



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsanduse ja inseneeria instituut

Lauri Mõts

**PUUDEVAHELISE KONKURENTSI MUUTUMINE
HARVENDUSRAIETEL MÄNNIKUTES**

The change of intra-tree competition in thinned Scots pine
stands

Bakalaureusetöö
metsanduse õppekava

Juhendaja: professor Henn Korjus, PhD

Tartu 2024

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Lauri Mõts		Õppekava: Metsandus	
Pealkiri: Puudevahelise konkurentsi muutumine harvendusraietel männikutes			
Lehekülgi:22	Jooniseid:7	Tabeleid:2	Lisasid:0
<p>Osakond / Õppetool: Metsakasvatuse ja metsaökoloogia õppetool ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: B430 Metsakasvatus, metsands, metsandustehnoloogia</p> <p>Juhendaja(d): Henn Korjus</p> <p>Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2024</p>			
<p>Eesti kõige levinum puuliik, mänd, on suure majandusliku ja ökoloogilise tähtsusega. Puudevaheline konkurents mängib olulist rolli metsaökosüsteemi dünaamikas, mõjutades puistu struktuuri ja puude tervislikku seisundit. Harvendusraie on üks olulisem metsandusmajanduslik võtte, mille eesmärk on reguleerida puude arvu ja parandada puistu kvaliteeti.</p> <p>Bakalaureusetöö eesmärk on analüüsida, kuidas puudevaheline konkurents muutub männikutes pärast harvendusraiet, millised on selle mõju puistu struktuurile ja dünaamikale ning koguda takseerandmed ja võrrelda neid metsaregistris olevatega.</p> <p>Tulemused kinnitavad, et harvendusraied mõjutavad puudevahelist konkurentsi, vähendades seda oluliselt ja parandades puude kasvutingimusi. Enamikul puudel paranes konkurentsituatsioon pärast raiet, mis tõstab nende ellujäämise ja kasvu tõenäosust. Hegyi indeksi tulemused olid oluliselt erinevad enne ja pärast raiet, mis viitab selgetele muutustele puudevahelises konkurentsisis. BAL indeksi tulemused näitasid väiksemaid muutusi, mis viitab, et harvendusraie mõju sõltub ka valitud raiemeetodist.</p> <p>Uuring aitab paremini mõista metsaökosüsteemi reageerimist metsamajandamisele ja võimaldab välja töötada tõhusamaid metsanduspraktikaid, mis arvestavad puudevahelise konkurentsi dünaamikaga. Harvendusraied on vajalikud, et tagada puude optimaalne kasv ja puistu kõrge kvaliteet, eriti majanduslikult tähtsate puuliikide, nagu hariliku männi, puhul.</p>			
Märksõnad: harilik mänd, konkurentsiiindeksid, harvendusraie, takseerandmed			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract Bachelor's Education Thesis	
Author: Lauri Mõts		Curriculum: Forestry	
Title: The change of intra-tree competition in thinned Scots pine stands			
Pages:22	Figures:7	Tables:2	Appendixes:0
Department / Chair: Silviculture and Forest Ecology Field of research and (CERC S) code: B430 silviculture, forestry, forest technology Supervisors: Henn Korjus Place and date: Tartu 2024			
<p>The most common tree species in Estonia, Scots pine, is of great economic and ecological importance. Intra-tree competition plays a crucial role in the dynamics of forest ecosystems, affecting the structure and health of stands. Thinning is one of the most important forest management techniques aimed at regulating the number of trees and improving stand quality.</p> <p>The aim of this bachelor's thesis is to analyze how intra-tree competition changes in Scots pine stands after thinning, what the effects on the structure and dynamics of the stands are, and to collect assessment data and compare it with the data in the forest register.</p> <p>The results confirm that thinning significantly affects intra-tree competition, reducing it and improving the growth conditions for trees. For most trees, the competition situation improved after thinning, which increases their chances of survival and growth. The results of the Hegyi index were significantly different before and after thinning, indicating clear changes in intra-tree competition. The results of the BAL index showed smaller changes, suggesting that the effect of thinning also depends on the chosen thinning method.</p> <p>This study helps to better understand the forest ecosystem's response to forest management and enables the development of more effective forestry practices that take into account the dynamics of intra-tree competition. Thinning is necessary to ensure the optimal growth of trees and high-quality stands, especially for economically important tree species such as Scots pine.</p>			
Keywords: Scots pine, competition index, thinning, inventory of a stand			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. KIRJANDUSE ANALÜÜS	6
1.1. HARILIK MÄND EESTIS	6
1.2. HARVENDUSRAIE	7
1.3. KONKURENTSI MÕJU JA SELLE HINDAMINE	8
2. MATERJAL JA METOODIKA.....	10
2.1. UURITUD ERALDISED	10
2.2. VÄLITÖÖD	11
2.3. ARVUTUSED	12
3. TULEMUSED JA ARUTELU	14
KOKKUVÕTE	19
KASUTATUD KIRJANDUS	21

SISSEJUHATUS

Puudevaheline konkurents on oluline tegur metsaökosüsteemi dünaamikas ning mõjutab oluliselt puistu struktuuri ja puude tervislikku seisundit. Harvendusraie on oluline metsamajandamise võte, mille eesmärk on reguleerida puude arvu ja parandada puistu kvaliteeti (Tullus 2014). Mänd on kõige levinum puuliik Eestis, olles suure majandusliku ja ökoloogilise tähtsusega (Keskkonnaagentuur 2023).

Pärast harvendusraiet muutuvad puudevahelised suhted metsas oluliselt. Harvendusraiega kaasneb puude arvu vähenemine ja muutuvad ka puudevahelise konkurentsi tingimused. Kui enne raie oli puudevaheline konkurents tihedam ja ressursid olid piiratud, siis pärast harvendusraiet võivad allesjäänud puud saada rohkem valgust, vett ja toitaineid, mis omakorda mõjutab positiivselt nende kasvu ja ellujäämise tõenäosust (Maleki 2016).

Sellest tulenevalt on oluline uurida, kuidas puudevaheline konkurents muutub männikutes pärast harvendusraiet ning millised on selle mõjud puistu struktuurile ja dünaamikale. Selleks on vaja rakendada erinevaid meetodeid, mis võimaldavad hinnata konkurentsi taset ja selle mõju puudele pärast harvendusraiet. Selline uurimistöö aitab paremini mõista metsaökosüsteemi reageerimist metsamajandamisele ning võimaldab välja töötada paremaid metsanduspraktikaid, mis arvestavad puudevahelise konkurentsi dünaamikaga. Selles töös keskendume just nendele aspektidele, et täiendada meie arusaamist männikute ökoloogiast ja metsamajandamisest.

Töö eesmärk:

1. uurida, kuidas on männikutes harvendusraie järgselt konkurentsi tingimused muutunud
2. võrrelda konkurentsiindeksite muutumist harvendusraiel, vaadeldavateks indeksiteks on Hegyi indeks (Hegyi 1974) ja BAL-indeks (Wykoff 1982)
3. koguda uuritavatelt aladelt takseerandmed ja võrrelda neid metsaregistris olevate andmetega

1. KIRJANDUSE ANALÜÜS

1.1. HARILIK MÄND EESTIS

Harilik mänd on kõige levimum puuliik Eestis, kattes 31% Eesti metsamaast. Eesti männirikkamad piirkonnad on Lääne-Eesti saared, mandri loode- ja põhjaosa ning Kagu-Eesti, vähem leiab männimetsi Jõgeva- ja Tartumaal. (Keskkonnaagentuur 2023)

Männipuistute tootlikus piirkonniti erineb tublisti, Lääne- ja Loode-Eest õhukestel muldadel on männimetsad enamasti madalad ning tüved peenevõitu, Kagu-Eestis kasvavad Eesti kõige suurema tagavara ja kõrgeima boniteediga männikud. Harilik mänd ja kask olid esimesed puuliigid, mis hakkasid kujundama Eesti metsakooslust pärast mandrijää taandumist.(Sibul 2014)

Harilik mänd on suuteline kasvama erinevates tingimustes, sageli kasvab ta puhtpuistuna, kuivematel liivmuldadel ja lootaladel. Eestis on enim: pohla- (24%), mustika- (19%) ja kanarbikumännikud (13%). Harilik mänd on valgusnõudlik, talub hästi põuda ja pakast, alustab kasvu üpris madala temperatuuri juures. Kõrge tootlikusega puhtpuistud moodustuvad vett läbilaskvatel saviliivmuldadel. Hariliku mäندی peetakse kiirekasvuliseks puuliigiks, viljakamatel kasvukohatüüpidel võib ta saavutada 70-aastaselt 30 m kõrguse, rabas sama ajaga küündib ta vaevu paarimeetriseks puuks, eluiga ulatub 400-500 aastani. Balti- ja Põhjamaade kõrgeimad männid kasvavad Järveljal Riiupalus.(Sibul 2014)

Harilik mänd on lülipuiduline, lülipuit tekib alles pärast 40. eluaastat. Puit sisaldab vaiku, mille tõttu on tal head säilivusomadused. Tegemist on majanduslikult tähtsa puuliigiga, sest ta on hästitöödeldav, poleeritav ja peitsitav. Männipuitu kasutatakse laialdaselt tarbepuiduna nii sise- kui välitingimustes, kuna puit on hästi immutav sobib see suurepäraselt õhuliinipostide ning raudteeliiprite valmistamiseks.(Sibul 2014)

1.2. HARVENDUSRAIE

Harvendusraiet tehakse metsas, kus puude keskmine rinnasdiameeter on suurem kui 8 cm. Harvendusraie eesmärk on parandada peapuuliigi kasvutingimusi, mis kokkuvõttes suurendab puistu väärtust ja kvaliteeti. Harvendusraie tähtsust võib väljendada järgmiste seisukohtadega:

1. Puude võrad hoitakse optimaalse pikkusega ja elujõulistena, mis suurendab tüvede jämeduskasvu.
2. Kujundab puudel tugeva tüve ja juurestiku, mis muudab puud vastupidavaks tuulele ja lume raskusele võras.
3. Harvendatud mõõduka liitusega võrastiku all on talvel rohkesti lund, mille tõttu maapind külmub vähem, kevadel lumi sulab kiiremini ja sulavesi imbub paremini maapinda.

Harvendusraie mõju väljendub kõige paremini viljakatel muldadel, kehvadel muldadel konkurentsi vähendamine erilist efekti ei anna. Esimene harvendusraie võiks olla vanuses, mis moodustab 20-25% lõppraie vanusest ja seda võiks teha kuni 75% loodetava uuendusraie vanusest. (Laas 2012)

Esimene harvendusraie männikutes on soovituslik teha 20-40 aasta vanuselt, esimene harvendus ei pruugi olla tulu andev, vaid on investering, mis tagab suurema tulu teistest harvendusraiest (Tullus 2014). Harvendusraiet puhtmännikutes tuleb teha alameetodil, puistu täius ei tohiks langeda alla 70%, sest madalama täiuse korral tekib lumemurru ja -vaalimise oht, puud võivad murduda grupiti (Tullus 2014).

Viljakates kasvukohtades männikute harvendusraie kordusperiood peaks olema 10-15 aasta järelt, viimane harvendusraie vanuseline piir on umbes 60 aastat, hilisemad puistu hooldusraied tuleks teha sanitaarraiate põhimõttel (Tullus 2014). Üheks eesmärgiks harvendusraiel on suurendada puude jämeduskasvu, eelnevate uuringute tulemuste põhjal on selgunud, et puistus valitsevad puud reageerivad harvendusele vähem, kui keskmiste kasvuklasside puud (Tullus 2014). Alameetodil harvendusraie keskealises puhtmännikus võrade valgustingimusi muudab suhteliselt vähe, peamiselt muutub juurtoitumistingimused (Tullus 2014).

1.3. KONKURENTSI MÕJU JA SELLE HINDAMINE

Kui jälgime metsa moodustavaid puid, mis on ühevanused ja kuuluvad ühte liiki, märkame nende vahel mitmeid erinevusi välisilmes, talitluses ja füsioloogilistes omadustes. Need ilmnevad näiteks puude kõrguses, võra suuruses, tüve diameetris, tüve vormis ja kujus, okste asetusel ja suuruses, juurestiku ulatuses, aga ka sünteesiprotsesside intensiivsuses, kasvuperioodi alguses ja lõpus, põua- ning külmakindluses. Seda nähtust nimetatakse puude diferentseerumiseks. (Pihelgas 1983)

Puude diferentseerumine ja nende arvu vähenemine on tingitud puudevahelisest konkurentsist. Kuigi võitlus olemasolu eest kestab metsas kogu aeg, võib selle intensiivsus puistu eri arenguetappidel muutuda. (Pihelgas 1983)

Konkurentsi mõju avaldub kasvus allajäänud puude suremusel ja leiab aset siis, kui puud üritavad kasutada samu ressursse, aga ressursid on piiratud (Maleki 2016). Puud konkureerivad valguse, toitainete ja vee pärast (Pihelgas 1983). Suur puudevaheline konkurents vähendab puu ellujäämise võimalust ja juurdekasvu, mõni puu võib konkurentsimojude tagajärjel kiiresti hukkuda, mõni muutub ainult nõrgemaks ning suudab pikalt vastu pidada (Maleki 2016). Esmalt kajastub looduslik valik puistutes noorte puude väljalangemises – esmajärjekorras langevad välja need puud, mis olemasolevates tingimustes on vähem vastupidavad (Pihelgas 1983).

Metsaökosüsteemi elutegevus ja tootlikkus sõltub paljuski puistu struktuurist (Naumburg, DeWald 1999). Puistu struktuuri tähtsaimad komponendid on üksikpuude ruumiline paigutus, nende tervislik seisund, suurus ja liik (Maleki 2016). Konkurentsi võib pidada peamiseks eluslooduse teguriks puistus, millest sõltub puistu areng ja struktuur ning üksikpuu kasv, tüve- ja võra kuju (Naumburg, DeWald 1999).

Konkurentsaindeksid liigitatakse kaugusest sõltuvateks ja mittesõltuvateks (Maleki 2016). Konkurentsaindeksid, mida kasutatakse üksikute puude kasvu ja suremuse mudelites, kajastavad puude vahelise ruumilise jaotuse muutuste mõju (Ledermann, Stage 2001). Konkurentsaindeksid on integreeritud mõõdikud, mis näitavad konkureerivate isendite vaheliste suureneva eraldumise kui ka nende konkurentsivõime atribuutide erinevuste mõju

(Ledermann, Stage 2001). Sõltuvad indeksid võtavad arvesse piirkonnas paiknevate naaberpuude kauguse, sest lähinaabrid mõjutavad vaadeldavat puud tugevamini (Ledermann, Stage 2001). Sõltumatud kaugusindeksid kujutavad puude keskmise suuruse ja kauguse vahelist seost, kajastatakse terve puistu kohta käivaid andmeid (Ledermann, Stage 2001).

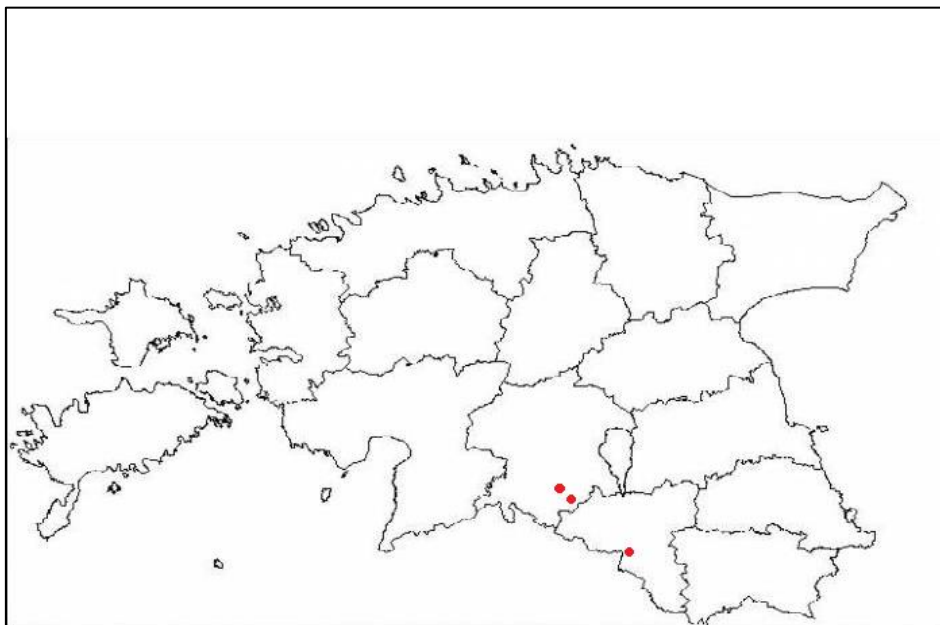
Krafti klassi järgi jaotatakse puud viide klassi, mille abil on võimalik iseloomustada puude omavahelist konkurentsi. Jaotamise aluseks on puude mõõtmed. Klassid jagunevad järgmiselt:

1. ülevalitsevad puud (kõige kõrgemad puud puistus, kõige jämedama tüvega ja võimsa võraga);
2. valitsevad puud (esimese klassi puudest madalamad, valitsevate puude kõrgus moodustab 90-95% I klassi puude kõrgusest. Tüve diameeter umbes 85% I klassi puude omast)
3. kaasvalitsevad puud (moodustavad 80-85% I klassi puude kõrgusest ja on tunduvalt peenemad ning kitsama võraga. Rinnasdiameeter moodustab umbes 75% I klassi puude rinnasdiameetrist)
4. allajäänud puud (ulatuvad oma ladvaga vaid võrastiku alumisse ossa, kõrgus 70-75% I klassi puude kõrgusest. Rinnasdiameeter 50-55% I klassi puude rinnasdiameetrist)
5. surevad ja surnud puud (jäävad täiesti võrastiku alla, kõrgus on väiksem kui 70% I klassi puude kõrgusest ning diameeter enam kui kaks korda väiksem) (Pihelgas, 1983).

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1. UURITUD ERALDISED

Bakalaureusetöös tehti mõõtmised kolmel eraldisel, millest kaks paiknevad Viljandimaal ja üks Valgamaal (joonis 1). Eralduste peapuuliigiks on mänd.



Joonis 1. Bakalaureusetöös vaatluse all olevad eraldised.

Männikute vanused on proovitükkidel erinevad, vahemikus 66-90 aastat. Üheks valiku kriteeriumiks oli vähem kui 5 aastat tagasi teostatud harvendusraie, et raiejärgsed kannud oleksid nähtavad. Eraldiste suurused jäid vahemikku 2-4 hektarit, et oleks võimalik koguda piisaval määral andmeid, sest väiksemal proovitükil on oht, et mõõdetavad puud hakkavad üleliia kattuma ja andmetöötuses andmeid kasutades muutuvad veapiirid liialt suureks.

Üheks töö eesmärgiks on võrrelda takseernäitajaid, algandmed on võetud metsaregistrist (tabel 1), inventeerimise kuupäevad on erinevad. Inventeerimise kuupäevad on järgmised: VL014E4-16.03.2023, PA365E4 -12.03.2020 ja PA402E16 -12.09.2022. Kogutud takseernäitajad on aktuaalsed ja ei tohiks erineda olulisel määral bakalaureusetöös kogutud andmetest.

Tabel 1. Uuritud eraldiste takseerikirjeldused ja harvendusraie teostamise aasta (Metsaregister)

Eraldis	VL014E4	PA365E4	PA402E16
Peapuuliik	Mänd	Mänd	Mänd
Kasvukohatüüp	KM	JM	JM
Vanus, a	90	66	70
I. Rinde rinnaspindala, m ² /ha	23	21	23
Kõrgus, m	26	24	23
Keskmine diameeter, cm	25	23	26
Täius, %	64	67	64
Tagavara, m ³ /ha	270	242	255
Harvendusraie aasta	2022	2019	2021

2.2. VÄLITÖÖD

Kõik mõõtmised välitöödel tehti käsitsi, selleks kasutati metsanduses levinuid mõõteriistu (joonis 2). Iga objektpuu diameeter mõõdeti 1,3m kõrguselt, kahes ristiolevas suunas, arvutati kahe diameetri aritmeetiline keskmine, mis ümardati täisarvuks, vastavalt ümardamisreeglitele. Puude kõrguste ja omavaheliste kauguste mõõtmiseks kasutati kõrgusmõõtjat Vertex IV.



Joonis 2. Töös kasutatud mõõtevahendid: kõrgusmõõtja Vertex IV, Bitterlichi lihtrelaskoop ja metsaklupe.

Välitöödel uuritud aladel koguti igal eraldisel 15 objektpuu andmed ja teda ümbritsevate konkurentide kaugused ja diameetrid, määrati objektpuu kasvuklass Krafti klassi järgi, võttes arvesse puu visuaalset seisukorda. Klasside jaotus oli järgnev: ülevalitsev, valitsev,

kaasvalitsev, allajäänud või surev. Samuti määrati välitöödel BAL indeks, selleks kasutati Bitterlichi lihtrelaskoopi, vaadeldi objektpuust suurema rinnaspindalaga puid, kui rinnasdiameeter oli objektpuu omaga võrdne loendati BAL indeksi väärtusesse 0,5.

2.3. ARVUTUSED

Kogutud andmete töötamiseks kasutati tarkvara MS Exceli keskkonnas. Kuna osad diameetrid olid mõõdetud kannult 10 cm kõrguselt juurekaelalt, tuli leida arvutamise teel nende oletatav rinnasdiameeter, eelnevalt sai mõõdetud kümnel puistus kasvaval puul diameeter 10cm kõrguselt juurekaelalt ja diameeter 1,3m kõrguselt.

Puistu tagavara arvutati Metsa korraldamise juhendi (2009) valemi abil (1).

$$M = G \times H \times F \quad (2.1.)$$

kus M on puistu tagavara (m³/ha), G on puistu rinnaspindala (m²/ha), H on puistu keskmine kõrgus (m) ja F on puistu rinnakõrguse vormiarv.

Vormiarv arvutati samuti Metsa korraldamise juhendi (2009) valemit kasutades

$$F = a + \frac{b}{H} + c * \sqrt{H} \quad (2.2.)$$

kus F on puistu keskmine rinnakõrguse vormiarv, H on puistu keskmine kõrgus (m) ja a (-0,2934), b (4,0350), c (-0,1204) ja d (0,3704) on määritajad.

Igale proovitükile arvutati puistu täius Metsa korraldamise juhendi (2009) järgi.

$$T = \frac{G}{G_n} * 100, \quad (2.3.)$$

kus T on puistu täius (%), G on puistu rinnaspindala (m² /ha) ja G_n - normaalpuistu rinnaspindala (m² /ha).

Töös kasutati kahte erinevat konkurendiindeksit, esimeseks indeksiks oli BAL-indeks (Wykoff 1982), mis määrab eraldisel vaadeldavast puust jämedamate puude rinnaspindala summa.

$$BAL = \sum_{g_j}^n = d_i < d_j, \quad (2.4.)$$

kus g_j on vaadeldava naaberpuu rinnaspindala, d_i on vaadeldava puu diameeter, d_j on naaberpuu diameeter

Teiseks indeksiks oli Hegyi indeks (Hegyi 1974), mis võtab arvesse kõik naaberpuude rinnasdiameetrid ja täpse kauguse.

$$H = \sum_{i=1}^n \left[\frac{D_i}{D_j * Dist_{ij}} \right], \quad (2.5.)$$

kus D_i (cm) on konkureeriva puu rinnasdiameeter, D_j on vaadeldava puu rinnasdiameeter ja $Dist_{ij}$ on kaugus (m) konkureeriva ja mudelpuu vahel, n - konkureerivate puude arv (tk)

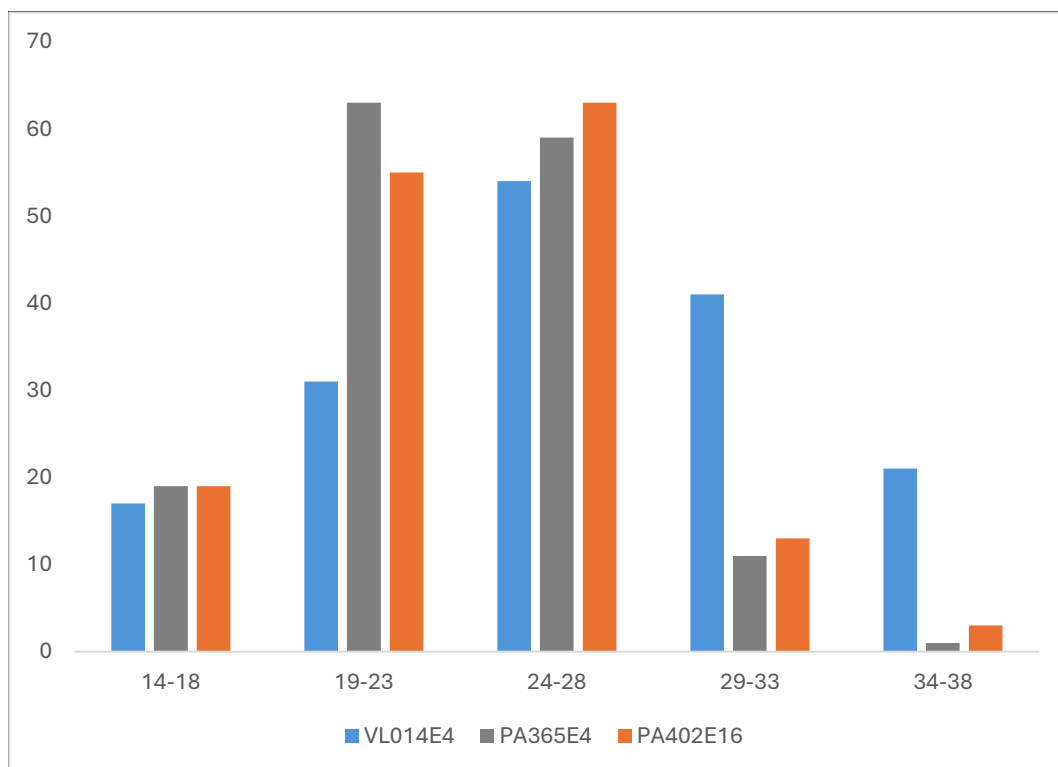
3. TULEMUSED JA ARUTELU

Autori kogutud ja metsaregistris olevad andmed olulisel määral ei erine (tabel 1. ja tabel 2). Inventeerimisandmed metsaregistris on kogutud aastatel: VL014E4 – 2023; PA365E4 – 2020 ja PA402E16 – 2022.

Tabel 2. Proovitükke kirjeldavad takseernäitajad, mõõdetud välitöödel 2024. aasta kevadel

Eraldis	VL014 E4	PA365 E4	PA402 E16
Peapuuliik	MA	MA	MA
Kasvukohatüüp	MS	JM	JM
Vanus, a	90	66	70
I. Rinde rinnaspindala, m ² /ha	23	21	23
Kõrgus, m	24	22	25
Keskmine diameeter, cm	26	23	24
Täius, %	67	63	69
Tagavara, tm/ha	263	229	286

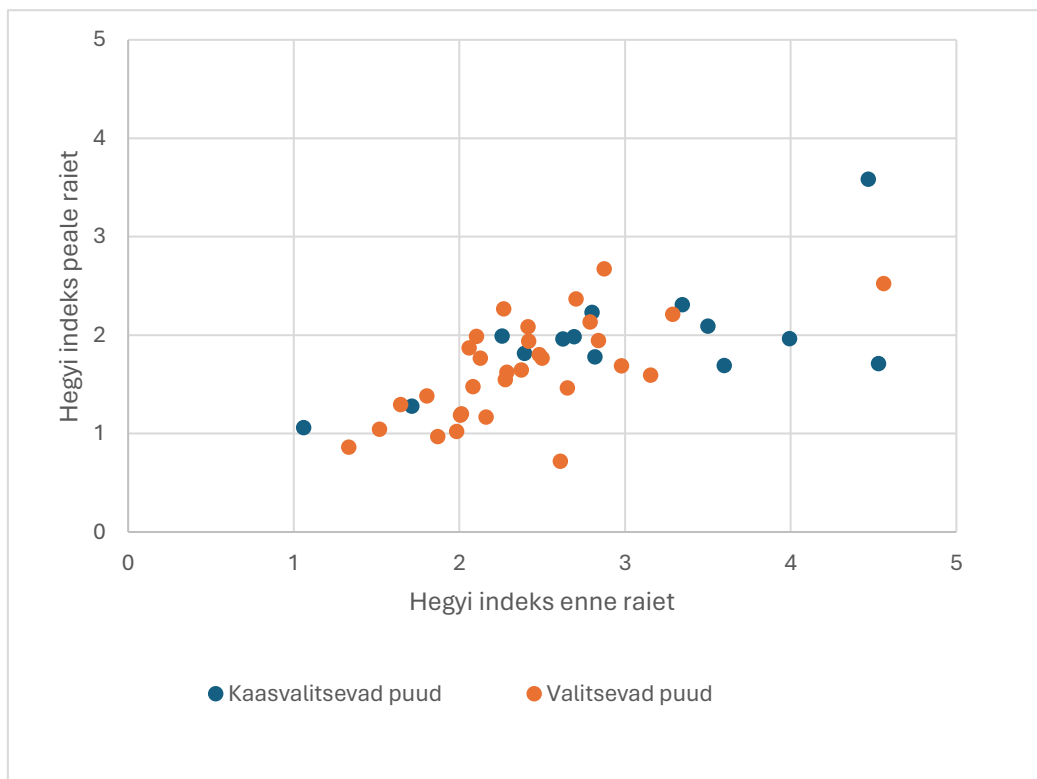
Joonisel 3 on välja toodud kõigi mõõdetud puude rinnasdiameetrid, mis on jagatud klassidesse sammuga 5cm.



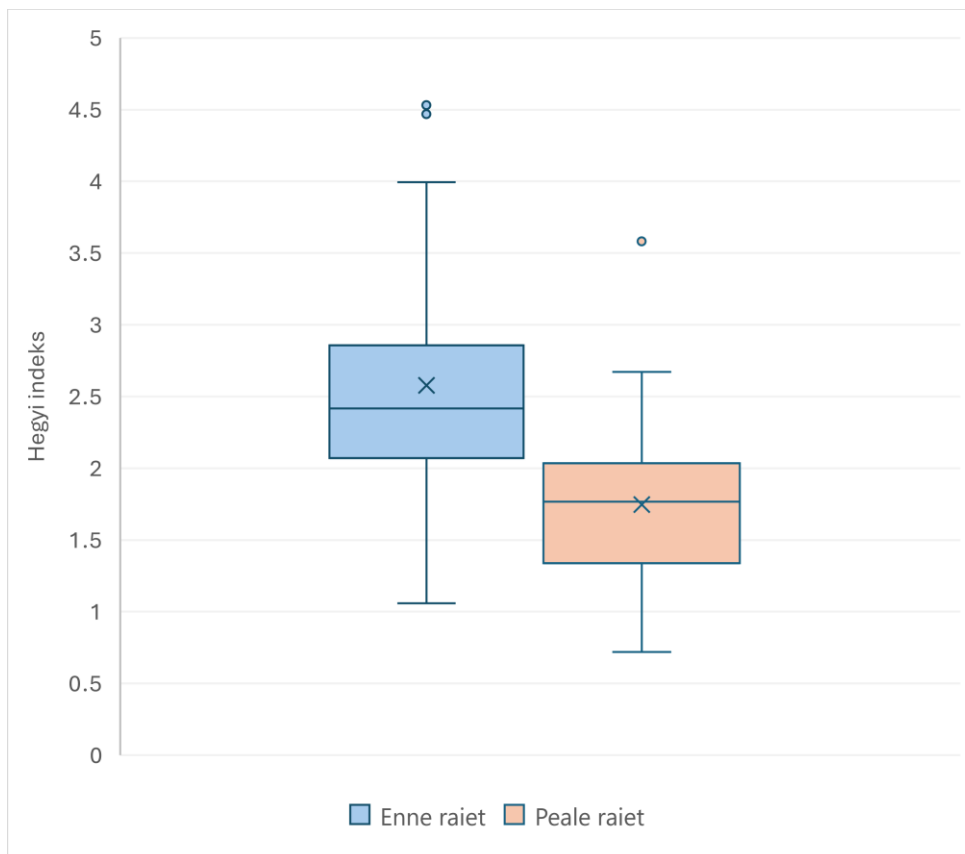
Joonis 3. Rinnasdiameetrite jagunemine klassidesse proovitükkidel eraldiste kaupa.

Kõige rohkem puid on jämedusklassis 24-28 cm. Viljandimaal uuritavatel eraldistel on diameetrite jaotused sarnane, sest tegemist on sisuliselt samaealiste puistutega. Joonisel eristub hästi välja, et mida vanem on puistu, seda rohkem on seal suurema rinnasdiameetriga puid.

Harvendusraiate mõju analüüsimiseks võrreldi Hegyi ja BAL indeksite muutusi enne ja pärast harvendusraiet. Joonisel 4 on esitatud Hegyi indeksi muutumine puude kaupa. Enamiku puude konkurentsituatsioon on harvendusraie tulemusena paranenud, seda nii valitsevate kui ka kaasvalitsevate puude osas. Vaid kahel puul on Hegyi indeks jäänud raiejärgselt samaks raie-eelsega. Keskmiselt on Hegyi indeks raiejärgselt kaasvalitsevatel puudel 69% raie- (standardhälve $\pm 17\%$) ja valitsevatel puudel 70% ($\pm 16\%$) raie-eelsest. Joonisel 5 on esitatud Hegyi indeksi karpdiagrammid enne ja peale raie. Keskmised Hegyi indeksid enne ja peale raie on usaldatavalt erinevad ($p < 0,001$), seega tulemused näitavad selgeid muutusi puudevahelise konkurentsi tingimustes harvendusraiate järgselt..

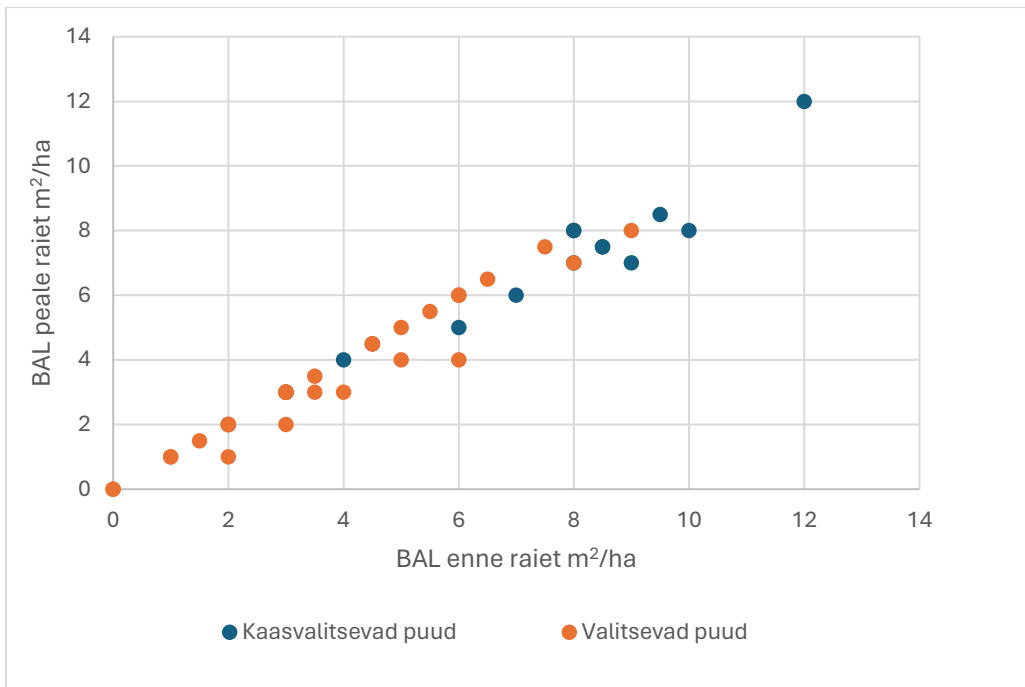


Joonis 4. Hegyi indeks enne ja peale harvendusraie.

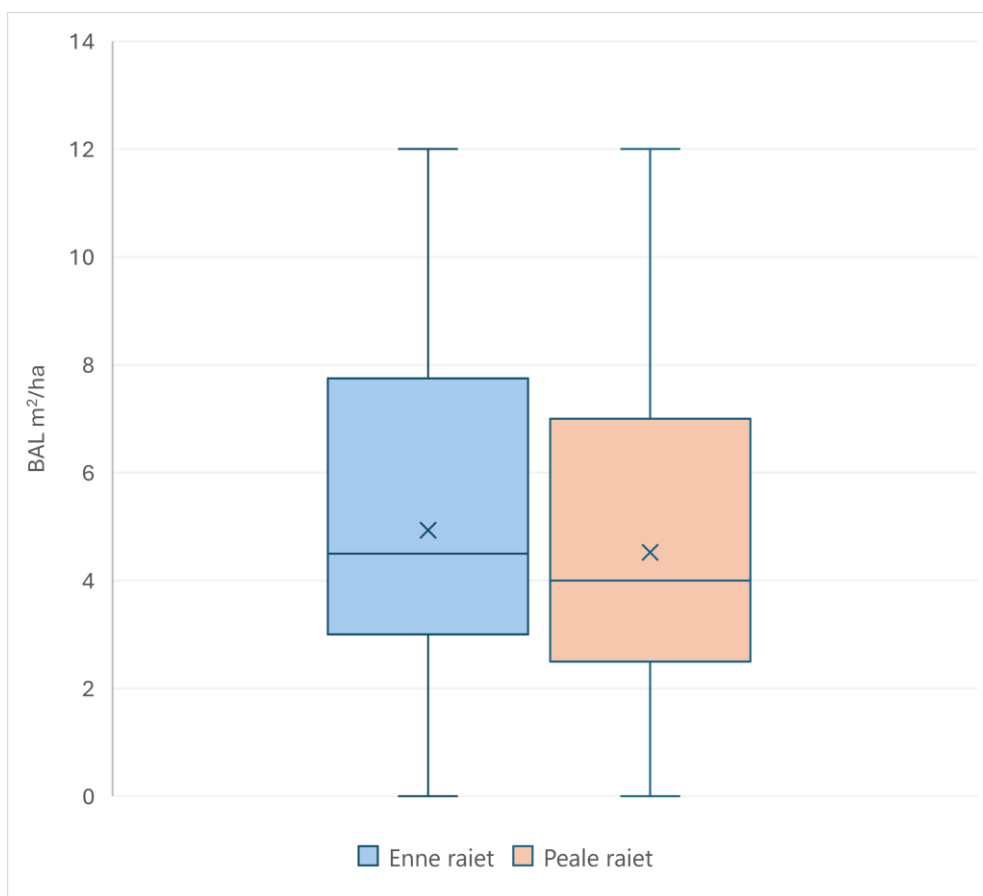


Joonis 5. Hegyi indeksi karpdiagrammid enne ja peale raiet.

Joonisel 6 on esitatud BAL indeksi muutumine enne ja pärast harvendusraiet. Kui harvendusraie tehakse alameetodil, siis peaks BAL indeksi muutumine olema minimaalne. BAL indeks ei muutunud harvendusraiega 43% kaasvalitsevatel ja 74% valitsevatel puudel. Keskmiselt oli BAL indeks raiejärgselt kaasvalitsevatel puudel 91% raie- (standardhälve $\pm 8\%$) ja valitsevatel puudel 94% ($\pm 13\%$) raie-eelsest. Joonisel 7 on esitatud BAL indeksi karpdiagrammid enne ja peale raiet. Keskmised BAL indeksid enne ja peale raiet on usaldatavalt erinevad ($p < 0,001$), seega tulemused näitavad puistus allesjäänud puude positsiooni väikest paranemist harvendusraiate järgselt.



Joonis 6. BAL indeks enne ja pärast harvendusraiet.



Joonis 7. BAL indeksi karpdiagrammid enne ja peale raiet.

Hegy'i indeks on oluline näitaja metsaökosüsteemi dünaamika ja struktuuri hindamisel. See indeks mõõdab puudevahelist konkurentsi, võttes arvesse puude suurust ja nende vahelist kaugust. Tulemused näitavad, et Hegy'i indeks on tundlik muutustele puude ruumilises paigutuses ja võimaldab seeläbi hinnata konkurentsi taset erinevates puistusituatsioonides. Harvendusraie, mis vähendab puude arvu, võib oluliselt mõjutada Hegy'i indeksi väärtusi, sest vähem puid tähendab väiksemat konkurentsi ellujäänud puude vahel. Seega aitab Hegy'i indeks tuvastada, kuidas harvendusraie muudab konkurentsitingimusi ja mõjutab puude kasvu ja elujõulisust.

BAL indeks on teine oluline mõõdik, mida kasutatakse puistu struktuuri ja dünaamika hindamisel. See indeks keskendub eelkõige puude vahelisele läbimõõdule ja selle jaotusele. BAL indeks võimaldab hinnata, milline osa puistu pindalast on hõivatud suuremate puude poolt, mis omakorda võib mõjutada väiksemate puude kasvu ja arengut. Tulemused näitavad, et harvendusraie järgselt väiksel määral vähenes suuremate puude arv, suurendades seeläbi väiksemate puude võimalusi valguse ja toitainete saamiseks. See toob kaasa puistu üldise tervise ja tootlikkuse paranemise, kuna konkurents ressurside pärast väheneb ja allesjäänud puud saavad paremini kasvada.

Tulemused näitavad, et harvendusraie vähendab puudevahelist konkurentsi, mis on oluline nii Hegy'i kui ka BAL indeksi väärtuste osas. Vähenenud konkurentsi tõttu saavad puud paremad kasvutingimused, mis suurendab nende vastupanuvõimet haigustele ja kahjuritele. Lisaks soodustab harvendusraie metsa bioloogilist mitmekesisust, luues erinevatele taimedele ja loomadele sobivaid elupaiku. Tulemused kinnitavad, et harvendusraie on tõhus viis metsaökosüsteemi tervise ja tootlikkuse parandamiseks ning jätkusuutliku metsanduse tagamiseks.

KOKKUVÕTE

Harvendusraiate mõju männikute puudevahelisele konkurentsile on oluline uurimisteema metsamajandamise tõhustamiseks. Bakalaureusetöös analüüsiiti kuidas muutub puudevaheline konkurents pärast harvendusraiet ning millised on selle mõjud puistu struktuurile ja dünaamikale. Uuringus kasutati kahe konkurentsindeksi - Hegyi ja BAL indeksi, muutuste hindamist enne ja pärast harvendusraiet, et saada täpsemat ülevaadet harvendusraiate mõjust männikutele.

Töö peamiseks eesmärgiks oli uurida, kuidas harvendusraiate järgselt muutuvad puudevahelise konkurentsi tingimused männikutes ning võrrelda muutusi kahe konkurentsindeksi põhjal. Lisaks koguti uuritavatelt aladelt takseerandmeid, mida võrreldi metsaregistris olevate andmetega.

Bakalaureusetöö keskendus kolmele eraldisele, millest kaks asuvad Viljandimaal ja üks Valgamaal. Eraldiste peapuuliigiks oli mänd ning mõõtmised viidi läbi vähem kui viis aastat peale harvendusraiet. Andmeid koguti kasutades metsanduses levinud mõõteriistu, kogutud andmete põhjal koostati ka eraldiste takseerikirjeldused.

Tulemused kinnitasid, et harvendusraied vähendavad puudevahelist konkurentsi oluliselt, parandades puude kasvutingimusi. Hegyi indeksi põhjal ilmnisid märkimisväärsed muutused konkurentsitingimustes pärast harvendusraiet, mis näitab, et enamiku puude konkurentsituatsioon paranes, suurendades nende ellujäämis- ja kasvuvõimalusi. BAL indeksi tulemused näitasid väiksemaid muutusi, mis viitab sellele, et harvendusraie mõju sõltub ka valitud raiemeetodist.

Uurimistöö tulemused näitavad selgelt, et harvendusraied on efektiivne vahend puudevahelise konkurentsi reguleerimiseks ja puistu kvaliteedi parandamiseks. Hegyi ja BAL indeksite erinevad muutused rõhutavad vajadust kasutada mitmekesiseid meetodeid konkurentsi hindamiseks, et saada terviklikumat pilti harvendusraiate mõjust. Bakalaureusetöö annab väärtuslikku teavet metsaökosüsteemi dünaamika ja

konkurentsindexite muutuste kohta, mis on oluline metsanduse jätkusuutlikkuse tagamisel.

KASUTATUD KIRJANDUS

Hegy F. (1974). A simulation model for managing jack-pine stands. – Growth models for tree and stand simulation./ Toimet. J. Fries. Stockholm, Sweden: Royal College of Forestry. pp. 74–90.

Keskkonnaagentuur.(2023) (Yearbook Forest 2021), Aastaraamat mets 2021, Tartu 2023. [<https://keskkonnaportaal.ee/sites/default/files/Teemad/Mets/Mets2021.pdf>]. 31. märts. 2024

Laas, E., Uri, V., Valgepea, M.(2011). Metsamajanduse alused. Tartu: Tartu ülikooli kirjastus. 823 lk.

Ledermann T., Stage A. 2001. Effects of competitor spacing in individual-tree indices of competition. - Canadian Journal of Forest Research 31(11):1855-1870

Maleki, K. 2016. Puude konkurentsi- ja struktuuriindeksite analüüs arukase (Betula pendula Roth) puistute modelleerimise eesmärgil. Doktoritöö. Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 165 lk

Metsa korraldamise juhend. Lisa 11: Tagavara ja täiuse arvutamiseks kasutatavad matemaatilised mudelid. (vastu võetud 16.01.2009, jõustunud 26.01.2009). – Riigi Teataja https://www.riigiteataja.ee/akti/isa/1220/2201/7011/KKM_16012009_m2_Lisa11.pdf# (06.05.2024).

Naumburg, E., DeWald, LE. 1999. Relationships between Pinus ponderosa forest structure, light characteristics, and understory graminoid species presence and abundance. – Forest Ecology and Management, 124: 205–215.

Pihelgas, E.(1983). Metsa bioloogia. Tallinn. Valgus kirjastus, lk 28-32.

Sibul, I. (2014). Perekond mänd. /Koost. M. Kurm. Mänd Eestis. Tartu: Vali Press OÜ, lk 18-41.

Tullus, H. (2014). Hooldusraied. /Koost. M. Kurm. Mänd Eestis. Tartu: Vali Press OÜ, lk 195-199.

Wykoff, W. R., Crookston, N. L., Stage, A. R. (1982). User's Guide to the Stand Prognosis Model. Utah, USA: United States Department of Agriculture, Forest Service. 112 p.

Lisa 5. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Lauri Mõts
Sünniaeg: 10.08.1994 ,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

PUUDEVAHELISE KONKURENTSI MUUTUMINE HARVENDUSRAIETEL
MÄNNIKUTES

mille juhendaja(d) on Henn Korjus
salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.1. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.2. 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, _____22.05.2024_____
(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Henn Korjus
(juhendaja nimi ja allkiri)

22.05.2024
(kuupäev)