



Eesti Maaülikool  
Metsanduse ja inseneeria instituut

**Gert Lõhmus**

**PÕUA MÕJU HARILIKU HAAVA JUURDEKASVULE**

**THE EFFECT OF DROUGHT ON THE RADIAL GROWTH OF  
A EUROPEAN ASPEN**

Bakalaureusetöö  
Metsanduse õppekava

Juhendajad: teadur Sandra Metslaid, *PhD*  
dotsent Maris Hordo, *PhD*;

Tartu 2023

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Bakalaureuse lühikokkuvõte	
Autor: Gert Lõhmus		Õppekava: Metsandus	
Pealkiri: Põua mõju hariliku haava juurdekasvule			
Lehekülgi: 28	Jooniseid: 18	Tabeleid: 2	Lisasid: 2
Osakond: Metsa- ja maakorralduse ning metsatööstuse õppetool ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: Metsandus B430 Juhendaja(d): Sandra Metslaid, Maris Hordo Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu, 2023			
<p>Käesoleva töö eesmärgiks on analüüsida hariliku haava radiaalkasvu reaktsiooni põuale ning hinnata haavataeliku (<i>Phellinus tremulae</i>) esinemise osakaalu puudel. Käesoleva lõputöö tulemused põhinevad 45 puu aastarõngaste andmetel, mis on kogutud kolmest Põlva maakonnas kasvavast haava enamusega puistust. Põuasündmused tuvastati standardiseeritud sademete-aurustumisindeksite (SPEI) alusel, mis arvutati Tartu-Tõravere meteoroloogiliste andmete põhjal aastateks 1964-2022. Kasvureaktsiooni hinnati valitud põua-aastatele 1992, 1999, 2002, 2006, 2011, 2013 ja 2018 Lloret'i et al. (2011) vastupidavusindeksite abil. Tuginedes puursüdämike visuaalsele hindamisele, leiti et 33–87% kogutud proovidest prooviaala kohta olid seenpatogeeni poolt kahjustatud. Uuritud puude radiaalse kasvu vastupanu põuale oli suhteliselt kõrge, kasvu langust täheldati vaid mõnel viimasel põua-aastal (nt 2011, 2018). Pärast põuasündmust kasv taastus kiiresti (juba järgmisel aastal) põuaelsele tasemele ja pikemat kasvu taastumist täheldati kõikides proovialades vaid 2011. aastal.</p>			
Märksõnad: aastarõngad, harilik haab, SPEI, põud, Lloret'i indeksid			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Gert Lõhmus		Curriculum: Forestry	
Title: The effect of drought on the radial growth of a European aspen			
Pages: 28	Figures: 18	Tables: 2	Appendixes: 2
Chair: Chair of forestry and land management and forest industry Field of research and (CERC S) code: Forestry B430 Supervisors: Sandra Metslaid, Maris Hordo Place and date: Tartu, 2023			
<p>The aim of this work is to analyse the response of the radial growth of European aspen to drought, and to estimate the proportion of the aspen bracket (<i>Phellinus tremulae</i>) occurrence based on collected samples. The results of this thesis are based on the tree-ring data of 45 trees, obtained from three aspen dominated stands growing in Põlva County. The drought events for this study was identified based on standardised precipitation-evaporation indices (SPEI), which were calculated using Tartu-Tõravere meteorological data for 1964-2022. Growth response to selected drought years of 1992, 1999, 2002, 2006, 2011, 2013 and 2018 were assessed by using Lloret et al. (2011) resilience indices. It was found that 33-87% of the collected samples per site were affected by fungus, as visually observed on the increment cores. Radial growth resistance to drought was high in studied trees with growth decline observed only for some last drought years (e.g. 2011, 2018). After the drought event growth recovered to the pre-drought level quickly-already next year. Longer growth recovery in all sites was observed for 2011 year.</p>			
Keywords: European aspen, SPEI, drought, Lloret's indices, tree-rings			

# SISUKORD

<b>SISUKORD</b> .....	4
<b>SISSEJUHATUS</b> .....	5
<b>1. MATERJAL JA METOODIKA</b> .....	8
<b>1.1. Proovialad</b> .....	8
<b>1.2. Välitööd</b> .....	9
<b>1.3. Labortööd</b> .....	10
<b>1.4. Kliima andmed ja põua tuvastamine</b> .....	11
<b>1.5. Andmete analüüs</b> .....	12
<b>2. TULEMUSED</b> .....	14
<b>3. ARUTELU</b> .....	23
<b>4. KOKKUVÕTE</b> .....	24
<b>KASUTATUD KIRJANDUS</b> .....	26
<b>LISAD</b> .....	28

## SISSEJUHATUS

Viimastel aastakümnetel on globaalse soojenemise tõttu põudade esinemine sagenenud, ning see on üks maailma laastavamaid ilmastikunähtuseid. Põud liigitatakse tavaliselt järgmistesse kategooriatesse: meteoroloogiline, hüdroloogiline, põllumajanduslik ja sotsiaalmajanduslik põud (Pan *et al.*, 2023). Põua mõõtmiseks kasutatakse kolme esimest kategooriat, mis kirjeldavad põuda kui nähtust. Viimast, sotsiaalmajandusliku põuda, kasutatakse kui veepuudus hakkab mõju avaldama inimesele (Tammemets, T. 2012).

Meteoroloogilist põuda määratletakse kuivuse astme põhjal, st keskmisest vähem sademeid. Põuda iseloomustavad peamiselt kuus erinevat elementi: kestus, ulatus, intensiivsus, tõsidus, geograafiline ulatus ja sagedus. Põua kestus sõltub piirkonnast ning võib erinevatest ajavahemikest ulatuda aastateni (Oyoualsoud *et al.*, 2023). Põuda sademete järgi hinnates on kriteeriumiks sademetehulk suvel alla 60 % vastava kuu mitmete aastate keskmisest summast (Paulson, 2019). Põua suurusjärk näitab põuaperioodi akumulbeerunud veepuudust, mis jääb teatud künnisest madalamaks, samas kui põua intensiivsus näitab põua suurust suhtena selle kestusega. Põua raskusaste hinnatakse veepuuduse mõju põhjal. Põua geograafiline ulatus viitab põua ruumilisele jaotusele. Põua sagedus kirjeldab aega, mille jooksul põuasündmused taastuvad, ning määratletakse keskmine aeg põuasündmuse vahel, mille raskusaste on suurem või võrdne kui läviväärtus (Oyoualsoud *et al.*, 2023).

On arendatud ja uuritud mitmesuguseid indekseid, mis võimaldavad tuvastada ja kirjeldada põua sündmusi ning iseloomustada nende meteoroloogilisi, hüdroloogilisi, põllumajanduslikke ja sotsiaalmajanduslikke mõjusid (Babre *et al.*, 2022). Põuaseisundi hindamisel kontinentidel või suuremates piirkondades, mis hõlmavad erinevaid meteoroloogilisi režiime, kasutatakse laialdaselt standardseid põuaindekseid, näiteks standardiseeritud sademete indeks (SPI) või standardiseeritud sademete ja aurustumiseindeksi (SPEI) (Laimighofer & Laaha, 2022).

Põud on üks kõige keerukamaid ja kulukamaid häiringuid ökoloogia, majanduse ja keskkonna valdkondades. See on kõige vähem tunnustatud loodusõnnetus, mille puhul esineb ekstreemne veevaegus ning tavaliselt on see seotud kliimamuutuste ja äärmuslike

ilmastikutingimustega (Yang *et al.*, 2023). Põudadest parema ülevaate saamiseks on olemas ülemaailmsete meteoroloogiliste põudade andmebaas EDO (European Drought Observatory). Andmebaasi kohaselt on suuremaid põuasündmusi täheldatud Põhja-Euroopas aastatel 1959-1960, 1975-1976 ja 2003-2004. Lisaks on teised uuringud dokumenteerinud tõsisemaid põuaepisoode Põhja-Euroopas 21. sajandi alguses, näiteks suvel ja sügisel 2010., 2013., 2015. ja 2018. aastal ning talvel 2006. ja 2007. aastal (Babre *et al.*, 2022).

Põud on omandanud puude kasvu piirava rolli. Kauakestev veevaegus võib mõjutada metsa koosseisu ja dünaamikat, mis omakorda kahjustab uute puude kasvu ja suurendab nende suremust. Sellised muutused võivad põhjustada metsade struktuuri ja koostise muutuseid. Kuna põua kõrval piiravad taimede kasvu veel kõrge õhutemperatuur ja ka madal mulla niiskus, siis võib tõenäosus suurened, et soojema kliima korral hakkab puude kasv taanduma ja suremus hoogustub (Gazol & Camarero, 2022). See tähendab, et lisaks põuale esineb ka muid häiringuid nagu näiteks kuumalained. Temperatuuride tõus on tihedalt seotud rohke veeaurumisega, mis tekitab puudes vee defitsiidi. Teema olulisus väljendub põudade eeldataval ülemaailmsel sagenemisel ning selle tõttu tuleb leida alternatiive nõrgemate puuliikide säilimiseks, vajadusel ristandamise teel. Selles uuringus on keskendutud meteoroloogilisele põuaomadustele, täpsemini sademete puudulikkusest tingitud mõjudele. Sarnaseid uuringuid on tehtud Lätis (Šēnhofa *et al.*, 2015), kus uuriti kliimategurite mõju hübriid paplite ja hübriid haabade aastarõnga laiustele ning Eestis (Paulson, 2019) põua mõju hariliku kuuse juurdekasvule. Lisaks on Eestis uuritud haava (*Populus tremula*) vanuse mõju bioloogilisele mitmekesisusele (Tullus *et al.*, 2022) ning endist maatüüpide mõju hübriidhaabade istandustes süsiniku ja lämmastiku varudele (Lutter *et al.*, 2016).

Viimaste andmete põhjal (Valgepea *et al.*, 2020) on Eestis nii riigi- kui eraomandis olev metsamaa pindala kokku 2 324 900 hektarit, millest haava osakaal moodustab 6,5 % ehk 151,5 tuhat hektarit. Riigi ja eraomandi kogutagavara on aga kokku 472 393 tuhat kuupmeetrit, millest haaba on 35 204 tuhat m<sup>3</sup> ehk 7,5 %. Majandatavate metsade pindala on kokku aga 1979,2 tuhat ha, mille 134,0 tuhat ha moodustab haab 6,8 %. Arenguklassidelt on haaba metsamaa pindalal noorendikes 36,6 tuhat ha, latimetsas 11,7 tuhat ha, keskealises metsas tuhat 5,9 ha, valmivas metsas tuhat 5,7 ha ja küpses metsas 73,6 tuhat ha. Rangelt kaitstavates metsades riigi- ja eraomandis on haava tagavara 6470 m<sup>3</sup> ehk 7,8 % kogutagavarast. Rangelt kaitstavates riigimetsades on haava tagavara poole suurem kui erametsades ning seda 4229 tuhat m<sup>3</sup> võrra. Puistute jagunemise vanuseklassidesse

enamuspuuliigi järgi on haabasiid kõige rohkem vanuses  $\leq 10$  aastat (29,1 tuhat ha) ning kõige vähem vanuses 111-120 aastat (600 ha). Boniteediklassi järgi on haabasiid Ia boniteediga puistutes 41,5 tuhat ha, I - 71,6 tuhat ha, II - 16,6 tuhat ha, III - 3,3 tuhat ha ja IV-V boniteediga 500 ha. Puistute pindala on aja möödudes (1958-2020) palju muutunud. Aastatel 1958-2020 on haava puistute pindala peaaegu 4,5 kordistunud jõudes 28700 tuhandelt hektarilt 133501 tuhande hektarini. Suure tõusu on teinud ka kask ja hall lepp, kus kasepuistu pindala kordistus vähemalt 1,5 võrra ning hall lepp 4 võrra. Vähem on ajas muutunud või võrdväärseks jäänud männi ja kuuse puistute pindala. Haavapuistute pindala on olnud pidevas kõikumises ning andmete põhjal võib öelda, et iga aasta tagant on tagavara suurenenud või vähenenud vähemalt 1000 ha võrra. Maakonniti on haava metsa tagavara kõige suurem Saare maakonnas (10,9 %).

Uuringu eesmärk on analüüsida, kuidas mõjutab põud hariliku haava radiaalset juurdekasvu ning hinnata seenkahjustuste esinemissagedust kogutud proovide põhjal. Töö hüpoteesid on 1) põud limiteerib hariliku haava radiaalset juurdekasvu, 2) haavataeliku kahjustuse osakaal puistudes on suur.

Soovin avaldada tänu juhendajatele Maris Hordole ja Sandra Metslaidile, kes aitasid tööd edendada, jagades selleks sobilike näpunäiteid ning andes oma panuse ka töö praktilises ja kirjalikus osas. Tahan tänada ka Eesti Maaülikooli vajalike ressursside jagamisel praktilise töö läbiviimiseks. Käesolev lõputöö on valminud Eesti Maaülikooli baasfinantseerimise toetus projekti „Looduslike metsapuuliikide kasvureaktsioon põuale hemiboreaalsetes metsades“ raames.

# 1. MATERJAL JA METOODIKA

## 1.1. Proovialad

Uurimistöö läbiviimiseks valiti välja kolm haava puistut (KJ037, KJ038 ja KJ065) (edaspidi KJ37, KJ38, KJ65) Põlva maakonnas Kiidjärve metskonnas (joonis 1.). Puistude asukohad valiti võimalikult lähestikku, et kliimaatilised tingimused oleksid puistutele sarnased.



**Joonis 1.** Puistute (punane märk) ja Tartu-Tõravere meteoroloogiajaama (lilla märk) asukohad. Mõõtkava kaardil 1:70000. (Allikas: Maa-amet).

Metsad klassifitseeruvad kui arumetsad ning jagunevad laane- ja salumetsa tüübirümaks. Metsades on visuaalselt suurimaks kahjutekitajaks haavataeliku seen (*Phellinus tremulae*), kuid siin-seal esines ka ulukikahjustusi.

**Tabel 1.** Proovialade andmed. Lühendid: ND – naadi; JK – jänesekapsa; JM – jänesekapsa-mustika, HB – haab; KS – kask; KU – kuusk; LV – hall lepp

Tunnus	Puistu		
Kvartal/Eraldis	KJ037/4	KJ038/1	KJ065/11
Maakond	Põlva	Põlva	Põlva
Katastritunnus	87201:002:0497	87201:002:0496	87201:001:0441



Pindala	3,15 ha	1,96 ha	2,6 ha
Boniteet	I	Ia	I
Kasvukohatüüp	ND	JK	JM
Kooseis (%)	84HB, 11KS, 5KU	91HB, 9KS	75HB, 22KS, 2LV, 1KU
Keskmine vanus	45	45	40
Mulla nimetus (Siffer)	LPg(LPG)	LPg, LPG;LP, G11	LPg
Mulla lõimis	s120-70/ls <sub>2</sub>	s140-80/ls <sub>2</sub> , s125/ls <sub>2</sub> , s140- 70/ls <sub>2</sub> , 1	s140-70/ls <sub>2</sub>

## 1.2. Välitööd

Uurimiseks valiti kolmelt proovialalt kokku 45 esimese rinde haavapuud (igal eraldisel 15 tk), mille paiknevuse kaugus üksteisest oli vähemalt 20 meetrit. Puud valiti juhuslikult ja ilma muude visuaalselt nähtavate kahjustusteta.. Puude kõrguste leidmiseks kasutati VertexV'it (Haglöf, Rootsi) – kõrguse-, kauguse ja kaldemõõtjat (joonis 2.). Puude aastase kasvu hindamiseks võeti puust puurproovid Haglöf'i (Rootsi) juurdekasvupuuriga. Proovide tõhusamaks võtmiseks kasutati lisaks akutrelli. Proovide võtmine nägi ette puu puurimist läbi puu, läbistades säsi kui võimalik, sest puu ja puurõngad ei ole alati sümmeetrilised. Proovid pandi eraldi paber joogikõrtesse, mis hoidis ära proovide murdumise. Puude diameetrite saamiseks kasutati kluppi (joonis 2.) ja mõõdeti igal puul läbimõõt 1,3 meetri kõrguselt juurekaelast. Proovipuud märgistati metsamärkevärvi vältimaks topelt mõõtmiste tekkimist ning vajadusel proovipuude üles leidmist (joonis 2.).



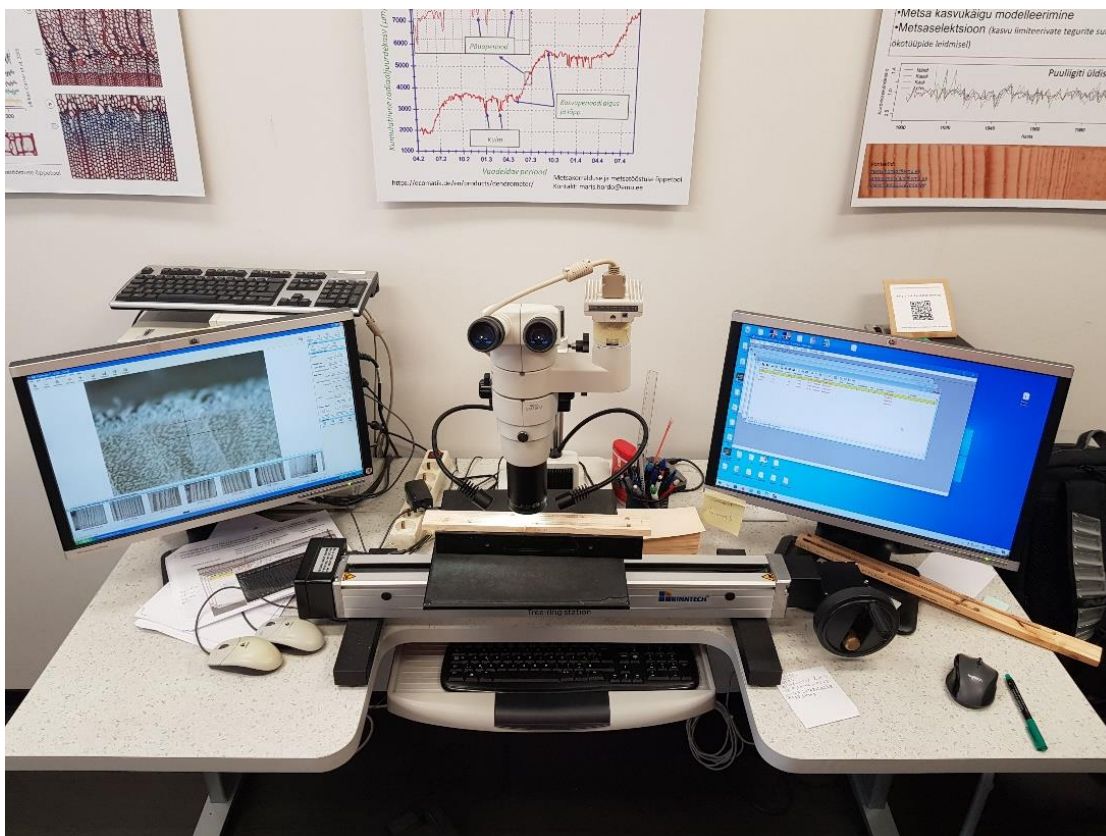
**Joonis 2.** Eesti Maaülikooli poolt saadud abivahendid praktilise osa läbiviimiseks metsas.

### 1.3. Labortööd

Peale proovialadelt proovide võtmist viidi kogutud proovid Eesti Maaülikooli dendrokronoloogia laborisse, kus need valmistati ette mõõtmiseks. Varasemate ilmastikuolude tõttu pidid proovid laboris kuivama ühe päeva. Korrektsete andmete saamiseks liimiti puurproovid stabiilsele aluspinnale, vältimaks proovide nihkumist lugemise ajal. Aluspinnale kanti puu number ja puu mõõtmed ning seejärel proovid tahkusid ühe päeva. Järgmise etapi käigus proovid lihviti. Lihvimine toimus kolme erineva masinaga, millel olid erineva karedusega lihvpaberid – P180, P240, P400. Lihvimise eesmärk oli tuua esile aastarõngad ja parendada nende loetavuse kontrastsust. Edaspidi mõõdeti ettevalmistatud proovidel aastarõnga laiust. Proovidelt haava aastarõngaste mõõtmiseks kasutati mõõtmislauda LINTAB 5 (RINNTECH, Saksamaa) koos vastava tarkvaraga TSAP-Win™ (RINNTECH, Saksamaa; joonis 3.). Aastarõngad loeti koorest sissepoole kuni säsini (lisa 1). Proovide lugemisel ilmnes aga ka probleeme, mis olid tingitud liigsest lihvimisest ehk aastarõngad olid tuhmunud. Selle lahenduseks kasutati niisket lappi, mis tõi rõngad taas paremini esile ning mõnel juhul aitas kaasa ka käsilihv ülipeene lihvpaberiga P1000.

Edaspidi kasutati programmi COFECHA selleks, et kontrollida, kas aastarõngad on määratud õigele kalendriaastale ja kõrvaldada mõõtmisvigu.

Iga puu kohta tehti kaks mõõtmist ja hiljem arvutati nendest mõõtmistest puu keskmised seeriad. Iga kogutud proovi puhul hinnati visuaalselt patogeeni esinemist, proovi värvimuutuse põhjal (joonis 5.). Puude proovide puit, kus esines seenpatogeen, oli tumedam. Iga prooviala kohta arvutati ka kahjustuste osakaal (lisa 2.)



**Joonis 3.** Labortööde keskkond. Mõõtmislaud LINTAB 5 ja mikroskoop aastarõngaste mõõtmiseks.

#### **1.4. Kliima andmed ja põua tuvastamine**

Põua tuvastamiseks ning radiaalse juurdekasvu uurimiseks ilmaandmete põhjal on vaadeldud Tartu-Tõravere meteoroloogiajaama andmeid aastatel 1964-2022 (Keskkonnaamet), kus on välja toodud ööpäevased sademed ja temperatuur kuude kaupa. Põudade identifitseerimiseks arvutati SPEI (Vicente-Serrano *et al.*, 2010). SPEI indeks on

standardiseeritud sademete aurustumiseindeks (Gut *et al.*, 2019), mis on tihedalt seotud põua mõjuga veevarudele ja teiste aspektidega.

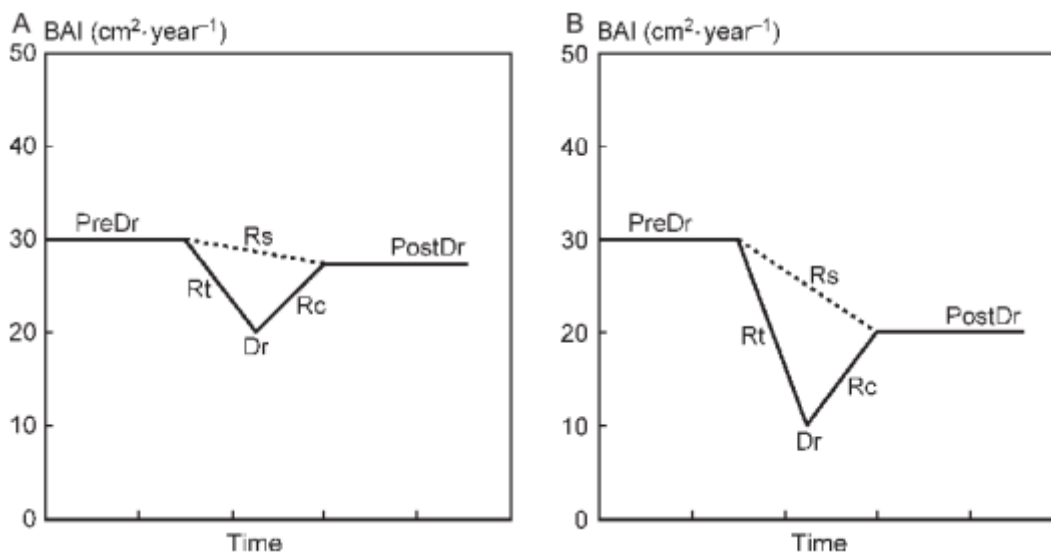
Indeksi arvutamiseks kasutati sademeid ning vee aurustumist hinnati Thornwaite valemi abil kasutades *spei* paketi (Begueria & Vicente-Serrano, 2023) R programmis. Põuaks loetakse perioodi, mille SPEI väärtus on -1 või vähem (Paulson, 2019). Uuringus kasutati kokku seitse aastat (1992, 1999, 2002, 2006, 2011, 2013, 2018). Kaks aastat (1983.- ja 2022.) on välja jäetud, kuna meil ei olnud nende põudade mõju uurimiseks piisavalt aastarõngaid (joonis 6.). Selles töös on arvatud kolme erineva pikkusega SPEI'd. Nendeks on kasvuperioodi SPEI, mis on 6-kuuline (aprill kuni september) ning 3-kuulised kevad SPEI (märtsist-mai) (joonis 7.) ja suve SPEI (juuni-august) (joonis 8.). Kasvu mõju hindamiseks on kasutatud ainult kasvuperioodi aastaid.

## 1.5. Andmete analüüs

Analüüsiks, kuidas põud mõjutab haava radiaalset juurdekasvu, on antud töös kasutatud Lloret'i *et al.* (2011) poolt pakutud kasvu hindamise meetodikat. Selleks hinnati aastast radiaalset kasvu käitumist põuaaastal, võrreldes kolme aasta keskmise kasvuga enne ja pärast põuda (joonis 4.). Andme analüüsi käigus arvutati järgmised indeksid:

- Vastupanu (ing. *resistance*  $R_t = Dr/PreDr$ ) – näitab ökoloogilise jõudluse (kasvu) suhet häire eel ja ajal, kus  $R_t = 1$  tähendab täieliku vastupanu ning  $R_t < 1$  vastupanu kaotust.
- Taastumisvõime (ing. *recovery*  $R_c = PostDr/Dr$ ) – näitab võimet taastuda ning seda suhtena peale häiret ja häire ajal-le, kus  $R_c$  – on kasvureaktsioon peale häiret;  $R_c = 1$  on püsiv taastumisvõime isegi pärast häiret;  $R_c > 1$  head kasvu taastumist ning  $R_c < 1$  väikest ebaõnnestunud taastumist.
- Taastumisperiood (ing. *recovery period*  $R_{rp}$ ) – näitab põua-eelse kasvutaseme saavutamise aega alates põuaaastast, kus indeks 0 korral kasv taastus kiirelt, juba järgmisel aastal.
- Suhteline kasvulangus (ing. *average relative growth reduction*  $R_{gr}$ ) – näitab suhtelist kasvulangust pärast häiret protsentides (%).

Joonis 4 annab ülevaate põua mõjust puudele Lloret'i et al. (2011) skeemi järgi. Joonis (A) näitab puu reaktsiooni mõõdukale põuale ja joonis (B) reaktsiooni tugevale põuale.



**Joonis 4.** Puude kasvureaktsioon põuale (Lloret et al.2011 ja Paulson et al. 2019) PreDr – põua eel Rt – vastupanu Dr – põud Rc – taastumisvõime Rs – vastupidavus PostDr – põua järgne BAI – aastarõnga juurdekasvu pindala.

Kasvu vastupidavus põuale indeksid (vastupanu (Rt), taastumisvõime (Rc), taastumisperiood (Rrp), keskmine suhteline kasvulangus (Rgr)) arutati kasutades *pointRes* paketti (van der Maaten-Theunissen *et al.*, 2015) ja vabavara R Studiot. Lisaks andmete arvutamiseks ja tulemuste visualiseerimiseks (jooniste tegemiseks) töös on kasutatud R-i pakette *dplR* (Bunn, 2008; 2010) ja *ggplot2* (Wickham, 2016). Pakett *dplR* aitab teha aastarõngaste kronoloogiate analüüse ja graafikuid (Paulson, 2019).

## 2. TULEMUSED

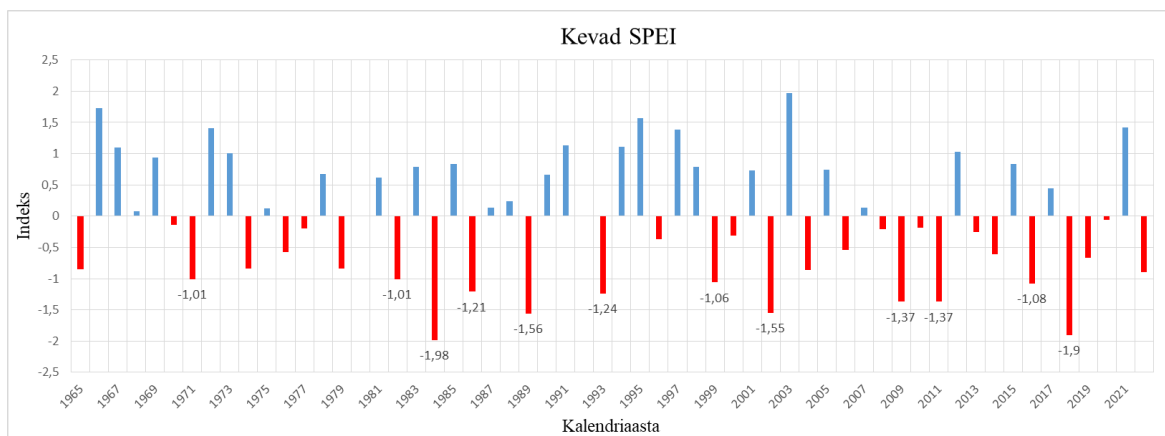
Proovialadelt kogutud proovide põhjal leitud haavataeliku (*Phellinus tremulae*) kahjustuse osakaal oli suur kahes puistus KJ37 (66,7 %) ja KJ38 (86,7 %) ning väiksem puistus KJ65 (33,3 %). Muudest häiringutest haavataeliku kahjustuse eristamine toimus proovide säsi osa värvuse järgi hindamisel (tume-pruun värv; joonis 5.) ning suuerks abiks kahjustuse määramisel oli ka proovialadel nähtud haavataeliku viljakehad puudel.



**Joonis 5.** Kahjustunud (üleval) ja terve (all) proov.

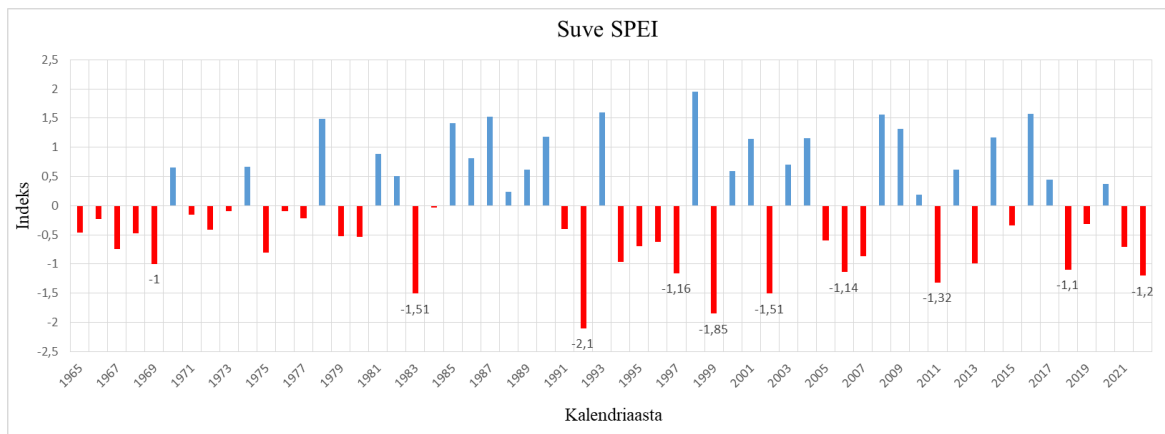
Põua aastatest parema ülevaate saamiseks, kasutades Tartu-Tõravere ilmaandmeid arvutati SPEI indeksid kevadele, suvele ja kasvuperioodile (joonised 6.-8.). Joonis 6 näitab kuivemat perioodi ( $SPEI < -1$ ) märtsist maini ning kui varsemail aastakümneil oli pigem sademeid rohkem, siis nüüd on asjad vastupidi. Sademeid on vähe, tavaliselt üle 2 aasta, kuid siin-seal on ka vahe rohkem kui 2 aastat, mis annab aimu kuiva perioodi sagenemisest kevadeti. Tugevaimaid põudu kevadel täheldati aastatel 1984, 1989, 2002, 2009, 2011 ja 2018.





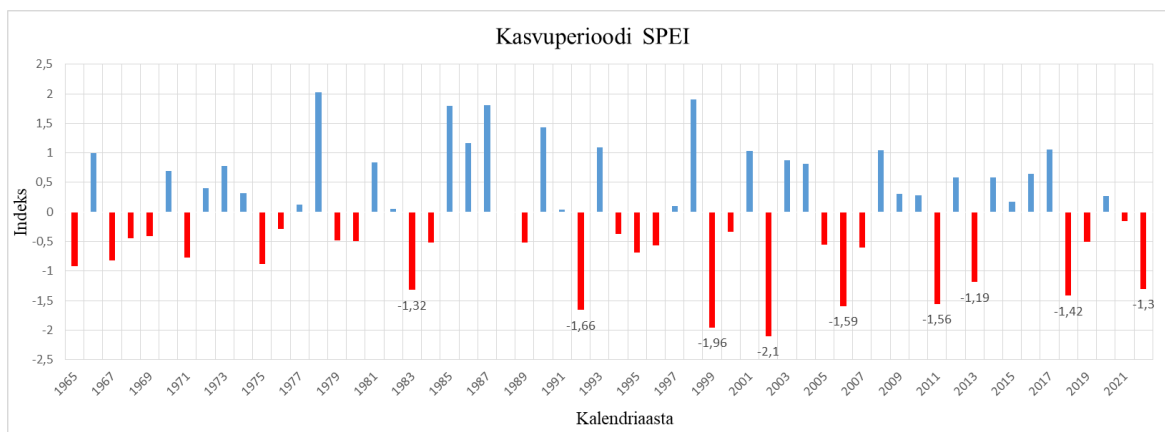
**Joonis 6.** Kevadperioodi (märts-mai) SPEI'd 1965-2022 perioodil. Erineva tugevuse põuad kevadel on tuvastatud aastatel 1971, 1982, 1984, 1986, 1989, 1993, 1999, 2002, 2009, 2011, 2016 ja 2018 Tartu-Tõravere meteoroloogiajaama andmeil. Punased tulbad näitavad veepuudus ja sinised liigniiskust.

Juuni kuni august on alati olnud Eesti kõige soojemad kuud näitavad suve SPEI indeksid (joonis 7.), et ka seal on põuad sagenenud, aga tuleb ka tähele panna sademete rohkeid (sinised tulbad) aastaid. Alati kui on olnud pikem või tugevam põud, siis järgnevatel lähiaastatel ka peaaegu sama suur või suurem kogus sademeid.



**Joonis 7.** Suveperioodi (juuni-august) SPEI'd 1965-2022 perioodil. Erineva tugevuse põuad suvel on tuvastatud aastatel 1969, 1983, 1992, 1997, 1999, 2002, 2006, 2011, 2018 ja 2022 Tartu-Tõravere meteoroloogiajaama andmeil. Punased tulbad näitavad veepuudus ja sinised liigniiskust.

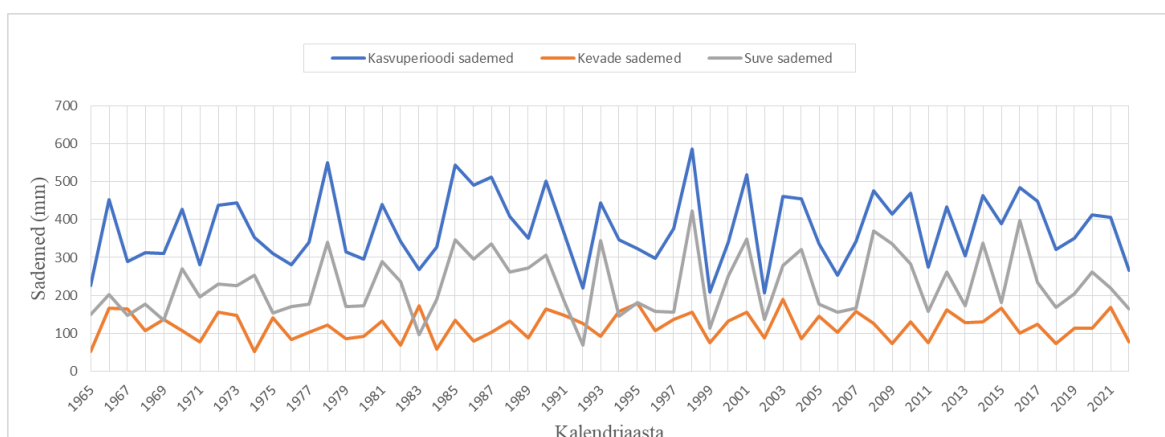
Joonisel 8 on näha, et aprillist septembrini alates 1999. aastast on põua esinemine tunduvalt sagenenud võrreldes varasemate aastakümnetega. Kui muidu on põua perioodi vahe üheksa aastat, siis nüüdseks esineb suuremat kuivust enamjaolt üle kolme aasta.



**Joonis 8.** Kasvuperioodi (aprill-september) SPEI'd 1965-2022 perioodil. Erineva tugevuse põuad kasvuperioodil on tuvastatud aastatel 1983, 1992, 1999, 2002, 2006, 2011, 2013, 2018 ja 2022 Tartu-Tõravere meteoroloogiajaama andmeil. Punased tulbad näitavad veepuudus ja sinised liigniiskust.

Joonisel 9 on näha sademete kokkulangevust SPEI indeksitega. Näiteks aastail 1992 ei olnud palju sademeid ning seda kinnitavad ka joonised 8 ja 9. Järgnevad aastad 1978.-, 1985.- ja 1998. olid sademete rohkuse poolest suurimad, kõige vähem sademeid esines 1992, 1999. ja 2002. aastal.

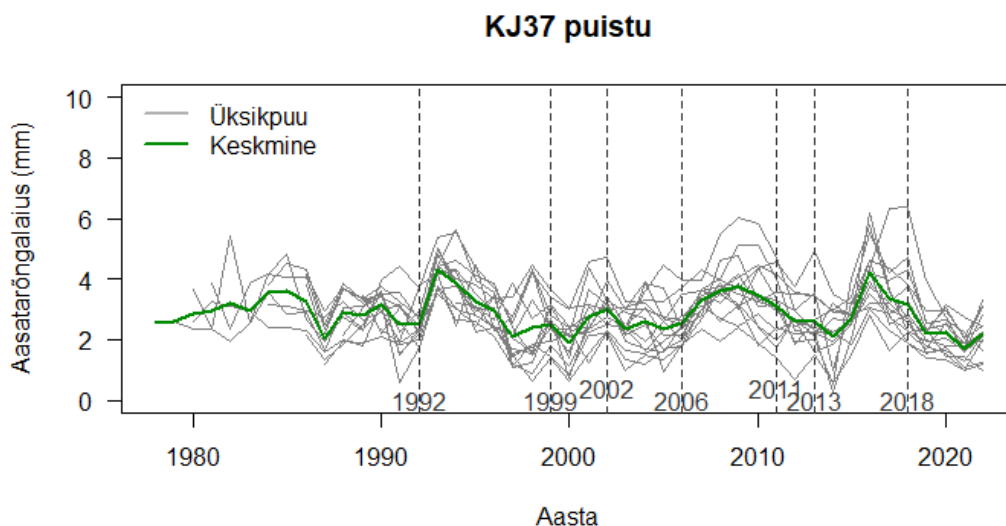
See kõik tundub olema seotud kliima soojenemisega ning ka aastane kliimamuutus ja eelmise kasvuperioodi mõju võib mõjuda puude kasvule negatiivselt (Mazza & Sarris, 2021).



**Joonis 9.** Kevad, suve ja kasvuperioodi sademed 1965-2022 perioodil.



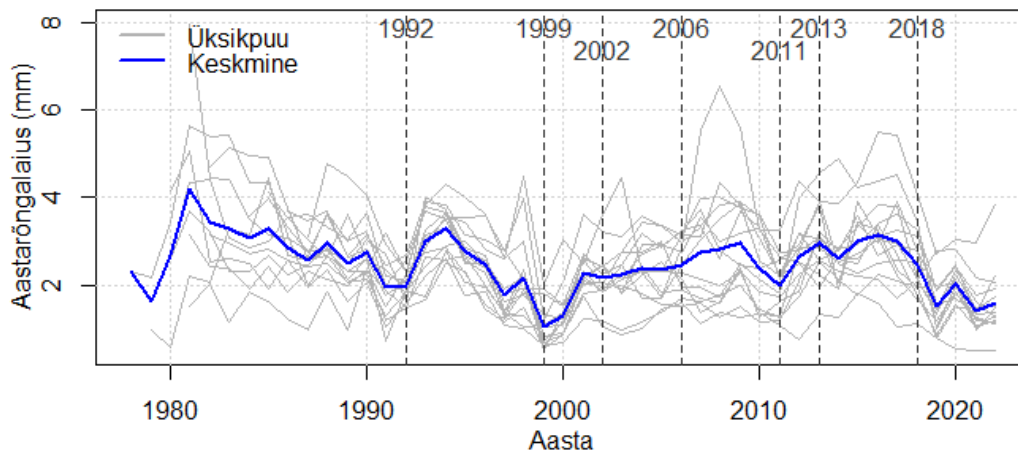
Joonisel 10 on prooviala KJ37 aastarõnga laiused enne ja pärast põuaastaid. Aastarõngaste laius enne 1992. aasta põuda on olnud suhteliselt ühtlane. Pärast aga reageerisid puurõngad põuale väga mõjusalt, kasvades pea 2mm-lt 4 mm laiuseks, mis annab aimu puu suuremast šokist, sest eelnevalt ei ole olnud suuremat põuda. Aasta 1999-ks oli puu šokist taastunud, ehk rõngaste laiused olid taas 2 mm juures. Suuremad muutused puurõngastel toimusid veel 2006. ja 2013. aastate järel, kasvades uuesti peaaegu 4 mm laiuseks.



**Joonis 10.** Puistu KJ37 haavapuude aastarõngaste laiused. Halli värvi jooned on üksikpuude mõõtmised ja roheline joon on puistu keskmine. Vertikaalsed katkendjooned märgistavad kasvuperioodi põuad.

Joonisel 11 on näha, et prooviala KJ38 haavapuud on saanud varasemalt suurema šoki (1979), kus aastarõngaste laius ületas 4 mm piiri. Suurimad muutused toimusid puurõngastes aastatel 1992 ja 1999, kus aastarõnga laius tõusis peaaegu üle 1 mm. Võrreldes neid aastaid ülejäänud põua aastatega, siis oli põua periood enam vähem muutusteta, kui välja jätta viimase aasta (2018) rõngalaiuste kahanemist.

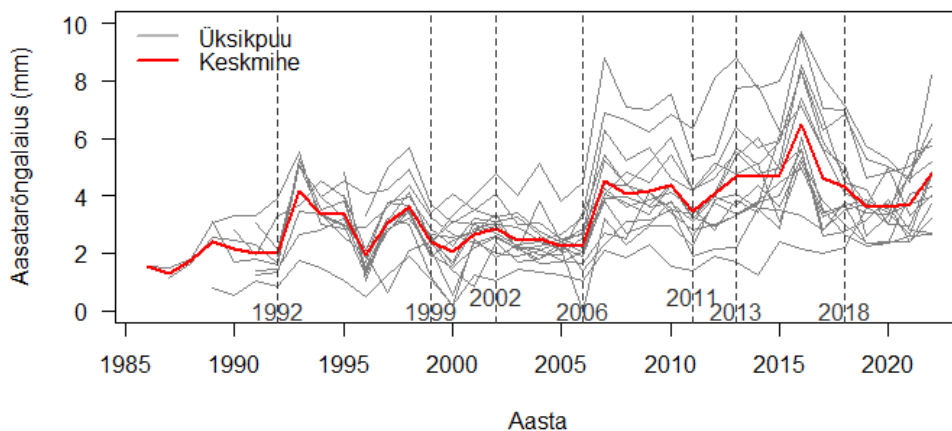
### KJ38 puistu



**Joonis 11.** Puistu KJ38 haavapuude aastarõngaste laiused. Halli värvi jooned on üksikpuude mõõtmised ja sinine joon on puistu keskmine. Vertikaalsed katkendjooned märgistavad kasvuperioodi põuad.

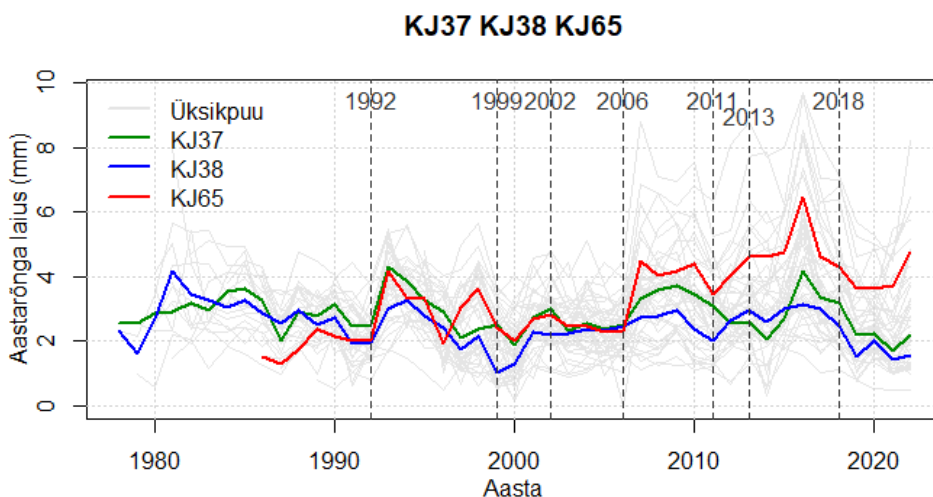
Proovialadest toimusid kõige suuremad muutused KJ65 puistus (joonis 12). Tegemist on kõige noorema puistuga (40 aastat). Puistu haavapuud on reageerinud stressile tugevalt kuna aastarõngaste joon on kasvanud tohutult, nii 2 mm laiusele 6,2 mm-ile. Rõngaste laienemine on olnud suur aastatel 1992, 2006 ja peale 2013, millest esimesel kahel aastal oli väga suur sademetevaesus ning 2013 aastale eelnes juba varasemalt (2 aastat enne) põud.

### KJ65 puistu



**Joonis 12.** Puistu KJ65 haavapuude aastarõngaste laiused. Halli värvi jooned on üksikpuude mõõtmised ja sinine joon on puistu keskmine. Vertikaalsed katkendjooned märgistavad kasvuperioodi põuad.

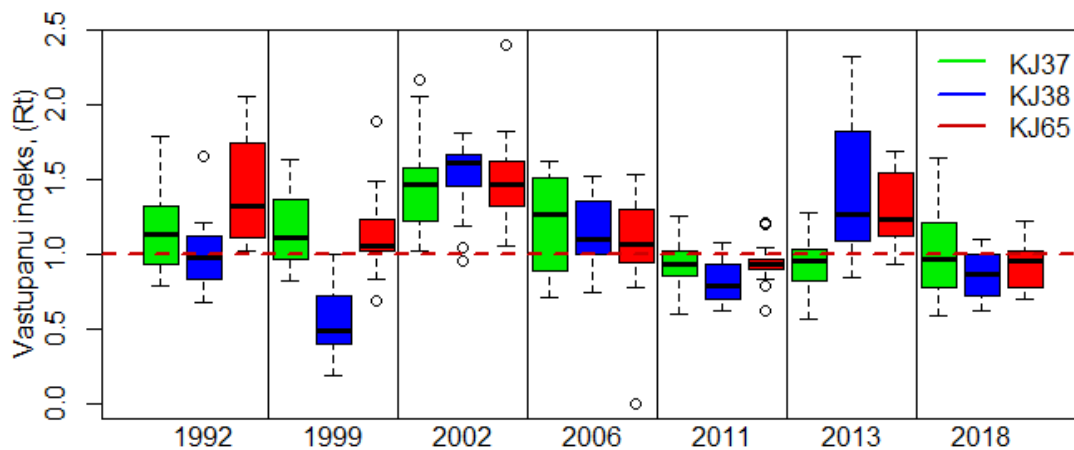
Joonis 13 annab ülevaate kõigist kolmest prooviala puude aastarõngaste laiustest. Antud joonise põhjal saab öelda, et suurimad muutused aastarõngaste laiustes olid aastatel 1992, 2006 ja 2013, kus toimus järsk rõngaste laienemine.



**Joonis 13.** Puistude (KJ37, KJ38, KJ65) haavapuude aastarõngaste laiused. Halli värvi jooned on üksikpuude mõõtmised ja sinine joon on puistu keskmine. Vertikaalsed katkendjooned märgistavad kasvuperioodi põuad.

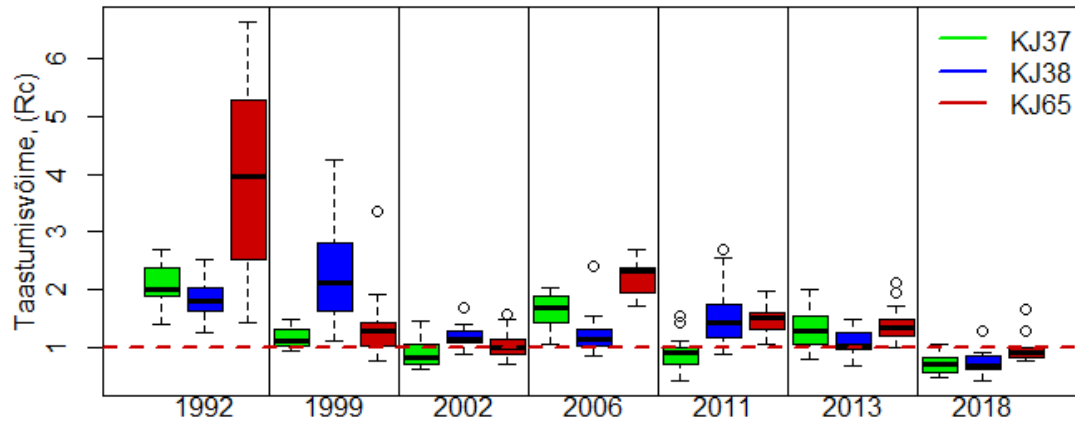
Vastupanu määratletakse kui ökoloogilise jõudluse vähenemise tagasipööramist häirimise ajal. See hinnatakse võrdlusena jõudlusele häire eel ja ajal (Lloret *et al.*, 2011).

Puistute vastupanu indeksite joonis (joonis 14.) annab ülevaate puistutes toimuvast. Antud joonisel saame näha, et esimese puistus (KJ37) on vastupanu põuale oli madalam 2011. a., 2013. ja 2018. a kui kasv langes. Teises puistus (KJ38) on näha ebakorrapärasust langust 1999.a ja samuti kasvu vastupanu oli madalam 2011.a ja 2018. a. Viimases puistus (KJ65) on kasvu vastupanu põuale kõige suurem, välja rvatud 2018. aastal, mil indeks langes veidi alla läve ( $R_t < 1,0$ ). Üldiselt uuritud haavade kasvu vastupanu põudadele on olnud tugev.



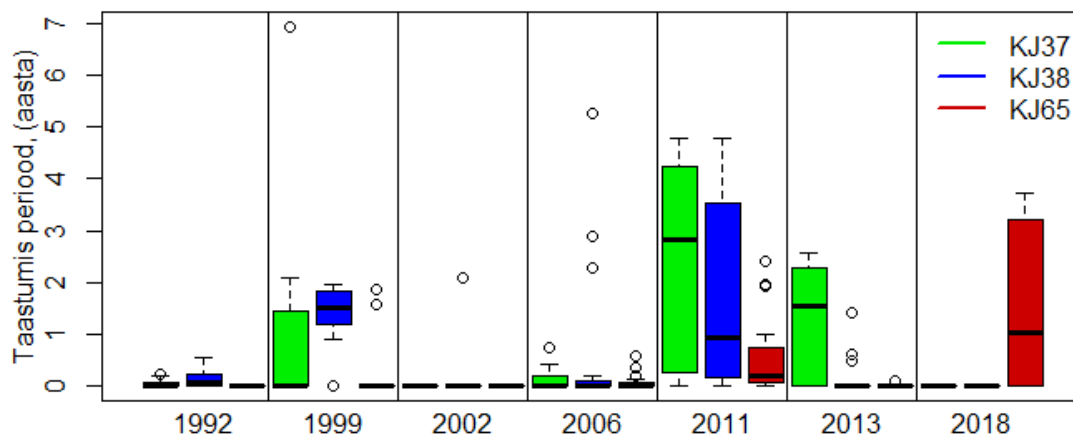
**Joonis 14.** Puistute KJ37, KJ38, KJ65 vastupanu indeksid. Trendiploki must kriips – mediaanväärtus; °– üksikud puud, mis käitusid teistest puudest erinevalt, statistiliselt erindid; punktiirjoon – alumine ja ülemine kvartiil.

Taastumist iseloomustab võime taastuda pärast häiret ning seda hinnatakse võrdlusena toimimisele pärast häiret ja enne häiret (Lloret *et al.*, 2011). Taastumisvõime indeksite põhjal (joonis 15.) on näha, et KJ65 puudel on taastumise võime kohati suurem kui teistel puistutel. Kõige väiksema taastumisvõimega on KJ37 puistu, kuid siiski on kõigi puistute taastumisvõime langemas.



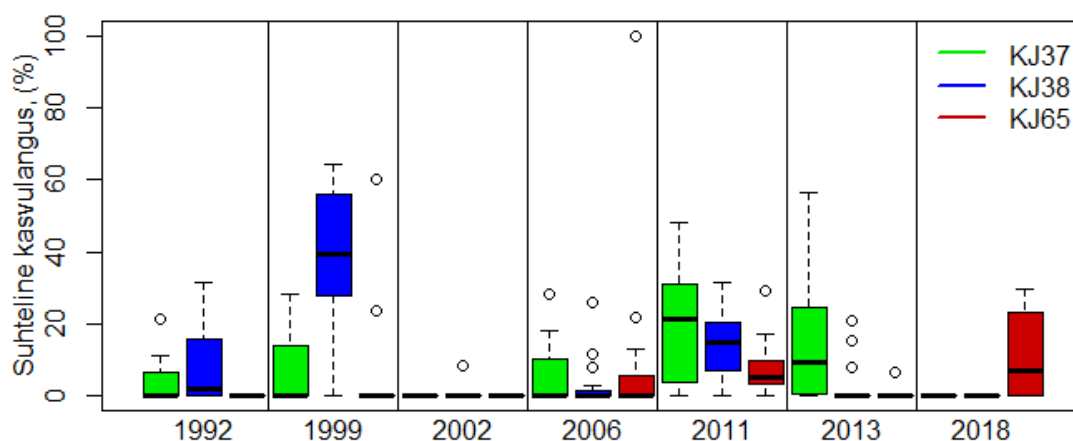
**Joonis 15.** Puistute (KJ37, KJ38, KJ65) taastumisvõime indeksid.

Taastumisperiood on aeg alates põuaaastast kuni põua-eelse kasvutaseme saavutamiseni, mis on vajalik põua-eelse kasvutaseme taastumiseks (Wu *et al.*, 2023). Antud joonise põhjal (joonis 16.) saab öelda, et varasemalt on olnud taastumisperiood lühem või isegi olematu (alates 1992) kõigis puistudes. Kui pärast 2011. aasta põuda on näha suurem varieeruvus ja taastumisperioodi pikenemine. Kasvu taastumine oli pikim KJ37 puistus ja kestis keskmiselt 3 aastat. Taastumisperiood pärast 2018. aasta põuda KJ37 ja KJ38 puistudes on taastumisperiood nullilähedane kuid KJ65 on läinud veidi pikemaks.



**Joonis 16.** Puistute KJ37, KJ38, KJ65 taastumisperiood.

Antud joonis (joonis 17) kinnitab, et põuaaastatel uuritud haavadel kasv eriti ei langenud, ehk oli nullilähedane, kuid on märgatavad mõned erandid. On näha, et 1999 a. puistus KJ38 kasvulangus on olnud keskmisel 40%, ja kuni 20% keskmist kasvu langust on näha 2011. aastal, mis ei ole eriti suur.



**Joonis 17.** Puistute (KJ37, KJ38, KJ65) keskmine suhteline kasvulangus.

### 3. ARUTELU

Peamised kliimamuutused alates 20. sajandi keskpaigast, on suurema tõenäosusega tekitatud just inimeste poolt, seda näitab kasvuhoonegaaside suurem kogus, mis on omakorda üheks kliimasoojenemise põhjuseks (Kliimamuutused. Põhjused).

Kuna haavapuude suurimaks kahjustajaks antud proovialadel on seenpatogeen haavataelik (*Phellinus tremulae*), siis võib vastupidavus elementide tulemusi mõjutada ka seente esinemine proovipuudel.

Aastarõngaste kronoloogia KJ37 puistus (joonis 10.) on suhteliselt vähe kõikunud. Peale 1992. aasta põuda on puistude KJ37 ja KJ65 vastupanu olnud suurem kui KJ38 (joonis 14.). Selle põhjuseks võib olla varasem (1983. aasta) põud (joonis 8.).

Aasta 1999 järel on aastarõngaste laiused kahanenud esimeses ja viimases puistus ning tõusma hakanud KJ38 puistus (joonis 13.), selle põhjus võib seisneda suuremate näitudega taastumisvõime ja taastumis perioodi indeksites (joonised 15 ja 16). Samuti ei ole taastunud KJ37 ja KJ65 aastarõngad peale 2002. aasta põuaperioodi (joonised 10, 12 ja 15).

Kõige rohkem taastus 2006. aasta põuast KJ65 puistu ning vähem KJ37, mida kinnitab ka joonis 15. Kolme puistu aastarõngaste ühine joonis (joonis 13.) näitab aastarõngaste pidevat langust KJ37 puistus 2011.-2013. aastani ning seda kinnitavad joonised 14, 16 ja 17.

2018. aasta põua-eelset järsku muutust (2016) aastarõngastes on raske põhjendada, kuna joonis 6 kuni 9 näitavad vee ja sademete piisavat olemasolu, kuid aastarõngaste kahanemist ja KJ65 puistu pikka taastumist peale 2018. aastat võib suhestada joonistega 14 kuni 17.

Ebaselgete tulemuste väljatuleku vältimiseks tuleks järgnevatel uuringutes suurendada proovialade ja mudelpuude mahtu ning puude tervises seisund võiks olla hea 50 % ulatuses.

## 4. KOKKUVÕTE

Käesolevas uuringus püüti välja selgitada puu radiaalse juurdekasvu osakaal, mis võib olla seotud põuaga. Kuna hariliku haava (*Populus tremula*) suurimad kahjustajad antud proovialadel on seenpatogeen haavataelik (*Phellinus tremulae*) ja uluk põder (*Alcec alcec*), siis teema aktuaalsus võiks olla tingitud ka just nendel põhjustel. Need häiringu mõjud võivad kajastuda ka hilisemates aastates ning seetõttu oleks tarvis uurida pikemalt aastarõngaste kronoloogiat. Bakalaureusetöös on kasutatud Tartu-Tõravere meteoroloogiajaama ööpäevaseid ilmaandmeid (1964. - 2022. aasta) ning hariliku haava puurproove kolmest, riigi poolt hallatavast, puistust. Puurproovid on kogutud Põlva maakonnast Põlva vallast (Kiidjärve metskonnast). Proove võeti igalt eraldi 15 tükki, kokku puurproove 45 tükki.

Andmeanalüüs viidi läbi R Studio keskkonnas, millega teostati aastarõngaste kronoloogiate ja vastupidavus elementide joonised. R-i pakettidest kasutati nelja paketti, milleks olid: *dplR*, *treeclim*, *ggplot2* ja *pointRes*. Lisaks arvutati Excel programmiga, kasutades Tartu-Tõravere ilmajaama andmeid, SPEI indeksid kasvuperioodile (aprill-september), kevadele (märts-mai) ja suvele (juuni-august).

Suuremaid põudu on täheldatud Põhja-Euroopas aastatel 1959-1960, 1975-1976 ja 2003-2004 ning teiste andmeallikate põhjal veel 21. sajandi alguses, näiteks suvel ja sügisel 2010., 2013., 2015. ja 2018. aastal ning talvel 2006. ja 2007. aastal (Babre *et al.*, 2022). Selle uuringu põuaastateks olid 1983, 1992, 1999, 2002, 2006, 2011, 2013, 2018 ja 2022 kuid aastaid 1983 ja 2022 ei ole vastupidavus elementide vaatlusel kajastatud (nendele aastatele ei eelnenud või järgnenud põuda lähiajal).

Antud uurimise tulemused näitavad, et haava aastane radiaalkasv ei ole tugevasti mõjutatud põudadest. Aastarõngalaius ei muutunud oluliselt keskmisest kasvust ja kui langes, taastus kiiresti. Aastarõngaste laius on seotud veehulga ja toiteainete reservuaaridega, mis tingib aastarõngaste laiuste suurema kasvu. Vastupanu trendi joonis näitas, et viimase kolme vaadeldud aasta (2011, 2013 ja 2018) jooksul peaaegu kõigis puistudes vastupanu langenuid ning haava puud on tasa-pikku kaotamas oma vastupidavust põuale.

Puude taastumisvõime trendijoonise põhjal saab öelda, et puud ei pruugi enam põudadest taastuda, tingituna viimase aasta (2018) näitude jäämisest alla piirväärtuse. Aeg põua-eelse



kasvutaseme saavutamiseni peale põuda ehk taastumisperiood on pikenemas võrreldes viimase kolme aasta tulemusi eelnevate aastatega. Keskmise suhtelise kasvulanguse trend näitab osakaalu tõusu kõikides puistudes (viimase kolme aasta põhjal).

Arvestades kõike indekseid, näitasid suurem osa jooniseid, et põud puude radiaalkasvu ei soodusta ning hüpotees pidas paika. Kuna kõik vastupidavuse elementide tulemused on mõjutatud ka seenkahjuritest, siis hüpotees, et puuseente rohkus on suur – pidas paika. Kõigi puistude peale kokku oli seenpatogeenide kahjustuste osakaal 62,2 %.

Uurimustöö järg peaks sisaldama suuremat arvulka puurproove kui ka suurema proovialade valimit, kuna senises uuringus on ainult kolm prooviaala ja 45 proovi. Suure hulga mädanikuga kahjustud proovipuude arv võib muuta tulemuste väljatulekut, mistõttu võiks uurimiseks valida rohkem terveid puud.

Põua mõju harilikule haavale ei ole varasemalt Eestis uuritud. Kuna haab on suuruselt hariliku männi, kuuse ja kase järel neljas puuliik - ehk üsna sage, siis vajaks teema edasist uurimist. Käesoleva uurimuse tulemusi saab kasutada sarnaste uurimiste aluseks.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- Aastaraamat Mets 2020** (2022). / Valgepea, M., Sirkas, F., Timmusk, T., Pärt, E., Suursild, E., Matson, T.: Metsavarud. [on-line] Keskkonnaagentuur (07.02.2023).
- Babre, A., Kalvāns, A., Avotniece, Z., Retiķe, I., Bikše, J., Jemeljanova, K. P. M., Zelenkevičs, A., & Dēliņa, A.** (2022). The use of predefined drought indices for the assessment of groundwater drought episodes in the Baltic States over the period 1989–2018. - *Journal of Hydrology: Regional Studies*. Vol. 40.
- Beguiría, S., & Vicente-Serrano, S. M.** (2023). Calculation of the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index.
- Bunn, A.G.** (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26(2), 115–124. ISSN 1125-7865, doi:10.1016/j.dendro.2008.01.002.
- Bunn, A.G.** (2010). Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. *Dendrochronologia*, 28(4), 251–258. ISSN 1125-7865, doi:10.1016/j.dendro.2009.12.001.
- Tammets, T.** (2008). Eesti ilma riskid. *Sine loco: Eesti Entsüklopeediakirjastus*. lk. 108-112. (16.05.2023)
- Gazol, A., Camarero, J. J.** (2022). Compound climate events increase tree drought mortality across European forests. – *Science of The Total Environment*. Vol 816.
- Gut, U., Árvai, M., Bijak, S., Camarero, J. J., Cedro, A., Cruz-García, R., Garamszegi, B., Hacket-Pain, A., Hevia, A., Huang, W., Isaac-Renton, M., Kaczka, R. J., Kazimirović, M., Kędziora, W., Kern, Z., Klisz, M., Kolář, T., Körner, M., Kuznetsova, V., ... Buras, A.** (2019). No systematic effects of sampling direction on climate-growth relationships in a large-scale, multi-species tree-ring data set. - *Dendrochronologia*. Vol. 57.
- Kliima muutused.** Põhjused [veebileht] <https://www.kliimamuutused.ee/pohjused-jatagajarjed/pohjused> (16.05.2023)
- Laimighofer, J., & Laaha, G.** (2022). How standard are standardized drought indices? Uncertainty components for the SPI & SPEI case. - *Journal of Hydrology*. Vol.613.
- Lloret, F., Keeling, E. G., & Sala, A.** (2011). Components of tree resilience: Effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. - *Oikos*. Vol.120, No.12. Lk. 1909–1920.
- Lutter, R., Tullus, A., Kanal, A., Tullus, T., Tullus, H.** (2016). The impact of former land-use type to above- and below-ground C and N pools in short-rotation hybrid aspen (*Populus tremula* L. \* *P. tremuloides* Michx.) plantations in hemiboreal conditions. – *Forest Ecology and Management*. Vol 378. Lk. 79-90.
- Maa-amet.** Mullastikukaart. [veebileht] <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/mullakaart> (9.05.2023).

- Mazza, G., & Sarris, D.** (2021). Identifying the full spectrum of climatic signals controlling a tree species' growth and adaptation to climate change. - *Ecological Indicators*. Vol.130.
- Metsaportaal.** [veebileht] <https://register.metsad.ee/#/> (10.05.2023).
- Oyounalsoud, M. S., Abdallah, M., Gokhan Yilmaz, A., Siddique, M., & Atabay, S.** (2023). A new meteorological drought index based on fuzzy logic: Development and comparative assessment with conventional drought indices. - *Journal of Hydrology*. Vol.619.
- Pan, Y., Zhu, Y., Lü, H., Yagci, A. L., Fu, X., Liu, E., Xu, H., Ding, Z., & Liu, R.** (2023). Accuracy of agricultural drought indices and analysis of agricultural drought characteristics in China between 2000 and 2019. - *Agricultural Water Management*. Vol.283.
- Paulson, K.** (2019). Põua mõju hariliku kuuse (*Picea abies* KARST.) juurdekasvule. Bakalaureusetöö. Eesti Maaülikooli Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. Lk. 38.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I.** (2010). a Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. – *Journal of Climate*. Vol 23. No.7. Lk. 1696-1719.
- Šēnhofa, S., Zeps, M., Matisons, R., Smilga, J., Lazdiņa, D., & Jansons, Ā.** (2015). Effect of climatic factors on tree-ring width of *Populus* hybrids in Latvia. - *Silva Fennica*. Vol. 50, No.1.
- Zang, C., Biondi, F.** (2015). treeclim: an R package for the numerical calibration of Proxy-climate relationships – *Nordic Society Oikos*. Vol 38. Lk. 431-436.
- Tullus, T., Lutter, R., Randlane, T., Saag, A., Tullus, A., Oja, E., Degtjarenko, P., Pärtel, M., Tullus, H.** (2022). The effect of stand age on biodiversity in a 130-year chronosequence of *Populus tremula* stands. – *Forest Ecology and Management*. Vol 504.
- van der Maaten-Theunissen, M., van der Maaten, E., Bouriaud, O.** (2015). pointRes: An R package to analyze pointer years and components of resilience. *Dendrochronologia*, 35, 34-38. doi:10.1016/j.dendro.2015.05.006.
- Wickham, H.** (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277- <https://ggplot2.tidyverse.org/>
- Wu, G., Xu, G., Wang, B., Liu, X., Chen, T., & Kang, H.** (2023). Post-drought moisture condition determines tree growth recovery after extreme drought events in the Tianshan Mountains, northwestern China. - *Ecological Indicators*. Vol. 151.
- Yang, P., Zhai, X., Huang, H., Zhang, Y., Zhu, Y., Shi, X., Zhou, L., & Fu, C.** (2023). Association and driving factors of meteorological drought and agricultural drought in Ningxia, Northwest China. - *Atmospheric Research*. Vol. 289.

**LISAD**

## Lisa 1. Mädanikuga kahjustunud proovid



Joonis 18. Mädanikuga kahjustunud hariliku haava tüveproovid alusel (autori foto).

## Lisa 2. Seenekahjustuste osakaal

Tabel 2. Seenkahjustuste osakaalu leidmine (Excel).

Kvartal	Puu nr.	Seisund	Kvartal	Puu nr.	Seisund	Kvartal	Puu nr.	Seisund
KJ037	KJ37H01	kahjustunud	KJ038	KJ38H01	kahjustunud	KJ065	KJ65H01	terve
KJ037	KJ37H02	terve	KJ038	KJ38H02	kahjustunud	KJ065	KJ65H02	kahjustunud
KJ037	KJ37H03	kahjustunud	KJ038	KJ38H03	kahjustunud	KJ065	KJ65H03	kahjustunud
KJ037	KJ37H04	kahjustunud	KJ038	KJ38H04	kahjustunud	KJ065	KJ65H04	kahjustunud
KJ037	KJ37H05	kahjustunud	KJ038	KJ38H05	kahjustunud	KJ065	KJ65H05	terve
KJ037	KJ37h06	kahjustunud	KJ038	KJ38H06	kahjustunud	KJ065	KJ65H06	kahjustunud
KJ037	KJ37H07	kahjustunud	KJ038	KJ38H07	kahjustunud	KJ065	KJ65H07	terve
KJ037	KJ37H08	kahjustunud	KJ038	KJ38H08	terve	KJ065	KJ65H08	terve
KJ037	KJ37H09	terve	KJ038	KJ38H09	kahjustunud	KJ065	KJ65H09	terve
KJ037	KJ37H10	terve	KJ038	KJ38H10	kahjustunud	KJ065	KJ65H10	terve
KJ037	KJ37H11	kahjustunud	KJ038	KJ38H11	kahjustunud	KJ065	KJ65H11	kahjustunud
KJ037	KJ37H12	kahjustunud	KJ038	KJ38H12	kahjustunud	KJ065	KJ65H12	terve
KJ037	KJ37H13	kahjustunud	KJ038	KJ38H13	kahjustunud	KJ065	KJ65H13	terve
KJ037	KJ37H14	terve	KJ038	KJ38H14	terve	KJ065	KJ65H14	terve
KJ037	KJ37H15	terve	KJ038	KJ38H15	kahjustunud	KJ065	KJ65H15	terve
<b>Kahjustuste osakaal</b>		<b>66,7%</b>			<b>86,7%</b>			<b>33,3%</b>

## **Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Gert Lõhmus,

sünniaeg 21.märts.2000,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö Põua mõju hariliku haava juurdekasvule, mille juhendajad on Sandra Metslaid ja Maris Hordo,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_  
allkiri

Tartu, 22.05.2023

---

### **Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)

