, UK, pp. xi–xii.

<https://register.metsad.ee>