



## 7. PROJEKTI TULEMUSED (maksimaalselt 10 lehekülge)

### 7.1 Projekti lühikokkuvõte (maksimaalselt 500 tähemärki)

Projekti eesmärgiks oli analüüsida hariliku kuuse kasvukiirust, füsioloogiat ja kaitsevõimet erinevates kuusele sobilikes metsakasvukohatüüpides. Igas kasvukohatüübis võrreldi puhtpuistus ja erineva kuuse osakaaluga segametsa tingimustes kasvanud analüüsipuude tunnuseid. Dendroklimatoloogilise analüüsi ja metsaökosüsteemi õhu- ja mullaniiskusega manipuleerimise katse (FAHM) andmete põhjal selgitati ka kliimategurite mõju kuuskede kasvule ja kaitsevõimele erinevates kasvutingimustes.

### 7.2 Abstract (maksimaalselt 300 tähemärki)

This project aimed to analyze Norway's spruce growth rate, physiology, and defensive potential in different forest site types suitable for spruce growth. Also, the impact of climate factors on spruce growth and defence in various growing conditions was elucidated.

### 7.3 Ülevaade tulemustest

#### 7.3.1 Lähtealus

Harilik kuusk on ökoloogiliselt ja majanduslikult üks olulisemaid puuliike nii Eestis kui kogu Kesk- ja Põhja-Euroopa regioonis. Samas on kuuse kasv ja eluiga olulisel määral mõjutatud tema toimetulekust puid kahjustavate mardikaliste ja seenhaigustega. Biotiliste kahjustajate vastu toodab harilik kuusk nii vaiku kui spetsiifilisi kaitseaineid (sh. fenoolsed ühendid). Seejuures on rohke vaiguvool iseloomulik eelkõige reaktsioonina traumaatilisele sündmusele – stressifaktorite puudumisel traumaatilisi vaigukäike ei toodeta ja vaiguvool on vähene. Kuna vaigu ja kaitseainete massiline tootmine on energeetiliselt kulukad, võib esineda lõivsuhe puu kasvu ja kaitseainete produktsiooni vahel. See võib omakorda olla mõjutatud kasvuks/kaitseks vajalike ressursside kättesaadavusest erinevates kasvukohatingimustes. Käesoleva projekti eesmärgiks oli analüüsida hariliku kuuse kasvukiirust, füsioloogiat ja kaitsevõimet erinevates kuusele sobilikes metsakasvukohatüüpides, mis erinevad eelkõige niiskustingimuste poolest. Igas kasvukohatüübis võrreldi puhtpuistus ja erineva kuuse osakaaluga segametsa tingimustes kasvanud analüüsipuude tunnuseid. Dendroklimatoloogilise analüüsi ja metsaökosüsteemi õhu- ja mullaniiskusega manipuleerimise katse (FAHM) andmete põhjal selgitati ka kliimategurite mõju kuuskede kasvule ja kaitsevõimele erinevates kasvutingimustes.

#### 7.3.2 Uurimisalad ja katse disain

Keskealiste puistute proovitükid ( $n = 15$ , pindalaga 0,1 ha) rajati kuusele sobilikes kasvukohatüüpides (kkt): sinilille (SL), jänese kapsa (JK), jänese kapsa-kõdusoo (JO), angervaksa (AN) ja tarna-angervaksa (TA) (**Tabel 1**), mis moodustasid niiskusrežiimi gradiendi perioodiliselt põuakartlikust SL kkt-st kuni perioodiliselt liigniiskete AN ja TA kkt-ni. Proovitükkide kirjeldused koos puude asetusega on esitatud **Lisas 1**. Projekti teostamise ajal viidi TA ja AN kkt-s proovitükkidega eraldiste vahetus läheduses läbi täiendavad kraavitused. Erinevalt teistest kkt-st oli TA-s maapind vallitatud, mistõttu mets kasvas ca 2 m laiustel (harja kõrgusega 0,4-0,6 m) kirde-edela suunalistel vallidel mille nõod olid püsivalt liigniisked. Igas kasvukohatüübis valiti 3 keskealist puistut sõltuvalt kuuse rinnaspindala osakaalust puistus: 30-50% (leht), 50-85% (ku+), 85-100% (puht). Proovitükid tähistati ning viidi läbi puude peamiste takseertunnuste (kõrgus, tüve rinnasdiameeter, elusvõra pikkus ja diameeter) ülepinnaline mõõtmine Vertex IV kõrgusmõõtja ja Haglöf DPII digiklupi abil ning kaardistati kõigi puude (DBH>5 cm) asukohad Haglöf Postex süsteemi abil. Kogutud andmete põhjal arutati puuliikide keskmised kasvutunnused ja analüüsipuid mõjutava liigisisese ja liikidevahelise konkurentsi intensiivsust iseloomustavad indeksid (**Lisa 2.1**). Igalt proovitükilt koguti mullakeemia (pH, C, N, P, K) analüüsiks üks koondproov 10st üle ala kogutud alamproovist (**Tabel 2**).

**Tabel 1.** Metsamaa proovitükkide puistuid ja puid iseloomustavad tunnused ( $n$  – puude arv,  $G$  – puistu ristlõikepindala,  $H$  – keskmine kõrgus, DBH – keskmine rinnasdiameeter).

Proovitükk	Kogu puistu		Kuused					
	$n$ , puud $ha^{-1}$	$G$ , $m^2 ha^{-1}$	$n$ kuused $ha^{-1}$	Vanus*, a	$H$ , m	DBH, cm	$G$ , $m^2 ha^{-1}$	Kuuse osakaal, %
1. JK puht	820	36,3	620	47	24	24,1	35,5	98
2. JK ku+	1140	35,1	620	47	23	22,1	23,9	68
3. JK leht	990	28,9	380	47	22	21,9	14,3	49

4. AN puht	1290	28,3	1250	51	19	16,8	27,6	98
5. AN ku+	2050	32,4	1250	57	18	14,7	21,2	65
6. AN leht	1880	42,1	830	65	18	14,4	13,5	32
7. JO puht	1530	29,7	1210	49 (35-80)	18	16,6	26	88
8. JO ku+	1280	32,3	640	36 (32-50)	18	20	20,1	62
9. JO leht	1710	34,4	540	36 (36-40)	17	17,9	13,5	39
10. TA puht	1310	20,3	930	46	16	15,5	17,7	87
11. TA ku+	2530	25,2	870	46	16	15	15,3	61
12. TA leht	2010	24,8	480	46	16	16,8	10,6	43
13. SL puht	1890	38,5	1640	36 (35-40)	20	16,6	35,6	92
14. SL ku+	1510	29	1060	39 (35-40)	18	15,2	19,4	67
15. SL leht	1600	29,6	520	34 (30-40)	18	15,8	10,2	34

\* vanus on leitud igal proovitükil 10-lt kuuselt võetud puursüdame põhjal

**Tabel 2.** Metsamaa proovitükkide ülemise 20 cm mullakihi mullekeemia ja kaeve alusel määratud mullaliik.

Proovitükk	pH	N, %	P, mg/kg	K, mg/kg	C, %	C:N suhe	Mullaliik ja šiffer	
1. JK puht	3,6	0,17	13	39	2,2	13,3	Gleistunud hele näivleetunud muld	L(P)g
2. JK ku+	4,7	0,21	39	32	3,1	14,9	Gleistunud hele näivleetunud muld	L(P)g
3. JK leht	3,7	0,27	39	44	3,8	14,1	Gleistunud hele näivleetunud muld	L(P)g
4. AN puht	2,9	1,17	69	134	32,6	27,9	Leetjas gleimuld	GI
5. AN ku+	3,6	1,06	67	135	32,9	30,9	Leetjas gleimuld	GI
6. AN leht	4,2	1,08	51	110	19,9	18,5	Leetjas gleimuld	GI
7. JO puht	4,3	2,08	13	113	47,0	22,6	Väga õhuke madalsoomuld	M`
8. JO ku+	5,0	0,72	6	46	10,9	15,1	Väga õhuke madalsoomuld	M`
9. JO leht	4,9	1,39	6	44	24,8	17,9	Väga õhuke madalsoomuld	M`
10. TA puht	3,4	0,23	54	80	5,9	25,7	Küllastumata turvastunud muld	GI1
11. TA ku+	4,4	0,26	35	70	7,1	27,2	Küllastumata turvastunud muld	GI1
12. TA leht	4,9	0,35	49	64	7,5	21,5	Küllastumata turvastunud muld	GI1
13. SL puht	5,8	0,16	8	56	2,1	13,0	Leostunud muld	Ko
14. SL ku+	7,1	0,17	6	54	3,0	17,4	Leostunud muld	Ko
15. SL leht	6,2	0,12	7	40	1,7	14,9	Leostunud muld	Ko

Metsaökosüsteemi õhu- ja mullaniiskusega manipuleerimise katsealal (FAHM, <http://fahm.ut.ee/?lang=et>) viidi mõõtmised läbi 9 katseringis. Katseringid jagunevad: 3 kontrollala; 3 ala, kus suurendatakse suhtelist õhuniiskust ca ~5% ümbritseva õhuga võrreldes ja 3 ala, kus suurendatakse kastmise teel mullaniiskust ~15%. 2020. a kevadel katseringidesse istutatud kuused olid 3-aastased RMK Rápina taimla päritolu pott-põld taimed, mis 2023. a. lõpuks olid 7-aastased. Igas katseringis on 3 puistutüüpi: arukase ja kuuse puhtpuistud ning kuuse-kase (50:50) segapuistu.

### 7.3.3 Tulemused ja arutelu

#### 7.3.3.1 Metsamaa proovitükid viies kasvukohatüübis ja erineva kuuse osakaaluga puistutes

Mõõtmised proovitükkidel viidi läbi 2021. ja 2022. aastal. Vaatlusaastate keskkonnatingimused erinesid kuude lõikes märkimisväärselt. 2021. aasta juuni-juuli olid kuumemad ja kuivemad kui 2022. aastal - seda võrreldes ka pikaajalise keskmisega (**Lisa 2.2**).

### 1) Puude kasv

Kuna aastarõngaste põhjal määratud analüüsi puude vanus varieerus vahemikus 30-80 aastat (prt. keskmistena: 34-65a), kasutati metsa kasvukohatüübi mõju statistilises analüüsis vanusega korrigeerimist (kkt mõju hinnati analüüsi puude keskmise vanuse, s.o. 45a juures). Kkt-de võrdlus erinevate kasvunäitajate põhjal on esitatud **Tabelis 3**. Kõrguse keskmine juurdekasv (H.mai) sõltus kkt-st ( $p<0,001$ ) ja puistu koosseisust ( $p=0,041$ ). Kõige paremini kasvasid kuused JK ja SL kkt-des ning aeglasemalt TA ja AN kkt-des. Kuuskede keskmine H.mai oli puhtpuistus vastavalt 5% ja 8% suurem kui kuuse enamusega ja lehtpuu enamusega segapuistus, sõltumata kkt-st. DBH.mai-le avaldus kkt ja puistu koosseisu koosmõju ( $p=0,003$ ). JK-s ja SL-s oli puude senine kasv parem puhtpuistus, võrreldes segapuistutega ning JO-s kuuse enamusega segapuistus. Viimase 5a juurdekasvule avaldus kkt ja puistu koosseisu koosmõju ( $p=0,034$ ). SL ja TA kkt-des oli viimase 5a tüve raadiuse juurdekasv parem lehtpuu enamusega segapuistus. Suhtelisele diameetri juurdekasvule avaldus samuti puistu koosseisu ja kkt koosmõju ( $p<0,001$ ). Suhteline DBH juurdekasv oli suurim AN-s ja väiksem JK-s. AN-s oli suhteline juurdekasv parem puhtpuistus ning JO-s lehtpuu enamusega segapuistus. AN tulemus võis peegeldada reaktsiooni 2014/15 harvendusraiale. JK-s oli viimane harvendus 2012, teistes kkt-s harvendusraieid teada ei ole. Tüve ristlõikepindala juurdekasv sõltus kkt-st ( $p=0,005$ ), olles suurim JK- s ja väiksem AN-s ning TA-s.

**Esimese 45 aasta jooksul oli kuuskede kõrguskasv suurim puhtpuistus ja kõige väiksem lehtpuu enamusega segametsas**, ilmselt lehtpuude kiirema kasvu ja varjutava mõju tõttu noores eas. **Kuuse parem jämeduskasv segametsas tuli esile viimasel 5-l aastal**, v.a. AN kkt-s. AN lehtpuu enamusega segapuistu ristlõikepindala ja keskmist puudevahelist konkurentsi iseloomustavad indeksid olid 15-st proovitükist suurimad, mis avaldas järelikult tugevat negatiivset mõju keskmisele juurdekasvule.

**Tabel 3.** Kuuskede keskmised kasvutunnused (vanusega korrigeeritud, keskmine vanus=45a) eri kasvukohatüüpides (kkt). Väiketähed näitavad kkt-de vahelisi statistiliselt olulisi erinevusi (Tukey test). Kui puistutüüp (puht, ku+, leht) omas kasvutunnusele antud kkt-s olulist mõju on parima kasvuga tüüp(id) esitatud veerus PT.

kkt	H.mai (m/a)	PT	DBH.mai (cm/a)	PT	$\Delta r5$ (mm)	PT	$\Delta g5$ (cm <sup>2</sup> )	PT	$\Delta rs5$ (%)	PT
AN	0,42 ab	puht	0,40 ab	-	8,0 a	-	36,2 a	-	10,7 b	puht
JK	0,49 c	puht	0,55 c	puht	8,6 a	-	60,5 b	-	7,7 a	-
JO	0,42 ab	puht	0,53 bc	ku+	7,9 a	-	48,2 ab	-	7,7 ab	leht
SL	0,46 bc	puht	0,55 bc	puht	9,7 a	leht	60,2 ab	-	9,3 ab	-
TA	0,38 a	puht	0,43 a	-	7,2 a	leht	37,7 a	-	7,9 ab	-

H.mai – kõrguse keskmine aastane juurdekasv, DBH.mai – rinnadiameetri keskmine aastane juurdekasv,  $\Delta r5$  – tüve raadiuse viimase 5a juurdekasv,  $\Delta g5$  – tüve ristlõikepindala viimase 5a juurdekasv,  $\Delta rs5$  – tüve raadiuse viimase 5a suhteline juurdekasv

Elusvõra alguse kõrgusele, suhtelisele pikkusele ja võra diameetrile avaldus kkt ja puistu koosseisu koosmõju (vastavalt:  $p=0,002$ ;  $p=0,005$  ja  $p=0,024$ ) (**Tabel 4**). Võra algas kõrgemal JK, SL ja AN kkt-des. Puhtpuistus algas võra kõrgemalt JK, SL ja JO kkt-des. Elusvõra suhteline pikkus oli suurim JO-s ja TA-s ning väiksem SL-s ja JK-s. Kõigis kkt-des peale AN, oli elusvõra osakaal suurim lehtpuu enamusega segapuistus. Elusvõra diameeter oli suurim JO, JK ja SL kkt-des, ning kahes kkt-s (SL, TA) oli võra läbimõõt suure lehtpuu enamusega segapuistus. **Kuuse elusvõra mõõtmetele avaldus segametsa soodne mõju (madalam elusvõra algus, suurem suhteline võrapikkus, suurem võra diameeter), mis võib edasises kasvus anda eelise, võrreldes puhtpuistutega.**

**Tabel 4.** Kuuskede keskmised elusvõra iseloomustavad tunnused (vanusega korrigeeritud, keskmine vanus=45a) eri kasvukohatüüpides (kkt). Väiketähed näitavad kkt-de vahelisi statistiliselt olulisi erinevusi (Tukey test). Kui puistutüüp (puht, ku+, leht) omas tunnusele antud kkt-s olulist mõju on parima kasvuga tüüp(id) esitatud veerus PT.

kkt	Hva (m)	PT	SHV (%)	PT	DV (m)	PT
AN	7,5 b	-	61 ab	-	3,4 a	-
JK	8,5 b	puht	62 a	leht	4,8 b	-
JO	4,7 a	puht	74 c	ku+, leht	5,1 b	-

SL	8,4 b	puht, ku+	57 a	leht	4,7 b	leht
TA	5,5 a	-	68 b	leht	3,7 a	leht

Hva – elusvõra alguse kõrgus maapinnast, SHV – suhteline võrapikkus, DV – võra diameeter

Kuna iga 0,1-hektarilise ringproovitüki kohta määratud kuuse osakaal segametsades ei peegelda päris täpselt iga üksikpuu lähiümbruse liigilist koosseisu, arvutati kõigile analüüsipuudele lähiümbruse kuuse ja lehtpuude osakaal 6 m raadiuses, lähtudes ristlõikepindalast. Seejärel analüüsiti kuuse osakaalu mõju vaatluspuu kasvatunnustele (**Tabel 5**). Analüüsipuude H.mai suurenes lähiümbruse kuuse osakaalu tõustes, kuid antud seos polnud statistiliselt oluline AN ja TA kkt-s. DBH.mai oli kuuse osakaalust vähem mõjutatud, seos oli oluline vaid JK-s. Viimase 5a juurdekasvule avaldus üle kõigi kkt-de kuuse osakaalu negatiivne mõju, mis kkt kaupa analüüsidest oli oluline siiski vaid TA-s (kõige niiskemas kkt-s). Lähiümbruse kuuse osakaal mõjutas kõige rohkem elusvõra tunnuseid: mida suurem oli lehtpuude osakaal, seda madalamal algas võra, ning seda suurem oli elusvõra osakaal ja võra läbimõõt.

**Tabel 5.** Lähinaabruse ( $r=6m$ ) kuuse osakaalu mõju (standardiseeritud koefitsiendid lineaarse segamudeli põhjal) kuuse kasvu ja võra tunnustele erinevates kasvukohatüüpides (kkt), seoste statistiline olulisus (vanusega korrigeeritud, keskmine vanus=45a): (\*) $p<0,1$ ; \* $p<0,05$ ; \*\* $p<0,01$ ; \*\*\* $p<0,001$ .

kkt	H.mai	DBH.mai	$\Delta r5$	$\Delta g5$	$\Delta rs5$	Hva	SHV	DV
AN	0,11	-0,05	-0,06	-0,02	-0,20	0,78***	-0,65***	-0,30(*)
JK	0,42**	0,38*	-0,08	0,20	-0,34	0,54***	-0,30(*)	0,12
JO	0,25*	0,10	-0,17	-0,04	-0,25	0,12	-0,09	0,01
SL	0,30**	0,02	-0,26	-0,17	-0,29	0,54***	-0,46**	-0,27
TA	-0,14	-0,12	-0,62**	-0,49*	-0,49*	0,19***	-0,34*	-0,47*
Kõik	0,19***	0,07	-0,24*	-0,10	-0,31**	0,43***	-0,37***	-0,18*

H.mai – kõrguse keskmine aastane juurdekasv, DBH.mai – rinnasdiameetri keskmine aastane juurdekasv,  $\Delta r5$  – tüve raadiuse viimase 5a juurdekasv,  $\Delta g5$  – tüve ristlõikepindala viimase 5a juurdekasv,  $\Delta rs5$  – tüve raadiuse viimase 5a suhteline juurdekasv, Hva – elusvõra alguse kõrgus maapinnast, SHV – suhteline võrapikkus, DV – võra diameeter

## 2) Võrsete/okaste füsioloogilised näitajad

Võrsete/okaste füsioloogilised mõõtmised viidi läbi võra ülaosast lõigatud võrsetel. Võrsete lõikamiseks kasutati teleskooplõikurit. 2021. a. toimusid mõõtmised üheaastastel võrsetel (moodustunud 2020. a. kevadel) ajavahemikul 25.05-11.06. Järgmisel aastal toimusid mõõtmised ajavahemikul 2-18.08 samal aastal moodustunud võrsetel. Mõlemal aastal toimusid mõõtmised viies kkt-s kahe erineva kuuse osakaaluga (leht, puht) puistutes. Kokku analüüsiti 98 puu andmed. Mõõdetud võrsetel määrati ka okaste toitainete sisaldused (NPK). Olulisemad mõõdetud ja arvatud tunnused olid: õhulõhede juhtivus veeaurule ( $g_s$ ), võrse hüdrauline juhtivus ( $K_s$ ), neto-fotosüntees okaste pinnaühikule ( $P_a$ ), neto-fotosüntees okaste massiühikule ( $P_m$ ), okka lämmastiku sisaldus pinnaühikule ( $N_a$ ), okaste lämmastiku protsent (N%), fotosünteesi lämmastiku kasutamise efektiivsus (PNUE).

Kasvukohatüübil puudus oluline mõju kõigile nimetatud tunnustele. Seevastu **kuuse osakaalu vähenedes õhulõhede juhtivus, fotosüntees pinnaühikule ja okaste N sisaldus suurenesid oluliselt [2], iseloomustades soodsamaid tingimusi segapuistus**. Kuigi okaste N sisalduse suurenemine ei olnud otseselt seotud mulla N sisaldusega (va. JK ja TA kkt's kus puhtpuistu mulla N% oli selgelt madalam kui segapuistus), oli segapuistu mulla pH keskmiselt 0,8 ühikut kõrgem kui puhtpuistus (**Tabel 2**). Arvestades kuusikute mulla happelist reaktsiooni, on see märkimisväärne erinevus, mis võib soodustada N vormide kättesaadavust puude jaoks segapuistus.

2022. a. mõõdetud (noorematel) võrsetel oli oluliselt ( $p<0,05$ ) suurem N%,  $P_m$  ja  $K_s$  kui aasta vanematel võrsetel. Võrse vanusel ja kuuse osakaalul oli oluline ( $p<0,05$ ) koosmõju lämmastiku kasutamise efektiivsusele (PNUE). Kui noorematel võrsetel ei sõltunud PNUE kuuse osakaalust puistus, siis vanematel võrsetel suurenes PNUE kuuse osakaalu vähenedes. Kuna vanematel võrsetel viidi mõõtmised läbi hiliskevadel/varasuvel, siis on tõenäoline, et PNUE varieeruvus sõltuvalt kuuse osakaalust puistus olid tingitud erinevatest kevadistest valgustingimustest. Segapuistus oli kevadel valgust rohkem kui kuuse puhtpuistus (**Tabel 6**) ning **segapuistu suurem fotosünteesi lämmastiku kasutamise efektiivsus**

peegeldab fotosünteesi aparadi kohanemist kevadistele valgustingimustele. Kuuse osakaalu mõju puudumine PNUE'le samal aastal moodustunud võrsetel on seletatav sarnaste valgustingimustega puht ja segapuistus suvel (uute võrsete moodustumise ajal). PNUE oli nõrgas negatiivses seoses Hegyi konkurentsindexiga, iseloomustades ressursi (valgus, toitained) limitatsiooni mõju fotosünteesi aparadile [2] konkurentsiasuritud puudel.

**Tabel 6.** Proovitükkide (Prt) keskmised mulla veepotentsiaalid ( $\Psi$ , kPa) juunist-oktoobrini ja puistu valgustingimused aprillis ning juulis. Veepotentsiaalid on mõõdetud 15-20 cm sügavusel. Puistu avatuse hinnang (OP, %) on saadud alustaimestiku kohalt pildistatud poolsfääri fotode analüüsil 2023. aastal.

Prt.	$\Psi$ 2021	$\Psi$ 2022	OP aprill	OP juuli
1. JK puht	-	-24,5	3,7	2,5
2. JK ku+	-	-	7,6	2,7
3. JK leht	-24,4	-15,9	10,1	2,8
4. AN puht	-	-	3,5	3,0
5. AN ku+	-	-	8,3	2,4
6. AN leht	-27,1	-26,2	12,8	4,0
7. JO puht	-	-28,1	7,3	4,6
8. JO ku+	-	-	10,0	5,0
9. JO leht	-22,1	-25,4	13,1	5,4
10. TA puht	-	-10,5	9,1	7,2
11. TA ku+	-	-	12,9	4,6
12. TA leht	-36,4	-11,7	25,6	5,9
13. SL puht	-	-	4,8	2,9
14. SL ku+	-	-	9,8	3,5
15. SL leht	-96,0	-159,3	18,3	4,3

### 3) Okaste ja koore fenoolsed ühendid

Okaste fenoolsete ühendite analüüs viidi läbi samadel puudel, millel toimusid võrsete füsioloogilised mõõtmised 2021-2022. a. Kooreproovid korjati 2022. aasta septembris. Fenoolsete ühendite analüüs viidi läbi HPLC-DAD-MS/MS meetodil. Okaste fenoolsete ühendite koondsisaldus (TPC) erines oluliselt kkt-de vahel: JK > AN > SL > JO > TA. Erinevus kkt-de vahel on seletatav valgustingimuste erinevusega, kuna TPC ja kasvukoha keskmise OP vahel esines väga tugev positiivne seos ( $R^2=0,95$ ;  $p<0,01$ ). Okaste TPC ja kondenseerunud tanniinide (CT) sisaldus oli oluliselt suurem kuuse puhtpuistus, võrreldes segapuistuga. Samuti esines negatiivne seos TPC ja N% vahel ( $R^2=0,30$ ;  $p<0,001$ ). Varasemad uuringud on näidanud, et lämmastiku limitatsioon viib sageli fenoolsete ühendite kuhjumisele taimes. Meie analüüsitud puudel oli okaste N<sub>a</sub> puhtpuistus väiksem kui segapuistus [2]. Samuti oli sama aasta võrsetel okaste N% oluliselt väiksem puhtpuistus, viidates mulla lämmastiku kehemale kättesaadavusele puhtpuistus. N väiksem kättesaadavus võib olla tingitud nii kasvukoha mulla omadustest kui ka puude kasvamise käigus seotud N hulgast. Antud tulemused iseloomustavad kuuse potentsiaalselt suuremat kaitsevõimet puhtpuistus, mis on tingitud fenoolsete ühendite akumulatsioonist N limitatsiooni suurenemisel puistu kasvamise käigus. Samas tuleb arvestada, et fenoolsete ühendite roll taimedes on väga varieeruv ning TPC suureneb paremates valgustingimustes, olles seotud fotosünteesiaparadi kaitsmisega kiirgusstressi vastu.

Koore TPC ja CT sisaldus erinesid oluliselt kkt-de vahel (üldfenoolid: AN > TA > JO > JK > SL; kondenseerunud tanniinid: AN > TA > JK > JO > SL). Erinevalt okastest ei sõltunud koore TPC oluliselt kuuse osakaalust puistus. Lehtpuu enamusega segapuistus esinesid olulised ( $p<0,05$ ) positiivsed korrelatsioonid ( $r >0,4$ ;  $p<0,05$ ) fenoolsete ühendite (TPC, CT ja hüdroksükaneelhappe derivaadid) ja puude kõrguse juurdekasvu (H.mai) vahel. 2022. a. oli nii okka kui koore TPC segapuistus positiivselt seotud ( $r >0,4$ ;  $p<0,05$ ) tüve raadiuse juurdekasvuga samal aastal. Kuuse enamusega puhtpuistus nimetatud seosed puudusid. Tulemused viitavad, et soodsates kasvutingimustes paraneb segapuistus samaaegselt kasvuga ka vastupanuvõime kahjustajatele. Kui puhtpuistus oli TPC foon kõrgem

sõltumata puu kasvust, siis segapuistus, kus valitsevad soodsamad valgustingimused (**Tabel 6**) ja ka ilmselt parem N kättesaadavus, suureneb kaitseainete tootmine pigem kiirema kasvuga puudel.

#### 4) Tüve veevool

Tüve veevoolu mõõdeti 2021. ja 2022. a. suvel viies lehtpuu enamusega segapuistus (AN, JK, JO, SL, TA) ja 2022. a. lisaks ka kolmes kuuse puhtpuistus (JK, JO, TA). Igal proovitükil varustati ksüleemivoolu süsteemidega (EMS81) 3-4 puud. 2021. a. sademetevaesed juuni-juuli (**Lisa 2.2**) võimaldasid hinnata põua mõju puudele erinevates kasvukohatüüpides. Näide 2021. a. keskmisest tüve veevoost ja mulla veepotentsiaalidest SL ja AN kkt-des on esitatud **Lisas 2.3**. Võrreldes ksüleemivoo tihedust ( $F$ ) põuaeelset (DOY 163-179) ja põuaaegset (DOY 190-225) perioodil ilmneb suurim erinevus AN ja TA kkt-des (**Tabel 7**). Vaatamata AN ja TA alade suhtelisel kõrgetele mulla veepotentsiaalidele põua tingimustes (võrreldes kuivema SL kasvukohatüübiga), osutusid nende kkt-de puud kõige tundlikumaks põuale. Seega, **põuatundlikkus ei sõltunud mitte niivõrd kasvukoha mulla veesisaldusest, kuivõrd sellest millistes niiskustingimustes olid puud kohanenud kasvama**. Siiski tuleb silmas pidada, et TA kkt-s kasvasid kuused enamasti kõrgematel vallidel, mis olid põuasel suvel nähtavasti tavapärasest kuivemad. Võrreldes teiste kkt-ga olid TA-s sügisesed tüve ksüleemivood kõige madalamad, iseloomustades aeglasemat põuast taastumist. Kuna nii TA kui AN proovitükkide läheduses toimus 2021. a. täiendava metsakuivenduse rajamine, siis ei saa välistada selle tegevuse osalist mõju puude reaktsioonile.

**Tabel 7.** Puude keskmine ksüleemivoo tihedus ( $F$ ) ja mulla veepotentsiaal ( $\Psi$ , 15-20 cm sügavusel) põuaeelset (DOY 163-179; 12-28 juuni) ja põuaaegset (DOY 197-208; 16-27 juuli) perioodil.

kkt.	Põuaeelne (DOY 163-179)		Põuaaegne (DOY 197-208)		Perioodide vaheline $F$ erinevus	
	$F$	$\Psi$	$F$	$\Psi$	erinevus $\times$	$p$ väärtus
AN	3,4	-17	0,4	-92	8,5	0,013
JK	2,2	-13	1,2	-108	1,3	0,089
JO	2,0	-17	1,3	-41	1,5	0,049
SL	2,9	-138	0,9	-223	3,2	-
TA	2,4	-11	0,5	-68	4,8	0,024

#### 5) Tüve vaiguvool ja seda kujundavad tegurid

Tüve vaiguvoolu (mg ööpäevas) mõõdeti kolmel korral 2021. ja üheksal korral 2022. aastal (juunist augustini). Vaigu kogumiseks kasutati tüvesse paigutatud 5 ml perforeeritud süstlaid [3]. Vaigukorje kestus oli 24h (2021) või 7 ööpäeva (2022). Kokku koguti vaiku 155 puult. Vaigukorje analüüsi ei kaasatud puud mille tüvel tuvastati üraseki tegevusjäljed. Nende puude analüüs ja võrdlus kahjustamata puudega viidi läbi eraldi. Esimese vaigukorje (20.06.2021) analüüs, mis viidi läbi kuumalaine ajal ürasekikahjustuseta puudel, näitas oluliselt suuremat vaiguvoolu AN-s võrreldes JK, JO ja SL-ga. 2021. a. juulis-augustis oluline erinevus kkt-de vahel kadus. 2022. a. vaigukorje analüüsil osutusid suurima vaiguvooluga kasvukohtadeks JK ja AN, kus vaiguvool oli oluliselt suurem kui SL kkt-s. Kummalgi aastal ei sõltunud vaiguvool kuuse osakaalust puistus. Erinevalt puhtpuistust oli tüve vaiguvool segapuistutes (leht, ku+) positiivselt ( $p < 0,05$ ) seotud puu suurust ja konkurentsivõimet iseloomustavate parameetritega: DBH, H, suhteline kõrgus puistus (H.rel), Hegyi indeks. Puhtpuistus oli vaiguvool aga negatiivselt seotud puu suhtelise kõrgusega ( $p < 0,05$ ). **Suurem vaiguvool domineeriva kasvuga puudel iseloomustab nende suuremat kaitsevõimet segapuistus, viidates kasvu ja kaitse lõivsuhte puudumisele olukorras kus ressursid (valgust, toitaineid) on piisavalt**. Lehtpuu enamusega segapuistus oli puu vaiguvool positiivselt seotud ka okaste CT sisaldusega ( $R^2=0,28$ ;  $p < 0,01$ ). Kuuse puhtpuistus antud seos puudus. 2021. a. oli tüve vaiguvool olulises positiivses seoses ( $R^2 > 0,4$ ;  $p < 0,01$ ) ksüleemivoo tiheduse, tüve ja õhu temperatuuriga, kuid mitte mulla veepotentsiaaliga. Saadud tulemused iseloomustavad eeskätt kõrgete temperatuuride mõju vaiguvoolu suurenemisele.

Kirjeldamiseks puude vaiguvoolu kujundavaid tegureid, analüüsiti vertikaalseid vaigukäike ja nende parameetreid. Samadest puursüdamikest, millel mõõdeti aastarõnga laiused, tehti vaigukäikude uurimiseks standardsed mikroskoopilised preparaadid [3]. Näited aastarõngastel paiknevatest vaigukäikudest on esitatud **Lisas 2.4**. Vaiguvoolu ja vaigukäikude vaheline (positiivne) seos oli statistiliselt oluline ( $p < 0,05$ ) SL-s ja TA-s, kuid puudus teistes kkt-es. 2018. a. põua mõjul moodustus oluliselt ( $p < 0,05$ ) rohkem vaigukäike SL ja JK kkt-s, kõige vähem aga TA-s. Seejuures moodustus rohkem vaigukäike

lehtpuu enamusega proovitükkidel. Kõikides kasvukohtades ja puistu tüüpides esines oluline positiivne seos DBH ja vaigukäikude arvu vahel – **kasvus edukamad (suuremad) puud tekitasid põua tingimustes rohkem indutseeritud vaigukäike**. Kuna temperatuur on peamiseks teguriks indutseerimaks vaigukäikude arengut, siis mikroklimaatilised tingimused (rohkem kiirgust kevadel ja sellest tulenev kõrgem temperatuur) segametsas võivad soodstada vaigukäikude teket.

SL lehtpuu enamusega puistus viidi 2021. a. juunis läbi eraldi mõõtmised puudel millel tuvastati kuusekooreüraski kahjustus. Võrsete  $P_a$  ja PNUE olid kahjustustega puudel oluliselt ( $p < 0,05$ ) väiksemad kui visuaalselt tervetel puudel. Üraskikahjustusega puude tüve vaiguvool oli oluliselt ( $p < 0,05$ ) suurem kui kahjustuseta puudel (keskmine vaiguvool vastavalt 81 ja 2696 mg ööpäevas). Samuti oli kahjustatud puudel oluliselt kõrgem okaste TPC ja stilbeenide (STB) sisaldus. Stilbeenid on peamiselt seenpatogeenide vastased ühendid, mis osalevad nii konstitutsioonilise kui indutseeritud (traumaatiliste) kaitsemehhanismide kujunemisel. Seega, **üraskikahjustusega puudel olid märgatavalt suurenenud nii füüsilise (vaiguvool) kui keemilise kaitse (polüfenoolsed ühendid) komponendid**.

## 6) Dendroklimatoloogiline analüüs

Analüüsi puudelt koguti rinnaskõrguselt puud läbiv juurdekasvuproov 2022. ja 2023. a. kevadtalvel.

Aastarõnga laiused mõõdeti puursüdamikelt 0,01 mm täpsusega EMÜ Metsakorralduse dendrokronoloogia laboris kasutades LinTab mõõtelauda ja programmi TSAPWin Scientific Version 4.81c (Rinntech, German). Seejärel arvutati igale puule standardiseeritud autokorrelatsioonivabad juurdekasvuindeksid ja koostati proovitükkide (üld)kronoloogia/d, leidmaks seoseid kasvu ja kasvuperioodi ilmastikutingimuste vahel (kuude keskmiste temperatuuride ja sademete summad, andmed Keskonnaagentuurist). Kõigi alade võrdluses analüüsiti kasvu ja kliimategurite seoseid perioodil 1997-2021 (25 aastat), et võrdlus oleks puude vanust silmas pidades (**Tabel 1**) samadel alustel. Lisaks vaadati AN ja JK kkt-des seoste muutumist ajas alates 1980. aastast (korruga 25 a. periood, 1. aastase sammuga). Selgitamaks puude reaktsiooni põuale, analüüsiti viimasel 15-nel aastal toimunud kahte kogu Eestit hõlmanud põuda (2011. ja 2018. a.), kasutades vastupanu ja taastumisvõime indekseid (kasv vastavalt kolm aastat enne ja pärast näitaastat).

Analüüs näitab, et JK, JO ja TA **puhtpuistus on juurdekasvu sõltuvus ilmastikutingimustest (eeskätt temperatuurist) nõrgem kui segapuistu variantides (Tabel 8)**. JK ja JO kkt-s on radiaalne juurdekasv statistiliselt oluliselt mõjutatud ilmastikutingimustest lehtpuuga proovitükkidel, kus ilmneb negatiivne seos juuni temperatuuriga (lisaks esineb ku+ puistutes positiivne seos juuni sademetega). Juunis leiab aset intensiivseim radiaalne kasv ning kõrgemad temperatuurid ja veepuudus sel ajal võivad pidurdada kambiaalset tegevust. Juurdekasvu ja juuni temperatuuri vaheline seos on püsinud ajas stabiilsena, samuti on seda juuni sademete positiivne mõju JK (ku+) puistus. Kõige kuivemal mullal paiknevas SL kkt-s on puhtpuistus juurdekasv positiivses seoses nii juuni kui juuli sademete hulgaga ja SL (ku+) puistus juuni sademetega. **Maikuu sademete ja juurdekasvu negatiivne seos osutus oluliseks sama kkt piires märjematel, valdavalt lehtpuu enamusega proovitükkidel: JK (leht), JO (leht), AN (leht) ja AN (puht)**. Ilmselt võib liigniiskuse mõjul tekkiv juurte hapnikuvaegus ja veega küllastunud mulla aeglasem soojenemine olla põhjuseks kasvu vähenemisel. **Statistiliselt olulised negatiivsed seosed esinesid 21. sajandil, kuid puudusid varasemal perioodil**, viidates mai sademete hulga suuremale varieerumisele viimastel kümnenditel.

2011. aastal esinenud põud mõjutas enim JK ja JO kkt-de puid ja mõju oli sarnane terves kkt-s (mõõdukas vastupanu põuale). Ehkki põuajärgselt JK leht ja JK ku+ proovitükkidel kasv kolme aasta jooksul taastus, jäi see puhtpuistus põuaaegsele tasemele. JO-s puistu koosseisude vahel erinevusi ei ilmnenud. Teistes kasvukohatüüpides 2011. a. põual puude kasvule olulist mõju ei olnud. 2018. a. põua mõju oli sarnane JK, JO ja SL kkt-des (vastupanu mõõdukas), misjärel kasv taastus. **TA ku+ ja leht proovitükkidel oli vastupanu põuale madal**, puhtpuistus mõõdukas. Taastumine oli sarnane teiste põuast mõjutatud kkt-ga. Puude kasv AN-s võrreldes tavapärasega ei erinenud (vastupanu oli täielik).

**Tabel 8.** Radiaalset juurdekasvu statistiliselt oluliselt ( $p < 0,05$ ) mõjutanud kasvuperioodi (1997-2021) ilmastikutingimused (kuude keskmised õhutemperatuurid ja sademete summad). Sulgudes on esitatud seose tugevus (regr. tõus).

Proovitükk	Temperatuuri positiivne mõju	Temperatuuri negatiivne mõju	Sademete positiivne mõju	Sademete negatiivne mõju
JK puht	-	-	-	-
JK ku+	-	juuni (-0,22); juuli (-0,21)	juuni (0,23)	-
JK leht	-	juuni (-0,25)	-	mai (-0,28)
AN puht	-	juuni (-0,24)	-	mai (-0,31)



AN ku+	-	juuni (-0,25)	-	-
AN leht	-	juuni (-0,35)	-	mai (-0,44)
JO puht	-	-	-	-
JO ku+	-	juuni (-0,30)	juuni (0,24)	-
JO leht	-	juuni (-0,35); juuli (-0,23)	märts (0,23)	mai (-0,25)
TA puht	-	-	-	-
TA ku+	-	-	-	-
TA leht	-	juuni (-0,29)	juuni (0,35)	-
SL puht	-	-	juuni (0,29), juuli (0,25)	-
SL ku+	-	-	juuni (0,34)	-
SL leht	-	-	-	-

### 7.3.3.2 FAHM katse

#### 1) Puude kasv

FAHM katsealal viid läbi katsepuude ( $n = 510$ ) kasvu mõõtmised 2023. a. kasvuperioodi alguses ja lõpus. Analüüsi katsetöötlaste (C - kontroll, H - õhuniisutus, I – mullaniisutus) mõju puude kasvule ning võrreldi kasvureaktsiooni puht- ja segapuistus (ku/ks, 50:50). Kolmeaastased pott-põld kuusetaimed istutati FAHM katsealale 2020. a. kevadel ning olid 2023. a. kasvuperioodi lõpuks 7-aastased, sh. kasvanud 4 aastat FAHMil. Enamikule puude kasvutunnustele avaldus statistiliselt oluline katsetöötlaste ja puistutüübi koosmõju (**Tabel 9**). Puud olid aeglasemalt kasvanud suurendatud õhuniiskuse tingimustes ning segapuistutes. Seevastu diameeter ja D juurdekasv ei sõltunud katsetöötlastest segapuistutes (st. õhuniisutuse kasvu pärssiv mõju ei avaldunud). 2023. a. suhtelisele juurdekasvule katsetöötlaste enam olulist mõju ei omanud (mis näitab, et puud olid hakanud muutustega kohanema) kuid suhteline juurdekasv oli parem puhtpuistutes. Puht- ja segapuistute kasvuerinevus oli kõige kontrastsem kastmistöötlastes, kus kased ilmselt võitsid kasvus kõige rohkem ja seeläbi surusid kuuskede kasvu alla.

2022. a. läbi viidud mõõtmiste põhjal mõjutasid niisutustöötlaste oluliselt võrsete suurust, mis vähenes järjekorras: C > I > H. See viitas võrsete assimileeriva pinna arengu aeglustumisele kõrge õhuniiskusel [1]. Ehkki niiskuse manipuleerimine ei mõjutanud pungade puhkemise aega, tuvastati muutusi kahe fenoloogilise vormi – vara- ja hiljapuhkevate puude vahel. Varapuhkev vorm kasvas oluliselt kiiremini, samas kui hilise puhkemisega puud kasvasid suhteliselt paremini kõrgel õhuniiskusel [1]. **Ehkki suurenenud õhuniiskusel oli katse esimestel aastatel negatiivne mõju puude kasvule, toimus puude kohanemine õhuniiskuse suurenemisega.** Lisaks näitavad saadud tulemused, et puude stressireaktsioon niiskusele võib sõltuda ka nende fenoloogilisest vormist.

**Tabel 9.** FAHM katsetöötlaste (Tr: C – kontroll, H - õhuniisutus, I - kastmine) ja puistutüübi (PT: puht-, segapuistu) mõju statistiline olulisus (\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ ) ning töötlaste keskmised kasvunäitajad 2023. aastal. Puistutüübi olulise mõju korral on suurem keskmine väärtus alla joonitud.

Kasvu-tunnus	Faktori mõju (segamudel)			Katsetöötlaste keskmised				
	Tr	PT	Tr x PT	PT	C	H	I	kõik
H (cm)	**	**	*	puht	161 b	116 a	<u>168 b</u>	
				sega	156 b	116 a	149 b	
$\Delta H$ (cm)	*	***	*	puht	<u>41 b</u>	24 a	<u>42 b</u>	
				sega	36 b	20 a	31 ab	
s $\Delta H$ (%)		***		puht				<u>31</u>
				sega				26
D <sub>30</sub> (mm)	*	***	**	puht	<u>21 b</u>	17 a	<u>22 b</u>	
				sega	20 a	17 a	19 a	
$\Delta D_{30}$ (mm)		***	*	puht	<u>6,5 a</u>	<u>4,6 a</u>	<u>6,2 a</u>	
				sega	5,5 a	3,6 a	4,6 a	

s $\Delta$ D <sub>30</sub> (%)	***	puht	<u>40</u>
		sega	33

H – kõrgus,  $\Delta$ H – H jooksev juurdekasv, s $\Delta$ H - H suhteline juurdekasv, D<sub>30</sub> – tüve diameeter 30 cm kõrgusel maapinnast,  $\Delta$ D<sub>30</sub> – D<sub>30</sub> jooksev juurdekasv, s $\Delta$ D<sub>30</sub> - D<sub>30</sub> suhteline juurdekasv

## 2) Võrsete/okaste füsioloogilised näitajad

Võrsete füsioloogilised mõõtmised viidi läbi 2023. a. juulis ja septembris. Nende mõõtmiste käigus hinnati nii neto-fotosünteesi (P<sub>a</sub>), pimehingamist (R), õhulõhede juhtivust (g<sub>s</sub>) kui ka okaste klorofüllis sisaldust (chl). P<sub>a</sub>, g<sub>s</sub> ja chl ei sõltunud katsetööstusest ega puistutüübist. Pimehingamine erines oluliselt ( $p < 0,01$ ) töötluste vahel nii juulis kui septembris, olles suurim õhuniisutuses. Samuti oli R suurem puht- kui segapuistus ( $p < 0,05$ ). **Suurenend hingamine võib olla keskkonnast tuleneva stressi indikaator, kuid iseloomustab sageli intensiivsemad kasvuprotsesse.** Okaste toitainete (NPK) sisaldus ei sõltunud katsetööstusest ega kuuse osakaalust puistus.

## 3) Okaste fenoolsed ühendid

Võrsed okaste fenoolsete ühendite analüüsiks koguti septembris 2023. Ilmnes flavonoidide oluliselt suurem ( $p < 0,001$ ) sisaldus puhtpuistus võrreldes segapuistuga. See iseloomustab suuremat kaitseainete tootmist suurema valgustatusega puhtpuistus. TPC ei erinenud töötluste ja puistute vahel. Siiski oli TPC sisaldus positiivses korrelatsioonis ( $r > 0,3$ ;  $p < 0,05$ ) okaste pimehingamisega nii juulis kui septembris. Seega näitavad saadud tulemused, et **soodsamates kasvutingimustes ja kõrgemal kiirgusvoo tasemel on okaste kaitseainete sisaldus suurem.**

### 7.3.5 Kokkuvõte, järeldused ja soovitused (*vastavalt taotluses püstitatud eesmärkidele*)

Millest sõltub hariliku kuuse kaitsevõime ning kuidas kasv, füsioloogilised näitajad ja kasvukoha tingimused seda mõjutavad?

Vaiguvool, vertikaalsete vaigukäikude arv aastarõngal ja üldfenoolide sisaldus olid positiivses seoses puu suuruse ja kasvuga, iseloomustades samaaegset panustamist nii kasvu kui kaitsevõimesse, viidates kasvu/kaitse lõivsuhte puudumisele. See oli iseloomulik eeskätt lehtpuu enamusega segapuistus, kus puude fotosünteesiline võimekus ja kasvuperioodi alguse valgustingimused olid paremad kui puhtpuistus. Ehkki puhtpuistus oli põua mõjust (2018. a. näitel) tingitud vaigukäikude arv väiksem kui segapuistus, oli okaste üldfenoolide sisaldus seal oluliselt suurem. See oli ilmselt tingitud suuremast lämmastiku limitatsioonist puhtpuistus, mis viib sageli fenoolsete ühendite akumulatsioonile. Seega olid puude kaitsemehhanismid puht ja segapuistus mõnevõrra erinevad, tingituna valgustingimustest ja mulla N kättesaadavusest. Peale esialgset kuuse paremat kasvu puhtpuistus võib mulla toitainete limitatsiooni teke ja pH langus viia N ülevõtmise vähenemisele, mis nähtavasti põhjustab kasvukiiruse edasise vähenemise ja fenoolsete ühendite akumulatsiooni suurenemise võrreldes segapuistus kasvavate puudega. Seevastu segapuistus suureneb vastupanuvõime eeskätt kiirema kasvuga domineerivatel puudel ning kasv saavutab maksimumi ilmselt mõnevõrra kõrgemas vanuses.

Milline on liigisisese ja liikidevahelise konkurentsi mõju kuuse kasvule ja kaitsevõimele erineva kuuse osakaaluga segapuistutes?

Liigisisese konkurentsi tingimustes (puhtpuistus) kasvavad kuused esimesed 40-50 aastat mõnevõrra paremini kui liikidevahelise konkurentsi tingimustes segus kiirekasvuliste valgusnõudlike lehtpuudega (eelkõige kasega). Viimaste aastate jooksul ilmnes siiski segametsas kasvamise positiivne mõju kuuse juurdekasvule ning elusvõra mõõtmetele. Kuuse juurdekasvu ja lähinaabruse kuuse osakaalu vahel esines lineaarne seos, seega ei saa välja tuua selget optimaalset ku:ks suhet, mis tagaks parima juurdekasvu. Kui võtta aluseks teadaolevalt parima kaskede kasvu tagav koosseis 70ks:30ku, siis võib järeldada, et antud koosseis loob ka kuusele soodsad kasvutingimused ja tagab hea kaitsevõime raieringi teises pooles.

Kuidas sõltub kuuse kasv ja kohanemisvõime prognoositavast sademete hulga, mulla- ja õhuniiskuse suurenemisest FAHM kliimamanipulatsiooni katsealal kuuse puht- ja kuuse-kase segapuistutes?

Sarnaselt FAHM katses varem saadud tulemustele arukase ja hübriidhaavaga, esines ka kuusel märke kasvustressist suurendatud õhuniiskuse tingimustes. Kuigi segapuistus kasvades oli kuuskede kasvukiirus esialgu aeglasem kui puhtpuistus (noores eas võitsid segapuistus kasvamisest rohkem kased), oli stressireaktsioon õhuniiskusele väiksem just segapuistutes, mis on kooskõlas üldise teadmisega segapuistute paremast vastupanust kliimamuutustele/häiringutaluvusest. Samas, FAHM katsepuud olid vaatlusperioodi lõpus alles 7-aastased, mis ei pruugi peegeldada pikaajalist reaktsiooni.

Milline on kuuse kasvu reaktsioon ilmastikutingimustele dendroklimatoloogilise analüüsi põhjal viimase ~50 aasta jooksul sõltuvalt kasvukohatüübist ja puistu koosseisust?

Kevadisel (mai) suurenenud sademete hulgal oli negatiivne mõju aastarõnga juurdekasvule AN ja JK kkt-de näitel 21. sajandil. Seevastu varasemal perioodil sarnast mõju ei esinenud. Analüüs näitas temperatuuri positiivse mõju puudumist kuuse juurdekasvule sõltumata kkt-st. Temperatuuri (juuni-juuli) negatiivne mõju esines peamiselt lehtpuu enamusega puistutes, viidates seal kasvavate puude tundlikumale reaktsioonile puhtpuistuga võrreldes. Kevadiste sademete (mai) negatiivne mõju avaldus niiskemates kasvukohtades, samas kui suviste (juuni-juuli) sademete positiivne mõju oli enim iseloomulik kuivemas SL kkt-s.

Milline on pott-põld tüüpi kuuse (1+2) ja kase (1+1) taimede (toodetud RMK taimlas) 4 istutusjärgse aasta kasvukäik endisele põllumajandusmaale rajatud metsakultuuris FAHM katseala näitel?

Pärast 4. istutusjärgset aastat oli 7-aastaste kuuskede keskmine kõrgus FAHM kontrollaladel 1,6 m (max 2,3 m), jooksva aasta ladvakasv 0,4 m (max 0,8 m) ning säilivus 99%. Ka metsamaal saavutab kuusk JK kkt-s sarnase keskmise kõrguse 7-8 aastasel (A. Kiviste mudel). Pärast 4. istutusjärgset aastat oli arukaskede (6-aastased) keskmine kõrgus 4,9 m (max 6,3 m), jooksva aasta ladvakasv 1,1 m (max 1,7 m) ja säilivus 100%. Metsamaal JK kkt-s saavutab kask sama kõrguse 9-10 aastasel.

**Järeldused/soovitused praktikutele:**

Lähtudes kuuse kasvukiirusest, ilmnevad puhtpuistu eelised lühema ja segapuistu omad pikema ajaperioodi jooksul.

Lämmastiku limitatsioonil ja sellega potentsiaalselt kaasneval kasvukiiruse vähenemisel suureneb fenoolsete kaitseainete akumulatsioon, mis võib kuuse kaitsevõimet (iseäranis puhtpuistus) suurendada.

Paremates valgustingimustes kasvavatel, puistus domineerivatel puudel on suurem kaitsevõime (kaitseainete sisaldus, traumaatiliste vaigukäikude moodustamine) - see väljendub paremini segapuistus.

Suvistel kõrgetel temperatuuridel (juuni-juuli) on kuuse kasvule negatiivsem mõju segapuistutes; temperatuuri positiivne mõju puudus kõigis proovitükkides.

Kevadine sademete hulga suurenemine (mais) põhjustab kuuse kasvu vähenemist madalamates ja niiskemates kasvukohtades kus lehtpuude osakaal on sageli suurem; samas võivad perioodilisel liigniiskete kasvukohtade (näiteks TA kkt) puud olla keskmisest põuatundlikumad.

Suvisel (juuni-juuli) sademete hulga suurenemisel on positiivne või neutraalne mõju kuuse kasvule.

Õhuniiskuse suurenemine ja selle kaasmõjud põhjustavad esialgu puude kasvu vähenemist (stressireaktsioon on väiksem suurema võra liituvusega segakultuuris), kuid aja möödudes mõju leeveneb, sõltudes olulisel määral valitsevatest temperatuuri- ja niiskustingimustest ning puu fenoloogilisest vormist.

**Täiendavate rakendusuuringute läbiviimise vajadus.**

Kuna segametsas kasvamise soodne mõju juurdekasvule avaldus selgemini alles keskealiste puude viimastel kasvuaastatel, tuleks uuringuid jätkata ka vanemates puistutes. Kasvukohatüübi tasemel usaldusväärsete soovituste andmiseks tuleks kaasata rohkem vaatlusalasid. Noorte kuusepuistute uuringud FAHM katses näitasid, et fenoloogiline vorm võib oluliselt mõjutada kuuse kasvu ja kohanemisvõimet keskkonnamuutustega. Kuuse fenoloogiliste vormide toimetulekut erinevates kasvukohtades on seni vähe uuritud ning see vajaks kindlasti suuremat tähelepanu.

### 9. PROJEKTIGA HAAKUVAD DOKTORI- JA MAGISTRITÖÖD:

Projekti tulemustega on tihedalt seotud üks doktori- ja magistritöö.

Bikash Kharel on neljanda aasta doktorant (juhendajad Arvo Tullus ja Priit Kupper) kelle doktoritöö „Arukase ja hariliku kuuse süsiniku ja lämmastiku voogude reaktsioon sademete hulga suurenemisele sõltuvalt puu suurusest ja konkurentsist“ koostamisel on käesoleva projekti tulemused oluliseks sisendiks. Tema doktoritöö kaitsmine on planeeritud 2025 aastal.

Taavi Reinthal on teise aasta magistrant (juhendajad Arvo Tullus ja Priit Kupper), kelle magistritöö „Hariliku kuuse kasvu ja vaiguvoolu seosed viljakates kasvukohatüüpides“ on otseselt seotud käesoleva projektiga. Tema magistritöö kaitsmine on planeeritud käesoleva aasta kevad-suvel.

### 10. PROJEKTI RAAMES AVALDATUD PUBLIKATSIOONID:

Esitatud käsikirjad:

[1] Growth responses to elevated environmental humidity vary between phenological forms of *Picea abies*. A. Sellin, K. Heinsoo, P. Kupper, R. Meier, E. Öunapuu-Pikas, T. Reinthal, K. Rosenvald, A. Tullus. (submitteeritud ajakirja *Frontiers in Forests and Global Change*)

2024 valmimas käsikirjad:

[2] The effect of site type and stand composition on photosynthetic nitrogen use efficiency in *Picea abies*. B. Kharel, A. Tullus, P. Mänd, R. Lutter, M. Brodski, T. Reinthal, G. Rohula-Okunev, P. Kupper.

[3] Hariliku kuuse kasvu ja vaiguvoolu seosed viljakates kasvukohatüüpides. Taavi Reinthal. Magistritöö TÜ Ökoloogia ja maateaduste instituut.

<b>10. Projekti juht</b> (nimi): Priit Kupper	<b>Allkiri:</b> allkirjastatud digitaalselt	<b>Kuupäev:</b> digiallkirjas
---	--	-------------------------------

<b>11. Taotleja esindaja kinnitus aruande õigsuse kohta</b> (nimi, amet): Siret Rutiku, grandikeskuse juhataja	<b>Allkiri:</b> allkirjastatud digitaalselt	<b>Kuupäev:</b> digiallkirjas
---	--	-------------------------------

NB! Aruanne esitada elektrooniliselt e-posti aadressil: [teadus@rmk.ee](mailto:teadus@rmk.ee)