

EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut
Metsakasvatuse osakond



Erko Soolmann

**AEGJÄRKSEL RAIEL LOODUSLIKU UUENDUSE
TEKET MÕJUTAVAD TEGURID**

Magistritöö metsamajanduse erialal

Juhendaja vanemteadur Raul Rosenvald

Tartu 2014

Lõputöö koostas in iseseisvalt. Kõigile töös kasutatud teiste autorite töödele ja andmeallikatele on viidatud. Kinnitan, et annan oma intellektuaalomandi varalised õigused lõpu-töö tulemuste suhtes üle Eesti Maaülikoolile.

.....

kuupäev /nimi / allkiri /

Tunnistan lõputöö kaitsmisvalmiks.

Juhendaja:

.....

kuupäev /nimi / allkiri /

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja/või üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Erko Soolmann

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö “Aegjärksel raiel loodusliku uuenduse teket mõjutavad tegurid”, mille juhendaja on Raul Rosenvald,
 - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgilkuni 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

Tartus, 02.06.2014

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Erko Soolmann		Õppekava: Metsamajandus	
Pealkiri: Aegjärksel raiel loodusliku uuenduse teket mõjutavad tegurid			
Lehekülgi: 61	Jooniseid: 5	Tabeleid: 13	Lisaid: 0
Osakond: Metsakasvatuse osakond Uurimisvaldkond: Metsakasvatus Juhendaja(d): Raul Rosenvald Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu 2014			
<p>Aegjärgne raie on kõige laialdasemalt kasutatav turberaieviis, mille peamine eesmärk on metsa uuendamine looduslikul teel. Metsa ülarinde ja järelkasvule turvet pakkuvate puude säilitamisega luuakse soodsad uuenemistingimused. Loodusliku uuenduse kordaminek ei ole aga alati tagatud ning see sõltub erinevatest teguritest.</p> <p>Käesolevas töös on uuritud uuenduse edukust mõjutavaid tegureid sarnaste, kuni 11 aasta vanuste aegjärksete raiealade paaride siseselt nii Harjumaal, kui Lõuna-Eestis, kus üks paarilisest on hästi ja teine halvasti uuenenud. Kokku mõõdeti kahekümne paarilise ehk 40 puistu kohta selle struktuuri, raiet, avatust ning kasvukohaheadust iseloomustavaid tunnuseid. Potentsiaalselt mõjutavate tegurite analüüsimiseks kasutati üldist lineaarset mudelit (GLMM) kolme erineva uuenduse headust iseloomustava tunnuse puhul (okaspuu uuenduse arvukus ha⁻¹, uuenemisindeks, loodusliku uuenduse aastane kogupikkuskasv).</p> <p>Kõigi uuendusnäitajate puhul oli üksikanalüüsi tulemuste põhjal olulised tunnused (p<0,05) mineraliseerimine, ülarinde puude arv ha⁻¹, puistu avatus, väljaraie maht (tm/ha) ja raiutud puude %. Sealjuures oli mineraliseerimisel kõige olulisem mõju ning võib väita, et ka peamine uuenduse edukust määrav tegur. Koosanalüüsidest tulid okaspuu arvukuse puhul oluliseks tunnuseks mineraliseerimine ja ülarinde puude arv. Ülejäänud uuenemisnäitajate puhul lisandus antud tunnustele ka väljaraie maht. Nii täius, kui ka mineraalainete sisaldus ning vahekord erilist mõju uuenduse kordaminekul ei oma. Võib järeldada, et lisaks mineraliseerimisele on uuenduse kordaminekul oluline säilitada ülarinde puid võimalikult optimaalselt ning raiudes rohkem tagavarast.</p>			
Märksõnad: turberaie, aegjärgne raie, looduslik uuendus			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Erko Soolmann		Specialty: Forestry	
Title: Factors affecting the natural regeneration under uniform shelterwood cuttings system			
Pages: 61	Figures: 5	Tables: 13	Appendixes: 0
Department: Department of Silviculture Field of research: Silviculture Supervisors: Raul Rosenvald Place and date: Tartu 2014			
<p>Uniform shelterwood cuttings system is the most widely used shelterwood method. The main goal of this system is to regenerate forest naturally. Retaining some of the overstory trees will assist regeneration by providing shelter and suitable growing conditions. The success of natural regeneration process is not always guaranteed and will depend on various factors.</p> <p>In current research there have been investigated natural regeneration affecting factors in Harju county and South-Estonia forest sites managed 3 to 11 years ago under uniform shelterwood cuttings system. A total of twenty pairs of sites in which one pair was successfully regenerated and the other one unsuccessfully. Within forty sites there were examined different site characteristics such as cutting and site properties, stand openness and structure. Potentially affecting factors were analyzed using general linear mixed model (GLMM) in three types of different regeneration indicators (conifer regeneration abundance ha^{-1}, regeneration index, annual total growth index).</p> <p>For all regeneration indicators, soil scarification, retained trees ha^{-1}, openness, removed volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) and the percentage of removed trees were statistically significant ($p < 0,05$) affecting factors in individual analysis. Scarification had the greatest impact on successful regeneration. In conifer regeneration abundance mixed model, significant factors were also scarification and retained trees ha^{-1}, while for other indicators removed volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) was added in the final model. Stocking density, mineral substances content and their ratio were not significantly affecting regeneration success. It can be concluded that in addition to soil scarification, retaining overstory trees in optimum degree and increasing removal volume will benefit natural regeneration.</p>			
Keywords: Shelterwood, uniform shelterwood, natural regeneration			

Sisukord

Sisukord.....	6
1. Sissejuhatus	7
1.1 Turberaie mõiste ja eesmärk	7
1.2 Aegjätkne raie.....	8
1.3 Aegjätksetest raietest Skandinaavias	9
1.4 Uuringud uuendust mõjutavatest teguritest	10
1.5 Magistritöö eesmärgid	11
2. Metoodika	13
2.1 Mõõtealade valik.....	13
2.2 Välimõõtmised.....	16
2.2.1 Ülarinne	16
2.2.2 Uuendus	18
2.2.3 Teised tunnused.....	18
2.3 Andmetöötlus ja –analüüs.....	19
3. Tulemused	23
3.1 Alade iseloomustus ja sobivus paaridena	23
3.2. Mõjutavad tunnused.....	26
3.2.1. Valitud tunnused.....	27
3.3. Okaspuu taimede arvukus	30
3.4 Uuenemisindeks.....	33
3.5 Uuenduse aastane kogupikkuskasv	36
3.6 Põhikomponentanalüüs	39
4. Arutelu	41
4.1. Seemneaastad ja mineraliseerimine	41
4.2. Kasvukoha omadused	44
4.3. Ülarinne ja raie.....	46
4.3.1. Ülarinde konkurents	48
4.4. Valgus ja puistu avatus	50
4.5. Järeldused.....	52
Kokkuvõte	54
Tänuavaldused.....	56
Viidatud allikad.....	57

1. Sissejuhatus

1.1 Turberaie mõiste ja eesmärk

Selleks, et saada uut metsapõlvkonda loodusliku uuenemise teel, kasutatakse sageli turberaie, mida käsitletakse alternatiivse raiemeetodina uuendusraiate rühmas (Laas ja Vää 2004). Kui lageraie käigus eemaldatakse kogu mets ühe raievõttega, siis turberaie korral, kus mets raiutakse kahe või enama võttega, säilitatakse osaliselt (turbe)puid, et soodustada seemnete levikut ja pakkuda uuendusele turvet (Laas ja Vää 2004; Tesch ja Mann 1991). Kui looduslik uuendus on küllaldane, eemaldatakse ülarinne, soodustamaks noorte taimede edasist kasvu (Tesch ja Mann 1991).

Lisaks loodusliku tekkega järelkasvu saamiseks, kasutatakse turberaieid veel mitmetel teistel eesmärkidel. Üha enam on avaldumas ühiskondlik surve peamiselt asulalähedaste metsade majandamisel, kus enamasti esteetilisel ja rekreatiivsetel põhjusel soovitakse turberaieid puistut kauem säilitada (Laas ja Vää 2004; Myketa ja McLaughlan 1996; Tesch ja Mann 1991). Laas ja Vää (2004) toovad turberaie eeliste kohta veel esile asjaolu, et turberaieid on võimalik piirata rohttaimestiku kasvu, mis on sageli okaspuu eduka uuenduse tekkel pärssiv tegur. Samuti säilib turberaieid majandatavates metsades geneetiline järjepidevus (Laas ja Vää 2004) ning ka bioloogiline mitmekesisus on suurem kui lageraieid majandatavas metsas (Franklin jt. 1997).

Kuigi rahuldava loodusliku uuenduse tekke ja kasvavamineku korral jäävad uuenduskulud turberaieid majandamisel madalaks ning turberaieid saab kasutada metsades, kus eesmärgiks on võimalikult väike majandamisintensiivsus (Laas 2012b;

Tesch ja Mann 1991), siis on turberaietel ülestöötamiskulud suuremad võrreldes lageraietega (Hånell jt. 2000). Turberaiete negatiivsetest teguritest vajab märkimist ka tuuleheite ja lumevaalumise oht, mis on eelkõige suurem hajali säilitatud puude ehk aegjärgse raie puhul (Beese 2000) ja sõltub eelkõige konkreetse puu, puistu ja pinnase iseloomust (Day jt. 2011).

1.2 Aegjärgne raie

Aegjärgset raiet, koos häil- ja veerraiega klassifitseeritakse turberaiete alla. Aegjärgse raie korral raiutakse uuendamisele kuulavas metsas hajali paiknevaid puid 10 kuni 20 aasta jooksul korduvate raiejärgudena (Metsaseadus 2006). E. Laas (2012a) soovib antud raieliigi puhul kasutada sobivamat mõistet – „hajaliraie“, mis eristab seda teistest turberaietest märksa selgemalt.

Michelson (1943) kirjeldab, et aegjärgne raie koosneb kolmest või neljast järgust - seemendus-, valgustus- ja koristusraiest. Kõige tähtsamaks pidas ta seemendusraiet, mis tuleb ajastada rikkaliku seemneaastaga ja mille käigus raiutakse kolmandik puistu mahust või selliselt, et raiejärgne liitus oleks 60-70%. Tänapäeval on siiski raiejärgne liitus lubatud Metsamajandamise eeskirja (2007) alusel viia sõltuvalt puistu algsest täiusest maksimaalselt 50%-ni. Esimese raiejärgu käigus soovib Laas (2012a) välja rajuda miinuspuud ja ebasobivad liigid. Valgustusraiega parandatakse puistus valgustustingimusi ning see järk tehakse juba piisava loodusliku uuenduse olemasolu korral (Michelson 1943).

E. Laas (2012a) selgitab, et viimane järk ehk koristusraie tehakse 0,5 – 0,6 m kõrguse uuenduse korral, mille tihedus peaks olema 2000 – 2500 taime hetkari kohta. Ta lisab, et parimad eeldused edukaks uuenemiseks on eelnevalt harvendatud männikutes, kus on seetõttu seemnekandvus suurem. Laas ja Väärt (2004) väidavad, et männi puistus täiusega 0,6 – 0,7 sobib rakendada kahte võtet, kusjuures esimese võtte järgselt tuleb täius viia minimaalse lubatud piirini ehk 0,4-ni, sest suurema täiuse korral pidurdub

järelkasvu kõrguskasv.

Aegjärkseid raied rakendatakse eelkõige männikutes ja peetakse sobimatuteks kuusikutes (Saar 1940; Laas 2012a) ning niisketel aladel (Laas 2012a). Siiski on ülarinde puude negatiivne mõju hariliku männi järelkasvule suurem kui kuusel (Laas 2012a). Seetõttu on aegjärkset raiet rakendatud just eelkõige madalaboniteediliste kasvukohtade (nt. pohla)männikutes, kus rohukasv ei ole nii intensiivne kui viljakatel aladel (Laas ja Vää 2004; Laas 2012b).

1.3 Aegjärksetest raietest Skandinaavias

Kui Soomes likvideeritakse metsa ülarinne selgelt lühema aja jooksul, et saavutada edukas looduslik uuenemine võimalikult kiirelt, siis Eestis on raiejärkude vaheline periood tunduvalt pikem ning metsa ülarinnet säilitatakse kauem (Laas 2012a). Soomes nimetatakse antud loodusliku uuendamise raiemeetodit seemnepuuraieks (*siemenpuuhakkuu*) (Valkonen 2000; Hallikainen jt. 2007), mis oma tunnuste poolest on lageaie ja aegjärkse raie vahepealne (Eksperthinnang ... 2010). Soomes nimelt puudub turberaiete alarühm (Laas 2012a).

Seemnepuuraiel jäetakse langile 50...150 tervet seemnepuud (Valkonen 2000; Eksperthinnang... 2010), mis koristakse koheselt loodusliku uuenduse tekke korral enamasti ühe võttega (Eksperthinnang ... 2010). Kuivades või kuivemates metsatüüpides piisab ka 20...50 seemnepuu jätmisest hektari kohta (Kubin 2000). Pukkala jt. (2010) märgivad, et nii hariliku kuuse, kui ka männi puhul kasutatakse Soomes 50...200 seemne- ja turbepuu jätmist langile ning eduka loodusliku uuenduse võimaldamiseks tuleb raievõtted ajastada heade seemneaastatega. Seda eriti seetõttu, et põhjapoolsematel laiuskraadidel on madalamate temperatuuride ning lühema vegetatsiooniperioodi tõttu häid seemneaastaid vähe (Henttonen jt. 1986).

Looduslikku uuendamist on laialt rakendatud ka Rootsis, kasutades selleks hariliku

männi seemnepuude jätmist raielangile (Karlsson ja Örländer 2000) aga ka hariliku kuuse puhul on rakendatud turberaie meetodit (Nilsson jt. 2002). Uuendamiskulutuste kasvu mõjul on hariliku männi loodusliku uuendamist järjest enam rakendatud ning kogu Rootsi iga-aastasest uuendatavatest männikute pindalast jäetakse umbes 40% looduslikule uuendamisele (Egnell 2000). Istutamist kasutatakse Rootsis eelkõige viljakatel aladel (Simonsen 2013) ning hariliku männi istutustihedus on seal sarnaselt Eestiga 2000 kuni 4000 taime hektari kohta (Beland jt. 2000).

Turberaied on Rootsis kasutusel olnud juba pikka aega ning enamasti jäetakse langile sarnaselt Soomega 20...160 puud hektari kohta (Beland jt. 2000). Egnell (2000) väidab, et Rootsis jäetakse 75-150 seemnepuud hektari kohta. Ka Rootsis on maapinna mineraliseerimine standardne toiming turberaiete meetodi juures (Beland jt. 2000).

1.4 Uuringud uuendust mõjutavatest teguritest

Käesoleva töö koostamisel leidis autor turberaiete, seemnepuudega lageraiete ning teiste sarnaste raietel puude säilitamist hõlmavate meetodite uuringuid nii Eestile geograafiliselt lähedastest riikidest (nt. Soome, Leedu, Rootsi), kui ka kaugematest piirkondadest (nt. Põhja-Ameerika, Iraan, Hispaania jt). Palju on uuritud tamme- ja pöögimetsade majandamist turberaietega aga ka käesolevat tööd puudutavat okaspuu metsade uuendamist turberaietega.

Skandinaavias on uuritud turbepuude mõju looduslikule okaspuu uuendusele (nt. Hallikainen jt. 2007; Kuuluvainen ja Pukkala 1989) ja seda lähtuvalt erinevatest uuendust mõjutavatest teguritest. Uuringuid on turbepuude läheduse ja konkurentsi mõjust (nt. Jakobsson 2005; Kuuluvainen ja Pukkala 1989), mineraliseerimise ja seemneaastate mõjust (nt Beland jt; Karlsson ja Örländer 2000; Jäärats jt. 2012), valguse mõjust (nt. Strand jt. 2006) ning teistest teguritest.

Soome teadlane Valkonen (2000) on koostanud ülevaatliku analüüsi Soome, Rootsi ja

Saksamaa uuringutest hariliku männi uuendusraiate mõjust puistu omadustele, sealjuures uuendusele. Eelkõige leidis ta, et turberaietel on eelised seemnepuudega lageraie ees, vähendades nii rohttaimestiku pärssivat mõju, kui ka ekstreemsete temperatuuride ja põua mõju soovitud järelkasvule. Samas on seemne- või turbepuudel hiljem, pärast piisava uuenduse teket konkurentsist tingituna uuendusele oluline negatiivne mõju, mille suurus sõltub geograafilisest asukohast ja kasvukoha omadustest.

Eestis on turberaiete uurimisega tegelenud põhjalikult Eino Laas (Laas ja Vää 2004; Laas 2012a; Laas 2012b). Laas ja Vää (2004) uurisid peamiselt pohla kasvukohatüübi I...III boniteedi männikutes loodusliku uuenduse sõltuvust erinevatest faktoritest ja leidsid statistiliselt olulisteks uuenduse edukust mõjutavataks teguriteks raiekraadi, puistu täiuse pärast I järku ja puistu täiuse enne raiet. Turbepuude arvul puudus statistiliselt usaldatav mõju männi järelkasvu arvukusele. Nad järeldasid, et aegjärksed raied on sobilikud pohlamännikutes, mida on eelnevalt harvendatud täiuseni 0,7 ning kus on head eeldused männi järelkasvu tekkeks.

1.5 Magistritöö eesmärgid

Käesoleva töö esmane eesmärk on leida okaspuu loodusliku uuenduse arvukust ja kasvu mõjutavaid tegureid aegjärksete raietega majandatud puistutes. Uuriti nii madala-, kui ka kõrgeboniteedilisi kasvukohti ja seetõttu on võimalik teha järeldusi ka kasvukoha headusest lähtuvalt. Kuna uurimus viidi läbi hästi ning halvasti uuenenud paariliste alade vahel, siis on võimalik leida vastused küsimustele - miks omavahel sarnased alad on erinevalt uuenenud? Kas paaride vahel on statistiliselt usaldatavaid uuendust mõjutavaid tegureid? Mis on peamised uuenduse edukust pärssivad tegurid? Millest sõltub uuenduse edukus?

Lisaks kuulub magistritöö Riigimetsa Majandamise Keskuse (RMK) poolt toetatud uurimisprojekti „Turberaiete ökoloogilis-majanduslik analüüs ja näidis-püsikatsealade võrgustiku loomine“ juurde. Antud projekti eesmärk on analüüsida turberaiete sobivust

metsauuendusliku võttena ning leida eelkõige praktilisi soovitusi metsakasvatajatele turberaieid puudutavates küsimustes (Soolmann 2013a).

2. Metoodika

Käesolev peatükk on kajastatud eelnevalt töö autori „Metsakorralduse erikursus“ õppeaines koostatud „Aegjärksel raiel loodusliku uuendust mõjutavate tegurite leidmise metoodika kirjeldus ja analüüs“ kursusetöös (Soolmann 2013a).

2.1 Mõõtealade valik

Alade valikut teostati metoodika põhjal, mis põhines sellel, et tuberaiealaid on võimalik omavahel eelkõige paaridena võrrelda. Sobilike paaride puhul oli üks ala halvasti uuenenud ning teine edukalt uuenenud ala. Ideaalsete tingimuste korral pidid mõlemad alad üksteise suhtes asuma geograafiliselt lähestikku ning raie esimene järk olema teostatud samal aastal. Lisaks pidi mõlema ala kasvukohatüüp olema samasugune. Siiski esines juhtumeid, kus vähemalt üks loetletud teguritest ei vastanud nõuetele.

Selleks, et määrata looduslikku uuendust mõjutavaid tegureid, otsustati analüüsida juba eelnevalt turberaietega majandatud metsi. Kõik lõputöös uuritud alad kuuluvad RMK haldusalasse. Andmeid analüüsides ning metskondadega konsulteerides määrati RMK poolt välja pakutud nimekirja alusel sobilikud eeluuringualad. Sobilikkus seisnes selles, et uuritav ala pidi olema soovitatavalt aegjärkse raieviisi esimese võtte läbinud 4-8 (maksimaalselt 10) aastat tagasi.

Alade eeluuringut teostati 2013. aasta alguses Põhja- ja Lõuna-Eesti metsades. Kõik

mõõtmised koos alade eeluuringute ja teiste andmete kogumisega teostati sama aasta jooksul, juulikuust kuni detsembri keskpaigani. Eelkõige otsiti esimese raiejärgu läbinud puistuid. Valimisse kaasati nii madala-, kui ka kõrgeboniteedilisi pohla, jänese kapsa-pohla, jänese kapsa ja sambliku kasvukohatüübist pärit puistuid (vt. tabel 1).

Tabel 1. Hästi ja halvasti uuenenud alade paarid

Paari Nr.	Halvasti uuenenud alad					Hästi uuenenud alad				
	Metskond	KV	KKT	Bon	Raie aasta	Metskond	KV	KKT	Bon	Raie aasta
1	Tartumaa	TT080	JK	2	2007	Tartumaa	TT080	JK	2	2007
2	Tartumaa	KV083	PH	3	2006	Jõgevamaa	HL337	JP	2	2005
3	Põlvamaa	RP072	JP	1	2009	Põlvamaa	OR026	JP	1	2008
4	Põlvamaa	OR026	PH	2	2007	Põlvamaa	PW096	PH	2	2002; 2009
5	Võrumaa	VS056	PH	2	2004	Võrumaa	SP055	PH	3	2001; 2009
6	Põlvamaa	EV023	JK	1	2001; 2007	Võrumaa	QB167	JK	2	2002; 2009
7	Võrumaa	QB202	PH	3	2007	Võrumaa	QB084	PH	2	2006
8	Võrumaa	QB227	PH	2	2004	Võrumaa	QB208	PH	3	2003
9	Tartumaa	PS023	JK	1	2006	Tartumaa	CO035	JK	1	2006
10	Tartumaa	CO060	JP	1	2006	Tartumaa	CO048	JK	1	2006
11	Tartumaa	CO091	PH	2	2004	Tartumaa	PS035	PH	1	2004
12	Põlvamaa	EV073	JP	2	2002; 2008	Võrumaa	QB154	PH	3	2001
13	Põlvamaa	EV145	PH	2	2008	Võrumaa	QB044	PH	2	2006
14	Harjumaa	CG105	JP	2	2007	Harjumaa	CG105	JM	2	2008
15	Harjumaa	CG109	PH	3	2007	Harjumaa	CG109	PH	3	2007
16	Harjumaa	CG137	PH	3	2003	Harjumaa	VJ111	PH	2	2004
17	Harjumaa	AE088	PH	3	2004	Harjumaa	AE086	PH	3	2001; 2008
18	Harjumaa	CJ152	JP	2	2005	Harjumaa	CJ153	JP	2	2005
19	Harjumaa	CG124	SM	4	2004	Harjumaa	QS010	SM	4	2009
20	Harjumaa	JG003	SM	4	2004	Harjumaa	JG014	SM	4	2006

Eeluuringu käigus selekteeriti välja sobilikud paarid, võimalikult lähedaste tunnustuga, objektiivseks analüüsiks. Loodusliku uuenduse headust hinnati visuaalselt ning alasid hinnati 5-palli skaalal, kus hindeks „5“ sai ala, kus looduslik uuendus oli elujõuline,

maapinna ühtlase katvusega või enam kui piisava tihedusega tagamaks metsa eduka uuenemise okaspuuga. Hinde „1“ sai aga ala, kus looduslik okaspuu uuendus peaaegu täielikult puudus ja aegjärgse raie esimene raievõte ei täitnud oma eesmärki.

Peale eeluuringut määrati aladele paarilised ning seejärel teostati mõõtmised. Harju-, Tartu-, Põlva-, Võru- ja Jõgevamaalt valiti kokku 40 ala ehk 20 paari analüüsimiseks (vt. joonis 1).

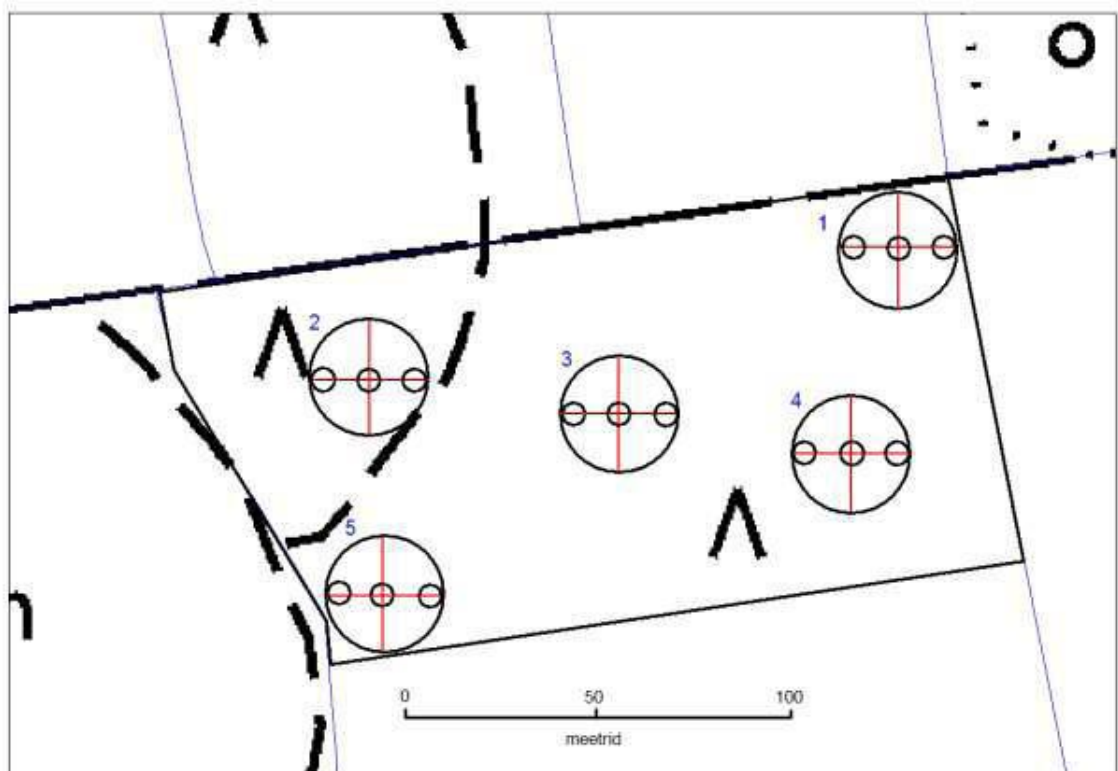


Joonis 1. Neljakümne RMK aegjärgse raiealade asukohad Harjumaal ja Lõuna-Eestis. Sinisega on esitatud halvasti ja punasega hästi uuenenud alad.

2.2 Välimõõtmised

2.2.1 Ülarinne

Töö eesmärk on leida erinevate tunnuste mõju uuendusele. Üks oluline uuendust mõjutav tegur aegjärgse raie puhul on puistu ülarinne. Selle hindamiseks ja kirjeldamiseks kasutati iga ala kohta vähemalt kolme (kuid hästi uuenenud alade puhul mõõdeti ja kasutati töös kuni viite) 15 meetri raadiusega ringproovitükki, mis paigutati juhuslikult. Nende proovitükkide paigutusel lähtuti siiski põhimõttest, et need kataks ala ühtlaselt. Võimalusel tuli proovitükid paigutada selliselt, et üks ring paiknes ala keskel, teine kõige põhja- ja kolmas lõunapoolsemas küljes (vt. joonis 2).



Joonis 2. Prooviringide ja transektide paigutamise näidis

Ringproovitükkide tsentrite asukoha koordinaadid märgiti GPS-i abil üles ning ühtlasi tähistati looduses plastitoruga, millele lisati prooviringi number ja selle paiknemist tähistav ilmakaar. Keskmise ringi puhul kasutati tähistust „Kesk“. Läbi keskpunkti viidi mõõdulindid ida-lääne ja põhja-lõuna suunas. Suuna määramiseks kasutati kompassi. Mõõdulindid paigutati selliselt, et mõlemale poole keskpunkti jääks 15 meetrit (raadius).

Seejärel mõõdeti läbimõõdud prooviringi sisse jäävatel kõikidel ülarinde puudel, mille diameeter oli üle 10 sentimeetri. Servaalale jäävate puude puhul kasutati elektroonilist kaugusemõõdjat, mille majakas asetati ringi keskele. Ülarinde puudel eristati puuliik ning igal puuliigil mõõdeti kõrgused kolmest enam esindatud rinnasdiameetri klassist, kokku vähemalt 20 puul.

Samades ringproovitükkides mõõdeti ka seisvate surnud puude ning tüügaste diameetrid ja kõrgused puuliigiti. Ühtlasi määrati nendel ka kõduaste. Eesmärgiks on seisvate surnud puude mahu hindamine. Selleks, et leida varasem puistu maht ja täius enne raiet, mõõdeti ka prooviringi jäävad kännud puuliigiti. Kändude puhul mõõdeti kännu kõrgus maapinnast, diameeter ja määrati kõduaste „noameetodil“ (vt. tabel 2.). Tüvemahtu arvutati R. Ozolinši tüvemoodustaja valemi abil (vt. Padari 2004).

Tabel 2. Kõduastme määramine „noameetodil“

I (värske)	Koor on peal, ei ole märgatavaid seenkahjustusi, okaspuude okkad alles
II (nõrk)	Koor on kohati lahti, nuga läheb puidu sisse kuni 1 cm
III (keskmine)	Nuga läheb mitu cm puidu sisse, kuid mitte puust läbi
IV (tugev)	Puit pehme, nuga läheb puidust läbi
V (täiesti lagunenu)	Peaaegu täiesti lagunenu, hästi fragmenteeritud, käsi läheb puidust läbi

2.2.2 Uuendus

Loodusliku okaspuu uuenduse mõõtmiseks kasutati 3-meetrise raadiusega ringproovitükke, mis moodustavad pindalalt 28,3 m². Iga suurema, 15-meetrise raadiusega ringproovitüki sees paigutati ida-lääne suunalisel transektil kolm väiksemat ringi. Seega kokku ühe ala kohta minimaalselt 9 väiksemat ringi. Äärmised ringide keskkohad paigutati suuremast ringist kolme meetri kaugusele ehk prooviringide keskkohad asusid transektil 3, 15 ja 27 meetri kaugusel.

Uuenduse mõõtmisel kasutati mugavuse huvides prooviringis lahtikäivat plastmassist toru, mille pikkus oli 3 meetrit. Uuenduseks loeti kõik alla 10 sentimeetrise diameetriga puud. Kõigil männi ja kuuse uuenduse puudel mõõdeti kõrgus ja viimase aasta juurdekasvu pikkus. Lehtpuude puhul loendati nende arv ja mõõdeti igal liigil 10 kõige tüüpilisema kõrgusega puu kõrgus.

2.2.3 Teised tunnused

Suurte ringproovitükkide sisse paigutati veel ida-lääne ja põhja-lõuna suunalised transektid, mille keskkohat tähistati plastiktoruga (sama, mis 15-meetrise raadiusega ringproovitükkide keskkohat). Transektide märkimiseks kasutati mõõdulinti ning nende abil mõõdeti lamapuidu koguseid. Lamapuud loeti selle ristumisel transektiga, kus märgiti ristumiskoha kaugus transekti algusest ning mõõdeti diameetrid puudelt, mille diameeter oli üle 5 sentimeetri. Eristati ka puuliik ja määrati kõduaste.

Selleks, et võrrelda kasvukoha viljakust ja toitainete kogust, võeti aladelt ka mullaproovid. Proove ei võetud siiski mitte kõikidelt aladelt (kuna analüüside tegemiseks vajalikud rahalised vahendid olid piiratud), vaid valiti välja 10 paari alasid, mis olid oma omadustelt kõige sarnasemad. Mullaproovide abil määrati seal sisalduvad

lämmastiku, fosfori ja kaaliumi kogused ning seejärel leiti ka kaaliumi ja lämmastiku (K/N) ning fosfori ja lämmastiku (P/N) suhtarvud. Lisaks leiti mulla orgaanilise aine protsentuaalne osakaal (sellest umbes pool võib arvestada süsinikuks), mulla pH ning eripind (näitab mulla veehoidmisvõimet). Proovid võeti 15 meetrise raadiusega ringproovitükkidelt, igalt ringilt 200-300 g mulda, 5-10 cm sügavuselt. Juhul, kui mõlemal paaridesse jaotatud alal esines korraga ka sügav kõduhorisont, võeti kaks eraldi proovi. Üks proov võeti kõduhorisondist 0-5 cm sügavuselt ja teine 5-15 cm sügavusest mulla mineraalosalast. Kõikide proovide puhul tehti prooviringis kolm kaevet ning nendelt saadud proovid segati omavahel ja moodustati üks proov.

Lämmastiku, fosfori ja kaaliumi sisaldust mõõdeti ka männi uuenduselt korjatud okastest. Okkaid korjati oktoobrist detsembri keskpaigani ning seda tehti samadelt aladelt, kust koguti ka mullaproovid. Okkaproovideks võeti mändidelt viimase aasta otsa- ja külgvõrsetelt pärinevaid okkaid. Kõikidelt 15 meetrise raadiusega ringproovitükkide seest korjati okkaid erinevatelt taimedelt, ning seejärel need segati üheks prooviks. Korjamisel välditi taimi, mis võisid olla vanemad kui raievõtte tegemise aeg ehk eeluuenduse taimed.

Ülarinde kirjeldamisega seonduvalt on uuendust mõjutavaks teguriks antud ala avatus valgusele, mis omab määravat rolli uuenduse edukuse määramisel. Valguse mõõtmiseks kasutati lainurkobjektiiviga pildistamist. Pilte tehti kalasilma objektiiviga Fisheye Converter FC E8 kõikides 3 meetrise raadiusega ringproovitükkidest. Kaamera asetati statiivi abil pildistamiseks ringi keskpunkti.

2.3 Andmetöötlus ja –analüüs

Tegureid, mis mõjutavad loodusliku uuendust aegjärksel raiel võib olla mitmeid ning nende leidmiseks kasutati töös esmalt kõikide uuringualade 15 m prooviringide ning seejärel kahe omavahel sarnase ala kõrvutamist ja võrdlust. Paaridena valitud alad on üldjuhul geograafiliselt lähestikku ning sarnaste looduslike omadustega. Siiski on ühel paarilisel looduslik uuendus aegjärksel raiel õnnestunud ja teisel paarilisel mitte.

Selliselt on võimalik üsna objektiivselt hinnata erinevate tunnuste väärtusi ning kõikide paariliste analüüsimisel saab leida usaldusväärseid tulemusi. Okaspuu loodusliku uuenduse sõltuvust erinevatest tunnustest on võimalik leida väga mitmeid, sest mõõdetud ja kirjeldatud tunnuseid on üsna palju.

Esmalt teostati andmesisestus MS Exceli keskkonnas, kus töötati välja andmete sisestamiseks sobilikud sisestustabelid. Edukalt uuenenud alade puhul on kirjeid rohkem ning nende andmete sisestamise protsess kestis oluliselt kauem kui halvasti uuenenud alade puhul. Inventeeritud alade kohta tuli esmalt iga ala kohta koostada terviklik analüüs ning alles seejärel koostada proovitükkide ning 15 m proovingide koondtabel. Väljaraiutud puistu maht oli märgitud ka RMK andmebaasidesse, kuid siiski oli võimalik eraldi käändude kõduastme, mõõtmete ja puistu kõrguse abil tuletada väljaraiutud puistu maht ja täius enne raiet.

WinSCANOPY (Regent Instruments inc., Quebec, Canada) tarkvara abil analüüsiti poolsfäärilisi fotosid ning pikslite klassifitseerimise meetodil leiti nelja järgneva tunnuse suurused (Anonüümne 2001):

- 1) Avatus (*Openess*) = kogu pildil määratud lage ala/ kogu pildi ala lageda taeva korral (100% avatus).
- 2) Üldine kohafaktor (*Total Site Factor - TSF*) = Võrastiku alla maapinnani jõudev päevane keskmine otsene- + hajuskiirgus kasvuperioodil / Võrastikuni jõudev päevane keskmine otsene- + hajuskiirgus kasvuperioodil.
- 3) Otsene kohafaktor (*Direct Site Factor – DSF*) = Võrastiku alla maapinnani jõudev päevane keskmine otsene kiirgus/ võrastikuni jõudev päevane keskmine otsene kiirgus.
- 4) Kaudne kohafaktor (*Indirect Site Factor – ISF*) = Võrastiku alla maapinnani jõudev hajuskiirgus / hajuskiirgus 100% avatuse korral.

Laas ja Väärt (2004) on turberaiete ja seal tekkiva männi uuenduse uuringus kasutanud mitmeid analüüsivõtteid ning leidnud looduslikku uuendust iseloomustavaid näitajaid. Töös on kasutatud sarnaseid andmetöötluslikke võtteid ning suhtarve loodusliku

uuenduse omavaheliseks võrdluseks. Uuenduse edukust aitab iseloomustada suhtarv, mis leitakse valemiga NxH/A (kus N – taimede arv ha kohta; H – taimede keskmine kõrgus meetrites; A – vanus aastates. Laas ja Väärt (2004) nimetavad antud suhtarvu loodusliku uuenduse aastaseks kogupikkuskasvuks. Eesti Maaülikooli poolt koostatud eksperthinnangu (Eksperthinnang ... 2010) soovitusel oleks antud kompleksnäitaja mugavam kuju $NxH/100A$. Hinnangus lisatakse veel, et antud valemi väärtusi on võimalik tulemuslikkuse alusel grupeerida:

$>2,5$ – uuendus on hea

$<1,5$ – uuendus on halb.

Uuenduse hindamisel on lisaks eelpool maintud suhtarvule võetud arvesse ka teisi näitajaid. Arvukuse hindamiseks kasutati okaspuu kogu uuenduse arvu hektari kohta aga ka üle 30 ja 50 cm taimede arvukust hektari kohta. Metsa majandamise eeskirja (2006) kohaselt võib turberaie teise raiejärgu teha juhul, kui raielangil kasvab hektari kohta 1000 sobivat 0,3 meetri kõrgust järekasvutaimet ning viimase järgu puhul peab olema vastavalt 1500 0,5 meetri kõrgust taime. Sellest tulenevalt kasutatakse ka töös antud uuenemisindeksi vastavalt valemile (Metsa majandamise eeskiri 2006):

$$\sum \frac{N_{pl}}{N_{pl, min}} \geq 1$$

kus N_{pl} – puuliigi uuenemise minimaalset kõrgust ületavate taimede arv;

$N_{pl, min}$ – puuliigi nõutav minimaalne puude arv metsa uuenemisel.

Antud töös on võetud valimisse valdavalt esimese raiejärgu läbinud ning vanuse poolest nooremad aegjärgse raie puistud. Seepärast kasutati uuenemisindeksi leidmisel valemit:

$$\text{Uuenemisindeks} = \frac{op>30N}{1000}$$

kus $op>30N$ – üle 30 cm kõrguse okaspuu uuenduse taimede arv ha⁻¹.

Andmete edasisel analüüsil ning muutujate ja nende koosmõju väljaselgitamiseks kasutati tarkvaraprogrammi Statistica 10. Mitme tunnuse koosanalüüsil kasutati üldist

lineaarset mudelit (*General Linear Mixed Models* - GLMM). Esmalt leiti korrelatsioonanalüüsi abil sobivad ning eelkõige sisukad tunnused, mida on otstarbekas mudelisse kaasata. Seejärel hinnati üldise lineaarse mudeli abil tunnuste mõju eraldiseisvana kolmele uuendust iseloomustavatele tunnustele (okaspuu uuenduse taimede arv/ha, uuenemisindeks, loodusliku uuenduse aastane kogupikkuskasv), eelnevalt neid tunnuseid logaritmides. Järgmisena võeti mudelisse kõik potentsiaalsed tunnused, mille p -väärtus jäi alla 0,1, leidmaks nende koosmõju ja sõltuvused. Viimaks eemaldati tagurpidise sammvaliku meetodi alusel mudelist ükshaaval järjest väiksema olulisuse tõenäosusega tunnused.

3. Tulemused

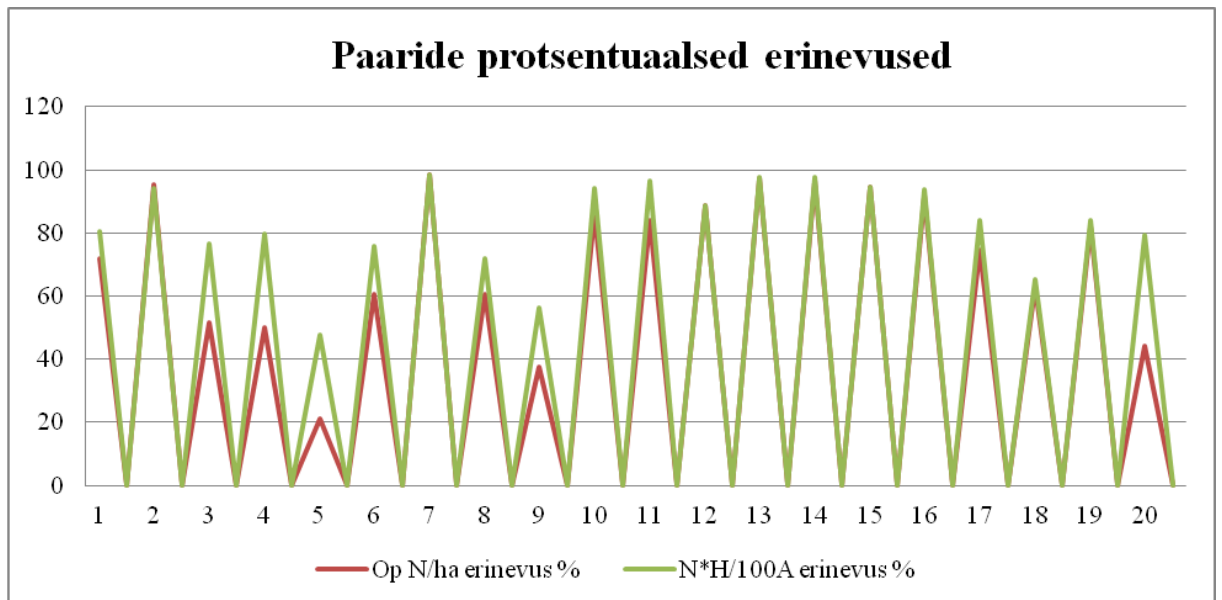
3.1 Alade iseloomustus ja sobivus paaridena

Kahe hektari suurustest proovialadest 14 asusid Harju-, 9 Võru-, 8 Tartu-, 7 Põlva- ning 2 Jõgevamaal. Seega üldistatult 7 paarilist Põhja-Eestis ning 13 paarilist Lõuna-Eestis. Kokku neljakümne ala ehk kahekümne paarilise kohta oli andmeid 156 ülarinde 15 meetrise diameetriga prooviringi põhjal, millest edukalt uuenenud alade kohta 94 ning halvasti uuenenud alade kohta 62 ringi. Mulla- ja okkaproovid koguti kokku 60 prooviringilt (30 halvasti ja 30 edukalt uuenenud aladelt).

Valdavalt oli esindatud teise boniteedi (39%, N=61) proovialad ning seejärel esimese (26%, N=41), kolmanda (24%, N=38) ning kõige vähem esines neljanda boniteedi (10%, N=16) prooviringe. Peamisteks kasvukohatüüpideks prooviringidel olid pohla (47%, N=73) ja jänesekapsa-pohla (22%, N=34) ning vähemal määral jänesekapsa (10%, N=16) ja sambliku (10%, N=16). Üheksal 2 ha alal ehk 39 prooviringil oli teostatud teine aegjärkse raie järk, ülejäänutel esimene. Esimesest raiejärgust möödunud aeg oli aladel 11 kuni 3 aastat, keskmiselt 7 aastat nii prooviringide, kui ka 2 ha alade kohta.

Kuigi alade valik paaridesse toimus teatud kriteeriumide järgi, tuli valimi suurendamiseks mõningate tunnuste osas kohati järeleandmisi teha (nt. raiejärk, kasvukohatüüp, geograafiline asukoht). Lisaks võidi paariliste valiku esialgsel hindamisel alaid hinnata selliselt, et paarisine varieeruvus tüübi osas (hästi ja halvasti

uuenenud) jäi väikeseks. Selle tuvastamiseks hinnati uuenemise headust iseloomustavate tunnuste erinevust paaride siseselt (vt. tabel 3). Kõige suurem erinevus (88%) oli uuenemisindeksil, kui uuenduse aastane kogupikkuskasv erines keskmiselt veidi väiksemal määral (83%). Kõige suurem varieeruvus ning ühtlasi kõige väiksem erinevus (72%) oli okaspuude arvukusel hektari kohta. Viimase puhul eristus selgelt Tartu maakonna paar nr. 5, kus erinevus oli kõigest 22% (vt. joonis 3).



Joonis 3. Paaride protsentuaalsed erinevused kahe uuendust iseloomustava tunnuse põhjal

Tabel 3. Proovialade uuendusnäitajad ja nende protsentuaalne erinevus paaride siseselt

Paari nr.	Tüüp	Ala	Op taimede arv/ha	Op erinevus %	N/ha erinevus -indeks	Uuenemis- indeks erinevus %	N*H /100 A	N*H/100A erinevus %
1	Hea	AE086	12450	73	10,5	78	11,1	81
	Halb	AE088	3419		2,4		2,1	
2	Hea	CG105	6131	93	3,2	91	5,1	90
	Halb	CG105e	432		0,3		0,5	
3	Hea	CG109	21261	52	11,5	87	15,7	76
	Halb	CG109e	10296		1,5		3,7	
4	Hea	CJ153	12379	53	10,7	80	12,1	81
	Halb	CJ152	5856		2,1		2,3	
5	Hea	CO048	3230	22	0,9	63	2,0	48
	Halb	CO060	2515		0,4		1,0	
6	Hea	HL337	5164	66	3,8	75	4,9	80
	Halb	KV083	1768		0,9		1,0	
7	Hea	JG014	27211	98	12,1	97	13,6	98
	Halb	JG003	511		0,4		0,3	
8	Hea	OR026	12438	61	4,3	100	7,8	72
	Halb	RP072	4873		0,0		2,2	
9	Hea	CO035	3144	39	2,4	88	2,2	57
	Halb	PS023	1934		0,3		0,9	
10	Hea	PS035	8135	86	3,3	99	3,3	94
	Halb	CO091	1100		0,0		0,2	
11	Hea	PW096	14313	86	8,9	100	5,9	90
	Halb	OR026e	2044		0,0		0,6	
12	Hea	QB044	31172	89	12,9	96	14,7	89
	Halb	EV145	3498		0,5		1,6	
13	Hea	QB084	65763	97	27,7	99	33,1	98
	Halb	QB202	1690		0,2		0,7	
14	Hea	QB154	42207	97	17,4	98	13,7	98
	Halb	EV073	1454		0,4		0,3	
15	Hea	QB167	13464	94	10,5	94	8,6	94
	Halb	EV023	786		0,7		0,5	
16	Hea	QB208	30252	92	17,6	96	12,4	94
	Halb	QB227	2476		0,7		0,8	
17	Hea	QS010	9597	75	6,0	86	5,4	84
	Halb	CG124	2437		0,8		0,9	
18	Hea	SP055-7	7899	63	3,0	76	3,0	65
	Halb	VS056	2908		0,7		1,1	
19	Hea	TT080	8701	82	3,7	88	5,2	84
	Halb	TT080e	1572		0,4		0,8	
20	Hea	VJ111	9196	44	7,4	70	8,3	79
	Halb	CG137	5109		2,2		1,7	
Arit. Keskmine	Hea		17205	73	8,9	88	9,4	83
	Halb		2834		0,7		1,2	
Min. Väärtus	Hea		3144	22	0,9	63	2,0	48
	Halb		432		0		0,2	
Max. Väärtus	Hea		65763	98	27,7	100	33,1	98
	Halb		10296		2,4		3,7	

Hilisemas andmetöötluses, uuenduse kirjeldamise meetoodika eripära tõttu, välistati enne raiet tekkinud eeluendus. Välistamisel arvestati uuenduse kõrguskasvu ning viimase aasta juudekasvu ja uuenduse vanuse suhet. Kogu valimi uuenduse taimedest 2-3% klassifitseeriti eeluenduseks ja jäeti edasistest analüüsides välja. Kõige edukamalt uuenenud ala oli Võrumaal (QB084), kus oli üle 65 tuhande okaspuu taime hektari kohta ning ühtlasi ka kõige kõrgem uuenemisindeks (27,7) ja aastane kogupikkuskasv (33,1). Harjumaal asus aga kõige kehvemini uuenenud jänese kapsa-pohla kasvukohatüübi ala (CG105e), kus okaspuu taimede arv hektarile oli 5 aastat peale raiet kõigest veidi üle 400. Kolmel alal (RP072, CO091, OR026e) oli uuenemisindeks võrdne nulliga või sellele ligilähedane. Kõige madalam aastane kogupikkuskasv oli aga ühel pohla kasvukohatüübi Tartumaa alal (CO091), kus raiest oli möödunud 8 aastat.

3.2. Mõjutavad tunnused

Looduslikku uuendust mõjutavad tunnused jagati tinglikult gruppidesse (puistu, raie, okkad ja muld) ning esmalt kirjeldati erinevate tunnuste abil üldkogumeid kasutades Studenti t-testi (vt tabel 4). Mulla- ja okkaproove võetud alade kohta teostati eraldi analüüs. Prooviringide keskväärtuste analüüsil selgus, et kahe tüübi üldkogumite vahel on statistiliselt olulisi ($p < 0,05$) keskväärtuste erinevusi ainult puistut ja raiet iseloomustavate tunnuste vahel. Puistu rühma tunnuste puhul oli selgelt erinevad ülarinde (nii 1. kui 2. rinde) puude arv ($p < 0,001$) ja lehtpuude uuenduse arvukus hektari kohta ($p < 0,001$). Edukalt uuenenud aladel oli keskmiselt rohkem lehtpuu uuendust (4815 taime ha^{-1}) ning vähem ülarinde puid (180 puud ha^{-1}), kui seda oli halvasti uuenenud aladel (vastavalt 1215 ja 267). Kõige vähem erinesid kogumite keskväärtused ülarinde tagavara ($p = 0,21$) puhul.

Raie rühmas erinesid nii protsentuaalne väljaraie ($p < 0,001$) ja raiutud puude arv ($p < 0,001$), kui ka väljaraie maht (tihumeetrites) hektari kohta ($p < 0,001$). Statistiliselt ebaoluliseks ($p > 0,07$) jäi aga raiutud puude arv hektari kohta. Edukalt uuenenud alade puhul on väljaraie olnud intensiivsem. Protsentuaalne väljaraie ja raiutud puude arv on edukalt uuenenud alade puhul oluliselt suuremad (vastavalt 45% ja 59%), kui halvasti uuenenud aladel (31% ja 46%). Samuti on väljaraie üldine maht halvasti uuenenud alal väiksem (116 tm/ha) kui hästi uuenenud alal (189 tm/ha).

Mulla- ja okkaproovide analüüside tunnuste keskväärtuste hindamisel jäi valim oluliselt väiksemaks ($N=60$). Ühtegi statistiliselt olulist erinevust kahe tüübi keskväärtuste vahel ei esinenud. Mõnevõrra rohkem erines okaste lämmastiku sisaldus ($p=0,115$).

3.2.1. Valitud tunnused

Hilisemate statistiliste andmeanalüüsi mudelite kasutamise optimeerimiseks leiti tunnustevahelised korrelatsioonikordajad ning seda erinevate uuenemist potentsiaalselt mõjutavate tunnuserühmade siseselt. Valgusrežiimi iseloomustamisel leiti kõigil omavahel võrreldud tunnustel (avatus, DSF, ISF, TSF) tugevad positiivsed seosed (vt. tabel 5). Edasisse analüüsi kaasati laiem ja praktilises metsanduses paremini mõistetav tunnus – avatus.

Tabel 4. Prooviringide üldkogumite keskväärtuste võrdlustesti tulemused

Tunnus	Hea	Halb	t-stat	df	p
<i>(A) Kogu valim</i>					
Valim N	94	62			
Mineraliseeritud N	56	26			
<i>Puistu:</i>					
Puistu vanus a	130	136	1,74	154	0,0835
Ülarinde kõrgus m	26,4	25,1	2,04	154	0,0434
Lehtpuu uuenduse arvukus ha ⁻¹	4815	1215	4,16	154	0,0001
Ülarinde tagavara m ³	244	269	1,26	154	0,2104
Ülarinde puude arv ha ⁻¹	180	267	4,94	154	0,0001
Täius	0,5	0,6	2,34	154	0,0203
Avatus	37	34	2,33	154	0,0211
<i>Raie:</i>					
Väljaraie maht tm/ha	189	116	5,17	154	0,0001
Väljaraie %	45	31	5,74	154	0,0001
Raiutud puud N/ha	273	232	1,78	154	0,0769
Raiutud puud %	59	46	4,69	154	0,0001
<i>(B) Mulla- ja okkaproovide valim</i>					
Valim N	30	30			
<i>Okkad</i>					
Lämmastiku sisaldus %	1,39	1,34	1,60	58	0,1152
Fosfori sisaldus %	0,13	0,12	0,96	58	0,3425
Kaaliumi sisaldus %	0,5	0,51	0,85	58	0,3970
<i>Muld</i>					
Lämmastiku (N) sisaldus %	0,27	0,2	1,14	58	0,2583
Fosfori (P) sisaldus mg/kg	42	37	0,69	58	0,4939
Kaaliumi (K) sisaldus mg/kg	68	55	0,80	58	0,4281
Mulla eripind m ³ x g ⁻¹	48	32	1,40	58	0,1669
Orgaanilise aine %	11,8	9,3	0,90	58	0,3726
pH	3,4	3,3	1,00	58	0,3201
K/N	257	291	1,00	58	0,3202
C/N	22,2	23,4	0,97	58	0,3337

Tabel 5. Valgusrežiimi tunnuste korrelatsioonid

Tunnus	Korrelatsioonid (15 m ringid) Punasega on märgitud olulised $p < ,05000$ N=156					
	Means	Std.Dev.	Avatus	DSF	ISF	TSF
Avatus	35,7	9,9	1,00	0,89	0,97	0,90
DSF	47,8	14,6	0,89	1,00	0,90	1,00
ISF	49,6	11,9	0,97	0,90	1,00	0,92
TSF	48,1	14,1	0,90	1,00	0,92	1,00

Puistut iseloomustavate tunnuse osas (vt. tabel 6) oli nii kogu ülarinde kõrguse, kui ka lihtsalt esimese rinde kõrguse vahel tugev seos (korrelatsioonikordaja $r=0,66$). Kuigi puistu täius ja tagavara (tm ha^{-1}) olid omavahel tugevas korrelatsioonis ($r=0,96$) otsustati siiski mõlemad tunnused edasisse analüüsi kaasata, pakkudes võimalusi käesoleva ja analoogsete uuringute võrdlemisel. Samal põhjusel pidas autor antud tunnusterühmas oluliseks tunnuseks ka puude arvu hektari kohta, jättes välja puistu vanuse ja kõrguse näitajad. Edasise analüüsimisele ei kaasatud ka lagupuidu ja surnud puude kohta mõõdetud tunnuseid, sest nende vähesusel pole uuenemise seiskohast tõenäoliselt olulist mõju. Nii boniteet, kasvukohatüüp, kui ka raiest möödunud aeg on teadlikult valitud tunnused, mis olid paarisiseselt sarnased. Puistu vanus ja kõrgus on aga seoses boniteediga (vastavalt $r=0,46$ ja $r=-0,87$). Mida vanem puistu, seda madalam boniteet.

Tabel 6. Puistu tunnuste korrelatsioonid

Tunnus	Korrelatsioonid (15 m ringid) Punasega on märgitud olulised $p < ,05000$ N=156							
	Means	Std.Dev.	Ülarinde kõrgus m	1 rinde kõrgus m	Puistu vanus a	Puistu tagavara ha kohta	Puud N/ha	Täius
Ülarinde kõrgus m	25,9	3,9	1,00	0,66	-0,22	0,49	-0,21	0,35
1 rinde kõrgus m	27,2	3,5	0,66	1,00	-0,24	0,60	0,07	0,39
Puistu vanus a	132,4	20,7	-0,22	-0,24	1,00	-0,07	-0,06	0,01
Puistu tagavara ha kohta	254,1	123,3	0,49	0,60	-0,07	1,00	0,56	0,96
Puud N/ha	214,8	115,3	-0,21	0,07	-0,06	0,56	1,00	0,65
Täius	0,6	0,2	0,35	0,39	0,01	0,96	0,65	1,00

Raieid puudutavas tunnuserühmas oli väljaraie mahul (tm ha^{-1}) ja raiutud puude arvul (N ha^{-1}) seos kõikide teiste antud rühma kuuluvate tunnustega (vt. tabel 7). Antud rühmas puudus puude arvul enne raie omavaheline seos protsentuaalse väljaraie mahuga ($r=-0,08$) ning raiutud puudega ($r=0,10$). Edasisse koosanalüüsi otsustati jätta eelkõige sisukad ning praktilist tähtsust omavad tunnused – väljaraie maht (tm/ha) ja raiutud puud (%).

Tabel 7. Raie tunnuste korrelatsioonid

Tunnus	Korrelatsioonid (15 m ringid) Punasega on märgitud olulised $p < ,05000$ N=156							
	Means	Std.Dev.	Väljaraie maht tm/ha	Väljaraie maht %	Raiutud puud N/ha	Raiutud puud %	Kokku enne raie tm	Puud enne raie N/ha
Väljaraie maht tm/ha	160,0	93,4	1,00	0,58	0,67	0,53	0,73	0,47
Väljaraie maht %	39,2	15,9	0,58	1,00	0,35	0,73	-0,08	-0,08
Raiutud puud N/ha	257,0	142,7	0,67	0,35	1,00	0,66	0,51	0,78
Raiutud puud %	53,8	18,0	0,53	0,73	0,66	1,00	0,06	0,10
Kokku enne raie tm	414,1	173,2	0,73	-0,08	0,51	0,06	1,00	0,62
Raiutud puud N	18,2	10,1	0,67	0,35	1,00	0,66	0,51	0,78
Puud enne raie N/ha	471,8	184,4	0,47	-0,08	0,78	0,10	0,62	1,00

3.3. Okaspuu taimede arvukus

Loodusliku uuenduse arvukuse sõltuvuse hindamiseks leiti esmalt üksikanalüüsi (GLMM) käigus puistut ja raie kirjeldavate tunnuste mõju (vt. tabel 8). Analüüsis selgus, et üksiktunnustena on mõju kõigil raie rühma kuuluvatel tunnustel. Oluline mõju ($p < 0,001$) oli nii väljaraie mahul (tm/ha), kui ka raiutud puudel (%). Puistu rühmas jäid oluliseks mitmed tunnused, enim neist mineraliseerimine ($F_{1,135}=52,5$; $p < 0,001$) ja ülarinde puude arv ($F_{1,135}=16,9$; $p < 0,001$). Statistiliselt ebaoluliseks jäid aga ülarinde tagavara ($F_{1,135}=0,01$; $p > 0,91$) ja täius ($F_{1,135}=0,8$; $p > 0,378$).

Koosanalüüsi tulemuste põhjal jäi kogumudel (R² modif.=0,404; $F_{21,134}=6,0$; $p < 0,001$) olulisteks mineraliseerimine ($F_{1,134}=53,9$; $p < 0,001$) ja ülarinde puude arv hektari kohta

($F_{1,134}=18,3$; $p<0,001$). Ülejäänud tunnused olulisteks ei osutunud.

Tabel 8. Üldvalimi okaspuu uuenduse arvukuse (N/ha^{-1}) sõltuvuse üksik- ja koosanalüüsi tulemused

Tunnus	df	R ² modif.**	F	p
(A) Üksikanalüüs*				
<i>Puistu</i>				
Mineraliseerimine	1; 135	0,328	52,5	< 0,001
Ülarinde tagavara m ³	1; 135	0,066	0,01	0,917
Ülarinde puude arv ha ⁻¹	1; 135	0,170	16,9	< 0,001
Täius	1; 135	0,072	0,8	0,378
Avatus	1; 135	0,136	11,0	0,001
<i>Raie</i>				
Väljaraie maht tm/ha (Ln)	1; 135	0,160	15,0	< 0,001
Raiutud puud % (Ln)	1; 135	0,174	17,6	< 0,001
(B) Koosanalüüs (adj R²=0,404; $F_{21,134}=6,0$; $p<0,001$)				
vabaliige	1		1278,1	< 0,001
paar	19		2,4	0,002
Mineraliseerimine	1		53,9	< 0,001
Ülarinde puude arv ha ⁻¹	1		18,3	< 0,001

* kõikides üksik ja koosanalüüsid on faktor "paar" arvestatud juhuslikuks faktoriks;

** R² modif. on antud kogu mudeli kohta (koos juhusliku faktoriga "paar").

Mulla- ja okkaproovide analüüsi valim on väiksem (60 prooviringi), kuid okaspuu arvukuse sõltuvust analüüsiti lisaks üldvalimi analüüsile ka mulla- ja okkaproovide põhjal leitud tunnustega (vt. tabel 9). Puistu ja raie rühmades olid tulemused sarnased üldvalimi analüüsiga ning olulisteks jäid samad tunnused. Küll aga jäi täius napilt ebaoluliseks (R^2 modif.=0,062; $F_{1,49}=4,0$; $p>0,05$) tunnuseks.

Erinevate mineraalainete (N, P, K) sisalduse erinevus okastes ja mullas ei olnud analüüsis statistiliselt oluline. Koosanalüüsi mudelis (R^2 modif.=0,589; $F_{11,48}=8,7$; $p<0,001$) sõltub okaspuu uuenduse arvukus samuti mineraliseerimisest ($F_{11,48}=12,5$; $p=0,001$) ning ülarinde puude arvust hektaril ($F_{11,48}=17,9$; $p<0,001$). Seega on antud väiksema valimi puhul just ülarinde puude arvul (ha^{-1}) okaspuu arvukusele kõige suurem mõju.

Tabel 9. Mulla- ja okkaproovide valimi okaspuu uuenduse arvukuse (N/ha⁻¹) sõltuvuse üksik- ja koosanalüüsi tulemused

Tunnus	df	R ² modif.**	F	p
(A) Üksikanalüüs*				
<i>Puistu</i>				
Mineraliseerimine	1; 49	0,448	41,1	< 0,001
Ülarinde tagavara m ³	1; 49	0,016	1,5	0,221
Ülarinde puude arv ha ⁻¹	1; 49	0,493	49,1	< 0,001
Täius	1; 49	0,062	4,0	0,050
Avatus	1; 49	0,216	14,5	< 0,001
<i>Raie</i>				
Väljaraie maht tm/ha	1; 49	0,081	5,1	0,028
Raiutud puud %	1; 49	0,188	12,3	0,001
<i>Okkad</i>				
Lämmastiku sisaldus %	1; 49	0,035	2,5	0,118
Fosfori sisaldus %	1; 49	-0,003	0,6	0,449
Kaaliumi sisaldus %	1; 49	-0,014	0,1	0,824
K/N	1; 49	0,013	1,4	0,241
P/N	1; 49	-0,001	0,7	0,409
<i>Muld</i>				
Lämmastiku (N) sisaldus %	1; 49	0,011	1,3	0,266
Fosfori (P) sisaldus mg/kg	1; 49	-0,002	0,7	0,423
Kaaliumi (K) sisaldus mg/kg (Ln)	1; 49	-0,002	0,6	0,462
Mulla eripind m ³ x g ⁻¹ (Ln)	1; 49	0,007	1,1	0,306
Orgaanilise aine % (Ln)	1; 49	0,002	0,9	0,359
pH	1; 49	0,006	1,0	0,316
K/N	1; 49	0,013	1,4	0,241
P/N (Ln)	1; 49	0,000	0,8	0,388
C/N	1; 49	-0,004	0,5	0,470
(B) Koosanalüüs (adj R²=0,589; F_{11,48}=8,7; p<0,001)				
vabaliige	1		332,0	< 0,001
paar	9		2,8	0,011
Mineraliseerimine	1		12,5	0,001
Ülarinde puude arv ha ⁻¹	1		17,9	< 0,001

* kõikides üksik ja koosanalüüsidel on faktor "paar" arvestatud juhuslikuks faktoriks

** R² modif. on antud kogu mudeli kohta (koos juhusliku faktoriga "paar")

3.4 Uuenemisindeks

Uuenemisindeksi arvutamisel võetakse eelnevalt mainituna ainult üle 30 cm kõrgusi okaspuu uuenduse taimi ning seega ei iseloomusta ainult uuenduse teket, vaid ka selle esialgset kordaminekut. Üldvalimi puhul leiti uuenemisindeksi sõltuvus samuti esmalt üksikanalüüsi põhjal ning seejärel koostati koosanalüüsi mudel, jättes samm-meetodit rakendades vähem olulised tunnused mudelist välja (vt. tabel 10).

Üksikanalüüsi tulemused olid sarnased okaspuu arvukuse omadega. Kõik tunnused (mineraliseerimine, ülarinde puude arv ha^{-1} , väljaraie maht ha^{-1} , raiutud puud (%) ja avatus), mis olid oluliselt erinevad okaspuu arvukuse analüüsis, tulid ka ükshaaval olulisteks uuenemisindeksi sõltuvuse puhul. Seevastu lisandus koosanalüüsi mudelis (R^2 modif.=0,388; $F_{22;133}=5,5$; $p<0,001$) väljaraie maht (tm/ha), jäädes mineraliseerimise ja ülarinde puude arvu (ha^{-1}) kõrval kolmandaks oluliseks mõjutavaks tunnuseks ($F_{22;133}=6,9$; $p=0,01$).

Tabel 10. Üldvalimi uuenemisindeksi sõltuvuse üksik- ja koosanalüüsi tulemused

Tunnus	df	R ² modif.**	F	p
(A) Üksikanalüüs*				
<i>Puistu</i>				
Mineraliseerimine	1; 135	0,265	31,0	< 0,001
Ülarinde tagavara m ³	1; 135	0,096	0,0	0,841
Ülarinde puude arv ha ⁻¹	1; 135	0,218	20,9	< 0,001
Täius	1; 135	0,107	1,6	0,207
Avatus	1; 135	0,146	7,8	0,006
<i>Raie</i>				
Väljaraie maht tm/ha (Ln)	1; 135	0,223	22,1	< 0,001
Raiutud puud % (Ln)	1; 135	0,200	17,6	< 0,001
(B) Koosanalüüs (adj R²=0,388; F_{22,133}=5,5; p<0,001)				
vabaliige	1		0,0	0,839
paar	19		2,8	< 0,001
Mineraliseerimine	1		24,8	< 0,001
Väljaraie maht tm/ha	1		6,9	0,010
Ülarinde puude arv ha ⁻¹	1		13,5	< 0,001

* kõikides üksik ja koosanalüüsidest on faktor "paar" arvestatud juhuslikuks faktoriks;

** R² modif. on antud kogu mudeli kohta (koos juhusliku faktoriga "paar").

Mulla- ja okkaproovide valimi üksikanalüüsis olulisi erinevusi üldvalimi analüüsiga võrreldes polnud (vt. tabel 11). Oluliseks jäid samad tunnused mis ka üldvalimi puhul, kuid neile lisandus täius (R² modif.=0,034; F_{1;49}=5,9; p=0,019). Siinjuures jäi üksikanalüüsis okaste kaaliumi ja lämmastiku suhe (R² modif.=0,003; F_{1;49}=3,9; p=0,055) napilt ebaoluliseks. Uuenemisindeksi koosanalüüsi (R² modif.=0,537; F_{11;48}=7,2; p<0,001) tulemused oli sarnased okaspuu uuenduse arvukuse sõltuvuse analüüsi tulemustega. Siin on aga vastupidiselt arvukuse tulemustele, mineraliseerimisel suurem mõju (F_{11;48}=36,3; p<0,001) võrreldes väljaraie mahuga (F_{11;48}=27,7; p<0,001)

Tabel 11. Mulla- ja okkaproovide valimi uuenemisindeksi sõltuvuse üksik- ja koosanalüüsi tulemused

Tunnus	df	R ² modif.**	F	p
<i>(A) Üksikanalüüs*</i>				
Mineraliseerimine	1; 49	0,285	25,1	< 0,001
Ülarinde tagavara m ³	1; 49	-0,034	2,3	0,140
Ülarinde puude arv ha ⁻¹	1; 49	0,280	24,6	< 0,001
Täius	1; 49	0,034	5,9	0,019
Avatus	1; 49	0,102	10,0	0,003
<i>Raie</i>				
Väljaraie maht tm/ha	1; 49	0,204	17,6	< 0,001
Raiatud puud %	1; 49	0,206	17,8	< 0,001
<i>Okkad</i>				
Lämmastiku sisaldus %	1; 49	-0,025	2,7	0,106
Fosfori sisaldus %	1; 49	-0,076	0,3	0,613
Kaaliumi sisaldus %	1; 49	-0,066	0,7	0,405
K/N	1; 49	-0,003	3,9	0,055
P/N	1; 49	-0,048	1,6	0,213
<i>Muld</i>				
Lämmastiku (N) sisaldus %	1; 49	-0,059	1,1	0,305
Fosfori (P) sisaldus mg/kg	1; 49	-0,044	1,8	0,190
Kaaliumi (K) sisaldus mg/kg (Ln)	1; 49	-0,079	0,1	0,727
Mulla eripind m ³ x g ⁻¹ (Ln)	1; 49	-0,080	0,1	0,781
Orgaanilise aine % (Ln)	1; 49	-0,073	0,4	0,535
pH	1; 49	-0,042	1,9	0,179
K/N	1; 49	-0,032	2,3	0,132
P/N (Ln)	1; 49	-0,075	0,3	0,596
C/N	1; 49	-0,047	1,6	0,206
<i>(B) Koosanalüüs (adj R²=0,537; F_{11,48}=7,2; p<0,001)</i>				
vabaliige	1		0,1	0,815
paar	9		6,4	< 0,001
Mineraliseerimine	1		36,3	< 0,001
Väljaraie maht tm/ha	1		27,7	< 0,001

* kõikides üksik ja koosanalüüsidest on faktor "paar" arvestatud juhuslikuks faktoriks

** R² modif. on antud kogu mudeli kohta (koos juhusliku faktoriga "paar")

3.5 Uuenduse aastane kogupikkuskasv

Väga sarnased tulemused leiti uuenduse aastase kogupikkuskasvu ja uuenemisindeksi sõltuvuse üksik- ja koosanalüüside põhjal, kus sisulisi erinevusi ei esinenud (vt. tabel 12). Ka koosanalüüsi (R^2 modif.=0,44; $F_{22;133}=6,6$; $p<0,001$) tulemused näitasid mineraliseerimise tugevat mõju ($F_{22;133}=40,0$; $p<0,001$). Uuenduse aastase kogupikkuskasvu erinevusest on mineraliseerimise, väljaraie mahu (tm/ha) ja ülarinde puude arvuga (ha^{-1}) 44% seletatav üldvalimi koosanalüüsi põhjal.

Tabel 12. Üldvalimi uuenduse aastase kogupikkuskasvu sõltuvuse üksik- ja koosanalüüsi tulemused

Tunnus	df	R^2 modif.**	F	p
(A) Üksikanalüüs*				
<i>Puistu</i>				
Mineraliseerimine	1; 135	0,327	46,1	< 0,001
Ülarinde tagavara m^3	1; 135	0,097	0,1	0,740
Ülarinde puude arv ha^{-1}	1; 135	0,220	21,4	< 0,001
Täius	1; 135	0,109	1,9	0,167
Avatus	1; 135	0,144	7,5	0,007
<i>Raie</i>				
Väljaraie maht tm/ha (Ln)	1; 135	0,224	22,2	< 0,001
Raiutud puud % (Ln)	1; 135	0,214	20,2	< 0,001
(B) Koosanalüüs (adj $R^2=0,44$; $F_{22,133}=6,6$; $p<0,001$)				
vabaliige	1		0,8	0,384
paar	19		3,4	< 0,001
Mineraliseerimine	1		40,0	< 0,001
Väljaraie maht tm/ha	1		6,2	0,014
Ülarinde puude arv ha^{-1}	1		15,2	< 0,001

* kõikides üksik ja koosanalüüsid on faktor "paar" arvestatud juhuslikuks faktoriks;

** R^2 modif. on antud kogu mudeli kohta (koos juhusliku faktoriga "paar").

Erinevusi esines aga mulla- ja okkaproovide valimi analüüsides, kus üksikanalüüsil lisandusid olulisteks tunnusteks okaste lämmastiku sisaldus (R^2 modif.=0,021; $F_{1;49}=4,7$; $p=0,035$) ja kaaliumi ning lämmastiku suhe (R^2 modif.=0,024; $F_{1;49}=4,9$; $p=0,032$). Samas aga koosanalüüsis (R^2 modif.=0,56; $F_{11;48}$; $p<0,001$) antud tunnused olulisteks ei jäänud ning uuenduse aastast kogupikkuskasvu erinevust põhjustasid samad tunnused (mineraliseerimine ja väljaraie maht (tm ha^{-1})), mis okaspuu arvukuse ja uuenemisindeksi puhul.

Tabel 13. Mulla- ja okkaproovide valimi uuenduse aastase kogupikkuskasvu sõltuvuse üksik- ja koosanalüüsi tulemused

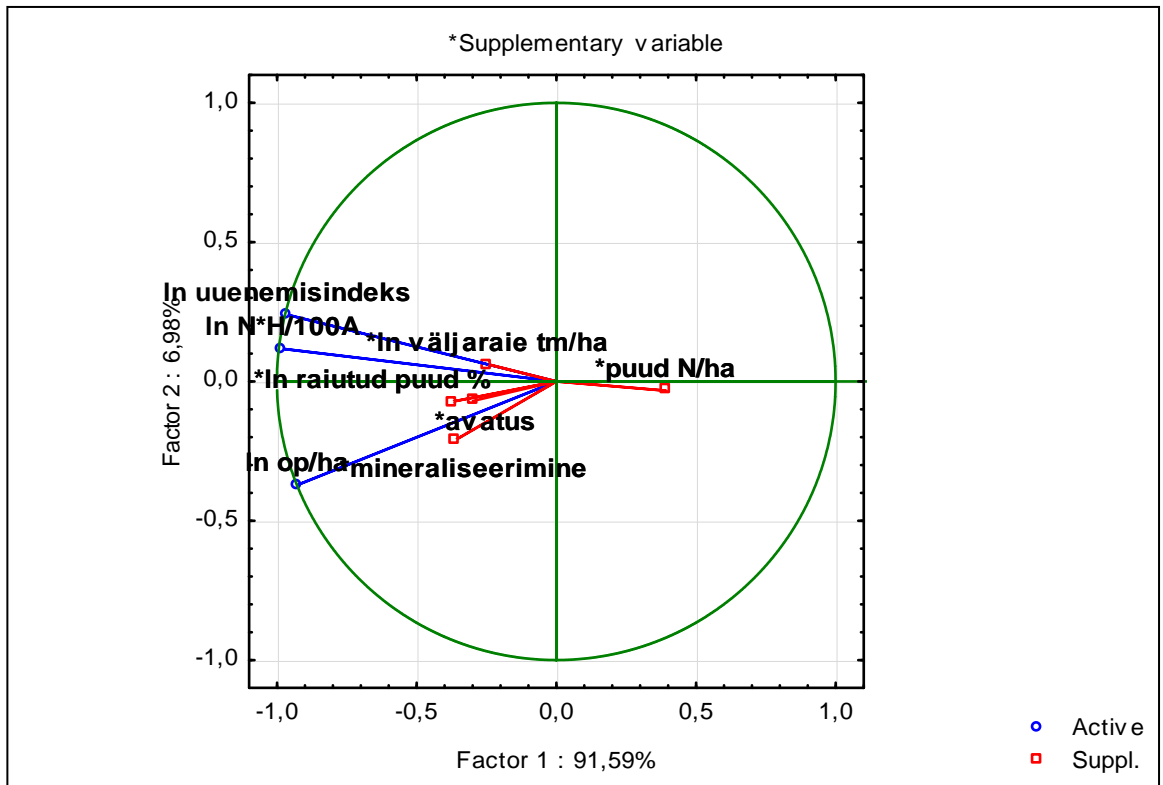
Tunnus	df	R ² modif.**	F	p
(A) Üksikanalüüs*				
Mineraliseerimine	1; 49	0,382	36,1	< 0,001
Ülarinde tagavara m ³	1; 49	-0,036	1,7	0,196
Ülarinde puude arv ha ⁻¹	1; 49	0,334	29,9	< 0,001
Täius	1; 49	0,025	4,9	0,032
Avatus	1; 49	0,155	13,2	< 0,001
<i>Raie</i>				
Väljaraie maht tm/ha	1; 49	0,137	11,9	0,001
Raiutud puud %	1; 49	0,208	17,3	< 0,001
<i>Okkad</i>				
Lämmastiku sisaldus %	1; 49	0,021	4,7	0,035
Fosfori sisaldus %	1; 49	-0,058	0,7	0,421
Kaaliumi sisaldus %	1; 49	-0,060	0,6	0,446
K/N	1; 49	0,024	4,9	0,032
P/N	1; 49	-0,031	2,0	0,167
<i>Muld</i>				
Lämmastiku (N) sisaldus %	1; 49	-0,032	1,9	0,170
Fosfori (P) sisaldus mg/kg	1; 49	-0,035	1,8	0,190
Kaaliumi (K) sisaldus mg/kg (Ln)	1; 49	-0,072	0,0	0,917
Mulla eripind m ³ x g ⁻¹ (Ln)	1; 49	-0,067	0,2	0,627
Orgaanilise aine % (Ln)	1; 49	-0,054	0,8	0,363
pH	1; 49	-0,042	1,4	0,236
K/N	1; 49	-0,054	0,8	0,362
P/N (Ln)	1; 49	-0,069	0,2	0,691
C/N	1; 49	-0,050	1,1	0,308
(B) Koosanalüüs (adj R²=0,56 ; F_{11,48}=7,8 ; p<0,001)				
vabaliige	1		4,5	0,043
paar	9		5,4	< 0,001
Mineraliseerimine	1		48,1	< 0,001
Väljaraie maht tm/ha	1		20,8	< 0,001

* kõikides üksik ja koosanalüüsid on faktor "paar" arvestatud juhuslikuks faktoriks

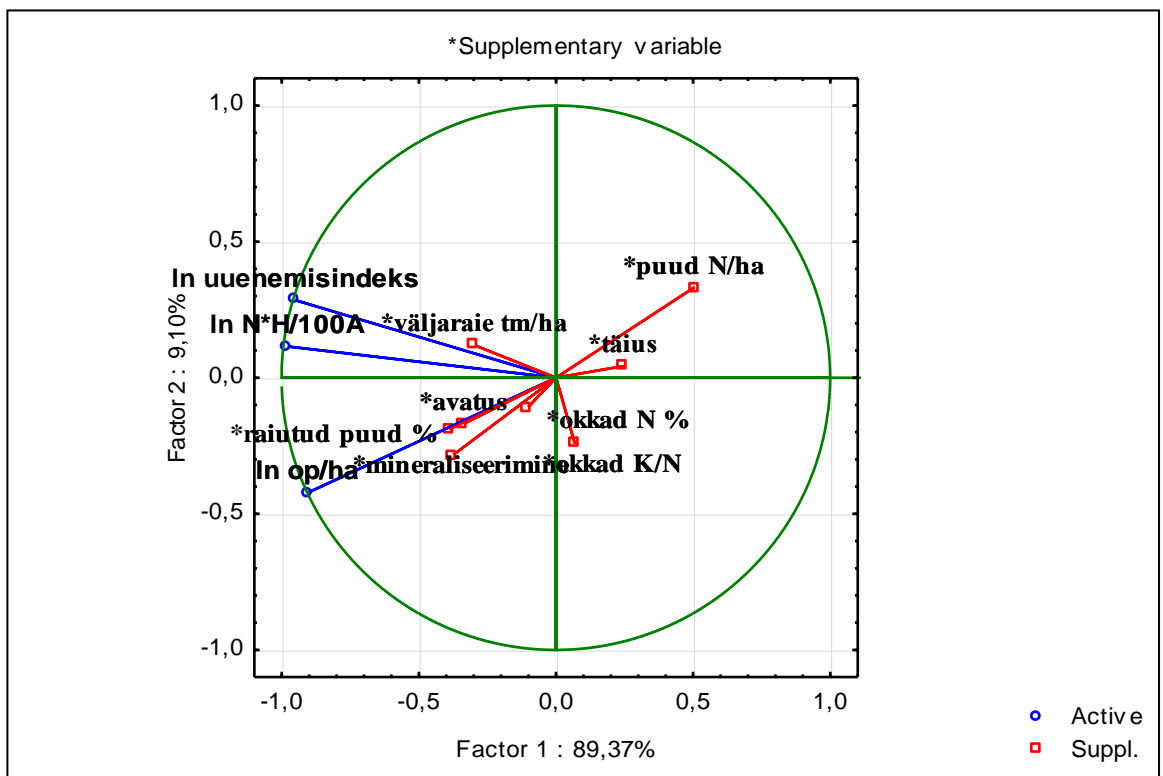
** R² modif. on antud kogu mudeli kohta (koos juhusliku faktoriga "paar")

3.6 Põhikomponentanalüüs

Selleks, et visualiseerida üksikanalüüsidest olulisteks jäänud tunnuste mõju kolmele uuendusenäitajatele, koostati esmalt üldvalimi põhjal põhikomponentanalüüs (vt. joonis 4) ning seejärel mulla- ja okkaproovide valimi kohta (vt. joonis 5). Üldvalimi esimene põhikomponent kirjeldab enamuse varieeruvusest - 91,59% (korrelatsioonimaatriksi omaväärtus ($E - Eigenvalue$)=2,74) ja teine põhikomponent 6,98% ($E=0,21$) varieeruvusest ning väiksemas valimis kirjeldavad need vastavalt 89,37% ($E=2,68$) ja 9,1% ($E=0,27$). Kuna üldreeglina peetakse sisukaks faktorid ühest suurema omaväärtusega, siis võib väita, et faktor 1 kirjeldabki uuenemisnäitajaid. Ilmekalt on näha, et kõige suurema negatiivse mõjuga uuendusnäitajatele (eriti okaspuu uuenduse arvukusele ha^{-1}) on puude arv ha^{-1} (joonis 4 ja 5) ja täiusel on juba oluliselt väiksem mõju (joonis 5). Tugev positiivne mõju uuenduse arvukusele on mineraliseerimisel, puistu avatusel ja protsentuaalsel raitunud puude kogusel (joonis 4 ja 5). Mineraalainete mõju uuendusnäitajatele on ka põhikomponentanalüüsi järgi väike (joonis 5). Need ei ole piisavaks teguriks turberaielal tekkivale uuendusele.



Joonis 4. Üldvalimi (N=156) põhikomponentanalüüs oluliste tunnustega



Joonis 5. Mulla- ja okkaproovide valimi (N=60) põhikomponentanalüüs oluliste tunnustega

4. Arutelu

Käesolev peatükki koostamisel on kasutatud töö autori „Metsakasvatuse erikursus“ õppeaines koostatud „Aegjärksel raiel looduslikku uuendust potentsiaalselt mõjutavad tegurid“ kursusetööd (Soolmann 2013b).

Tulemuste põhjal selgus, et valdavalt oli kolme erineva uuenemisnäitajate puhul uuritavate tegurite mõju ja selle suurus üsna sarnased. Kuigi kõik kolm tunnust aitavad iseloomustada uuenemise headust, siis erinevad need sisulistes punktides. Ka mulla- ja okkaproovide ning üldvalimi analüüsides väga suuri erinevusi ette ei tulnud. Valdavalt jäid kõige olulisemateks tunnusteks seega mineraliseerimine, ülarinde puude arv hektari kohta ja väljaraie maht (tm/ha). Kõik loetletud tunnused olid ka ootuspärased ja leitud tulemusi toetavad veel mitmed teised sarnased uuringud.

4.1. Seemneaastad ja mineraliseerimine

Selleks, et tagada uuenemise kordaminek, tuleb rakendada maapinna ettevalmistamist (Laas ja Väärt 2004; Tesch ja Mann 1991; Barbeito jt. 2011) ja hilisemat kultuurihooldust (Tesch ja Mann 1991). Eelkõige sõltub edukas uuenemine mulla mineraalsest osast ja selle kättesaadavusest taimetele, et tagada taime eluks vajalik vee- ja toitainete kogus. Seda protsessi võib takistada tihe alustaimestik või tüse kõduhorisont

ning sellisel korral on seemnete idanemine raskendatud (Sustainable Management of ...). Barbeito jt. (2011) on leidnud, et rohu- ja puhmarinde eemaldamine on vajalik loodusliku uuenduse tekkeks aegjärksel raiel, sest see rinne takistab füüsilise barjäärina seemnete jõudmist mineraalse mullani. See protsess on eriti ilmikas viljakates männikuuse segapuistutes, kus puistu hõrendamisega on tekkinud tugev rohukasv ning uuenduse kasv on pärsitud (Laas ja Vää 2004). Käesolevas töös sisaldas valim ka viljakaid, I ja II boniteedi männikuid. Siiski oli halvasti uuenenud alade tüübirühmas vähem lehtpuu uuendust. Edukalt uuenenud aladel oli paaride siseselt nii okaspuu, kui ka lehtpuu uuendust rohkem võrreldes halvasti uuenenud aladega. Seega olid uuenduse teket takistavad tegurid sarnased halvasti uuenenud aladel ja seda nii lehtpuu, kui ka okaspuu uuenduse osas.

Maapinna mineraliseerimine suurendab eelkõige hariliku männi ja vähem hariliku kuuse uuenduse arvukust nende liikidele tüüpilistest kasvukohtades. Seetõttu peetakse mineraliseerimist edukaks meetodiks boreaalsete metsade uuendamisel ning selle mõju puittaimestiku kasvule on uuritud kogu maailmas (Jäärats jt. 2012)

Lisaks on Jäärats jt. (2012) leidnud, et männiuuenduse arvukus ja kasv olid oluliselt suuremad mineraliseeritud, kui mineraliseerimata katsealadel. Eestis omavad puittaimede seemnete idanemisel olulist tähtsust maapinna omadused. Rikkalik alustaimestik takistab seemnete jõudmist mulda. Seemnete edukat idanemist takistab ka tihe ning tüse toorhuumuse horisont mulla pinnal. Ka Nilsson jt. (2002) on leidnud, et maapinna mineraliseerimise positiivne mõju väheneb aja jooksul, sest konkureeriv alustaimestik asustab mineraliseeritud ala. Seetõttu saab mineraliseerimise efektiivsust tõsta, raiudes turberaie käigus pigem vähem ja pikema aja jooksul.

Uuenduse edukus sõltub veel sobivast külvilapi omadusest ja seda ümbritsevast keskkonnast ning seemnete olemasolust (Tesch ja Mann 1991; Rouvinen ja Kouki 2011). Maapinna ettevalmistamine vähendab konkurentsi erinevatele kasvuressurssidele, eriti vee kättesaadavusele suvekuudel (Barbeito jt 2011). Samas on Valkonen (2000) leidnud, et kuivematel Skandinaavia hariliku männi metsatüüpides ei ole otstarbekas maapinda mineraliseerida, sest see võib tõsta mulla temperatuuri ja alandada selle niiskusesisaldust. Edaspidistes samalaadsetes uuringutes on mõistlik antud väidet ka kontrollida Eesti tingimustes, sest käesolevas uuringus niiskusesisalduse

kohta mõõtmisi ei teostatud. Samas mulla eripind, mis iseloomustab mulla niiskushoidmisvõimet, kusagil oluliseks ei tulnud.

Karlsson ja Örlander (2000) analüüsisid maapinna ettevalmistuse mõju hariliku männi looduslikule uuenduse tekkele, suremusele ja kõrguskasvule seemnepuudega raie järgselt. Seitsme aasta pärast oli puistu, kus maapinna ettevalmistus tehti enne rikkaliku seemnetesaaki, suurima uuenduse (69 000 tk/ha) tihedusega ala ning alal, kus maapinna ettevalmistus tehti koheselt peale raiet umbes poole väiksemema arvukusega (34 000 tk/ha). Maapinna mineraliseerimiseta kontrollalal oli uuenduse arvukus oluliselt väiksem kui kahel eelmisel - 6000 tk/ha. Kuigi uuenduse suremus ei erinenud kolme ala vahel, siis mineraliseerimisel oli oluline mõju ka kõrguskasvule.

Männi turberaiete juures on olulise tähtsusega esimese raiejärgu ajastamine enne kevadist seemnete varisemist (Gabrilavičius jt. 2008; Laas 2012a; Barbeito jt. 2011). Laas (2012a) väidab, et enne raiejärgu teostamist tasub oodata rikkaliku esimese aasta emaskäbide teket ning teise aasta sügisel enne seemnete varisemist teostada maapinna mineraliseerimine. Seega sõltub uuenduse arvukus suurel määral seemneaastatest. Männi seemneaastad korduvad Eestis üpris tihti, umbes 3-4 aasta tagant (Jäärats jt. 2012).

Karlsson (2000) on leidnud, et hariliku männi seemnepuude seemnesaagi suurus sõltub raiest mõõdnud ajast ja ilmastiku tingimustest. Käbide arvukus ei olnud aga oluliselt erinev enne kolmandat raiejärgset aastat võrrelduna kontrollala puudega. Küll aga oli seemnepuudega raiel kolm aastat peale raiet seemnesaak viis korda suurem võrreldes raiumata puistus olevate puudega. Oluline mõju seemnesaagile oli ka seemnepuu diameetril.

Raiejärgselt jääb keskmine säilitatud puude seemnesaagi suurus sarnaseks eelmiste aastatega ning võib isegi langeda, kuid seejärel see suureneb oluliselt, sõltudes puu seisukorrast, suurusest ja vanusest (Valkonen 2000). Karlsson ja Örlander (2000) leidsid oma uuringus, et kuigi hariliku männi seemnepuude käbisaak oli kahel esimesel raiejärgsel aastal madal, siis alates kolmandast aastast suurenes käbisaak oluliselt. Karlsson ja Örlander (2002) analüüsisid veel männi seemnesaagi teket Kesk-Rootsi seemnepuudega raiel ja kontrollalal. Keskmine emaskäbide arvukus oli 65% ning 1000

seemne mass 15% suurem lageraiel seemnepuudeks jäetutel puudel võrreldes raiumata metsas kasvavate puudega.

Hariliku männi seemnete kvaliteet ja arvukus on aastate ja individuaalsete puude lõikes varieeruv. Seda eriti põhjapoolsematel, karmima kliimaga piirkondades (nt. Põhja-Soome ja -Rootsi) (Karlsson ja Örlander 2000; Valkonen 2000). Lõunapoolsematel, viljakamatel kasvukohtadel võib maapinna mineraliseerimist rakendada koheselt, et vältida rohttaimestiku konkurentsi, kuid põhjapoolsematel aladel tuleks ajastada rikkaliku seemnesaagi aastatega (Karlsson ja Örlander 2000). Näiteks leidsid Hallikainen jt. (2007) oma Põhja-Soomes tehtud uurimuses, et maapinna mineraliseerimisel ei olnud olulist mõju uuenduse tekkele ja arvukusele, sest mineraliseerimisel hävinevad mitmed eeluenduse taimed ning kuna uuenduse teke on aeganõudev, siis kulub mitmeid aastaid, et uuendust oleks sama arvukalt kui seda oli enne mineraliseerimist.

4.2. Kasvukoha omadused

Hariliku männi metsad moodustavad kliimakskooslusi mitmetel toitainetevaestel kasvukohtadel, iseloomustades selle liigi kõrget konkurentsivõimet taolistel aladel (Carlisle ja Brown 1968). Kasvukoha taimkate on hea indikaator ennustamiseks uuenduse edukust antud alal ning on ühtlasi määrav maapinna ettevalmistuse kohapealt, tagamaks uuendusele sobiv külvipind. Loodusliku uuenduse tekkeks on harilikule männile kõige sobivamad alad, kus maapinda katavad kanarbikuliste (*Ericaceae*) sugukonna esindajatest (nt. harilik kanarbik (*Calluna vulgaris*), hall eerika (*Erica cinerea*) ja harilik mustikas (*Vaccinium myrtillus*)) moodustatud puhmarinne (Sustainable Management of ...; Carlisle ja Brown 1968), kui ka toitainetevaestel liivastel (huumuslikel) leedemuldadel (Carlisle ja Brown 1968). Kuid ka sellistes kasvukohtades võib looduslik uuenemine olla raskendatud, kui puhmarinde paksus ja tihedus on ühtaselt suur kogu alal. Samblarinde ja toorhuumuse eemaldamisega luuakse

seemnetele soodsamad tingimused jõudmaks mulla mineraalosalale (Sustainable Management of ...).

Mänd on valgusnõudliku puuliigina võimeline edukalt looduslikult uuenema pigem väheviljakatel, madala rohukasvu, puhma- ja põõsarindega aladel (Gabrilavičius jt. 2008). Mitmed autorid on leidnud, et uuenduse arvukus on suurem kuivematel ning väiksem parasniisketel ja viljakatel kasvukohtadel (nt. Barbeito jt. 2011; Hallikainen jt. 2007). Häid tulemusi on andnud just mustika ja pohla kasvukohatüübid (Gabrilavičius jt. 2008). Hõlpsam on uuendada väheviljakat ala, sest viljakas ala pakub toitainete rikkamat kasvusubstraati uuendusega konkureerivale alustaimestikule. Sellisel juhul tuleks vältida intensiivset raiet uuenduse läheduses ning teostada järgmine raievõte uuendusele ebapiisava valguse korral. Vastasel juhul võib tekkida ebasoovitatav konkurents alustaimestiku intensiivistunud kasvu näol (Hale 2004). Rohtumist esineb eriti viljakama kasvukohaga (jänsekapsa-pohla, jänsekapsa-mustika ja pohla-sinilille alltüübi) männikutes ja kuusikutes (Laas ja Vää 2004).

Laas (2012a) on leidnud, et ka niisketes kasvukohtades ei saa aegjärkset raiet rakendada, kuna seal suureneb tormiheidete oht allesjätavatel puudel. Viljakamates kasvukohatüüpides tekib rohkesti uuendust ohustavaid kõrrelisi, mistõttu võib viljakates männikutes kuusk asendada peapuuliigiga. Niiskuse defitsiidi alla kannatavatel männialadel tuleb männiuuenduse hukkumise vältimiseks hoida optimaalset täiust. Veel lisab ta, et okaspuude looduslikuks uuenemiseks saab aegjärkset raiet rakendada vaid männi III ja IV boniteedi leedemuldadel, kus raietega lisandunud valguse mõjul ei suurene kõrreliste arvukus. Lisaks saab rakendada aegjärkset raiet ka veel männi viljakamatel (I ja II boniteedi) aladel, kus on olemas kuuse eeluuendus. Need järeldused on aga kohati vastuolus käesoleva töö tulemustega, kus ka viljakamatel, I boniteedi männikutes oli männiuuendust arvukalt. Viljakad alad olid uunenud ka ilma kuuse eeluuendusega.

Skandinaavia metsades peetakse uuenduse kasvu puhul toitainete kättesaadavust kõige limiteerivamaks teguriks (Eksperthinnang ... 2010). Peamine kasvu limiteeriv toiteelement on lämmastik (Eksperthinnang ... 2010; Aerts jt. 1992) aga ka teised mineraalained (nt. kaalium) ning toitainete tasakaalustamata vahekord (nt. K ja N suhe) (Mandre 2003). Lisaks on mineraaltoitainete puudus ka kõige olulisem seemnete teket

limiteeriv faktor küpsetes Rootsi hariliku männi metsades (Karlsson ja Örlander 2002). Seega on käesoleva uuringu tulemused teatud määral vastuolus teiste uuringutega. Mineraalainete sisaldus nii mullas-, kui ka okastes ei olnud oluline tegur uuendusnäitajatele (v.a uuenduse aastase kogupikkuskasvu üksikanalüüsis). See tõsiasi võib olla tingitud üpris noorest valimist, kus uuenduse esmasel tekkel ei ole toitainete vajadus tõenäoliselt veel niivõrd suur, kui on edasistel kasvuaastatel, mil taimede aastane kõrguskasv hakkab üha enam suurenema. Lisaks võib toitainete puudus olla ebaoluline faktor seetõttu, et nii Eesti metsamaad on viljakamad, kui ka valim sisaldas pigem viljakamaid alasid kui vastavates Skandinaavia uuringutes.

4.3. Ülarinne ja raie

Keskkonnatingimuste poolest ekstreemsetel aladel on turberaietega võimalik võrastiku säilitamise abil kujundada loodusliku uuenduse mikrokeskkonda (Tesch ja Mann 1991). Samuti on puude säilitamisega raiel võimalik kujundada uue metsageneratsiooni liigilist koosseisu (Valkonen 2000). Maapinna taimestiku katvuse ja selle liigiliste omaduste reguleerimisel on oluline mõju väljaraie suurusel, sagedusel ja ajastusel (Myketa ja McLaughlan 1996).

Kasvavate puude eemaldamine jätab allesjäävatele puudele rohkem erinevaid kasvuks vajalike ressursse: niiskus, toitained, päikesevalgus ja kasvuruum (Myketa ja McLaughlan 1996). Raiel säilitatud puudel võib lisaks seemne andmisele ja turbe pakkumisele olla ka teisi positiivseid eesmärke. Mõningatel aladel on kiirekasvulise kase loodusliku uuenduse puhul tegemist okaspuu uuenemist häiriva teguriga. Ülarinde osaline säilitamine aitab aga kase uuendust kontrolli all hoida (Valkonen jt. 2002). See võib olla ka üks põhjustest, miks käesoleva töö edukalt uuenenud aladel oli lehtpuu uuendust arvukamalt. Nimelt oli kahe erineva tüübi puhul paariliste vahel säilitatud puistu maht oluliselt erinev. Halvasti uuenenud aladel oli lehtpuu arvukus madalam ning ülarinde puude arv ja tagavara keskmiselt suurem (viimane küll mitte statistiliselt

usaldusväärset), kui edukalt uuenenud aladel.

Raiel säilitatavate puude vajalik arv sõltub kasvukohast: mida vaesema liivmullaga on tegemist, seda vähem turbepuid tuleks jätta (Laas ja Vää 2004). Laas (2012a) soovib esimese raiejärgu korras raiuda männikutes 30...35% ning muudes puistutes 20...30% tagavarast. Teisel raiejärgul aga rohkem, vastavalt 40...50% ja 30...50% allesjäänud tagavarast. Ta leiab, et uuenduse kasvu seisukohalt on eelkõige olulised tunnused allesjätav ülarinde puude arv ja täius. Vähem oluliseks peab ta aga väljaraie protsenti.

Antud uuringu tüübirühmade paaridevaheliste keskmised olid raiete intensiivuses osas oluliselt erinevat. Edukalt uuenenud aladel oli keskmine protsentuaalne väljaraie (45%) ja väljaraie maht (189 tm/ha) oluliselt suuremad kui halvasti uuenenud alade vastavad näitajad (31% ja 116 tm/ha). GLM analüüsides tuli väljaraie maht nii üksik-, kui ka koosanalüüsis oluliseks uuenumisindeksi ja uuenduse aastase kogupikkuskasvu puhul. Seega ei ole väljaraie mahu ulatus mitte niivõrd oluline taimede esmasel tekkel (arvukusel), kuivõrd järgnevatel kasvuaastatel ja kõrguskasvu kujunemisel.

Laas ja Vää (2004) on leidnud oma turberaiete uuringus, et mida madalamaks jääb aegjärgse raie I järgu raie järel puistu täius, seda rohkem männitaimi hektari kohta kasvab. Männitaimede kasvunäitajad olid halvemad aladel, kus säilitati rohkem puid. Samas aga ei mõjutanud turbepuude arv noorte männitaimede arvukust. Olulisteks uuenduse arvukust mõjutavateks teguriteks jäid aga täius enne ja peale raiet ning protsentuaalne väljaraie.

Edela-Eesti rannikupuistutes on uuritud (Kõresaar 2003) pohla ja sambliku kasvukohatüübi männikute looduslikku uuendamist järk-järguliste raietega. Antud uurimusest selgus, et puistu täiusel on kõige olulisem mõju uuendusele aga ka kohapealsed kliimategurid – õhutemperatuur ja suhteline õhuniiskus omasid märkimisväärset mõju. Kui sambliku kasvukohatüübis puudus 0,45-0,88 täiuse juures oluline mõju uuenduse arvukusele, siis sama täiusega pohla kasvukohatüübis oli uuenduse arvukuse ja täiuse vahel tugev pöördvõrdeline sõltuvus. Täius aga käesolevas töös oluliseks tunnuseks ei osutunud.

Leedus läbiviidud uuringu (Gabilavičius jt. 2008) põhjal järeldati, et peale esimest

raievõtet on oluline jätta optimaalne kogus – 70 kuni 100, hajali paigutusega seemnepuud. Peamine põhjus seisneb ülarinde konkurentsi võimalikult madalal hoidmises. Parimad tulemused saadi liituse viimisel alla 0,4. Holgen ja Hånell (2000) soovivad aga adekvaatse turbemõju pakkumisel uuendusele jätta raiel alles vähemalt 200 okaspuud hektari kohta. Antud number jääb käesolevas töös madalamaks keskmisest halvasti uuenenud alade (180) ja kõrgemaks edukalt uuenenud alade (269) omast. Kusjuures siinkohal on oluline täpsustada, et ülarinde puude hulka kuulusid ka madalamate kui esimese rinde puud (kuni diameetriga 10 cm).

4.3.1. Ülarinde konkurents

Seemnete idanevus ning noorte taimede suremus ja kasv erinevates kasvukohtades sõltub mitmesugustest teguritest. Kõige olulisemad on temperatuur ning valguse, vee ja toitainete kättesaadavus. Säilitatud puud üldjuhul vähendavad nende ressursside kättesaadavust läbi võrastiku, piirates sellega sademetevee ja valguse jõudmist maapinnani ning ühtlasi kasutades maapinnas sisalduvaid toitaineid (Valkonen 2000). Turbepuude mõju järelkasvu kõrguskasvule ei pruugi olla suur uuenduse esimesetel kasvuaastatel. Konkurentsi mõju võib avalduda peale esimest raiest möödunud nelja aastat, kui uuendus on juba suurem ning vajab kasvuks rohkem ressursse (Erefur jt. 2008).

Allesjätavad puud mõjutavad tekkivat männi looduslikku uuendust peamiselt oma juurestiku tegevuse kaudu, mis mõjub männitaimede tekkele ja nende kasvule pärssivalt, s.t. mida rohkem on allesjätud puid, seda suuremal osal langi pindalast on kehvalt kasvavaid männitaimi (Laas ja Vää 2004). Kusjuures vanade puude negatiivne mõju on männi uuendusele suurem kui kuuse puhul (Laas 2012a). Seepärast on raietel, kus säilitatakse puid, loodusliku uuenduse teke ebaregulaarne ning võib esineda halvasti uuenenud metsaosasid (Valkonen 2000).

Kuuluvainen ja Pukkala (1989) uurisid seemnepuudega lageraiel allesjäetavate puude mõju looduslikule uuendusele ja alustaimestikule. Nad järeldasid, et seemnepuude lähedusel oli pärssiv mõju rohtaimede ja uuenduse kasvule. Lähimast naaberpuust 8 meetri kaugusel oli neli kuni viis korda rohkem rohttaimestikku, kui seda oli naaberpuu kõrval. Samas ei mõjutanud seemnepuude lähedus uuenduse arvukust. See võib olla põhjustatud võrastiku vähesest maapinda varjutavast mõjust, sest selle kaugus maapinnast on üsna suur. Valkonen (2000) väidab, et säilitatud puude konkurentsitsoon võib ulatuda üle 10 meetri. Ta lisab, et juurekonkurentsiooni kuju säilitatud üksikpuu ümber on asümmeetriline ja seetõttu on tekkinud uuendus ebahütlane ruumilise paiknemise ja suurusliku jaotumise poolest.

Konkurentsitsooni ulatust käesolevast töös aga ei analüüsitud. Võib väita, et uuenduse arvukus oli analüüsi tulemuste poolest selgemalt eristatav ülejäänud kahest uuenduse näitajast. Selgelt suurem mõju uuenduse arvukusele oli maapinna mineraliseerimisel, kuid selle kõrval määrab arvukuse suurust veel ülarinde puude arv, kuhu kuuluvad vastavalt meetodikale kõik üle 10 cm diameetriga puud. Seega on ka kuuse järelkasvul säilitamisel nii juurekonkurentsi, kui ka avatuse kohapealt oluline mõju.

Konkurentsitsooni ulatus ning selle mõju tugevus varieerub geograafiliste alade vahel ja võib erineda erineva viljakusega alade puhul. Kui keskmise Skandinaavia hariliku männi ülarinde puude võra mõõtmeid arvesse võtta, siis iga säilitatud üksikpuu muudab ligikaudu 0,2-0,3% puistu kasvuruumist uuele generatsioonile ebasobivaks keskkonnaks. Siiski on puude grupiti säilitamisel antud näitaja puu kohta väiksem (Valkonen 2000). Siipilehto (2006) uurimuses selgus, et hariliku männi konkurentsitsoon raiel säilitatud puudel jäi umbes 6 meetri raadiusesse ning sellel oli eelkõige pärssiv mõju uuenduse kasvule. Vana metsaserva puhul ulatus konkurentsitsoon aga kuni poole metsa keskmise kõrguseni. Küll aga puudus mõju uuenduse keskmisele arvukusele.

Björkman ja Lundeberg (1971) on leidnud hariliku männi juurekonkurentsi uurides, et konkurentsitsoon ulatub 5-7 meetri kaugusele ning alates sellest kaugusest hakkab konkurents vähenema. Konkurentsitsoonis olevatel allasurutud taimedel asetes juurestik peamiselt mulla sügavamates kihtides. Samal ajal paiknesid domineerivate vanemate puude juurestik mulla ülemistes kihtides, kus toitainete varustus on märksa

suurem kui alumistes kihtides. Seega on männitaimede juurestik seda maapinna lähedasem, mida kaugemal on naaberpuu.

Lõuna-Soomes (Valkonen jt. 2002) on männipuistute põhjal uuritud raiel säilitatud ülarinde puude mõju järealkasvu arengule. Tulemuste põhjal selgus, et säilitatud puudel on oluline mõju noorte taimede kõrguskasvu ja diameetri suurenemisele. Iga säilitatud puu, rinnasdiameetriga 25-40 cm, alandas 10 meetri raadiuses männitaimede potentsiaalset kõrguskasvu umbes 9-17%. Puistu tasemel teostatud simulatsioonide abil leiti, et säilitades väheviljakal alal 48 puud hetkari kohta, kus puude keskmine rinnasdiameeter on 25 cm ja kõrgus 21 m on 15 aasta jooksul tulemuseks uuenduse kõrguskasvu 5-7% alanemine, diameetri juurdekasvu 6-8% alanemine ja maksimaalse võra läbimõõdu 2-5% alanemine võrreldes alaga, kus puid ei säilitatud. Alanemise ulatus sõltub raiejärgsest puistu tihedusest.

Valkonen (2000) leiab, et juurekonkurents vee, toitainete ja kasvuruumi pärast on tõenäoliselt olulisem uuendust mõjutav tegur kui säilitatud puude poolt tekitatud vari ning valgustingimused. Ühtlasi lisab ta, et allesjätavatel puudel on uuendusele ka positiivseid ilminguid, näiteks võib võra ja tüve kaudu liikuv toitainete lahus puu lähedases mullas sisalduvat toitainete kättesaadavust ka suurendada.

4.4. Valgus ja puistu avatus

Puude vari aitab alandada ülemäärast mullatemperatuuri, aurumist ja vähendab alustaimestiku konkurentsi (Valkonen 2000). Tugeva raiekraadiga turberaiete puhul, kus likvideeritakse kuni pool rinnaspindalast või võrastiku liitus jääb raiejärgselt 60%, suureneb vaarika (*Rubus L.*), tarnaliste ja teiste kõrreliste arvukus (Hannah 1991). Viimaste arvukus tõuseb kõrgemate mullatemperatuuride tõttu (Myketa ja McLaughlan 1996). Kõrgem mullatemperatuur soodustab omakorda juurepessu arengut (Laas 2012a).

Erefur jt. (2008) uurisid Rootsisis hariliku männi ja hariliku kuuse uuenduse teket ning juurdekasvu puistu tihedusest ja naaberpuude kaugusest lähtuvalt. Katsetati kolme erineva tihedusega ning seega ka valgusrežiimiga puistu mõju: raiumata puistu (~500 puud/ha), turberaie puistu (~150 puud/ha) ja lageraieala (0 puud/ha). Järeelkasvu teke sõltus puuliigist ja seda mõjutasid puistu tüüp ning maapinna ettevalmistus. Uuendust tekkis rikkalikumalt lage- ja turberaie aladel peamiselt suurema avatuse ning sellest tulenevalt kõrgema maapinna temperatuuri tõttu. Ühtlasi oli lageraie aladel suurem mulla veesisaldus, mida võib eelkõige hariliku kuuse puhul pidada soodsaks teguriks. Seega järeldasid autorid, et loodusliku uuenduse kordaminekut mõjutavad eelkõige puistu üldised tingimused (nt. puude arv ha kohta) ning vähem orientatsioon ning kaugus naaberpuudest. Lisaks on valgusrežiimil märksa suurem mõju kui seda on toitainete kättesaadavusel.

Kuigi võrastiku poolt tekitatud vari võib olla uuendusele kasulik, vähendades konkureeriva rohttaimestiku teket ja kasvu, siis samas on ülarinde puudel uuenduse kasvule pärssiv mõju. Võrastiku katvuse osakaal, ülarinde puude arv ja rinnaspindala - tunnused, millel üldjuhul on negatiivne mõju uuenduse kasvule. Mida kauem säilitatakse uuenduse tekke järgselt ülarinnet, seda raskendatum on soodsatesse tingimustesse sattudes hilisem noorte taimede juurdekasvu normaliseerumine (Tesch ja Mann 1991).

Turberaiete kasvu pärssiva mõju tõttu on nende alade uuenduse kasv üldjuhul väiksem, kui sama vanadel taimedel lageraie aladel. Uuenduse kasv suureneb valguskiirguse koguse suurenedes kuni täisvalguseni või 100% avatuseni (Tesch ja Mann 1991). Põhja-Rootsis läbiviidud uuringus (Strand jt. 2006) jälgiti männi turberaie aladel okaspuu uuenduse kõrguskasvu seost lähtuvalt valguskiirgusest ja taimede ruumilisest paigutusest puistus. Erinevalt harilikust kuusest oli hariliku männi juurdekasv oluliselt suurem lageraie aladel võrreldes turberaie aladega. Mõlema puuliigi puhul näitas regressioonanalüüs, et kõrguskasvu ja valguskiirguse koguse vaheline seos ei ole nii tugev kui on kõrguskasvu sõltuvus taime ning tema naaberpuu vahelisest kaugusest. Seega oli turbepuude lähedusel suurem kasvu pärssiv mõju, kui puistu avatusel.

Antud uuringus oli valgusrežiimil oluline mõju kõigile kolmele uuendusnäitajale ainult üksikanalüüsis. Samuti oli avatus tüübi keskmiste võrdluses oluliselt erinev, olles

edukalt uuenenud aladel suurem kui halvasti uuenenud aladel. Koosanalüüsi lõppmudelites valgustatust iseloomustav avatus aga oluliseks teguriks ei tulnud, sarnanedes Strand jt. (2006) uuringus leitud tulemustega. Kuigi avatus ja puude arv ha^{-1} omavahel korrelatsioonis, siis lõppanalüüsis koosinemise korral polnud neil lootust mõlemal tunnusel oluliseks jääda. Siiski iseloomustab puude arv paremini uuenduse arvukust, iseloomustades ka toitainete vähenemist ja ülarinde puude konkurentsi.

Kasvavate puuvõrade liitus ning võrastikus esinevate avauste suurus ning jaotus määravad valguse hulga, mis jõuab läbi võrastiku metsa aluspinnale. Rinnaspindala suurenedes väheneb maapinnale langeva valguse hulk. Valguse hulk ei sõltu ainult rinnaspindalast vaid ka puistu tagavarast. Kahe suure rinnaspindalaga alade puhul võib metsa aluspinnale langeva valguse hulk noore ja tiheda puistu korral olla väiksem kui samasuguse rinnaspindalaga küpse metsa puhul. Noores metsas on võrade kattuvus suurem ja valgust langeb maapinnale vähem (Hale 2004).

4.5. Järeldused

Käesoleva töö tulemuste ning kirjanduse ja teiste turberaieid, looduslikku uuendust ja seda mõjutavate tegurite analüüsimisega seotud teadustööde põhjal saab anda mitmeid soovitusi ja järeldusi:

1. Maapinna mineraliseerimist võib pidada kõige olulisemaks uuendust mõjutavaks teguriks, mille ajastamisel on suur tähtsus uuenduse kordaminekul. Hariliku männi seemneaastad korduvad Eestis üpris tihti ning eelkõige tuleb jälgida emaskäbide teket, pärast mida on võimalik järgmise aasta sügisel teostada maapinna mineraliseerimine. Tulemused näitavad, et uuendust tekib rikkalikumalt, kui mineraliseerimine ajastatakse seemneaastatega. Ka raie tuleb seega ajastada seemneaastatega, sest vastasel korral võib raie ja seemneaastate

vahelisel perioodil maapind rohtuda ning hilisemal mineraliseerimisel pole suurt mõju, kahjustades ka vahepeal tekkinud uuendust.

2. Mulla toitainete sisaldusel ja selle teistel parameetritel ei ole Eesti tingimustes uuenduse edukusele määravat mõju. Küll aga võib viljakamatel aladel rohttaimestiku konkurents ostutada okaspuu uuenduse kasvule piiravaks mõjuriks ning vajadusel tuleb hooldamisega piirata alustaimestiku ja konkureerivate lehtpuuliikide teket.
3. Oluline mõju on väljaraie mahul okaspuu looduslikule uuendusele aegjärksel raiel. Mida suurem on väljaraie, seda tõenäolisemalt edukam on loodusliku uuenduse teke ja selle algne kasv. Eriti oluline on väljaraie mahu suurendamine madalama boniteedilistel turberaie aladel, kus puudub intensiivne rohukasv. Siinkohal tuleb arvestada ka puistuga piirnevate alade omapäraga, kus lagedate servaaladega puistu avatus on juba enne raiet suurem ning võib viljakatel aladel raiejärgselt liigselt rohukasvu põhjustada.
4. Nii käesoleva töö, kui ka teiste sarnaste tööde puhul on leitud ülariinde puude arvul negatiivne mõju uuendusele. Raietel on oluline arvestada mitte ainult esimese, vaid ka teise ja järelkasvu rinde puudega. Konkurentsitsoonil on eelkõige juurestiku tegevuse kaudu oluline okaspuu uuenduse kasvu piirav mõju, mille ulatus sõltub erinevatest tingimustest. Ka siinkohal on paremad eeldused edukaks uuenemiseks, kui allesjäetavate puude arv jääb võimalikult optimaalseks.
5. Teatud määral on aegjärksete raiete puhul täiuse kasutamine raiete piiritlemisel ja määratlemisel (vähemalt erinevate kasvukohatüüpide lõikes) antud uuringu põhjal väheoluline tunnus. Antud tõsiasi on siiski vastuolus mitmete teiste sarnaste töödega.

Kokkuvõte

Turberaied on Eesti metsapraktikas rakendatud juba üsna pikka aega ning just aegjärgne raiemeetod on turberaietest kõige sagedamini kasutatav. Kuigi lageraiete kasutamine on siiski kõige enam kasutatav uuendusraieviis, siis on järjest enam pööratud tähelepanu uue metsapõlve kasvatamisele looduslikult. Ka üha enam on avaldumas ühiskondlik surve eriti asulalähedaste alade metsamajandamisele ning metsa püütakse ka rekreatiivsetel eesmärkidel kauem säilitada. Teada on, et aegjärgne raie võib rahuldada mitmete huvigruppide huve, aidates metsa uuenemisel vältida ülarinde täielikku eemaldamist, pakkudes esteetilist väärtust ja turvet järelkasvule ning alandades uuendusele tehtud kulutusi.

Palju on uuritud uuenduse tekkele sobivate raiemeetodite ja –võtete rakendamise kohta aegjärksetel raietel. Uuenduse edukust määravad mitmed tegurid ning nende mõjutajate ulatus ja tugevus sõltub puuliigist, kasvukohast, geograafilisest asukohast, puistu struktuurist, raietest, kliimatilistest tingumustest ja paljudest teistest faktoritest, mida käesolevas töös Eesti erinevas paigus ja kasvukohatüüpides ka uuriti.

Analüüs viidi läbi 3. kuni 11. aasta vanustel aegjärksetel raiealadel paaridesiseselt, kus üks paarilistest oli edukalt ja teine halvasti uuenenud. Okaspuu uuenduse headust hinnati kolme teguri abil – taimede arv ha^{-1} , uuenemisindeks ja uuenduse aastane kogupikkuskasv. Potentsiaalseid uuendust mõjutavaid tegureid hinnati nii kasvukoha viljakuse, raiete, puistu struktuuri ning teiste tunnuste osas, selgitamaks (1) uuendust mõjutavaid tegureid ning sealjuures (2) sarnaste alade erineva uuenemisedukuse põhjuseid.

Tulemuste põhjal selgub, et kõige olulisem uuendust mõjutav tegur on maapinna mineraliseerimine ning seda kõikide uuendusnäitajate puhul. Ilma mineraliseerimiseta on seemnete levik kasvuks vajaliku mineraalse mullani raskendatud ja kohati pea võimatu. Olulisteks tunnusteks uuenemisindeksile ja uuenduse aastasele kogupikkuskasvule kujunesid koosanalüüsides veel puude arv hektarile ja väljaraie maht (tm/ha). Selleks, et okaspuu looduslik uuendus saaks üleüldse tekkida, ei ole raieintensiivsusel koheselt peale raiet väga olulist mõju ning noorte taimede arvukus sõltub eelkõige seemnete rohkusest ja sobivast idanemispinnasest. Uuenemisindeksi ja veel enam aastase kogupikkuskasvu analüüsid peegeldavad aga seda, et peale uuenduse teket on järgnevatel kasvuaastatel oluline kasvu pärssiv mõju ülarinde puudel. Juurekonkurents piirab toitainete ning teiste kasvuks vajalike ressursside kättesaadavust, mistõttu jäävad suurema tihedusega puistus uuendus kiratsema ning hukkub.

Võib aga väita, et uuendusenäitajate üksikanalüüsides oluliseks jäänud tunnuste osas on samuti olulisi uuenduse edukust määravaid tegureid. Ka puistu avatus on korrelatsioonis uuenduse edukust hindavate näitajatega, kuid koosanalüüsi mudelis antud tunnus oluliseks ei osutunud. Vastupidiselt teiste sarnaste uuringutega jäi käesolevas uuringus täius ebaoluliseks tunnuseks. See vajab küll kinnitamiseks edasist uuringut ning arvestades uuringualade suurt varieeruvust ja asjaolu, et täius oli mõõdukas korrelatsioonis olulise tunnuse, puude arvuga (ha^{-1}), seab siiski antud tulemus kahtluse alla täiuse sobivuse turberaiete läbiviimisel ja hindamisel eduka uuenemise seisukohast.

Tänuavaldused

Töö valmimisele aitasid kaasa mitmed tunnustamist väärivad kodanikud. Kõige suurem kiitus tuleb anda juhendajale, Raul Rosenvaldile, kes abistas nii nõu kui ka jõuga. Erilised kiidusõnad lähevad välitööde kõige kaunimale kaasmõõtjale – Maarjale, kelle panus oli ülekaalukalt suurim.

Teised välimõõtmiste abilised - Egon Müüripeal ja Jürjo Järving on ära teeninud sügava kummarduse, et panustades oma väärtuslikku aega, said mõõtmistulemused äärmiselt suure täpsusega kirjeldatud. Selleks, et täpselt mõõdetud andmed saaksid sama täpselt ka andmetabelitesse märgitud, tuli kasutada oskusliku ja taibuka õe Heleri abi. Ema Ede panus oli aga tõenäoliselt kõige mitmekülgsem, pakkudes igakülgset tuge kogu selle pika protsessi jooksul. Lisaks soovin ma tänada RMK-d meeldiva koostöö eest, Maaülikooli Taimefüsioloogia osakonda nende perfektsete analüüside eest ning Daewoo Motorsit, kelle suurepärane toodang aitas välimõõtmiste käigus meid kindlalt teel hoida. Olge tänatud!

Viidatud allikad

Aerts, R., Wallen, B., Malmer, N. 1992. Growth-limiting nutrients in *Sphagnum*-dominated bogs subjects to low and high atmospheric N supply. – The Journal of Ecology, 80, 131–140.

Anonüümne. 2001. WinSCANOPY 2001A. Regent Instruments Inc, Quebec, Canada.

Barbeito, I., LeMay, V., Calama, R., Cañellas, I. Regeneration of Mediterranean *Pinus sylvestris* under two alternative shelterwood systems within a multiscale framework. Canadian Journal of Forest Research, 41, 341-351.

Beese, W. 2000. Windthrow Monitoring of Alternative Silvicultural Systems in Montane Coastal Forests. Windthrow Researchers Workshop, Richmond, BC.

Beland, M., Agestam, E., Eko, M., Gemmel, P., Nilsson, U. 2000. Scarification and seedfall affects natural regeneration of Scots pine under two shelterwood densities and a clear-cut in southern Sweden. Scand. J. For. Res. 15(2), 247–255

Björkman, E., Lundeberg, G. 1971. *Studies of root competition in a poor pine forest by supply of labelled nitrogen and phosphorus*. Technical Report. Stockholm: Faculty of Forest Sciences, Sveriges lantbruksuniversitet. Studia forestalia Suecica; 94.

Carlisle, A., Brown, A. H. F. 1968. *Pinus Sylvestris* L. British Ecological Society. Journal of Ecology, 56 (1), 269-307 pp.

Day, K., Koot, C., and Wiensczyk, A. 2011. The shelterwood silvicultural system in

British Columbia – A practitioner's guide. Part 1: Implementation considerations. *BC Journal of Ecosystems and Management*, 12(2), 74–86.

Egnell, G. 2000. Silviculture and management of Scots pine in Sweden. *Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales (Fuera de Serie 1)*: 165-174.

Ekspertihinnang majandavate ja majanduspiirangutega (piiranguvööndid) metsade majandamispiirangute kohta. 2010. Eesti Maaülikool. Tartu: 37 lk.

Erefur, C., Bergsten, U., de Chantal, M. 2008. Establishment of direct seeded seedlings of Norway spruce and Scots pine: effects of stand conditions, orientation and distance with respect to shelter tree, and fertilisation. *Forest Ecology and Management*, 255, 1186–1195.

Franklin, J. F., Berg, D. R., Thornburg, D.A., Tappeiner, J. C. 1997. Alternative silvicultural approaches to timber harvesting: Variable retention harvest systems. In: Kohm K. A., Franklin J. F. (eds.). *Creating a forestry for the 21st century: the science of ecosystem management*. Island Press, Washington, D.C. pp. 111-139.

Gabrilavičius, R., Danusevičius, J., Danusevičius, D. 2008. Efficiency of methods to support natural regeneration in Scots pine genetic reserves. *Biologija*, (54) 2, 134–138.

Hale, S. 2004. Managing light to enable natural regeneration in British conifer forests. *Forestry Commission Information Note (FCIN63)*. Forestry Commission, Edinburgh.

Hallikainen, V., Hyppönen, M., Hyvönen, J., Niemelä, J. 2007. Establishment and height development of harvested and naturally regenerated Scots pine near the timberline in North-East Finnish Lapland. *Silva Fennica*, 41(1), 71–88.

Hånell, B., Nordfjell, T. and Eliasson, L. 2000. Productivity and costs in shelterwood harvesting. *Scand. J. For. Res.*, 15, 561–569.

Hannah, P.R. 1991. Regeneration of northern hardwoods in the northeast with the shelterwood method. *North. J. Appl. For.* 8, 99-104.

Henttonen, H., Kanninen, M., Nygren, M. & Ojansuu, R. 1986. The maturation of *Pinus*

sylvestris seeds in relation to temperature climate in Northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1, 243–249.

Holgén, P., Hånell, B. 2000. Performance of planted and naturally regenerated seedlings in *Picea abies*-dominated shelterwood stands and clearcuts in Sweden. *Forest ecology and Management*, 127, 129–138.

Jäärats, A., Sims, A., Seemen, H. 2012. The Effect of Soil Scarification on Natural Regeneration in Forest Microsites in Estonia. *Baltic Forestry*, 18(1), 133 - 143.

Jakobsson, R. 2005. Growth of retained Scots pines and their influence on the new stand. Diss. Umeå: Sveriges lantbruksuniv., Acta Universitatis agriculturae Sueciae, 1652-6880; 2005:34

Karlsson, C. 2000. Seed production of *Pinus sylvestris* after release cutting. – *Can. J. For. Res.*, 30, 982– 989

Karlsson, C., Örlander, G. 2000. Soil scarification shortly before a rich seed fall improves seedling establishment in seed tree stands of *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15, 256–266.

Kõresaar, P. 2003. Natural renewal of dune pine forest of *Vaccinium vitis-idaea* and *Cladina* site types on the southwestern coast of Estonia. – *Forestry Studies / Metsanduslikud uurimused XXXIX*, 81–92. ISSN 1406-9954.

Kubin, E. 2000. Natural regeneration of forests in Finland. – *Forest Regeneration in the Northern Parts of Europe*. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja, 790, 49–57.

Kuuluvainen, T. , Pukkala, T. 1989. Effect of Scots pine seed trees on the density of ground vegetation and tree seedlings. *Silva Fennica*, 23, 159–167.

Laas, E. 2012a. Hajali raiumisega turberaie. *Eesti Mets* – 3, 30-34.

Laas, E. 2012b. Turberaied võivad olla alternatiiviks lageraietele. *Eesti Mets* – 2, 24-30.

Laas, E., Väärt, T. 2004. Turberaied männikutes ja männiuuenduse tekkimine turberaiealadel. – *Forestry Studies / Metsanduslikud uurimused* 41, 86–100.

Mandre, M. 2003. Conditions for mineral nutrition and content of nutrients in Scots pine (*Pinus sylvestris*) on dunes in Southwest Estonia. – Forestry Studies / Metsanduslikud uurimused XXXIX, 32–42. ISSN 1406-9954.

Metsa majandamise eeskiri 2007. eRT. [<https://www.riigiteataja.ee/akt/126022014016>] (13.05.2014)

Metsaseadus 2006 – eRT I, 2006, 30, 232. [<https://www.riigiteataja.ee/akt/MS>] (13.05.2014)

Michelson, A. 1943. Loomulik metsauendus. – Eesti Mets, 8, 187-189.

Myketa, D., McLaughlan, M. S. 1996. The shelterwood silvicultural system as related to vegetation management. Northwest Sci. & Technol. Technical Note TN–35, in Bell, F.W., M. McLaughlan and J. Kerley (compilers). Vegetation Management Alternatives - A Guide to Opportunities. Ont. Min. Natur. Resour., Thunder Bay, Ont.

Nilsson U., Gemmel P., Johanesson U., Karlsson M., Welander T. 2002. Natural regeneration of Norway spruce, Scots pine and birch under Norway spruce shelterwoods of varying densities on a mesic-dry site in southern Sweden. For. Ecol. Manage., 161, 133–145.

Padari, A. 2004. Metsahindamisprogramm "RaieWin". Teadusmagistritöö, Eesti Maaülikool, Tartu, 42 lk.

Pukkala, T., Hokkanen, T., Nikkanen, T. 2010. Prediction models for the annual seed crop of Norway spruce and Scots pine in Finland. – *Silva Fennica* 44(4): 629–642.

Rouvinen, S. and Kouki, J. 2011. Tree regeneration in artificial canopy gaps established for restoring natural structural variability in a Scots pine stand. *Silva Fennica* 45(5), 1079–1091.

Saar, E. 1940. Märkmeid järgulisest raiest. – Eesti Mets, 2, 56-58.

Siipilehto, J. 2006. Height distributions of Scots pine sapling stands affected by retained tree and edge stand competition. *Silva Fennica* 40(3), 473–486.

Simonsen, R. (2013). Optimal regeneration method – planting vs. natural regeneration of Scots pine in northern Sweden. *Silva Fennica*, 47(2), 23.

Soolmann, E. 2013b. Aegjärksel raiel loodusliku uuendust potentsiaalselt mõjutavad tegurid. Kursusetöö õppeaines “Metsakasvatuse erikursus”, Eesti Maaülikool, Tartu.

Soolmann, E. 2013a. Aegjärksel raiel loodusliku uuendust mõjutavate tegurite leidmise meetodika kirjeldus ja analüüs. Kursusetöö õppeaines “Metsakorralduse erikursus”, Eesti Maaülikool, Tartu.

Strand, M., Lofvenius, M.O., Bergsten, U., Lundmark, T., Rosvall, O. 2006. Height growth of planted conifer seedlings in relation to solar radiation and position in Scots pine shelterwood. *Forest Ecology and Management* 224(3), 258-265.

Sustainable Management of Scots Pine in the Northern Periphery. Silvicultural guidance note 4 – Natural regeneration of Scots pine forests. Northern Periphery Programme. [<http://www.pineinfo.eu/userfiles/file/Guidancenotes/naturalregeneration.pdf>] (06.05.2014)

Tesch, S.D., and Mann, J.W. 1991. Clearcut and shelterwood reproduction methods for regenerating southwest Oregon forests. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. Res. Bull. 72.

Valkonen, S. 2000. Effect of retained Scots pine trees on regeneration, growth, form, and yield of forest stands, *Investig. Agrar., Sist. Recur. For.*, 1, 121–145.

Valkonen, S., Ruuska, J., Siipilehto, J. 2002. Effect of retained trees on the development of young Scots pine stands in Southern Finland. *For. Ecol. Manage.*, 166, 227–243.