

Eesti Maaülikool
Metsandus- ja maaehitusinstituut

Keskkonnainvesteeringute Keskuse
2018.a. metsanduse programmi projekt nr. 15599

Jalakasurma levik ning ohtlikkus Eesti metsades ja haljasaladel

täitmise aruanne

Koostasid: Rein Drenkhan, Liina Jürisoo, Katrin Jürimaa ja Ahto Agan

Tartu 2020

Sisukord

SISSEJUHATUS	3
1 Materjal ja meetodika	4
1.1 Katsealade valik, monitooring ja analüüsitud proovide hulk	4
1.1.1 Katsealade valik, haigusproovid	4
1.1.2 Feromoonpüünised ja vektorputukate püüdmine	5
1.1.3 Katsealade rajamine ja kogutud proovid	9
1.1.4 Testitav importmaterjal	14
1.2 Mikrobioloogilised analüüsid	15
1.2.1 Haigustekitajate isoleerimine	15
1.3 Molekulaarsed (DNA) uuringud	16
1.3.1 DNA eraldamine	16
1.3.2 Erinevad kasutatavad PCR parimerid jalakasurma tuvastamisel	16
1.3.3 PCR produkti kontrollimine agarosgeelis	17
1.3.4 Proovide sekveneerimine	18
2 Tulemused	19
2.1 Jalakasurma leviku ulatus ja tekitatav kahju Eestis	19
2.1.1 Patogeeni leiud erinevatelt peremeestaimedelt	19
2.1.2 Jalakate tervislik seisund Eestis	19
2.1.3 Feromoonpüünistega püütud putukad ja patogeeni leiud vektorputukatelt	20
2.2 Naaberalade lülitamise vajalikkus jalakasurma analüüsi	21
2.3 Erinevad molekulaarsed markerid ning selle testimise tulemused	21
2.4 Jalakasurma kahjustuste dünaamika	22
2.5 Katsealade hinnangu esimesed tulemused	24
Kokkuvõte ja järeldused	25
Kasutatud kirjandus	27
LISAD	31

SISSEJUHATUS

Jalakate tervislik seisund Eestis on olnud teemaks juba 1930ndatel aastatel, sellest ajast pärinevad patogeeni leiuandmed. Hilisemal ajal on jalakasurma kohta tehtud märkmeid pigem parkide ja haljasalade inventuurides. Esimeste sisulise jalakasurma analüüsini jõudsime alates 2013. aastast kui metsapatoloogideni tulid teated Tallinna linnas kahjustatud jalakatest. Üllatuslikult selgus, et Tallinna esimene isoleeritud jalakasurma tekitaja osutus võõraks Ameerika päritolu jalakasurma tekitaja alamliigiks *Ophiostoma novo-ulmi* subsp. *americana*. Hilisemad jalakate tervisliku seisundi hinnangud ja proovide kogumised toimusid juba kogu Eestis.

Jalakas ja künnapuu on väärt linnahaljastuse puud, kuid on ka väga olulised liigid bioloogilise mitmekesisuse seisukohast, nendega on kohastunud elama mitmed erinevad spetsiifilised sambliku- ja seeneliigid. Kuigi, tegemist on vähelevinud metsapuudega (katvus ca 0,1%), siis linnakeskkonnas ja haljastuses tervikuna on jalakad esteetiliselt hinnatud liigid. Enne jalakasurma kahjutuse aega on jalakaid hinnatud üheks linnakeskkonda paremini taluvateks liikideks. Kui harilik jalakas on oluline bioloogilise mitmekesise hoidja metsakoosluses, siis künnapuu on ise kaitsealune puuliik.

Jalasarma leviku ja kahjutuse hindamiseks ning analüüsiks ongi nimetatud projekt ellu kutsutud. Käesolev projekt analüüsis lisaks haigusetekitajatele ka kahjurputukaid ehk patogeeni siirutajaid.

Täpsemad projekti eesmärgid on järgmised: 1) seirata jalakasurma tekitajate levikut ja ohtlikkust; 2) hinnata võimalike patogeeni vektoreid ja nende arvukust; 3) töötada välja ja testida patogeeni DNA põhiseid tuvastamise võimalusi kiireks avastamiseks; 4) katseala rajamine ja tõrjestrategia välja töötamine.

1 Materjal ja metoodika

1.1 Katsealade valik, monitooring ja analüüsitud proovide hulk

1.1.1 Katsealade valik, haigusproovid

Katsealad valiti vastavalt varasematele vaatlustele ja ka asjatundjate vihjetele, kus jalakad on kahjustatud või surevad. Jalaka perekonna liikide tervislikku seisundit hinnati nii maapiirkonnas (pargid, metsad) kui linna haljasaladel, 2019. aastal vastavalt 14 maakonnas (v.a Ida-Virumaa) ja 2020. aastal 13 maakonnas (v.a saared) (Tabel 1). 2019. aastal ja 2020. aastal tehti tervisliku seisundi kordushindamine juba varem hinnatud puudele. Varasemate hinnatud puude arv on esitatud artiklis Jürisoo et al. 2019, vt. Lisad.

Aastatel 2017-2020 hinnati jalakaid 135 erinevas proovikohas, neist 2019. a – 46 proovikohta ja 2020. a – 62 proovikohta (vt kaart joonisel 14).

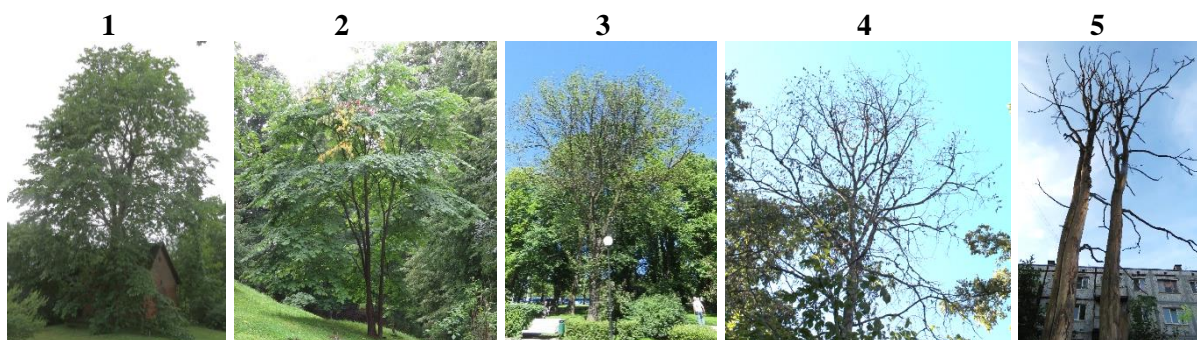
Tabel 1. Hinnatud jalakad aastatel 2019-2020 maakondade ja liikide kaupa

Aasta	Maakond	<i>Ulmus</i>					Kokku
		<i>glabra</i>	<i>laevis</i>	<i>minor</i>	<i>americana</i>	hübriid	
2019	Harju	45	5	1			51
	Hiiu	13					13
	Jõgeva	10	2				12
	Järva	14			1		15
	Lääne	2					2
	Lääne-Viru	3					3
	Pärnu	19	1				20
	Rapla	8					8
	Saare	8					8
	Tartu	8	1				9
	Valga	21	1			1	23
	Viljandi	25	7				32
	Võru	13					13
		189	17	1	1	1	209
2020	Harju	147	3				150
	Ida-Viru	33	10				43
	Jõgeva	59					59
	Järva	71	3				74
	Lääne	8	3				11
	Lääne-Viru	74					74
	Põlva	1	13				14
	Pärnu	22					22
	Rapla	99					99
	Tartu	62	23				85
Valga	2					2	

	Viljandi	30					30
	Võru	6	3				9
		614	58				672

Hinnatud puudelt (881) koguti proovid kokku 315 puult, millest isoleeriti puhaskultuuri kokku 91 jalakasurma tekitaja isolaati/tüve ja lisaks teisi seeni ja baktereid 102, millest 67 on määratud (Lisa 4) ja mõned on veel analüüsimisel.

Puude tervislik seisund hinnati artiklis Jürisoo et al. (2019) avaldatud põhimõtte alusel järgmiselt: 1, terved; 2, kuni 25% võrast kahjustatud; 3, kuni 50% võrast kahjustatud; 4, kuni 75% võrast kahjustatud; 5, surnud (Joonis 1).



Joonis 1. Jalakate tervislik seisund hariliku jalaka näitel: klassid 1-5 (Jürisoo et al. 2019 järgi).

1.1.2 Feromoonpüünised ja vektorputukate püüdmine

Feromoonpüünised paigaldati 2019. a kokku 39 tk – Tallinnasse 23 (Joonis 3) ja mujale Eestisse 16 tk (Tabel 2, Joonis 2). Aladeks valiti vastavalt eelmiste aastate (2014-2018) uuringutele tuvastatud jalakasurma leiukohad ning lisaks ka kontrollalad, et teada, kas putukaid esineb sellistel aladel, kus jalakasurma veel pole. Puudelt putukate korjamine toimus käsitsi ja kohad tuvastati vihjete järel (Hummuli ja Audevälja) või siis nendelt puudelt, kus olid paigaldatud püünised (Viljandi ja Vastseliina). Püüniseid tühjendati 5 korda vegetatsiooni perioodi jooksul.



Tabel 2. Paigaldatud feromoonpüünised erinevatel katsealadel.

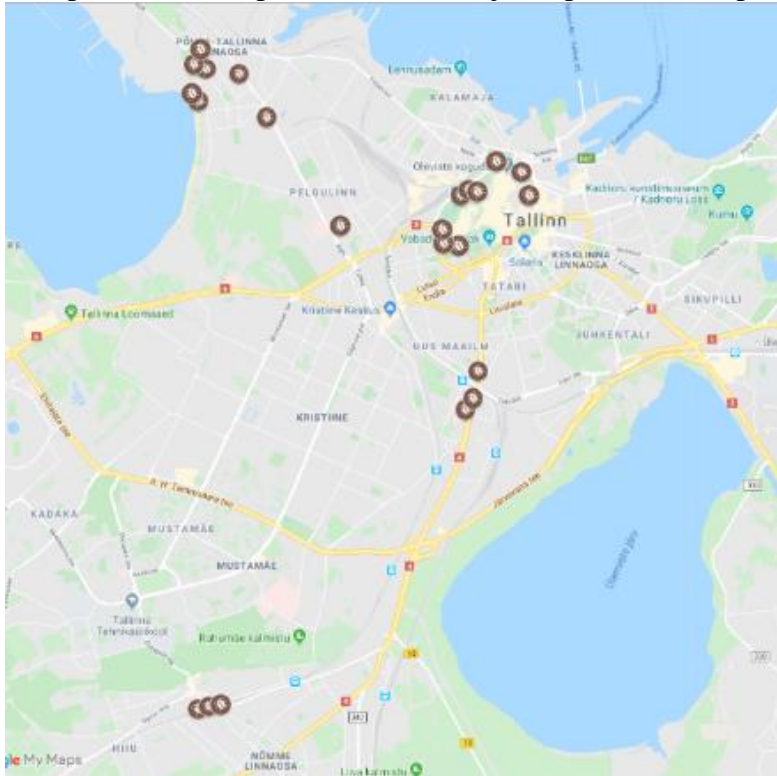
	Katseala	Püüni- seid (tk)	Paigal- damise kuupäev	Tühjendamise kuupäev				
Tallinn	Skoone bastion	1	06.06.	21.06.	03.07.	17.07.	07.08.	04.09.
	Tornide väljak	2	06.06.	21.06.	03.07.	17.07.	07.08.	04.09.
	Toompark	2	06.06.	21.06.	03.07.	17.07.	07.08.	04.09.
	Hirvepark	2	06.06.	21.06.	03.07.	17.07.	07.08.	04.09.
	Väike-Rannavärava	1	06.06.	21.06.	03.07.	17.07.	07.08.	04.09.

	Kanuti aed	1	06.06.	21.06.	03.07.	17.07.	07.08.	04.09.
	Stroomi rand	2	06.06.	21.06.	03.07.	17.07.	07.08.	04.09.
	Kopli park	3	06.06.	21.06.	03.07.	17.07.	07.08.	04.09.
	Sõle tn	3	06.06.	21.06.	03.07.	17.07.	07.08.	04.09.
	Pärnu mnt 88	1	06.06.	21.06.	03.07.	17.07.	07.08.	04.09.
	Pärnu mnt 102	2	06.06.	21.06.	03.07.	17.07.	07.08.	04.09.
	Nõmme rdtj ümbrus	3	06.06.	21.06.	03.07.	17.07.	07.08.	04.09.
		23						
Tartu	Seikluspark	1	05.06.	17.06.	02.07.	28.07.	12.08.	27.08.
	EMÜ	1	05.06.	17.06.	04.07.	23.07.	12.08.	27.08.
Luu	Park	1	04.06.	20.06.	10.07.		08.08.	01.09.
Vana-Vastseliina	Linnuse park	1	07.06.	24.06.	13.07.	27.07.	12.08.	02.09.
Valga	Künnapuu	1	07.06.	26.06.	12.07.	27.07.	12.08.	02.09.
	jalakas	1	07.06.	26.06.	12.07.	27.07.	12.08.	02.09.
Viljandi	jalakas1	1	04.06.	20.06.	09.07.	19.07.	13.08.	01.09.
	jalakas2	1	04.06.	20.06.	09.07.	19.07.	13.08.	01.09.
Heimtali	Jalakas	1	04.06.	20.06.	09.07.	19.07.	13.08.	01.09.
Põltsamaa	Jalakas	1	04.06.	20.06.	03.07.	17.07.	13.08.	01.09.
Pärnu	Jalakas	1	11.06.	28.06.	09.07.	19.07.	13.08.	01.09.
	künnapuu	1	11.06.	28.06.	09.07.	19.07.	13.08.	01.09.
Tihemetsa	Jalakas 'Camperdownii'	1	11.06.	28.06.	09.07.	19.07.	13.08.	01.09.
	künnapuu	1	11.06.	28.06.	09.07.	19.07.	13.08.	01.09.
Kuressaare	Jalakas1	1	12.06.	28.06.	03.07.	18.07.	13.08.	05.09.
	Jalakas2	1	12.06.	28.06.	03.07.	18.07.	13.08.	05.09.




Joonis 2. Feromoonpüüniste paiknemine Eestis (Google Maps põhjal)

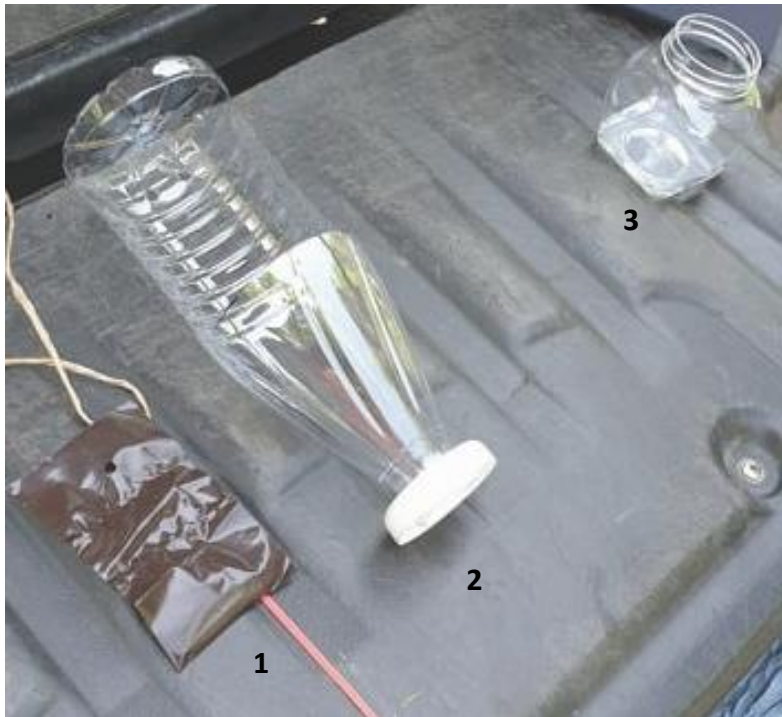
 - püünised;  puudelt käsitsi korjatud putukad, kus püüniseid polnud



Joonis 3. Feromoonpüüniste paiknemine Tallinna haljasaladel (Google Maps põhjal)

 püüniste asukohad Tallinnas

Püünistes kasutati Synergy Semiochemicals Corp (<https://semiochemical.com/bark-beetles/>) (Kanada) toodetud spetsiaalseid jalaka maltsauraskite (*Scolytus* sp.) püüdmiseks mõeldud kaheosalisi feromooni, mis paigaldati riputatavatesse pudelpüünistesse (Joonis 4).



Joonis 4. Feromoonpüünise osad: 1 – feromoonid spetsiaalses riputatavas pakendis; 2 – aknaga püünis, mis riputatakse pudelipõhi ülespoole; 3 – purk, kuhu kukuvad putukad.

Püünised paigaldati juuni esimeses dekaadis 2019. a ja riputati harilikule jalakale (*Ulmus glabra*) või künnapuule (*U. laevis*) ca 3 m kõrgusele maapinnast (nt. Joonis 5).



Joonis 5. Feromoonpüünis puu otsas riputatuna.

Synergy spetsiaalsed feromoonid aitavad jälgida maltsaüraskite populatsioone, feromoonpüüniseid saab kasutada putukate lendlusperioodil ka peibutisena (Synergy Semiochemicals Corporation, 2019).

1.1.3 Katsealade rajamine ja kogutud proovid

Erinevate jalaka liikide (*Ulmus* sp.) haiguskindluse pikaajaliseks uurimiseks on Järvselja ÕKM aladele rajatud kaks katseala, kuhu on istutatud kohalikku päritolu künnapuud (*Ulmus laevis*), harilik jalakas (*U. glabra*) ja välismaist päritolu 2 resistentset jalaka hübriidi ('New Horizon' ja 'Fiorente'). Lisaks on hübriidide uurimiseks rajatud võrdluskatsed RMK järglaskatse aladele 3 erinevasse maakonda: Saaremaa, Ida-Virumaa ja Viljandimaa.

Katsealade loomisel on mitu eesmärki:

1. Testida haiguskolletest ja haigusest puutumata aladelt pärinevalt seemnest paljundatud jalakate ja künnapuude vastuvõtlikkust jalakasurma tekitaja suhtes;
2. Uurida kas haiguskolletest terve emapuu annab tulevikus haiguse suhtes resistentsemaid generatiivseid järglasi;
3. Jälgida emapuude tervisliku seisundi muutusi ajas.

Katsealadele istutatud puude seemned koguti alates 2016. aastast kohalikku päritolu jalakatel ja künnapuudelt nii haiguskolletest kui tervete puudega piirkondadest (vt Tabel 3).

Tabel 3. Jalakaliikide emapuudelt seemnete kogumise asukohad, seemnetest pärit taimede istutamise aasta, päritolu tähis katsealal ja jalaka liik või sort

Istutamise aasta	Katsealal päritolu tähis ¹	Liik ja sort	Päritolu asukoht	Taimla nimi või emapuu geograafilised koordinaadid
2019	Hy1	<i>Ulmus japonica</i> x <i>U. pumila</i> 'New Horizon'	Põhja-Ameerikas aretatud hübriid	Saksamaa, Darmstadt puukool Eisele
	Hy2	<i>U. pumila</i> x <i>U. minor</i> 'Fiorente'	Lõuna-Euroopas aretatud hübriid	Saksamaa, Darmstadt puukool Eisele
	KPä2	<i>Ulmus laevis</i>	Tihemetsa	58.148350, 25.046417
	JVi4	<i>Ulmus glabra</i>	Viljandi	58.360431, 25.591786
	KJõ29	<i>U. laevis</i>	Luu	58.655485, 26.602096
	KTa14	<i>U. laevis</i>	Maaülikooli Tähtvere mõisa park	58.389175, 26.698073
	JTa8	<i>U. glabra</i>	Maaülikooli Tähtvere mõisa park	58.389482, 26.698724

Istutamise aasta	Katsealal päritolu tähis ¹	Liik ja sort	Päritolu asukoht	Taimla nimi või emapuu geograafilised koordinaadid
	JPä12	<i>U. glabra</i>	Tihemetsa Voltveti mõisapark	58.149150, 25.048817
	JTa22	<i>U. glabra</i>	Tartu kesklinn	58.379017, 26.724683
	JJõ33	<i>U. glabra</i>	Luu mõisapark	58.654966, 26.599435
	JVi11	<i>U. glabra</i>	Heimtali mõisapark	58.322870, 25.505125
	KTa24	<i>U. laevis</i>	Maaülikooli Tähtvere mõisa park	58.389104, 26.698217
	Lut	<i>U. glabra</i> 'Lutescens'	Tartu botaanikaaed	58.385465, 26.721423
	KJõ25	<i>U. laevis</i>	Luu mõisapark	58.655686, 26.602546
	KJõ31	<i>U. laevis</i>	Luu mõisapark	58.655151, 26.603206
2020	JSõ	<i>U. glabra</i>	Tallinn, Sõle	59.436375, 24.713614
	KHe	<i>U. laevis</i>	Heimtali mõisapark	58.32287, 25.505125
	KMä1	<i>U. laevis</i>	Määra taluõu	59.19264, 24.096697
	KLu	<i>U. laevis</i>	Luu mõisapark	58.65479, 26.602663
	JStr	<i>U. glabra</i>	Tallinn, Stroomi	59.44934, 24.684454
	KTa	<i>U. laevis</i>	Tartu	58.38896, 26.698195
	JKu	<i>U. glabra</i>	Kuressaare	58.24905, 22.477232
	KMä2	<i>U. laevis</i>	Määra taluõu	59.19228, 24.096727
	KPõ	<i>U. laevis</i>	Põltsamaa lähedal	58.521458, 25.868862
2021	JTo	<i>U. glabra</i>	Toila park	59.425934, 27.528301
	KLV	<i>U. laevis</i>	Leivu vöönd	59.175148, 27.796620
	JTa37	<i>U. glabra</i>	Tartumaa	58.387846, 26.704840
	JPe3	<i>U. glabra</i>	Tallinn	59.431515, 24.850243
	KVK	<i>U. laevis</i>	Vastse-Kuuste	58.164284, 26.930704

Istutamise aasta	Katsealal päritolu tähis ¹	Liik ja sort	Päritolu asukoht	Taimla nimi või emapuu geograafilised koordinaadid
	JToS	<i>U. glabra</i>	Toila sadam	59.42612, 27.529808
	JNõ	<i>U. glabra</i>	Tallinn, Nõmme	59.386444, 24.687712

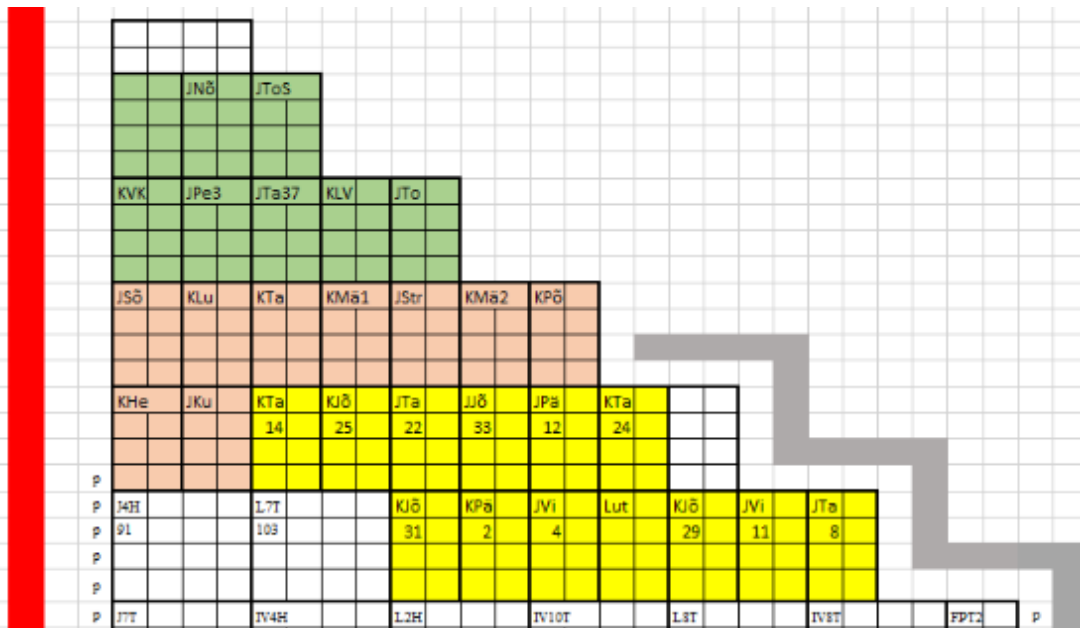
¹ J – jalakas; K – künnapuud; Hy – hübriid sort; Ta – Tartumaa; Pä – Pärnumaa; Jõ – Jõgevamaa; Vi – Viljandimaa; Lut – sort 'Lutescens'; ülejäänud tähised on päritolu asukoha lühend.

Kuna jalakate idanevus võrreldes künnapuudega on oluliselt viletsam (Joonis 6), siis tuli seemet koguda veel ka 2020. aastal. Seepärast ei õnnestunud saada piisavas koguses jalaka taimi, et need ühe korruga katsealadele istutada. Istutamist katsealadele teostakse 3 korral.

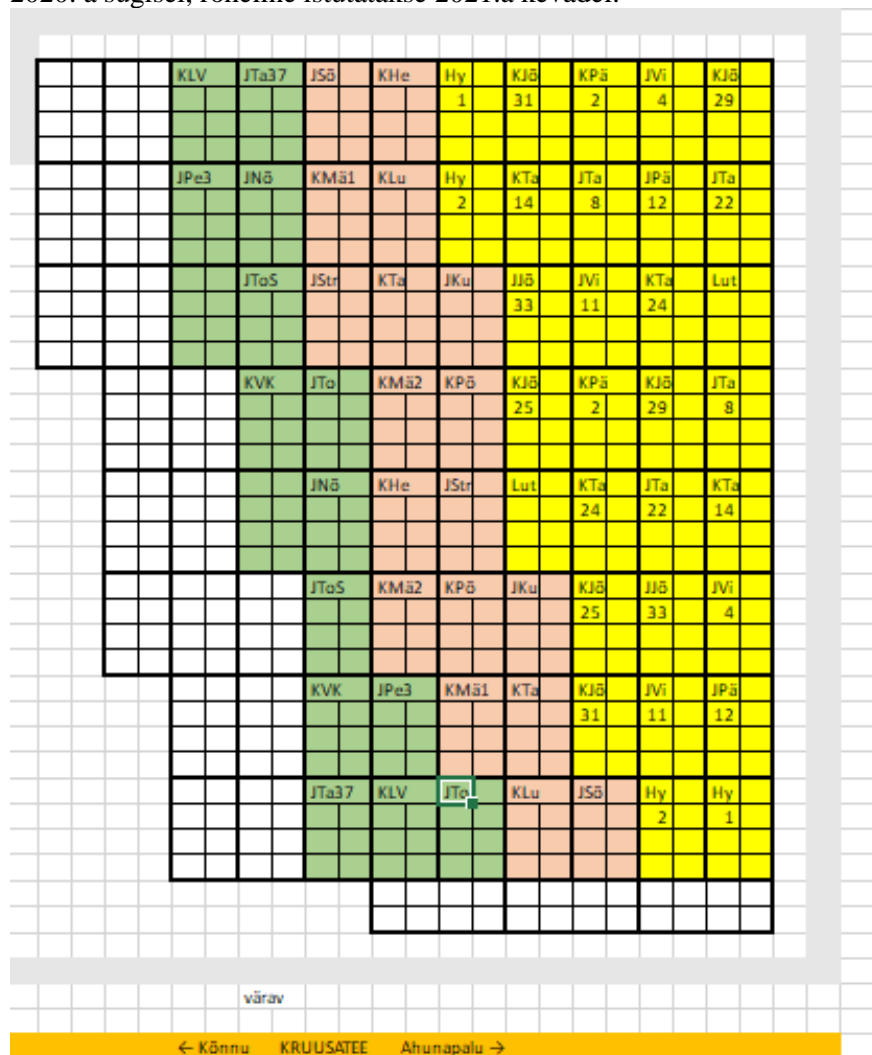


Joonis 6. Külvikastid koos idanenud jalaka taimedega Järvelja taimlas, harilik jalakas üksikute idanenud taimedega vasakul, künnapuud paremal. Igas kastis on erineva emapuu järglased.

Järveljale rajatud katsealade katseplaanid katsealade kaupa on esitatud joonistel 7 ja 8. Katseblokid on kolmes korduses, igas blokis 8 taimi (2x4), seaduga 2 x 2 m. Istutamiseks ettevalmistatud katseala ja pärast taimede istutamist 2020. a on vastavalt joonistel 9 ja 10.



Joonis 7. Haavametsa jalakate katseala skeem: kollane – istutatud 2019. a kevadel, beež – istutatud 2020. a sügisel, roheline istutatakse 2021.a kevadel.



Joonis 8. Liispõllu jalakate katseala skeem: kollane – istutatud 2019. a kevadel, beež – istutatud 2020. a sügisel, roheline – istutatakse 2021. a kevadel.



Joonis 9. Istutamiseks ette valmistatud Liispõllu katseala Järveljal 2019. aasta kevadel.



Joonis 10. Liispõllu katseala pärast istutamist 2020. sügisel.

RMK katsealadele Mändjala Saaremaal (58.214683, 22.306194) (Joonis 11.), Päre seemla, Viljandimaal (58.342906, 25.522611) ja Tarumaa katsealale, Ida-Virumaal (59.224312, 27.135653) istutati kumbagi hübriidset jalakat 8 tk ja võrdluseks kohalikku päritolu 8 harilikku jalakat ja 8 künnapuud, kokku 32 puud igale katsealale, kokku 96 puud, seaduga 2 x 2 m.



Joonis 11. Mändjala katsealale Saaremaal istutatud jalakad.

1.1.4 Testitav importmaterjal

Katsealadele istutatud hübriidsed jalakad 'New Horizon' ja 'Fiorente' istikud hangiti Saksamaalt Darmstadtist Eisele, kus kasvatatakse sertifitseeritud resistentseid (resista®) jalakaid (LISAD 1.1, 1.2). Proovid võeti neilt taimedelt, kuid ühtki patogeeni isoleerida ei õnnestunud. Proove on võetud ka 2016. a Tartusse, Valka ja Narva istutatud puudelt (Joonis 12) ja neil jalakasurma tekitajaid ei tuvastatud.

Ulmus 'New Horizon' (*U. japonica* x *U. pumila*) on aretatud ameerika professorite Smalley ja Guries (Madison University, Wisconsin) poolt. Antud sort on jalakasurma (*Ophiostoma novo-ulmi*) suhtes resistentne, seda on regulaarselt testitud aastast 1979, see hübriid on külmakindel ja talub tuulist ilma ning on vastupidav linnasaastele nt maanteel kasutatavad soolad (Eisele, 2019).

Ulmus 'Fiorente' (*U. pumila* x *U. minor*) on aretatud Itaalias professorite Lorenzo Mittempergher ja Alberto Santini (C.N.R. Firenze) poolt. Antud jalaka sort on jalakasurma (*Ophiostoma novo-ulmi*) suhtes niisamuti resistentne, peab hästi vastu tormituultele ja talub põuda (Eisele, 2019). *Ulmus* 'Fiorente' linnasaaste (nt sool) taluvuse kohta pole midagi teada.



Joonis 12. 2006. a Tartusse istutatud hübriidjalakad 'New Horizon'.

2020. aastal koguti mõnedest puukoolidest proove ka jalaka taimedelt, enamasti sisse toodud: *Ulmus glabra* 'Lutece', *Ulmus* hübriid 'Columella', *Ulmus glabra* 'Camperdownii'; *Ulmus glabra*, *Ulmus laevis*, *Ulmus minor* 'Wredei'.

Need proovid analüüsitakse HTS sekveneerimise meetodil, et tuvastada kogu võrsetes leiduv seenete elustik ehk mida siis meile kaasa tuuakse.

1.2 Mikrobioloogilised analüüsid

1.2.1 Haigustekitajate isoleerimine

Laboris nn eeltötlusruumis lõigati proovioksi lühemaks ja pandi valmis edasisteks töödeks steriilses keskkonnas – laminaarkapis. Laboris töötades kasutati latekskindaid, mida puhastati enne järgmise proovi ettevalmistust piiritusega. Sarnaselt toimiti ka tööpinna ja -vahenditega (skalpell, nõel, pintsetid).

Skalpelliga esmalt eemaldati koor ja siis õhuke kiht puitu, ning seejärel lõigati kahjustatud ja terve puidu piirilt õhukesed laastud, mis asetati söötmele MEA (Malt Extract Agar, Biolife Itaalia). Iga proovi kohta asetati söötmele vähemalt 4 sümptomaatilist puidutükki. Petri tassid suleti parafilmiga ja jäeti seisma kaheks nädalaks riulile toatemperatuurile. Paralleelselt

söötmetele külvamiseks pandi iga proovi puidutükke kahte tuubi (MCT), millest hiljem eraldati DNA lisaanalüüsideks.

Puhaskultuure, mis olid jalakasurma tekitaja tunnustega külvati ümber. Esialgsest isolaadist söötmel viidi õige seen puhtale virdeagar söötmele steriilsetes tingimustes. Ümberkülvid samuti suleti parafilmiga ning jäeti kasvama. Seene kultuuridest DNA eraldamiseks, võeti puhaskultuuride pinnalt seene mütseel ning pandi uutesse MCT tuubidesse.

1.3 Molekulaarsed (DNA) uuringud

1.3.1 DNA eraldamine

Puhaskultuuridest ja puidust DNA eraldamiseks kasutati GeneJET Genomic DNA purification kit (Thermo Fischer Scientific, Vilnius, Lithuania). DNA eraldamisel järgiti tootjapoolset protokollit. Pärast asetati eraldatud DNA dokumenteeritud järjekorda sügavkülma vähemalt -20°C.

1.3.2 Erinevad kasutatavad PCR parimerid jalakasurma tuvastamisel

Jalakasurma liigi tuvastamiseks puhaskultuurist kasutati kõrgemate seenerühmade praimereid ITS1F (5'-CTTGGTCATTTAGAGGAAGTAA-3') (Gardes & Bruns, 1993) ning ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') (White et al., 1990). PCR segu ja PCR tsükleid tehti vastavalt protokollile (Drenkhan et al., 2017b).

Liigispetsiifilise praimeritega mtsr1 (5'-AGTGGTGTACAGGTGAG-3') and mtsr2 (5'-CGAGTGGTTAGTACAATCC-3') (Gibb and Hausner, 2005) abil tuvastati jalakasurma tekitaja kahte erinevat liiki (*Ophiostoma ulmi* ja *O. novo-ulmi*).

Alamliikide (*O. novo-ulmi* subsp. *novo-ulmi* ja subsp. *americana*) tuvastamiseks kasutati geenide *coll* ja *cu* spetsiifilisi praimereid. Geeni *coll* regiooni sekveneerimiseks kasutati praimerite paari F-primer (5'-GCAGTTGTTGACATGTATG-3') ja R-primer (5'-TGCTTGACGTAGATCTCG-3') (Konrad et al., 2002). Geeni *cu* regiooni tuvastamiseks kasutati praimereid CU1 (5'-GGGCAGCTTACCAGAGTGAAC-3') ja CU2 (5'-GCGTTATGATGTAGCGGTGGC-3') (Pipe et al., 1997).

PCR segu valmistamiseks aluseks oli Solis BioDyne 5x HOT FIREPoL Blend Master Mix, kuhu lisati praimereid.

Uuritava proovi DNA regioonide amplifitseerimised viidi läbi Termotsükleril Biometra, Tprofessional (Saksamaa).

Alamliikide vahelisi hübriide tuvastati eelpooltoodud geenide sekveneermisega või PCR produktide mõjutamisel kindlate ensüümidega: *Hph* I geenile *cu* ja *Bfa* I geenile *coll* (New England Biolabs, USA), ja nende tulemusi võrreldi vastavalt kirjanduses avaldatud infode (Dvořák et al., 2007; Konrad et al., 2002; Tziros et al., 2017). Hübriidide täpne tuvastamise meetoodika on leitav artiklist Jürisoo et al. 2019.

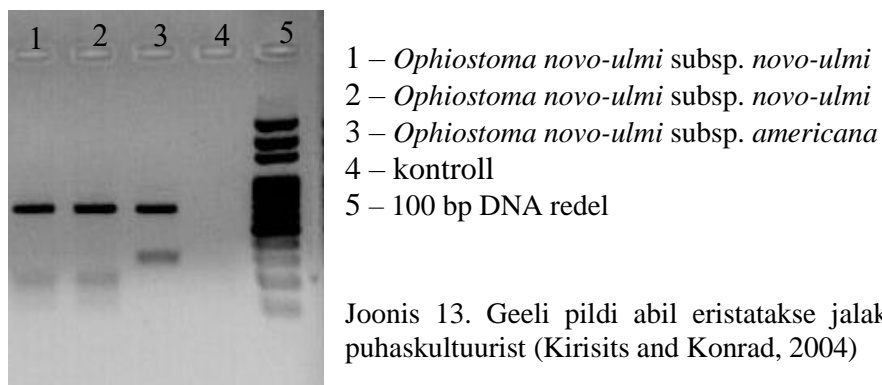
Jalakasurma tekitaja tuvastamist kasutati ka otse bioloogilistest proovidest (puidutükkidest eraldatud DNA) praimerite paaridega *mtsr1* ja *mtsr2* ning *colF* ja *colR*. Lisaks töötati välja uued primereid otse bioloogilisest proovist patogeeni tuvastamiseks ja need on: *Ophiostoma novo-ulmi* subsp. *novo-ulmi* jaoks *O.nu-nu_col1_F* ja *O.nu-nu_col1_R*; *O. novo-ulmi* subsp. *americana* jaoks *O.nu-am_col1_F* ja *O.nu-am_O.hu_col1_R*; *O. ulmi* jaoks *O.ulmi_col1_F* ja *O.ulmi_col1_R* ning *O. himal-ulmi* jaoks *O. hu_col1_F* ja *O.nu-am_O.hu_col1_R*. Puidust eraldatud DNAST jalakasurma tekitaja *Ophiostoma novo-ulmi* tuvastamiseks kasutati ka HTS ehk uue põlvkonna sekveneerimist.

1.3.3 PCR produkti kontrollimine agarosgeelis

Esmalt valmistati vastavalt juhendile agarosgeel, mis sisaldas 100 ml 0,5xTBE-d (Trisboraat-EDTA, Sigma) puhvrit, 1g agarosi (SeaKem® LE Agarose, Lonza), ning 9µl etiidiumbromiidi (EtBr, Naxo OÜ). Kõigepealt lisati DNA Ladder pikkusega 300 kuni 5000 bp ning seejärel lisati PCR'i produkt, misjärel käivitati elektroforeesi protsess (75 V pinge juures 50 min).

Amplifitseeritud DNA lõigu olemasolu ja vastava lõigu pikkus tehti kindlaks UV kiirte all vastava transilluminaatoriga Quantum ST4- 3026/WL/25M (VilberLourmat SAS, Marne-la-allée, Prantusmaa) 1% agarosgeelil (SeaKem® LE Agarose, Lonza). Geelipilti töödeldi tarkvaraga Quantum ST4 Express v16.04 (vt. Drenkhan et al., 2013).

Geeli pilt näitab liigi või alamliigi olemasolu (Joonis 13.).



1.3.4 Proovide sekveneerimine

Vastavate PCR produktide sekveneerimised viidi läbi Eesti Biokeskuses Tartus. Sekveneerimisel kasutati praimerit ITS5 (5`GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3`) (White et al., 1990), *coll* geeni sekveneerimiseks F praimerit (Konrad et al., 2002) ja *cu* puhul CU1 praimerit (Pipe et al., 1997).

DNA järjestuste analüüsiks kasutati programmi BioEdit, versiooni 7.2.5 (Hall, 2013). Saadud tulemusi võrreldi rahvusvahelises geenipangas (NCBI) olevate seeneliikide andmestikuga.

Kõik puhaskultuurid pannakse Tartu Seenekultuuride kollektsiooni (Tartu Fungal Culture Collection - TFC) vastavate artiklite avaldamise järel ja andmed on leitavad PlutoF platvormilt (<https://plutof.ut.ee/>).

2 Tulemused

2.1 Jalakasurma leviku ulatus ja tekitatav kahju Eestis

2.1.1 Patogeeni leiud erinevatelt peremeestaimedelt

2019. ja 2020. aastatel on hinnatud 881 puud, sümptomaatilisi proove koguti 315 ning puhaskultuuri on isoleeritud 91 erinevat jalakasurma tekitaja alamliiki ja tüve, lisaks veel 2018. a hinnatud 105 puud, millest koguti 22 proovi ja isoleeriti 9 jalakasurma tüve (Tabel 4.).

Lisaks on varasemalt aastatel 2014-2016 hinnatud 1225 (Tabel 4.) erinevat jalaka perekonna esindajat (vt. Jürisoo et al., 2019).

Tabel 4. Aastatel 2014-2020 hinnatud puude hulk, nendelt korjatud proovide kogus ja jalakasurma puhaskultuuride arv harilikul jalakal ja künnapuul.

		2014	2015	2016	2018	2019	2020	KOKKU
Hinnatud	harilik jalakas	147	286	587	100	189	614	1923
	künnapuu	9	26	147	0	17	58	257
	kokku ¹	158	313	754	105	209	672	2211
Kogutud proove	harilik jalakas	42	80	93	22	169	75	481
	künnapuu	0	10	5	0	13	1	29
	kokku ¹	42	91	105	22	209	106	575
Puhaskultuuris jalakasurm	harilik jalakas	1	36	34	9	51	37	168
	künnapuu	0	2	2	0	2	1	7
	kokku ¹	1	38	36	9	53	38	175

¹ Kokku real on lisaks veel ka teised jalakaliigid, mida eraldi ei ole esitatud.

2.1.2 Jalakate tervislik seisund Eestis

Kuigi Eestis looduslikult kasvavaid harilikku jalakat (*U. glabra*) ja künnapuud (*U. laevis*) on kogu metsatagavarast vaid 0,2% (Raudsaar et al., 2018), on nad ökoloogiliselt ja ka haljastuslikult olulised puud (Jüriado et al., 2009; Relve, 2011; Kaar, 2011; Abner et al., 2012, 2007; Corfixen and Parmasto, 2005; Kalamees, 2011).

Eestis on üldiselt künnapuude tervislik seisund parem kui harilikul jalakal, mida kinnitab ka 2014-2016. aastatel tehtud võrdlev puude tervisliku seisundi analüüs (Jürisoo et al., 2019). Iga üheteistkümnnes hinnatud harilik jalakas oli nakatunud jalakasurma, vastav hinnang künnapuul oli 37. Üks põhjustest võib olla ka selles, et künnapuud on vähe atraktiivsed jalakasurma tekitajat levitavatele vektorputukatele (Santini & Faccoli, 2013). Samas sõltub haigusele

vastuvõtlikkus ka juhtkudede läbimõõdust kevadpuidus, künnapuul on koed peenemad võrrelduna hariliku jalakaga ning seetõttu on patogeeni levimine takistatud (Martín et al., 2009, 2013; Solla & Gil, 2002).

2.1.3 Feromoonpüünistega püütud putukad ja patogeeni leiud vektorputukatelt

Feromoonpüünistega koguti 2019. a kokku 88 erinevat liiki putukaid, millest mardikalisi oli 23 erinevat liiki. Kogutud putukad mardikaliste seltsist on esitatud lisas 2.

Võimalikud püütud ja korjatud vektorputukad, nende liik ja sugu on esitatud tabelis 5. Kokku saadi 249 putukat, millest vaid 30 püüti feromoonpüünistega, millest lähtuvalt meie analüüsis feromoonpüünised putukate tõrjel eriti sisukalt ei toimunud.

Tabel 5. Püütud ja käsitsi korjatud jalakasurma vektorputukad

Liik	Püünisest		Puutüvelt korjatud		Kokku
	sugu		sugu		
	isane	emane	isane	emane	
<i>Scolytus multistriatus</i>	3	3	-	-	6
<i>S. triarmatus</i>	3	1	66	114	184
<i>S. laevis</i>	-	-	21	18	39
<i>Xyleborinus saxesenii</i>	-	10	-	-	10
<i>Xyleborus dispar</i>	-	10	-	-	10
					249

Nõmmelt, Tallinnast õnnestus koguda jalakasurma vektorputukaid, s.o jalaka-maltsaürask (*Scolytus triarmatus*) vaid 1 isend ja Pärnu mnt 102 haljasaladelt Tallinnast vaid 2 isendit. Enamus putukaid koguti nakatunud puudelt siiski käsitsi.

Võimalikeks jalakasurma tekitaja vektorputukateks võiksid olla ka *Xyleborus dispar* (paaritu puiduüraja) ja *Xyleborinus saxesenii*, seega on needki isendid võetud edasistesse analüüsidesse. HTS sekveneerimise abil tuvastati jalakasurma tekitajat (*Ophiostoma novo-ulmi*) järgmistel putukatel *Scolytus multistriatus*, *S. triarmatus*, *S. laevis*, *Xyleborus dispar*, *Xyleborinus saxesenii*. Vastavad tulemused on hetkel töös ja avaldamisel.

2.2 Naaberalade lülitamise vajalikkus jalakasurma analüüsi

Jalakasurma tüvede võrdlevaks testimiseks oleme hankinud Hollandist *O. himal-ulmi*, Kanadast subsp. *americana* (5 tüve), Norrast *O. ulmi* (2 tüve) ja subsp. *novo-ulmi* (3 tüve), Ukrainast saadeti erinevaid jalakasurma tüvesid kokku 24 tk.

Väljastpoolt Eestit oleme osalenud jalakasurma proovide kogumisel järgmistes riikides: Läti, Venemaa, Rootsi ja Ukraina (vt Tabel 6). Seda selleks, et mõista patogeeni levikut meie piiririikides ning ühtlasi hankida võrdlusmaterjali haigusetekiitaja uurimiseks.

Tabel 6. Väljastpoolt Eestit kogutud jalakasurma kahtlusega proovid

Proovi kogumise aasta	Riik	Korjatud proove
2015	Läti	5
2016	Läti	6
2016	Venemaa	121
2018	Rootsi	8
2019	Ukraina	72

Venemaalt ja Ukrainast kogutud ning saadud proovide/isolaatide tulemused on avaldamisel. Jalakasurma puhaskultuuri isoleerimisega õnnestus tuvastada ka teisi jalakatega seonduvaid seeni. Teisi seeni tuvastati järgmiselt: kokku isoleeriti puhaskultuuri 102 seent ja bakterit, millest tuvastatud on 67 seene liiki (vt Lisa 4). Enim esines seent *Sphaeropsis ulmicola*, mis on jalakatel haavandite tekitaja. Uuteks leidudeks Eestile olid *Neohendersonia kickxii*, *Cryptovalsa ampelina*, *Protofenestella ulmi*.

2.3 Erinevad molekulaarsed markerid ning selle testimise tulemused

Jalakasurma tekitaja (*Ophiostoma novo-ulmi*) põhiliiki on võimalik tuvastada vaid puhaskultuurist saadud DNAST kasutades selleks ITS piirkonna sekveneerimist Sanger meetodil või bioloogilisest proovist (sümptomaatiline võrse) kasutades selleks HTS ehk uue põlvkonna sekveneerimist.

Ophiostoma novo-ulmi alamliikide tuvastamiseks puhaskultuurist kasutati Konrad et al. (2002) ja Pipe et al. (1997) välja töötatud meetodikat, vt ptk. 2.3.2 ja 2.3.3.

Uute välja töötatud praimeritega jalakasurma tekitaja alamliike tuvastada ei õnnestunud, kuna nõuab enam testimist ja täiendavat tööd, et pakkuda töötvat protokollit.

Kõik testitud liigispetsiifilised parimerid ei võimalda *Ophiostoma novo-ulmi* põhiliiki bioloogilisest proovist määrata, rääkimata jalakasurma alamliikide määramisest. *Ophiostoma novo-ulmi* põhiliiki ja alamliike saab edukalt tuvastada puhaskultuuridest.

2.4 Jalakasurma kahjustuste dünaamika

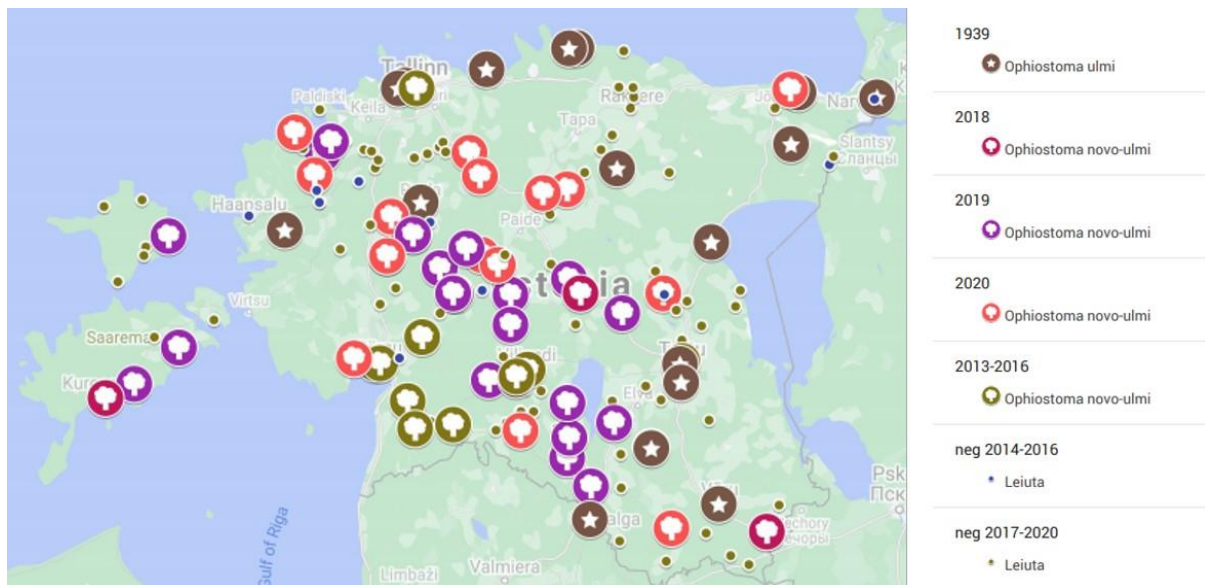
Eelmise sajandi algul kogutud informatsioon jalakasurma leviku kohta kinnitab, et see haigus oli levinud peaaegu tervel Eesti mandriosal (Lepik, 1940a). Hilisem informatsioon pole nii süsteemne, on olemas üksikud teadaanded kirjanduses (Aaspõllu, 2017; Aotäht, 2018; Mihkelson, 2017; Pintson, 2015) ning parkide ja haljasalade inventeerimisaruannetes (Jürisoo, 2015a, 2015b; Laas & Treumuth, 2006; Rist, 2015). Dendroloogid on jalakatest ja künnapuudest kirjutades maininud jalakasurma kui võimalikku haigust puudel (Abner et al., 2012, 2007; Kaar, 2011), kuid süsteemsem analüüs puudub.

Käesoleva aruande autorite poolt aastatel 2013-2020 tehtud uuringud näitavad, et jalakasurm on Eestis laialt levinud (Joonis 14). Piirkonnad, kus eelmise sajandi esimesel poolel jalakasurma täheldati (Lepik, 1940a) on jalakad enamasti nakatunud ka 2020. aastal, kuid on ka mõningaid erinevusi (Joonis 14). Näiteks, eelmisel sajandil ei tuvastatud jalakasurma saartelt ja Kagu-Eestist, nt Vastseliinast. Samas üllatuslikult Narvas, Mustvees, Võrus ja Raplas, kus jalakasurma täheldati esimese pandeemia ajal, pole sellel sajandil jalakasurma tuvastatud. Heimtalis, Raudna ürgoru vasemal kaldal on ligi kahel hektaril kasvanud jalakapuistust alles vaid mõned üksikud harilikud jalakad ning künnapuud. Oru pargis esines jalakasurma eelmise sajandi alguses, kuid 2016. aastal sealt jalakasurma ei õnnestunud tuvastada. 2020. aastal leiti sealt aga taas nakatunud jalakaid. Kui üldiselt üpriski virulentne jalakasurm suutis puistus jääda spetsialistile märkamatuks, siis on tõsiselt põhjust uurida, kuidas see osutus võimalikuks. Näiteks, kas võis patogeen levida kliimamuutuste lainel üsna hiljuti vektorputukate kaasabil või imporditi istutusmaterjaliga inimese poolt.

Nii nagu mujal maailmas, tunti ka Eestis esmalt jalakasurma tekitajat nimetuse all *Ophiostoma ulmi* (Buisman) (Lepik, 1940b), kuid EPPO (Euroopa ja Vahemeremaade taimekaitse organisatsiooni) nimekirjas on see esmakordselt registreeritud 1979. aastal, samaaegselt ka teistes Balti riikides (EPPO Global Database, 2019).

Sajandi lõpuks oli *Ophiostoma ulmi* Eestis asendunud palju agressiivsema liigiga *O. novo-ulmi* Brasier (Drenkhan et al., 2017a; Hanso & Drenkhan, 2007) nii nagu see on juhtunud ka mujal Euroopas ja Põhja-Ameerikas (Brasier, 2000).

Aastatel 2013-2020 seirete põhjal on Eestis jalakasurma tekitajad levinud vastavalt joonisel 14 esitatule, lisaks on võrdluseks toodud 1939. a leiukohad ja hinnatud jalakate asukohad, millest haigustekitajat ei tuvastatud.



Joonis 14. Jalakasurma positiivsed ja negatiivsed leiud Eestist aastatel 1939 ja 2013-2020 (aluskaart GoogleMaps, 2020)

Aastatel 2013-2020 kogutud ja analüüsitud proovide põhjal selgus, et Eestis on levinud *Ophiostoma novo-ulmi* mõlemad alamliigid (Jürisoo et al., 2019). Euroopa päritolu alamliiki *O. novo-ulmi* subsp. *novo-ulmi* leiti uuritud aastatel eelkõige Tartu-, Viljandi- ja Pärnumaal, kuid viimaste proovide analüüside põhjal ka Harjumaal, Saaremaal, Võrumaa kaguosas, Jõgevamaal, Valgamaal ning Järvamaal (vt. Joonis 14). Veelgi patogeensemata, Ameerika päritolu (Brasier, 1991) alamliiki (*O. novo-ulmi* subsp. *americana*) leidis Eesti proovidest algul vaid Tallinnas, kuid 2019. aastal Hiiumaalt ning 2020. aastal Koselt Harjumaal ja Jalaselt Raplamaal kogutud hariliku jalaka proovides (Tabel 1). Kuid esmakordselt juba 2020. aasta proovidest tuvastati jalakasurma tekitaja alamliikide vahelist hübriidi (subsp. *americana* x *novo-ulmi*) ühest Kose, Harjumaa proovist. See võib viidata kahele erinevale asjaolule: 1. kahe alamliigi levikualad kattusid või 2. kusagilt toodi teadmata istutusmaterjaliga patogeeni hübriid. Patogeeni hübriidid võivad suurendada puude suremust ning jalakasurma ohtlikkust tulevikus. Seda ohtlikust kinnitab Venemaa jalakate väga halb tervislik seisund ja patogeeni hübriidi tüvede kasvukiiruste analüüs, millest selgub ilmne ja selge oht jalakate populatsioonile (Jürisoo et al., avaldamisel). Venemaale on ilmselt kontrollimata istikutega toodud nii haigustekitaja mõlemad alamliike, nende hübriide kui ka uued vektorputukad. Ilmselt patogeeni hübriidide tõttu on Venemaa jalakate tervislik seisund halvem kui meil ja seepärast peame püüdma seda ohtu minimeerida.

2.5 Katsealade hinnangu esimesed tulemused

Taimede istutamine katsealale tehti kolmes etapis sellepärast, et seemnete idanevus eelkõige harilikul jalakal oli kehv (joonis 6). Oluline on seemnete korjamise õige aeg (s.o vahetult enne seemnete varisemist) ja kohene külv pärast korjamist. 2019. aastal istutati katsealale 440 jalakat ja künnapuud, vastavalt Järveljale 344 ja mujale Eestisse 96 taime. 2020. aastal istutati 216 ning ootel on veel 256 jalaka ja künnapuu taime. Järvelja katsealale istutatakse kokku 981 katsetaime perekonnast *Ulmus*, sh 165 puhvertaime ning RMK järglaskatsealadele on istutatud 96 jalaka ja künnapuu taime. Kokku istutatakse katsealadele 1077 perekond *Ulmus* katsetaime. Esimese hinnangu järel 2020. aasta septembris olid Järvelja katsealadele istutatud 312 kohalikust jalaka ja künnapuu katsetaimest surnud vaid 7 (Lisa 3 märgitud x); hübriidsetest jalakate 'New Horizon' ja 'Fiorente' taimedest 2 isendil polnud lehti, kuid puudusid ka selged haigussümptomid (Lisa 3 tähistatud ?), 30 taime olid terved. Ülejäänud RMK katsealadele istutatud jalakate hübriide hinnati 2019. aasta sügisel, siis olid taimed terved.

Kokkuvõte ja järeldused

Jalakasurm on käesoleva uuringu tulemusena tuvastatud juba 14 maakonnas, mõnedes vaid üksikute leidudena, kuid Tallinnas, Harjumaal, Pärnumaal, Viljandimaal ja Valgamaal enam kui 3 proovikoahas. Tartus oli haiguse esmaleid 2017. a, 2018. a, lisandusid Põltsamaa, Vastseliina, Kuressaare. 2019. a tuvastati jalakasurm Padise ümbruses, Puurmanil, Väändras, Suuremõisas ja mõned leiud Järvamaal, Valgamaal ning Raplamaal. 2020. a leiti jalakasurma veel järgmistes proovikohtades: Luua, Roosna-Alliku, Vihterpalu, Harju Kose, Triigi, Toila, Polli jt.

2016. aastaks tuvastati uuringutega, et jalakasurma tekitajateks olid *Ophiostoma novo-ulmi* mõlemad alamliigid, s.o subsp. *novo-ulmi* (Euroopa tüvi) ja subsp. *americana* (Ameerika tüvi). Kuna 2016. aastani dokumenteeritud leiukohad olid teineteisest niivõrd kaugel (Tallinn ja Lõuna-Eesti), siis see võis olla põhjuseks, miks alamliikide vahelisi hübriide ei tuvastatud. 2020. aasta analüüside põhjal tuvastati jalakasurma tekitaja kahe alamliigi hübriid esmakordselt Kosel, Harjumaal. Uuringute tulemusena Venemaal tuvastati jalakasurma tekitaja kahe alamliigi hübriide oluliselt enam ning jalakate ja isegi künnapuude tervislik seisund on võrreldes Eestiga märkimisväärselt kehvem. Seega, patogeeni hübriidi leid Eestis on oluline oht jalakate populatsioonile.

Jalakasurma tekitaja levib peamiselt vektorputukatega ja enamasti nendeks putukateks on maltsäüraskid (*Scolytus* spp.). Eestis oli siiani teave nende putukate leidude kohta üsna kaootiline ja rahvusvahelise kirjanduse põhjal ei peaks neid putukaliike meil justkui üldse olema. Selleks, et tuvastada millised putukaliigid Eestis esinevad ja millised neist levitavad jalakasurma, koguti putukaid feromoonpüünistega ning lisaks veel käsitsi sümptomaatilistelt puudelt. Püünistest ja sümptomaatilistelt puudel koguti kokku 88 liiki putukaid. Putukatel esinevate seente analüüsil tuvastati jalakasurma tekitajat (*Ophiostoma novo-ulmi*) järgmistel liikidel: *Scolytus multistriatus*, *S. triarmatus*, *S. laevis*, *Xyleborus dispar*, *Xyleborinus saxenii*. Kusjuures kahel viimasel on jalakasurma tekitaja tuvastamine esmakordne, seega ka need putukad on potentsiaalsed jalakasurma vektorid.

Testitud liigispetsiifilised parimerid võimaldavad *Ophiostoma novo-ulmi* põhiliiki, alamliike ja hübriide tuvastada patogeeni puhaskultuurist, kuid mitte otse bioloogilisest proovist (nt sümptomaatiline võrse). Bioloogilisest proovist saab *Ophiostoma novo-ulmi* põhiliiki tuvastada kasutades selleks HTS ehk uue põlvkonna sekveneerimist, kuid alamliike ja hübriide

HTS ei tuvasta. Siiski, uued välja töötatud parimerid vajavad veel täiendavat disainimist ja testi.

Jalakasurma suhtes võimalike resistentsemate perekond *Ulmus* liikide järglaste pikaajaliseks uurimiseks on rajatud katsealad Järveljale Tartumaale ning RMK katsealadele Saaremaale, Viljandimaale ja Ida-Virumaale.

Täiendavalt jalakasurma uuringutega õnnestus jalakatel isoleeritud puhaskultuuridest tuvastada järgmised seeneliigid: *Alternaria sp.*, *Aureobasidium pullulans*, *Boeremia exigua*, *Cladosporium herbarum*, *Cryptovalsa ampelina*, *Diaporthe eres* v *Phomopsis*, *Didymella macrostoma*, *Dothiorella sarmentorum*, *Fusarium lateritium*, *Nectria cinnabarina*, *Neohendersonia kickxii*, *Protofenestella ulmi*, *Sphaeropsis ulmicola*, *Trichoderma viridescens*, millest e-elurikkuse portaali andmete põhjal on Eestis registreeritud vaid vähesed (vt lisa 4).

Käesoleva töö tulemusel on jalakasurma tõrje olulisimad põhimõtted järgmised:

1. Tundmatu päritoluga perekond jalaka (*Ulmus*) taimi ei tohi istutada metsa ega haljastuse eesmärgil, kuna need võivad levitada geneetiliselt uusi ja agressiivsemaid jalakasurma tekitaja isendeid.
2. Enne loodusesse istutamist tuleb nii Euroopa Liidu teistest riikidest kui ka kolmandatest riikidest imporditud jalaka taimed eelnevalt jalakasurma tekitajate osas kontrollida, kui ei ole ette näidata vastavat laborianalüüsi kinnitavat sertifikaati. Selleks peavad taimede edasimüüjad enne taimede müüki ja istutamist organiseerima proovide kogumise ning kinnitama laborianalüüsides, et taimed on haigustekitajatest ja kahjuritest puhtad.
3. Enne uute jalakaliikide (s.h jalaka hübriidid ja sordid) kasutamise propageerimist tuleb nende sobivust ja haiguskindlust Eesti looduslikes tingimustes testida. Selleks on juba esimesed katsealad rajatud aga sellist katsetamist vajab iga uus sort. Lisaks, kui on tegemist jalakasurma suhtes resistentsete (resista®) sertifitseeritud istikutega, siis tuleb neis asuvate kiipide abil tuvastada nende sordiehtsus (vt. Lisa 1.3).
4. Hetke teadmiste kohaselt on künnapuud (*Ulmus laevis*) tervislik seisund oluliselt parem võrrelduna hariliku jalaka (*Ulmus glabra*) tervisliku seisundiga, seega haljastuse eesmärgil soovitame kasutada künnapuud. Hübriidjalakate sobivust Eesti keskkonda ei saa hetkel hinnata, sest puuduvad piisavad andmed.
5. Jalakasurma monitooring on hädavajalik, et planeerida õigeaegne tõrje. Hetke teadmiste kohaselt on kõige tõhusam siiski nakatunud puude kiire tuvastamine ja seejärel nende

langetamine ja hävitamine ning seda eelkõige haljastuses. Metsakooslustes tehtavad tõrje võtted vajavad siiski enam analüüsi.

6. Jalakasurma nakkusega puud tuleb esimesel võimalusel raiuda parimal juhul talvel/varakevadel enne vegetatsiooniperioodi algust ning nakkusega puit ja oksad põletada kohapeal ning kändud freesida ja mullaga katta, et need ei meelitaks vektorputukaid. Kui puitu ei saa kohapeal põletada siis teha hakkeks ja puiduhake viia kinnises konteineris põletamisele. Jalakasurma nakkusega puude haket ja jääke ei tohi vedada nakkusevabasse jalakate kasvukohta ega mujalegi keskkonda.
7. Ainult nakatunud okste eemaldamine, eriti vegetatsiooniperioodil, meelitab ligi vektorputukad ja see võib haiguse levikut pigem hoogustada.

Täiendavad teadmised seoses haiguse efektiivsema tõrjega vajavad edasisi uuringuid, s.o puude osaline hooldamine, kändude freesimine või eemaldamine, sobivaimad tõrjevõtted metsakooslustes, haigusetekitajale looduslike antagonistide otsimine ja nende testimine, haigusetekitaja jätkuv monitooring, haigusetekitaja populatsioonide hinnang ning levikustrategia analüüs, haigusekindlamate järglaste monitooring jms.

Kasutatud kirjandus

- Aaspõllu, A., 2017. Kodumaiste lehtpuuliikide olukord järjest halveneb. Maaelu.
- Abner, O., Konsa, S., Lootus, K., Sinijärv, U., 2012. Eesti pargid 2 (Estonian Parks 2) [In Estonian]. Keskkonnaministeerium, Muinsuskaitseamet, Varrak, Tallinn.
- Abner, O., Konsa, S., Lootus, K., Sinijärv, U., 2007. Eesti pargid 1 (Estonian Parks 1) [In Estonian]. Keskkonnaministeerium, Muinsuskaitseamet, Varrak, Tallinn.
- Aotäht, A., 2018. Linn loodab jalakasurma uurijale. Viljandi Sakala 1.
- Brasier, C.M., 2000. Intercontinental Spread and Continuing Evolution of the Dutch Elm Disease Pathogens, in: Dunn, C.P. (Ed.), *The Elms: Breeding, Conservation, and Disease Management*. Springer US, pp. 61–72. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4507-1_4
- Brasier, C.M., 1991. *Ophiostoma novo-ulmi* sp. nov., causative agent of current Dutch elm disease pandemics. *Mycopathologia* 115, 151–161. <https://doi.org/10.1007/BF00462219>
- Corfixen, P., Parmasto, E., 2005. *Hymenochaete ulmicola* sp. nov. (Hymenochaetales). *Mycotaxon* 91, 465–469.
- Drenkhan, R., Adamson, K., Drenkhan, T., Agan, A., Laas, M., 2017a. Uus probleemistik

- dendropatoloogias – uued ja invasiivsed patogeenid. Metsanduslikud Uurim. 67, 50–71.
- Drenkhan, R., Hantula, J., Vuorinen, M., Jankovský, L., Müller, M.M., 2013. Genetic diversity of *Dothistroma septosporum* in Estonia, Finland and Czech Republic. Eur. J. Plant Pathol. 136, 71–85. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0139-6>
- Drenkhan, R., Solheim, H., Bogacheva, A., Riit, T., Adamson, K., Drenkhan, T., Maaten, T., Hietala, A.M., 2017b. *Hymenoscyphus fraxineus* is a leaf pathogen of local *Fraxinus* species in the Russian Far East. Plant Pathol. 66, 490–500. <https://doi.org/10.1111/ppa.12588>
- Dvořák, M., Tomšovský, M., Jankovský, L., Novotný, D., 2007. Contribution to identify the causal agents of Dutch elm disease in the Czech Republic. Plant Prot. Sci. 43, 142–145.
- Eisele, n.d. Resista.
- EPPO Global Database [WWW Document], 2019. . EPPO. URL <https://gd.eppo.int/> (accessed 6.7.19).
- Gardes, M., Bruns, T.D., 1993. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes - application to the identification of mycorrhizae and rusts. Mol. Ecol. 2, 113–118. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.1993.tb00005.x>
- Gibb, E.A., Hausner, G., 2005. Optional mitochondrial introns and evidence for a homing-endonuclease gene in the mtDNA rnl gene in *Ophiostoma ulmi* s. lat. Mycol. Res. 109, 1112–1126. <https://doi.org/10.1017/S095375620500376X>
- Hall, T.A., 2013. Biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT/2000/XP/7 [WWW Document]. BioEdit. URL <http://www.mbio.ncsu.edu/bioedit/bioedit.html>
- Hanso, M., Drenkhan, R., 2007. Metsa- ja linnapuud ilmastiku äärmuste vaevas (Trees in forests and towns are suffering from the extreme weather conditions) [In Estonian]. Eesti Lood. (Estonian Nature) 58, 6–13.
- Jürisoo, L., 2015a. Voltveti mõisa pargi hoolduskava 2015-2024.
- Jürisoo, L., 2015b. Heimtali pargi dendroloogiline hinnang.
- Jürisoo, L., Adamson, K., Padari, A., Drenkhan, R., 2019. Health of elms and Dutch elm disease in Estonia. Eur. J. Plant Pathol. 154, 823–841. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01707-0>
- Jürisoo, L., Selikhovkin, A. V., Padari, A., Shevchenko, S. V., Shcherbakova, L.N., Popovichev, B.G., Drenkhan, R., n.d. The extensive damages of elms by Dutch elm disease agents and their hybrids in north-western Russia. submitted.
- Kaar, E., 2011. Jalakas ja künnapuu Eestis (Elms in Estonia) [In Estonian]. Eesti Lood. (Estonian Nature) 62.
- Kalamees, K., 2011. Roosa võrkheinik: seenharuldus jalakal (Wrinkled Peach: rare fungus on elms) [In Estonian]. Eesti Lood. (Estonian Nature) 62, 41–41.

- Kirisits, T., Konrad, H., 2004. Dutch elm disease in Austria. *Invest Agrar Sist Recur* 13, 81–92.
- Konrad, H., Kirisits, T., Riegler, M., Halmschlager, E., Stauffer, C., 2002. Genetic evidence for natural hybridization between the Dutch elm disease pathogens *Ophiostoma novo-ulmi* ssp. *novo-ulmi* and *O. novo-ulmi* ssp. *americana*. *Plant Pathol.* 51, 78–84.
- Laas, E., Treumuth, S., 2006. Voltveti mõisapargi ja Tihemetsa arboreetumi dendroloogiline inventuur (Dendrological inventory of Voltvet manor park and Tihemetsa arboretum) [In Estonian]. Tartu.
- Lepik, E., 1940a. Miks kuivavad meie jalakad? *Postimees* 160, 5.
- Lepik, E., 1940b. Estonia. The Elm disease in the country. *Int. Bull. Plant Prot.* 14, 2.
- Martín, J.A., Solla, A., Esteban, L.G., de Palacios, P., Gil, L., 2009. Bordered pit and ray morphology involvement in elm resistance to *Ophiostoma novo-ulmi*. *Can. J. For. Res.* 39, 420–429. <https://doi.org/10.1139/X08-183>
- Martín, J.A., Witzell, J., Blumenstein, K., Rozpedowska, E., Helander, M., Sieber, T.N., Gil, L., 2013. Resistance to Dutch Elm Disease Reduces Presence of Xylem Endophytic Fungi in Elms (*Ulmus* spp.). *PLoS One* 8, e56987. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056987>
- Mihkelson, L., 2017. Seenhaigus tapab jalakaid. *Maaleht*.
- Pintson, M.-L., 2015. Ülinakkav ja kiirelt tappev jalakasurm jõudis Tartusse - Uudised - Täna leht. *Postimees*.
- Pipe, N.D., Buck, K.W., Brasier, C.M., 1997. Comparison of the cerato-ulmin (*cu*) gene sequences of the Himalayan Dutch elm disease fungus *Ophiostoma himal-ulmi* with those of *O. ulmi* and *O. novo-ulmi* suggests that the *cu* gene of *O. novo-ulmi* is unlikely to ha. *Mycol. Res.* 101, 415–421. <https://doi.org/10.1017/S0953756296002754>
- Raudsaar, M., Sims, A., Timmusk, T., Pärt, E., Nikopensius, M., 2018. Puuliikide tagavara metsamaal, in: *Aastaraamat Mets 2017. Keskkonnaagentuur*.
- Relve, H., 2011. Eesti jämedaimad jalakad ja künnapuud. *Est. Nat. (Eesti Loodus)* 12.
- Rist, E., 2015. Tihemetsa pargi inventuur (Inventory of Tihemetsa park) [In Estonian]. *Tihemetsa*.
- Santini, A., Faccoli, M., 2013. Dutch elm disease and elm bark beetles: a century of association. <http://iforest.sisef.org/> 8, 126. <https://doi.org/10.3832/IFOR1231-008>
- Solla, A., Gil, L., 2002. Influence of water stress on Dutch elm disease symptoms in *Ulmus minor*. *Can. J. Bot.* 80, 810–817. <https://doi.org/10.1139/b02-067>
- Synergy Semiochemicals Corporation, 2019. Bark Beetles [WWW Document]. URL <https://semiochemical.com/bark-beetles/> (accessed 11.23.19).
- Tziros, G.T., Nakopoulou, Z.G., Perlerou, C., Diamandis, S., 2017. Current status of the

Dutch elm disease pathogen populations affecting *Ulmus minor* in Greece. For. Pathol. 47, e12323. <https://doi.org/10.1111/efp.12323>

White, T.J., Bruns, T.D., Lee, S., Taylor, J., 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics, in: Innis, M.A., Gelfand, D.H., Sninsky, J.J., White, T.J. (Eds.), PCR - Protocols and Applications - A Laboratory Manual. Academic Press, New York, pp. 315–322.

LISAD

Tööga seotud kirjatükid:

Jürisoo, L., Adamson, K., Padari, A., Drenkhan, R., 2019. Health of elms and Dutch elm disease in Estonia. Eur. J. Plant Pathol. 154, 823–841. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01707-0>

Jürisoo, L., Selikhovkin, A.V., Padari, A., Shevchenko, S.V., Shcherbakova, L.N., Popovichev, B.G., Drenkhan, R., n.d. The extensive damages of elms by Dutch elm disease agents and their hybrids in north-western Russia. Esitatud avaldamiseks.

Ilmunud artikli leiate allolevalt lingilt
<http://ph.emu.ee/~drenkhan/jalakasurm/Ilmunud%20artikkel/>

Ettekanded:

09.04.2019 Saksamaal Göttingeni ülikoolis piirkonna metsakasvatuse spetsialistide ja -patoloogide seminaril; teema: Elms and Dutch Elm Disease in some parts of north-eastern Europe

10.05.2019 Itaalias, Firenzes IUFRO WP 7.02.02 & 7.02.03 (PHYLLOSPHERE DISEASES) konverentsil ettekanne; teema: Elms and Dutch Elm Disease in north-eastern Europe

[Joint Meeting of the IUFRO Working Parties "Shoot, foliage and stem diseases" and "Wilt diseases" \(7.02.02 and 7.02.03\) on Phyllosphere Diseases; Figline Valdarno, Florence, Italy; 6-10 May 2019](#)

27.08.2019 Ühisseminar Eestis koos Saksa metsapatoloogidega; teema: Elms and Dutch Elm Disease in some parts of north-eastern Europe – sama ettekanne, mis Göttingenis

18.09.2019 [Tallinna Botaanikaaias Aleksei Paiveli 90. sünniaastapäevale pühendatud konverentsil](#); teema: Jalaka-siugsuu, tekitajad, võimalik levik Eestis ja lähiriikides

14.11.2019 Soomes, Helsingis: LUKE taimepatoloogia seminaril; teema: The situation of elms and Dutch Elm disease in Estonia

29.11.2019 Soomes, Tampere: [Soome Arboristide ühingu aastakonverentsil](#); teema: Health of elms and Dutch elm disease in Estonia and Leningrad region

Projektiga seotud ettekanded ja ettekannete kavad leiate allolevalt lingilt

<http://ph.emu.ee/~drenkhan/jalakasurm/Ettekanded/>

Projektiga seotud tööd ehk e-kirja vahetus jms. on leitav allolevalt lingilt

<http://ph.emu.ee/~drenkhan/jalakasurm/Kirjavahetus/>

LISA 1.1 Hübridsete jalakate emataimed Eisele puukoolis, kust võetakse pistikud paljundamiseks



LISA 1.2 Eisele puukooli I kooli hübridjalakad



Lisa 1.3 Kiibid on paigaldatud resista® jalaka koore alla – tõestus sordiehtsuse kohta



LISA 2. Feromoonpüünistega püütud ja käsitsi korjatud erinevad putukate liigid ja nende kuuluvus sugukondadesse/alamsugukondadesse

Sugukond / alamsugukond	Sugukond / alamsugukond	Mardika liik	Mardika liik
Püünistest			
Curculionidae	Kärsaklased	<i>Scolytus multistriatus</i> ♀	väike-maltsaürask, emane
Curculionidae	Kärsaklased	<i>S. multistriatus</i> ♂	väike-maltsaürask, isane
<i>Curculionidae</i>	Kärsaklased	<i>S. triarmatus</i> ♀	jalaka-maltsaürask, emane
Curculionidae	Kärsaklased	<i>S. triarmatus</i> ♂	jalaka-maltsaürask
Curculionidae	Kärsaklased	<i>Xyleborus dispar</i> ♀	paaritu puiduüraja
Curculionidae	Kärsaklased	<i>Xyleborinus saxesenii</i> ♀	
Curculionidae	Kärsaklased	<i>Hylesinus fraxini</i>	väike-saareürask
Ptinidae> Anobiidae	Teesklased > tooneseplased	<i>Anobium nitidum</i>	
Ptinidae> Anobiidae	Teesklased > tooneseplased	<i>Anobium punctatum</i>	mööbli-toonesepp
Ptinidae> Anobiidae	Teesklased > tooneseplased	<i>Stegobium paniceum</i>	leivamardikas
Mycetophagidae	seeneõgilased	<i>Litargus connexus</i>	
Mycetophagidae	seeneõgilased	<i>Mycetophagus piceus</i>	harilik seeneõgilane
Staphylinidae	lühitiiblased	<i>Placusa atrata</i>	
Melandryidae	redulased	<i>Orchesia micans</i>	
Melandryidae	redulased	<i>Orchesia fusiformis</i>	
Scirtidae	varjejalglased	<i>Elodes minuta</i>	
Dermestidae	nahanäklased	<i>Trogoderma glabrum</i>	
Coccinellidae	lepatriinulased	<i>Adalia bipunctata</i>	kakstäpp-lepatriinu
Anthribidae	ebakärsaklased	<i>Rhaphitropis marchica</i>	
Salpingidae		<i>Salpingus planirostris</i>	pronksjas nokkjuss
Curculionidae	kärsaklased	<i>Ips typographus</i>	kuuse-kooreürask
Curculionidae	kärsaklased	<i>Phyllobius oblongus</i>	miski leheärsakas
Throscidae	jäiklased	<i>Trixagus meyoohmi</i>	
Throscidae	jäiklased	<i>Trixagus carinifrons</i>	
Cerambycidae	siklased	<i>Exocentrus lusitanus</i>	kidasikk
Käsitsi puudelt korjatud			
Curculionidae	Kärsaklased	<i>Scolytus laevis</i> ♀	läikiv maltsaürask, emane
Curculionidae	Kärsaklased	<i>Scolytus laevis</i> ♂	läikiv maltsaürask, isane
Curculionidae	Kärsaklased	<i>Scolytus triarmatus</i> ♀	jalaka-maltsaürask, emane
Curculionidae	Kärsaklased	<i>Scolytus triarmatus</i> ♂	jalaka-maltsaürask, isane
Leiodidae		<i>Agathidium nigripenne</i>	
Histeridae	roisklased	<i>Hololepta plana</i>	

Histeridae	roisklased	<i>Paromalus parallelepipedus</i>	
------------	------------	---------------------------------------	--

LISA 3. 2019.a istutatud puude tervislik hinnang ja puude kõrgus (cm). Suremuse hinnang tehti septembris 2020, lühendite tähendus on toodud tabelis 3.

Hy1		KJõ31		KPä2		JVi4		KJõ29	
120	120	40	40	58	67	53	29	54	47
113	120	50	37	37	65	25	54	53	65
133	116	56	42	35	57	19	32	36	54
160	146	62	37	50	88	69	35	35	18
Hy2		KTA14		JTA8		JPä12		JTA22	
118	132	164	54	44	61	43	75	57	70
170	146	45	47	59	70	29	x	60	31
159	150	32	59	48	52	38	x	58	x
166	156	124	25	45	61	68	38	56	77
		JJõ33		JVi11		KTA24		Lut	
		30	53	36	40	63	58	116	54
		68	x	19	29	38	46	62	73
		x	50	40	28	30	43	67	76
		43	36	44	40	44	52	82	46
		KJõ25		KPä2		KJõ29		JTA8	
		60	36	35	60	32	35	52	56
		86	30	15	40	37	23	34	30
		49	50	21	61	56	33	67	41
		67	55	32	55	45	61	62	58
		Lut		KTA24		JTA22		KTA14	
		115	35	102	98	81	86	67	46
		80	61	65	52	54	60	42	47
		83	49	85	68	93	65	52	65
		26	58	54	60	58	63	75	40
				KJõ25		JJõ33		JVi4	
				60	44	53	36	36	36
				28	57	34	52	48	43
				50	48	32	70	48	48
				52	43	55	47	53	53
				KJõ31		JVi11		JPä12	
				49	58	53	69	29	60
				28	61	53	50	97	42
				30	90	47	41	50	15
				56	36	34	49	27	59
						Hy2		Hy1	
						120	?	155	172
						?	138	160	178
						149	154	168	151
						141	151	173	160

KTA14		KJõ25		JTA22		JJõ33		JPä12		KTA24							
40	31	37	40	37	34	36	42	40	45	73	44						

70	48	63	40	24	42	38	78	46	20	38	31						
40	94	55	41	37	33	49	68	50	76	18	23						
28	46	20	31	30	x	46	33	32	40	28	39						
				KJö31		KPä2		JVi4		Lut		KJö29		JVi11		JTa8	
				39	53	x	25	49	55	49	70	45	120	40	48	53	33
				90	30	24	26	44	96	73	77	57	46	85	39	57	63
				19	51	27	34	37	52	65	47	64	55	60	82	35	40
				60	60	79	40	24	65	16	73	60	30	46	61	57	13

LISA 4 Jalaka liikide võrsetelt isoleeritud ja määratud seened

Proovi ID	Seene liik	Proovi päritolu
14651	<i>Didymella sp.</i>	Ukraina
18536	<i>Aureobasidium pullulans</i>	Rõngu
18539	<i>Cladosporium herbarum</i>	Rihkama
18919	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Adavere
18929	<i>Didymella macrostoma</i>	Suure-Kõpu
19373	<i>Fusarium lateritium</i>	Reiu
19378	<i>Aureobasidium pullulans</i>	Halliste
19651	<i>Didymella macrostoma</i>	Vana-Võidu
19652	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Pärnu-Jaagupi
19657	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Suuremõisa
19659	<i>Diaporthe eres</i> v <i>Phomopsis</i>	Suuremõisa
19660	<i>Diaporthe eres</i> v <i>Phomopsis</i>	Laupa
19665	<i>Cladosporium herbarum</i>	Valli
19666	<i>Fusarium lateritium</i>	Valli
19667	<i>Phomopsis</i>	Kuressaare
19668	<i>Aureobasidium pullulans</i>	Kuressaare
19671	<i>Trichoderma viridescens</i>	Kõrgessaare
19675	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Käina
19676	<i>Phomopsis</i>	Abja-Paluoja
19677	<i>Phomopsis</i>	Suure-Jaani
19678	<i>Phomopsis</i>	Tallinn
19720	<i>Boeremia exigua</i>	Koikküla (Valga)
19724	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Tallinn
19726	<i>Didymella macrostoma</i>	Rõuge
19952	<i>Phomopsis</i>	Pihtla
19957	<i>Nectria cinnabarina</i>	Valga
19962	<i>Phomopsis</i>	Misso
25717	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Toila
26047	<i>Phoma sp.</i>	Pahkla
26048	<i>Fusarium sp.</i>	Tuhala
26054	<i>Diaporthe eres</i>	Riidaja
26055	<i>Alternaria sp.</i>	Riidaja
26056	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Kärstna
26057	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Karksi
26058	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Karksi
26059	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Karksi
26060	<i>Dothiorella sarmentorum</i>	Karksi
26061	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Arkna
26062	<i>Phoma sp.</i>	Essu
26063	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Rakvere
26064	<i>Dothiorella sarmentorum</i>	Rakvere
26065	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Rakvere
26066	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Rakvere
26130	<i>Aureobasidium pullulans</i>	Karksi
26131	<i>Didymella macrostoma</i> , <i>Phoma sp.</i>	Karksi
26137	<i>Aureobasidium pullulans</i>	Roosna-Alliku

26138	<i>Aureobasidium pullulans</i>	Roosna-Alliku
26143	<i>Diaporthe eres</i> v <i>Phomopsis</i>	Luuu
26144	<i>Dothiorella sarmentorum</i>	Luuu
26146	<i>Diaporthe eres</i> v <i>Phomopsis</i>	Luuu
26147	<i>Dothiorella sarmentorum</i>	Luuu
26215	<i>Diaporthe eres</i> v <i>Phomopsis</i>	Tallinn
26490	<i>Neohendersonia kickxii</i>	Tuhala
26491	<i>Fusarium lateritium</i>	Karksi
26492	<i>Nectria cinnabarina</i>	Karksi
26493	<i>Fusarium lateritium</i>	Eisma
26494	<i>Fusarium lateritium</i>	Essu
26495	<i>Fusarium lateritium</i>	Rakvere
26497	<i>Aureobasidium pullulans</i>	Rakvere
26498	<i>Cryptovalsa ampelina</i>	Rakvere
26499	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Triigi
26925	<i>Sphaeropsis ulmicola</i>	Padise
26926	<i>Aureobasidium pullulans</i>	Padise
26927	<i>Cryptovalsa ampelina</i>	Vihterpalu
26929	<i>Fusarium sp.</i>	Vihterpalu
26930	<i>Didymella macrostoma</i>	Paldiski
26931	<i>Protofenestella ulmi</i>	Paldiski
26932	<i>Alternaria sp.</i>	Paldiski
26933	<i>Cladosporium sp.</i>	Veski-Kruusiaugu