Kuivenduse mõju rabamänniku arengule Järvelja Õppe- ja Katsemetskonna kuivendatud puistu näitel

Silver Sisask

Sisask, S. 2013. Effect of drainage on the development of an oligotrophic bog Scots pine (*P. sylvestris* L.) stand in Järvelja. – Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused 58, 12–25. ISSN 1406-9954.

Abstract. The effect of drainage in peatland forests has been studied in Estonia but research on bog pine (*Pinus sylvestris* L.) stands is lacking and mixed opinions on the expediency of amelioration in this site type are found. In order to obtain more information on the post drainage effects, measurements were conducted in a drained oligotrophic bog Scots pine stand (with a relatively thin peat layer) in Järvelja. Relationship between stand characteristics and distance from the drainage ditch was described and measurement data was compared with data that had been collected 59 years earlier in the same stand. Over time the stand structure and productivity had changed. Due to lengthy drainage, increase in several stand characteristics became evident: mean height 84% (8.60 ± 0.39 m), mean DBH 48% (6.55 ± 0.59 cm), basal area 59% (10.6 ± 3.4 m² ha⁻¹) and growing stock 179% (169 ± 32 m³ ha⁻¹). Growth conditions had improved (site class improvement 1.8 units) and since earlier comparison data was from an already drained stand, actual change in stand characteristics and productivity compared to pre-drained state, has to be even greater. The studied stand is a good example of successful forest drainage in a bog pine forest and these results contribute to a better understanding of post drainage developments in these types of forests.

Key words: forest drainage, stand development, oligotrophic forest, Scots pine.

Author's address: Institute of Forestry and Rural Engineering, Estonian University of Life Sciences, Kreutzwaldi 5, 51014 Tartu, Estonia; e-mail: silver.sisask@student.emu.ee

Sissejuhatus

Metsakuivendus on Eestis laialdast kasutamist leidnud metsakasvatustlik võte. Varem teostatud uurimuste (Hainla, 1957; Kollist, 1972, 1979, 1982, 1987) põhjal on selgunud, et soometsade kuivendamisel reageerivad kuivendusele hästi siirdesoo ja madal-soo puistud. Rabamännikute kuivendamise kohta on andmeid vähem. Varaste kuivendamise tulemuste (19. sajandi teine pool) analüüsimine on keerukas, sest siis ei olnud soode klassifitseerimine veel selgelt piiritletud. Rabamännikud võivad olla eriliselised, sagedamini on tagavara 40 kuni

60 m³ ha⁻¹, keskmine kõrgus 5 kuni 8 m ning rinnasdiameeter 6 kuni 11 cm, kuid ei ole päris selge, kas maaparandusega annab piisavalt tõsta nende metsade tootlikust (Valk, 2005).

Kuivendatud rabadesse rajatud proovitükkide põhjal on leitud, et metsa kasv on küll 25 aastaga paranenud, kuid boniteet jäänud madalaks (V ja Va) ning seega tuleks rakendada lisaks kuivendamisele ka väetamist (Valk, 1968). Sarnasele järeldusele on jõutud ka takseereraldiste andmete analüüsimisel (Kollist, 1982), mille järgi on boniteet tõusnud kuni ühe klassi võrra, kuid jäänud ikkagi liiga madalaks (Va).

Leidub ka teistsuguseid arvamusi (Luik, 1926; Mathiesen, 1927), mille järgi teatud juhtudel võib ka rabamännikute kuivendamine korda minna ning seejuures on edukuse eelduseks piisavalt õhuke turba kiht (Luik, 1926; Krigul, 1962) ja liivase, vett läbilaskva aluspõhja esinemine turba all, kuhu ka kraavid peaksid sisse ulatuma (Mathiesen, 1927). Samas minimaalse kuivenduseks sobiva turbakihi tuseduse kohta rabamännikutes on pakutud veidi erinevaid numbmeid (2 m (Luik, 1926), 1,4 m (Krigul, 1962) ja 1,5 m (Valk, 2005)).

Seoses metsa kuivendusjärgse kasvu täpsema modelleerimise vajadusega (Padari & Kiviste, 2005) on vajadus ka täiendava informatsiooni järele eri kasvukohatüüpides kuivendusjärgselt toimuvate muutuste kohta. Eriti väärtuslikud uurimisobjektid on puistud, mille kohta on olemas pika aja tagused mõõtmisandmed ning kraavitamise ajalugu. Tuleb kasutada võimalust, et sellised puistud üle mõõta enne, kui need raiutakse.

Käesoleva uurimuse eesmärgiks on hinnata kuivenduse mõju Järveljal, kvartalil JS115 asuvas õhukeseturbalises kuivendatud rabamännikus, uurides kraavi kauguse mõju puistu takseertunnustele ning võrreldes samas puistus eri aegadel kogutud mõõtmisandmeid. Varasemate raiete puudumine uuritavas puistus loob head eeldused kuivenduse mõju tuvastamisel takseertunnuste muutustes.

Seni on kuivenduse mõju uurimisel kasutatud erinevaid meetodeid, nagu proovitükkide rajamine erinevatele kaugustele kuivenduskraavist (Hainla, 1957; Valk, 1968; Kollist, 1987), takseerikirjeduste analüüs (nt Kollist, 1972) ja ka transektide meetod (Strantsov, 2010). Antud töös kasutatud meetoodika sarnaneb nii proovitükkide, kui ka transektide meetodile. Kõige lähedasem on meetoodika Hainla (1957) kasutatuga, kus rajati kuivenduskraavist erinevatele kaugustele riskikülilikukujulised kraaviga samas sihis kulgevad proovitükid. Erinevus seisneb selles, et antud juhul on proovitükke rajatud tihedamalt ja ühe objekti kohta roh-

kem. See võimaldab näha kraavi mõju kõrgema eraldusvõimega (detailsemalt), sarnaselt transektide meetodile.

Materjal ja meetoodika

Uuritud puhtmännik, pindalaga 1,38 ha, asub Tartumaal Järvelja Öppe- ja katsemetskonnas Kanajalasoos (u 90 ha suurune kuivendatud põlengutekkeline raba) kvartalil JS115 geograafilistel koordinaatidel 58°18'21", 27°18'14". Põhjalikumalt on Kanajalal soo kujunemist käsitlenud Sisask (2013).

Puistus ei ole teadaolevalt kunagi raieid teostatud ning ka looduses ei ole näha ühtegi märki raietest. Alusmetsas kasvavad hõredalt ja ebaühtlaselt sookased (*Betula pubescens* Ehrh.) ning leidub üksikuid kiduraid kuuski (*Picea abies* (L.) H. Karst.). Mikroreljeef on tugevalt mätlik. Puhmarindes domineerib sookail (*Ledum palustre* L.) ning lõunaservas, kraavile lähemal, kasvab rohkesti sinikat (*Vaccinium uliginosum* L.). Esineb vähesel määral ka pohla (*Vaccinium vitis-idaea* L.) ja mustikat (*Vaccinium myrtillus* L.) (jällegi kraavile lähemal), hanevitsa (*Chamaedaphne calyculata*) ning küüvitsat (*Andromeda polifolia* L.). Hõredas rohurindes on tuppvillpea (*Eriophorum vaginatum* L.), harvem kohtab palu-härgheina (*Melampyrum pratense* L.). Kohati leidub kanarbikku (*Calluna vulgaris* (L.) Hull). Samblarinne on lausaline, kus domineerivad turbasamblad (*Sphagnum* spp.), kuid esineb ka karusammalt (*Polytrichum* spp.), palusammalt (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.) ja lainjat kaksikhammast (*Dicranum polysetum* Sw.). Kraavile lähemal on metsasammalde osakaal suurem, kraavist kaugemal jäävad metsasamblad mätastele. Tuuleheite puude vaatluse põhjal selgub, et mändide juurestik on siiani pindmise iseloomuga ning ei ole oluliselt mineraalpinna sisse tunginud.

Kanajalal soo kuivendamiseks alustati kraavide kaevamist 1920. aastatel (Mathiesen, 1927; Krigul, 1962). Kraavide paikne-

Joonis 1. Mõõtmisala paiknemise ja kraavide skeem koos kraavide kaevamise aastatega.

Figure 1. Measurement area location and ditching plan with years when ditches were dug.

misest, kaevamise aegadest ja seisukorrast annab ülevaate joonis 1.

Kirjelduse järgi oli Järvselja teise järgu kraavide keskmine sügavus 0,7 m, põhjalaius 0,45 m ja nõlvus 1 või 1,5 (Mathiesen, 1927). Tõenäoliselt on ka Kanajalasoo kraavid olnud sarnaste mõõtmetega. Kuna turbapinnase varisemise nurk on suur sai kasutada järsemaid nõlvu.

Praeguseks on veel töökorras kvartali JS115 lõunaservas paiknev 1938. aasta kraav, mida on remonditud 1970. aastate alguses ja viimati 2007. aastal (Tuul, 2013, intervjuu). Võib arvata, et seegi kraav on olnud 0,7 m sügav. Ajapikku on kraaviäärne turbakiht õhenenud ja seetõttu ka kraav madalamaks jäänud (mõõtmisalaga külgnevas osas on praegu sügavus keskmiselt 56 cm). Kraav ulatub mineraalpinna sisse ja on avaldanud uuritud puistule ka kõige pikaajalisemat mõju.

Välitöid teostati 2010. aasta suvel, 2012. aasta sügisel ja 2013. aasta novembri lõpus. Kvartali JS115 lõunaservast alates märgiti

150 m pikkune ja 92 m laiune mõõtmisala, mis jagati 10 m laiusteks proovitükkideks (joonis 2). Proovitükkidega on kaetud kogu uuritav puistu ja seega ei ole tarvis piirduda valimhinnangu andmisega vaid saadakse lauskirjeldus uuritava objekti kohta.

Proovitükkidel mõõdeti kõikide üle 2 cm jämeduste puude (kokku $N = 1155$) rinnasdiameeter metsaklupiga 1 mm eraldusvõimega, kahes risti asuvas suunas, 1,3 m kõrguselt juurekaelast. Igal proovitükil mõõdeti juhuslikult valitud 20 kuni 30 elusa männi kõrgused (kokku $n = 375$) Vertex (Haglöf, Rootsi) kõrgusmõõtjaga. Keskmise vanuse leidmiseks võeti puursüdamikud kolmekümnelt erineva rinnasdiameetriga ja erineval kaugusel (35, 85 ja 135 m) kuivenduskraavist kasvavalt puult, võimalikult juurekaela lähedalt. Täiendavalt mõõdeti mõõdulindiga lamapuidu (lamandunud tüved ja tüveosad) pikkus ning metsaklupiga läbimõõt jämedamast otsast 1,3 m kauguselt. Igal

Joonis 2. Mõõtmisala proovitükkide skeem.
Figure 2. Plot design used at study area.

proovitükil tehti turba түseduse määramiseks 5 torget penetromeetriga ühesugust survejõudu kasutades. Jalaga astuti sonni kõrvale ja vajutati turvas iga mõõtmise korral sarnase jõuga (> 50% 75 kg kehakaalust) kokku ning võeti lugem saapatalla tasandilt, eesmärgiga vähendada samb-larinde mõju turba түseduse hindamisel. 2010. aasta novembris võeti mõõtmisalalt mullapuuriga (Ø 48 mm) kaks, nii samb-larinnest, kui ka kogu turbalasundit läbi-vat proovi, kraavist 20 ja 40 m kauguselt. Proovid lõigati silindrilisteks alamproovi-deks, et kirjeldada turba omaduste ver-tikaalset varieeruvust. Absoluutkuivadest proovidest määrati laboris üldläämmastiku ja -süsiniku sisaldus kuivpõletusmeeto-dil elementanalüsaatoriga varioMAX CNS (ELEMENTAR, Saksamaa).

Andmetöötlus teostati vabavaralise sta-tistikaprogrammiga R (R Core Team, 2012). Andmestikust eemaldati kraavile kõige lähemal asunud proovitüki andmed, sest seal esines servaeefekti mõju (erinevad val-

gus- ja konkurentsitingimused), mis tuleb piirnemisest kraavi ja 15 m laiuse vana met-sasihiga.

Proovitüki tagavara ja boniteedi arvu-tamiseks kasutati metsa korraldamise juhendi lisades 10 ja 11 antud valemeid (Metsa korraldamise..., 2009). Lamapuidu mahu leidmiseks arvutati kõigepealt sama puistu kasvavatele mändidele mõõtmis-andmete põhjal rinnasdiameetri ja kõrguse suhe. Saadud suhet kasutades arvutati lamapuidu nottidele mõlema otsa läbimõõ-dud. Juhul, kui noti peenema otsa arvutus-lik läbimõõt erines nullist mitte rohkem, kui 3 cm võrra, siis käsitleti seda notti terve puu kuju omavana ja leiti maht männi tüve-moodustajat kasutades. Lamapuidu notte, mille peenema otsa arvutuslik läbimõõt oli nullist kolm või enam cm suurem, käsit-leti, kui tüve sektsioone teadmata kõrguselt ning arvutati maht tüvikoonuse valemit (1) kasutades, noti otste arvutuslike läbimõõ-tude põhjal:

$$V = \frac{\pi * L}{3} * (R^2 + R * r + r^2), \quad (1)$$

kus

- V - noti maht (m³) / log volume (m³);
- L - noti pikkus (m) / log length (m);
- R - jämedama otsa raadius (m) / thick end radius (m);
- r - peenema otsa raadius (m) / thin end radius (m).

Statistilise analüüsi tarbeks kontrolliti andmestiku sobivust teoreetiliste jaotus-seadustega kasutades Shapiro-Wilk'i nor-maalsustesti, suurima tõepära meetodit jaotuste parameetrite hindamiseks (pakett „MASS“ (Venables & Ripley, 2002)) ja graafilist hindamist jaotushistogrammidelt ning kvantiilide kõrvutamise joonistelt (pakett „car“ (Fox & Weisberg, 2011)). Edasi soo-ritati regressioonanalüüs leidmaks seost takseertunnuste ja kauguse kuivendus-kraavist vahel. Selleks kasutati esmalt seose kuju leidmiseks üldistatud aditiivset mude-lit pakettis „mgcv“ (Wood, 2011).

Mõõdetud ja arvutatud tunnuste seose leidmiseks kaugusega kuivenduskraavist kasutati regressioonanalüüsi. Hindamaks 59 aasta jooksul puistus toimunud muutuseid takseertunnustes, võrreldi samas puistus 1951. aastal kogutud mõõtmisandmeid (Krigul, 1962) 2010. aastal kogutud mõõtmisandmetega, kusjuures 1951. aasta proovitükkide boniteetide numbrilised väärtused arvutati ühtset puistu keskmist vanust (120 aastat) kasutades. Võrdlemiseks koostati lineaarmudel, mis sisaldas: kauguse kraavist mõju takseertunnusele, mõõtmisaja faktori mõju takseertunnusele ja nende mõlema koosmõju takseertunnusele. Matemaatilised mudeliujud on esitatud tulemuste osas iga mudeli puhul eraldi (tabelid 2-7).

Uuritavate takseertunnuste eri mõõtmisaegade vahelise keskmise muutuse leidmiseks arvutati lineaarmudeli regressioonijoonte omavaheline keskmine vahe. Muutusele veahinnangu saamiseks arvutati 1951. aasta proovitükkide regressioonijoonte 95% usalduspiiride keskmine usaldusvahemik, mis jagati kahega ning tulemus võeti $\pm$ veahinnanguks.

Tulemused

Mõõtmisandmete põhjal arvutatud puistu takseerikirjeldus on esitatud tabelis 1. Puistus esineb hõre ja ebahütlane sookaskestest alusmets tihedusega 100 puud ha⁻¹ ja keskmise kõrgusega 4 m. Kraavist kaugemal (160 m) moodustab turbakihi ülemise, 10 cm tuseduse osa tumedam halvasti kuni keskmiselt lagunenud kõduturba kiht, millele järgneb 8–10 cm paksune halvasti lagunenud rabaturbakiht ning selle all 15 kuni 18 cm tusedune, ülemises osas sõetükke sisaldav, hästi lagunenud turbakiht, millele omakorda järgneb peenliiv. Sarnaste kihide olemasolu mõõtmisalal (120 ja enam m kraavist) kinnitavad ka pinnasest võetud proovid. Näib, et halvastilagunenud rabaturbakihi paksus kraavile lähenedes väheneb, kuna 2010. aastal kraavist 20 m kauguselt võetud proovis rabaturvast ei esinenud. Kraavi lähedal on ka turvas õhem ning turba tuseduse muutumine sõltuvalt kuivenduskraavi kaugusest on piisavalt hästi kirjeldatav eksponentfunktsiooni abil (joonis 3). Turba aeglast lagunemist iseloomustab väga kõrge C/N suhe (samblarin-

Joonis 3. Turba tuseduse sõltuvus kaugusest kuivenduskraavist koos 95% usalduspiiridega, kus R^2 on determinatsioonikordaja.

Figure 3. The effect of distance from drainage ditch on peat depth with 95% confidence intervals where R^2 is coefficient of determination.

Tabel 1. Puistu takseerandmed 2010. aastal.
Table 1. Stand characteristics in 2010.

Tunnus / Characteristic	Väärtus / Value
keskmine vanus (a) / mean age (yr)	135
keskmine kõrgus, H (m) / mean height (m)	18,8
ruutkeskmine rinnasdiameeter, D (cm) / quadratic mean, DBH (cm)	20,2
puistu tihedus, N (puid ha ⁻¹) / stand density (ha ⁻¹)	897
rinnaspindala, G (m ² ha ⁻¹) / basal area (m ² ha ⁻¹)	28,6
tagavara, M (m ³ h ⁻¹) / growing stock (m ³ h ⁻¹)	261
boniteet, Bon. / site class	4,3
keskmine turba tüsedus (cm) / mean peat depth (cm)	56

des ~55, kõduturba kihis 35–45), kusjuures isegi alumises, hästi lagunenenud kihis ei lange suhe alla 20. Esineb kuivanud, jalalseisvaid puid (12 m³ ha⁻¹) ning arvestataval hulgal lamapuitu (6 m³ ha⁻¹). Kõdusooks ei ole kasvukohta tervikuna õige nimetada, kuna alustaimestik valitsevad siiani sootaimed, turvas ei ole piisavalt lagunenenud ning puistu boniteet on madal.

Puuritud puude vanusevahemik oli 87–159 aastat ja seejuures puude vanuste jaotus mittenormaalne ning tugevalt vasakule välja venitatud (nihketa asümmeetriakor-daja on -1,41), kuna esineb keskmisest oluliselt nooremaid puid. Kraavist 85 ja 135 m kaugusel oli puude keskmine vanus vastavalt 133 ja 134 aastat, kuid erinevus ei olnud statistiliselt oluline. Kraavist 35 m kaugusel oli keskmine puude vanus (138 aastat) vastavalt 5 ja 4 aastat kõrgem, kui kraavist 85 ja 135 m kaugusel. 1951. aastal oli puude vanus vahemikus 80 kuni 160 aastat, mis annab keskmiseks vanuseks 120 aastat. Seega 2010. aastaks oli puistu keskmiselt 15 aastat vanem.

Puistu takseertunnustes on 59 aastaga toimunud suured muutused (joonis 4). Keskmine kõrgus on puistus 1951. aastaga võrreldes tõusnud. Regressioonijoonte võrdlemisel saadud keskmise kõrguse muut puistus on 8,60 ± 0,39 m 59 aasta jooksul ehk keskmiselt 14,6 ± 0,66 cm a⁻¹. Kokku on kõrgus suurenenud 80–88%. Esineb tugev negatiivne seos puistu kõrguse ja kuivenduskraavi kauguse vahel – kraavile lähe-

mal on puud kõrgemad ja kraavist kaugel madalamad. Veel selgub puistu keskmise kõrguse mudelist (tabel 2) kuivenduskraavi kauguse ja mõõtmisaja koosmõju puistu keskmisele kõrgusele (kraavi kauguse ja mõõtmisaja koosmõju parameeter b_2 on usaldatav), mis tähendab, et 1951. aastal oli kraavi kauguse mõju kõrgusele suurem, kui 2010. aastal – puistu keskmine kõrgus on aja jooksul tasandunud.

Puistu keskmine rinnasdiameeter on märgatavalt suurenenud. Regressioonijoonte keskmise erinevuse põhjal on rinnasdiameetri muut olnud 6,55 ± 0,59 cm 59 aasta jooksul ehk keskmiselt 1,11 ± 0,01 mm a⁻¹. Keskmise rinnasdiameetri tõus on olnud 44–52%. Sarnaselt keskmise kõrgusega on toimunud ka keskmise rinnasdiameetri puhul tasandumine (parameeter b_2 on usaldatav) (tabel 3).

Puistu tiheduse muutuse hindamiseks kasutati puistu tiheduse mudelit (tabel 4), millest järeldub, et puistu on muutunud hõredamaks. Tiheduse muut on -423 ± 133 puud ha⁻¹ 59 aasta jooksul ehk keskmiselt -7,17 ± 2,25 puud ha⁻¹ a⁻¹. Seega on puistu valitseva rinde puude arv vähenenud. Kuna puistu tihedus varieerub proovitükidel palju, siis ei saa kindlalt väita, et 2010. või 1951. aastal oleks tihedusel olnud seos kaugusega kraavist.

Rinnaspindala on proovitükiti samuti väga varieeruv tunnus ning ei saa tõestada selle seost kaugusega kraavist 1951. aastal (tabel 5). Võimalik on tõestada rinnas-

Joonis 4. Puistu takseertunnused aastatel 1951 ja 2010 erinevatel kaugustel peamisest kuivenduskraavist, koos 95% usalduspiiridega 1951. aasta regressioonijoone ümber, kus R^2 on mudelite determinatsioonikordaja.

Figure 4. Stand characteristics in 1951 and 2010 at different distances from the main drainage ditch with 95% confidence intervals around regression lines for 1951 where R^2 is coefficient of determination of models.

pindala muutumist 59 aastaga (parameeter a_2 on usaldatav). Regressioonijoonte erinevuse põhjal on rinnaspindala muut $10,6 \pm 3,41 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ 59 aasta jooksul ehk keskmiselt $0,180 \pm 0,058 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Seega rinnaspindala tõus on vahemikus 40–78%.

Puistu tagavara puhul ilmneb muutus mõõtmisaegade vahel, kuid ei õnnestu tõestada tagavara seost kaugusega kuivenduskraavist 1951. aastal (tabel 6). Seevastu joo-

niselt 4 lugedes paistab olema ka 1951. aasta proovitükkide puhul selge lineaarne negatiivne seos kaugusega kuivenduskraavist, aga 2010. aasta proovitükkide varieeruvus on suur ja see mõjutab ka 1951. aasta tagavara usalduspiire. Regressioonijoonte erinevuse põhjal on tagavara muut (arvestades ka 1951. aasta rõhutud rinnet) $169 \pm 31,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ 59 aasta jooksul ehk keskmiselt $2,86 \pm 0,54 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Kogu muutus on 145–213%.

Tabel 2. Puistu keskmise kõrguse mudel, kus H on keskmine kõrgus (m).

 Table 2. Stand mean height model where H is mean height (m).

Mudel Model	$\begin{bmatrix} H_{2010} = a + b\sqrt{x} \\ H_{1951} = a + b\sqrt{x} + a_2 + b_2\sqrt{x} \end{bmatrix}$		mudeli olulisustõenäosus model p-value: < 0,0001	
parameeter parameter	hinnang estimate	standardviga S.E.	t	olulisustõenäosus Pr(> t)
a	21,8	0,225	97,0	< 0,0001
b	-0,337	0,025	-13,4	< 0,0001
a_2	-6,35	0,571	-11,1	< 0,0001
b_2	-0,260	0,062	-4,18	0,001

 Tabel 3. Puistu ruutkeskmise rinnasdiameetri mudel, kus D on ruutkeskmine diameeter (cm).

 Table 3. Stand quadratic mean DBH model where D is quadratic mean DBH (cm).

Mudel Model	$\begin{bmatrix} D_{2010} = a + bx \\ D_{1951} = a + bx + a_2 + b_2x \end{bmatrix}$		mudeli olulisustõenäosus model p-value: < 0,0001	
parameeter parameter	hinnang estimate	standardviga S.E.	t	olulisustõenäosus Pr(> t)
a	20,3	0,209	97,0	< 0,0001
b	-0,0015	0,0023	-0,635	0,537
a_2	-4,91	0,514	-9,56	< 0,0001
b_2	-0,021	0,0055	-3,73	0,003

 Tabel 4. Puistu tiheduse mudel, kus N on puistu tihedus (puid ha⁻¹).

 Table 4. Stand density model where N is stand density (trees ha⁻¹).

Mudel Model	$\begin{bmatrix} N_{2010} = a + bx + b_2x^2 \\ N_{1951} = a + bx + a_2 + b_2x^2 + b_3x^2 \end{bmatrix}$		mudeli olulisustõenäosus model p-value: < 0,0001	
parameeter parameter	hinnang estimate	standardviga S.E.	t	olulisustõenäosus Pr(> t)
a	842	0,209	10,8	< 0,0001
b	2,11	2,19	0,963	0,355
b_2	-0,014	0,013	-1,06	0,310
a_2	449	78,4	5,73	< 0,0001
b_3	-0,0037	0,007	-0,463	0,652

 Tabel 5. Puistu rinnaspindala mudel, kus G on rinnaspindala (m² ha⁻¹).

 Table 5. Stand basal area model where G is basal area (m² ha⁻¹).

Mudel Model	$\begin{bmatrix} G_{2010} = a + bx + b_2x^2 \\ G_{1951} = a + bx + a_2 + b_2x^2 + b_3x^2 \end{bmatrix}$		mudeli olulisustõenäosus model p-value: < 0,0001	
parameeter parameter	hinnang estimate	standardviga S.E.	t	olulisustõenäosus Pr (> t)
a	26,9	2,00	13,5	< 0,0001
b	0,072	0,056	1,28	0,224
b_2	-0,00051	0,00035	-1,49	0,163
a_2	-9,58	2,01	-4,76	< 0,0001
b_3	-0,00013	0,00018	-0,724	0,483

Tabel 6. Puistu tagavara mudel, kus M on tagavara ($\text{m}^3 \text{ ha}$).Table 6. Stand growing stock model where M is growing stock ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Mudel Model	$\begin{bmatrix} M_{2010} = a + bx \\ M_{1951} = a + bx + a_2 + b_2x \end{bmatrix}$		mudeli olulisustõenäosus model p-value: < 0,0001	
parameeter parameter	hinnang estimate	standardviga S.E.	t	olulisustõenäosus Pr(> t)
a	286	11,3	25,2	< 0,0001
b	-0,300	0,127	-2,37	0,034
a_2	-161	27,9	-5,77	< 0,0001
b_2	-0,100	0,298	-0,336	0,742

Tabel 7. Puistu boniteedi mudel, kus $Bon.$ on boniteet.Table 7. Stand site index model where $Bon.$ is site index.

Mudel Model	$\begin{bmatrix} Bon_{-2010} = \exp(a + b\sqrt{x}) \\ Bon_{-1951} = \exp(a + b\sqrt{x} + a_2 + b_2\sqrt{x}) \end{bmatrix}$		mudeli olulisustõenäosus model p-value: < 0,0001	
parameeter parameter	hinnang estimate	standardviga S.E.	t	olulisustõenäosus Pr(> t)
a	1,31	0,013	99,7	< 0,0001
b	0,016	0,0015	10,7	< 0,0001
a_2	0,290	0,034	8,68	< 0,0001
b_2	0,0068	0,0037	1,87	0,085

Regressioonijoonte võrdlemisel ilmneb puistu boniteedi paranemine $1,79 \pm 0,14$ klassi 59 aasta jooksul. Boniteedi mudelis (tabel 7) ei ole kauguse kraavist ja mõõtmisaja faktori koosmõju statistiliselt oluline ($\alpha = 0,05$ korral), mis tähendab, et ei saa selle mudeli abil 95% kindlusega tõestada boniteedi tasandumist puistus. Samas keskmise kõrguse puhul oli koosmõju usaldusväärne ning kui boniteedi puhul kasutada lineaarset seost, siis muutub ka koosmõju oluliseks.

Kõik võrreldud takseertunnused olid 59 aasta jooksul oluliselt muutunud ja seega puistu ilme märgatavalt teistsuguseks kujunenud.

Arutelu ja järeldused

Puistu kuivenduseelse seisundi kohta täpset infot ei ole, kuid A. Mathiesen (1927) nimetab Kanajalasood „kõrgerabaks“ (sks *Hochmoor*), „sambla-sooks“ ning täpsustab, et soo ei ole mitte tüüpiline sügavaturbiline ja kumer vaid õhema turbaga (kesk-

miselt 1 m) ning mändidega kaetud, kus kasvab rabadele iseloomulik alustaimestik. Selle kirjelduse alusel võib järeldada, et sookaski ja kuuski kuivenduseelselt ei esinenud ning need on lisandunud hiljem.

Puistu keskmise kõrguse erinevus 15 m kaugusel ja 145 m kaugusel kraavist oli mudeli järgi 2,75 m, kuid ei saa päris kindlalt öelda, et kogu muutus on tekkinud kuivendamise tagajärjel. 1951. aastal oli kõrguse langus järsem (seos kaugusega kraavist tugevam), kuid see oli juba 13 aastat peale lõunaserva kraavi kaevamist. Kuna tegelikke kuivenduseelse puistu takseerandmeid ei ole teada, ei saa välistada võimalust, et juba enne kuivendamist võis puistus olla samasuunaline kõrguse vähenemise trend. 1920. aastate Järvselja Õppemetskonna skeemi järgi (Mathiesen, 1927) jätkub Kanajala raba kvartalid JS115 veel umbes poole kvartali ulatuses (~300 m) lõuna suunas. Seega ei asunud uuritud puistu kunagi päris raba servas, aga ka mitte täiesti keskel. Mõningane kõrguse suurenemise trend raba serva suunas

enne kuivendamist on tõepoolest võimalik, kuid praeguseks kogutud andmete põhjal seda tõestada ei saa.

Kuivenduseelset puistu keskmist kõrgust ja rinnasdiameetrit võiks proovida täpsustada mõõtmisalt analüüsipuid võttes. Kuivenduseelsest ajast pärineb suur enamus puid, sest 2013. aastal oli noorima puuritud puu vanus 91 aastat ja kuivenduse rajamisest oli samaks ajaks möödunud 90 (91) aastat. Küsitavaks muudab analüüsipuude võtmise mõttekuse asjaolu, et väga palju kuivenduseelsest ajast pärinevaid puid on hukkunud. Perioodil 1951 kuni 2010 vähenes puude arv kolmandiku võrra ja tõenäoliselt langes puid välja ka perioodil 1922 kuni 1951. Vahepeal surnud puude mõõtmete ja vanuse kohta puudub teave. 2013. aasta puurimisel leitud kõige vanem puu oli 1922. aastal 72 aasta vanune ja keskmise vanusega puu 48 aasta vanune. Sellest tulenevalt ei suudaks nüüdsed analüüsipuud puistu kuivenduseelset seisundit korrektselt esindada. Parimal juhul iseloomustaksid analüüsipuud kuivenduseelse puistu nooremate puude osa (rabamännikute puude keskmine vanus on kindlalt enam kui 50 aastat). Lisaks kõrgusele omas tugevat seost kaugusega kraavist ka boniteet, mis viitab jällegi kasvutingimuste halvenemisele kraavist kaugenedes. Mõningast küsitavust võib tekitada 1951. aasta puistu keskmise vanuse määrang, kuna see leiti miinimum- ja maksimumvanuse (80 ja 160 aastat (Krigul, 1962)) poolsummana ja seega kehtib eeldusel, et puude vanuseline jaotus oli 1951. aastal sümmeetriline, kuid kahjuks ei ole toonane puude vanuseline jaotus teada. Puude vanuseline jaotus 2010. aastal oli vasakule välja venitatud ja äärmusväärtuste poolsumma 123 aastat (12 aastat vähem, kui aritmeetiline keskmine). Sellise vanuse kasutamisel saadaks veidi suurem boniteedi muut. Samas ei anna 2010. aasta puude vanuseline jaotus mingit alust väita, et 1951. aastal see jaotus sama kujuga oli, kuna siis eraldati kahel proovitükil ka teine rinne, kuid 2010. aastal enam mitte. Seega mõjutavad hili-

semat puude vanuselist jaotust tõenäoliselt ka 1951. aastal teise rindesse määratud nooremad puud. Seda kinnitab ka fakt, et puistu vanus oli 1951. aastaga võrreldes tõusnud oluliselt vähem (15 aastat), kui võiks oodata 59 aasta möödumisel. Nii väikest vanuse tõusu ei saa põhjendada ainult vanade puude välja langemisega. Eelneva põhjal on loogilisem 1951. aasta äärmusvanuste poolsummat võrrelda ikkagi 2010. aasta vanuste aritmeetilise keskmisega, mitte äärmusvanuste poolsummaga.

Puistus oli 59 aastaga boniteet paranenud, kuid tegelik boniteedi paranemine võrreldes kuivenduseelse seisundiga peab olema veelgi suurem, kuna 1951. aastal oli lõunaserva kraav toiminud juba 13 aastat. Kui võtta lähteboniteediks 1951. aasta kraavist kõige kaugema proovitüki arvutuslik boniteet, siis saadaks tõusuks juba 2,2 boniteediklassi 72 aasta jooksul. Tegelikult aga oli soosse kraave kaevatud 1922. (1923.) aastast alates ja seega enne 1951. aasta mõõtmisi oli kuivendus puistut mõjutanud juba 29 (28) aastat, mis lubab arvata, et enne kuivendamist pidid puistu takseernäitajad olema veelgi kehvemad. Kõrvalkvartalil JS116, 1924. aasta fotomaterjali põhjal võib puude kõrgust kraavi mõõtmetega võrreldes hinnata männiku kõrguseks ligikaudu 7–7,5 m, mis toetab samuti kehvamate takseertunnuste esinemist enne kuivendamist. Hinnangu aluseks on võetud Järvelja kraavide mõõtmete kirjeldus (Mathieseni, 1927). Kogu kasvutingimuste paranemist ei saa panna ainult kuivendamise arvele, kuna see sisaldab ka kliimaatiliste tingimuste paranemise arvelt toimunud muutuseid (Nilson *et al.*, 1999). Paraku ei ole antud uurimuse põhjal võimalik neid eristada.

Takseertunnuste 59 aasta jooksul toimunud muutuse leidmiseks kasutatud mudel on tasakaalustamata. See tähendab, et 2010. aasta proovitükkide ($N = 14$) jääkstandardhälve mõjub mudelis tugevamini, kui 1951. aasta proovitükkide ($n = 3$) jääkstandardhälve. Seega on muutuse usalduspiiride leidmisel võetud teatav eeldus, et

takseertunnuse varieeruvus regressiooni-joone ümber on mõlemal ajahetkel olnud sarnane. Puistu tiheduse, rinnaspindala ja tagavara puhul on puht visuaalselt jooniselt 4 näha, et 2010. aasta proovitük-kide keskmised näitajad varieeruvad regressioonijoonte ümber oluliselt enam, kui 1951. aasta näitajad. Vähetõenäoline on, et toona nii varieeruvus puistus on sattunud proovitükid sedavõrd vähe varieeruvad. Pealegi on 1951. aastal takseertunnused loogilises seoses (joonis 4): väiksem keskmine rinnasdiameeter on tihedamas puistus, rinnaspindala puhul on keskmine rinnasdiameeter ja puistu tihedus üksteist tasandanud ja tagavara korral on seos juba lineaarne. Tulenevalt 2010. aastal kasutatud mõõtmismetoodikast on tõenäoline, et proovitükkide põhjal saadud puistu tihedus sisaldab ikkagi viga, mis on tekkinud puude lugemisest valele proovitükile või ebatäpsest proovitükkide piiride märkimisest, mis annab vea pindala arvutamises. Tulemuseks on väga suur erinevus proovitükkide puude arvus. Sellest järeldub, et arvutatud puistu tiheduse, rinnaspindala ja tagavara muutuse usalduspiirid on tegelikkusest laiemad.

Kui enamasti ei ole rabamännikute kuivendamist peetud otstarbekaks, kuna saavutatav boniteet jääb liiga madalaks, siis õhukeseturbaliste rabade puhul on arvatud, et see võib isegi tasuv olla (Valk, 2005). Antud juhul on saavutatud IV boniteediklass, kuid oluline on meele pidada, et 2010. aasta boniteet on arvutatud kuivenduseelsest ajast pärinevate puude vanust kasutades. See tähendab, et boniteedi hinnang sisaldab endas osaliselt ka kuivenduseelsete viletsate kasvutingimuste mõju ning kasvukoha praegust viljakust hinnatakse kunstlikult madalamaks, mistõttu tegelik kasvukoha potentsiaal peab olema suurem. Hea kuivendustulemuse põhjuseks on suure tõenäosusega õhuke turbakiht ja heade filtratsiooniomadustega liivane aluspõhi (Mathiesen, 1927; Pikk, 2003). Mõju avaldab ka hästilagunenud turbakiht lasundi alaosas, mis kuivendusjärgselt,

peale põhjavee alandamist muutus puudele kättesaadavaks toitainete varuks.

Selgus, et 2010. aastal ei esinenud puistus enam teist rinnet, mida oli kirjeldatud 59 aastat varem. Sellest võib teha järelduse, et kidura kasvuga rabamets, mis käitub kliimaksstaadiumisse jõudnud ökosüsteemina ja kus toimub pidev puude väljalangemine ning uue järelkasvu lisandumine on muutunud struktuurilt ühtlasemaks, üherindeliseks männipuistuks, milles noored männid ei suuda enam vana puistu all ellu jääda. Seda kinnitab ka noorte mändide puudumine puistus 2010. aastal ja väiksema rinnasdiameetriga puude ülekaal kuivanud puude hulgas. Näib, et puistu ühtlustumist põhjustab just kuivenduse intensiivsus, kuna 1951. aastal (13 aastat peale lõunaserva kraavi kaavamist) kraavist 35 m kaugusel teist rinnet ei eraldatud, kuid 85 ja 135 m kaugusel eraldati. Samuti on 2010. aasta andmetel seos puude kõrguse standardhälbel kaugusega kuivenduskraavist ($R = 0,546$), ja seega kõrgus varieerub kraavist kaugemal enam, kui kraavile lähemal. Kirjeldatud muutuste põhjal võib prognoosida, et edaspidi hakkab metsapõlvkondade vaheldumine toimuma häiringute tagajärjel.

Õnnestus tõestada, et puistu keskmine kõrgus oli 1951. aastaga võrreldes ühtlustunud. Teiste sõnadega oli 1951. aastal kõrguse kahanemine kraavist eemaldudes kiirem, kui 2010. aastal. See on seletatav lõunaserva kuivenduskraavi mõjuulatuse kasvamisega, mille tagajärjel on kraavist kaugemate puistu osade kasvutingimused paranenud ja kaugemad puud kõrguskasvus kraavilähedastele puudele järele jõudma hakanud. Antud võimalust saaks põhjendada turba omaduste muutumisega aja jooksul. Halvasti lagunenenud rabaturbas ulatub kuivenduskraavi mõju kraavist oluliselt lähemale, kui suurema lagunemisastmega siirdesoo- ja madalsoo- turbas (Valk, 1988).

Turba tüseduse muutumist aja jooksul on keeruline hinnata, kuna varasemast ajast ei ole detailseid mõõtmisand-

meid. Enne kuivendamist oli Kanajalasoos turba түsedus keskmiselt 1 m (Mathiesen, 1927), kuid soo eri osades võis see varieeruda. Konkreetse puistu alal oli 1951. aastal turba түsedus keskmiselt 0,6 m (Krigul, 1962), kuid ei ole teada, milline oli түseduse hindamiseks kasutatud meetodika. Uuritud puistu puhul ei saa kindlalt väita, et turbakiht on 1951. aastaga võrreldes õhenenud, kuid kogu Kanajalasoos alal on turbakihi õhenemine kuivendamise tagajärjel ikkagi väga tõenäoline. Strantsovi (2010) uurimuses Kanajalasoos kvartalitel JS114 ja JS81 saadi kuue transekti keskmiseks turba түseduseks 68,5 cm (vahemik 59–74 cm), mis on selgelt vähem, kui kuivenduseelne hinnang (1 m).

Kokkuvõttes võib öelda, et Kanajalasoos asuva uuritud rabamänniku kuivendamine on metsanduslikus mõttes olnud edukas, kuid osa edust on kaotatud paljude kraavide kinnikasvamise tõttu. Edaspidi pakub kindlasti huvi see, kuidas suudab uus metsapõlvkond samas kohas hakkama saada ning milliseks kujuneb kasvukoha boniteet uue metsapõlvkonna põhjal. Mõõtmisala kõrval olevatel raiesmikel (raiutud 2006. aastal) on juba korralik looduslik männi-uuendus olemas ja alad on noorendikeks hinnatud. Tulemuste põhjal ei saa teha suuri üldistusi, kuna uuriti ainult ühte puistut. Samas on tuvastatud muutused nii suured, et neid tuleks arvesse võtta. Puistu arengut mõjutavad väga paljud bioloogilised tegurid ja kui mujal on tingimused olnud piisavalt lähedased, siis on ootuspärane ka sarnaste tulemuste saamine.

Kokkuvõte

Uuritud kuivendusest mõjutatud rabamännikus olid 59 aasta jooksul toimunud märgatavad muutused. Lisandunud oli alusmetsa rinne sookaskede näol. Suurimad muutused on täheldatavad puistu takseernäitajate põhjal. Puistu keskmine kõrgus tõusis 84% ($8,60 \pm 0,39$ m ehk keskmiselt $14,6 \pm 0,66$ cm a⁻¹). Keskmine rinnasdiameeter suurenas 48% ($6,55 \pm 0,59$ cm ehk keskmiselt

$1,11 \pm 0,01$ mm a⁻¹). Puistu muutus orienteeruvalt 30% hõredamaks: -423 ± 133 puud ha⁻¹ ehk keskmiselt $-7,17 \pm 2,25$ puud ha⁻¹ a⁻¹. Rinnaspindala muut oli 59% ($10,6 \pm 3,41$ m² ha⁻¹ ehk keskmiselt $0,180 \pm 0,058$ m² ha⁻¹ a⁻¹). Märkimisväärselt tõusis ka tagavara (179%): $169 \pm 31,9$ m³ ha⁻¹ ehk keskmiselt $2,86 \pm 0,54$ m³ ha⁻¹ a⁻¹. Puistu boniteet oli paranenud 1,8 klassi võrra ja seega kasvukoht muutunud viljakamaks. Teades, et 1951. aasta mõõtmised olid tehtud juba kuivendatud puistus ja boniteedi määramisel kasutati kuivenduseelsest ajast pärinevaid puid, siis kuivenduseelse rabamännikuga võrreldes peavad muutused takseertunnustes ja kasvukoha viljakuses olema veelgi suuremad.

Puistu konkurentsitingimustes on toimunud nihe. Kidura kasvuga rabamets, mis käitub kliimaksstaadiumisse jõudnud ökosüsteemina ja kus toimub pidev puude väljalangemine ning uue järelkasvu lisandumine on muutunud struktuurilt ühtlasemaks üherindeliseks männipuistuks, kus peapuuliigi järelkasvu ei teki. Edaspidi on oodata puistu põlvkondade vaheldumist häiringute tagajärjel.

Uuritud puistu puhul on tegemist hea näitega metsakuivenduse edukusest metsanduslike eesmärkide saavutamisel, mis kinnitab seisukohta, et õhukeseturballiste rabamännikute kuivendamine ilma lisaväetamiseta võib anda häid tulemusi. Puistu hea reageerimine kuivendusele tuleb tõenäoliselt ka hästilagunenud turbakihi esinemisest lasundi alaosas ja liivasest aluspõhjast. Kuigi uuriti ainult ühte puistut, siis tuvastatud muutused olid nii suured, et teistes sarnastes tingimustes võib õigustatult oodata samalaadseid arenguid.

Töö käigus saadud tulemusi võib kasutada täpsemate mudelite koostamisel metsa kasvu modelleerimiseks kuivendatud puistutes, mis aitavad paremini mõista rabamännikutes toimuvaid kuivendusjärgseid muutusi. Samas ei ole uuritud objekt ideaalne, kuna täpset kuivenduseelset olukorda ei ole teada. Edaspidi vääriks uurimist uue metsapõlve areng samas kasvukohas.

Tänuavaldus. Täna välitöödel osalenud üliõpilasi Allar Annusveri, Robert Laanperet, Kristjan Karrot ja Taavet Kumarit, samuti magistratöö juhendajat dotsent Veiko Uri, statistika küsimustes abiks olnud professor Andres Kivistet, anonüümseid retsenseente ning ajakirja toimetajat dr Ivar Sibulat.

Kasutatud kirjandus

- Fox, J., Weisberg, S. 2011. An {R} Companion to Applied Regression, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. [WWW document]. – URL <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/~jfox/Books/Companion>. [Accessed May 5, 2013].
- Hainla, V. 1957. Siirdesoomännikute kuivendamise tulemustest Eestis. (Drainage Results in Transition Bog Pineforests in Estonia). – *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 1, 5–78. (In Estonian with Russian and German summaries).
- Kollist, P. 1972. Lodumetsadest ja seniste kuivenduste mõjust nende tootlikkusele takseereraldiste andmetel. (Minerotrophic Mobile Water Swamp Forests and Drainage Effects on their Productivity based on Forest Inventory Data). – *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 4, 5–78. (In Estonian with Russian and German summaries).
- Kollist, P. 1979. Madalsoo, siirdesoo ja kõduturbasoo kasvukohatüübi puistutest ja kuivendamise mõjust nende tootlikkusele takseereraldiste andmetel. (Minerotrophic Stagnant Water Swamp, Transition Bog and Drained Peatland Forests and Drainage Effect on their Productivity based on Forest Inventory Data). – *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 14, 7–58. (In Estonian with Russian and German summaries).
- Kollist, P. 1982. Siideraba ja raba kasvukohatüübi puistutest ja seniste kuivenduste mõjust nende tootlikkusele takseereraldiste andmetel. (Meso-oligotrophic Bog and Bog Site Type Forests and Drainage Effects on their Productivity based on Forest Inventory Data). – *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 17, 4–21. (In Estonian with Russian and German summaries).
- Kollist, P. 1987. Kuivendusjärgsetest muutustest siirdesoo turbas, alustaimestikis ja puistus statsionaarsel katsealal. (Postdrainage Changes in Peat Properties, Undergrowth and Stand Characteristics in a Stationary Transition Bog Experimental Area). – *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 22, 7–23. (In Estonian with Russian and German summaries).
- Krigul, T. 1962. Kuivendustööde tulemusi Eesti Põllumajanduse Akadeemia õppe- ja katsemetsamajandis. (Drainage Results in Educational and Research Forest District of Estonian Agricultural Academy). – Veermets, K. (ed.). *Forest Management Operations: Collection of Scientific Research in Estonian Agricultural Academy No. 23*. Tartu, Estonian Agricultural Academy, 52–71. (In Estonian with Russian and German summaries).
- Luik, J. 1926. Tartu Ülikooli Metsaosakonna toimetused nr. 8: Maaparandus ja selle mõju puude juurdekasvu peale. (Land Amelioration and its Effects on Tree Growth: Publications of Tartu University Forest Department No. 8). Tartu, Tartu University Educational Forest District Publication. 102 pp. + 1 map. (In Estonian with German summary).
- Mathiesen, A. 1927. Mathiesen, A. 1927. Ülikooli õppemetskond: Tartu Ülikooli Metsaosakonna toimetused nr. 11. (Tartu University Educational Forest District: Publications of Tartu University Forest Department No. 11). Tartu, Tartu University Educational Forest District Publication. 63 pp. + 48 appx. (In Estonian with German summary).
- Metsa korraldamise juhend: lisa 10. 2009. Kõrgusindeksi ja boniteediklassi arvutamise mudel. (Site Index and Site Quality Class Calculation Model). [WWW document]. – URL <https://www.riigiteataja.ee/aktiis/0000/1312/4148/13124171.pdf#>. [Accessed January 22, 2014]. (In Estonian).
- Metsa korraldamise juhend: lisa 11. 2009. Tagavara ja täiuse arvutamiseks kasutatavad matemaatilised mudelid. (Mathematical Models for Calculating Growing Stock and Relative Density. [WWW document]. – URL <https://www.riigiteataja.ee/aktiis/0000/1312/4148/13124171.pdf#>. [Accessed January 22, 2014]. (In Estonian).
- Nilson, A., Kiviste, A., Korjus, H., Mikhelson, S., Etverk, I. Oja, T. 1999. Impact on recent and future climate change on Estonian forestry and adaption tools. – *Climate Research*, 12, 205–214.
- Padari, A., Kiviste, K. 2005. Metsa kuivendusjärgse kasvu modelleerimine. (Modelling of Postdrained Forest Growth). – *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 43, 58–83. (In Estonian with English summary).
- Pikk, J. 2003. Puistute ja puuliikide kohanemine toitumistingimuste muutustele erineva veerežiimi ja troofsusega kasvukohtadel. (Adaption of Stands and Tree Species to Changes in Nutritional Conditions Under Different Moisture and Nutrition Regimes. – *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 38, 58–73. (In Estonian with English summary).
- R Core Team. 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0.
- Sisask, S. 2013. Kuivenduse mõju rabamänniku arengule metsakvartali JS115 näitel: Magistratöö metsamajanduse erialal. (Effect of Drainage on the Development of an Oligo-ombrotrophic Pine (*P. sylvestris* L.) Stand in Järvelja: Master's Thesis in Forestry. Estonian University of Life Sciences, Department of Silviculture, Forest Management Section, Tartu. 60 pp. + 18 appx. [WWW document]. – URL <http://dspace.emu.ee/handle/10492/1316>.

- [Accessed January 22, 2014]. (In Estonian with English abstract).
- Strantsov, A. 2010. Kuivendamise mõjust soomännikute kasvule Järvelja Õppe- ja Katsemetskonnas: Magistritöö metsamajanduse erialal. (Results of Draining in peatland pineforests in Territory of Järvelja Experimental Forest District: Master's Thesis in Forestry). Estonian University of Life Sciences, Department of Silviculture, Forest Management Section, Tartu. 54 pp. + 11 appx. (In Estonian with English abstract).
- Tuul, A. 2013. Intervjuu Järvelja Õppe- ja katsemetskonna abimetsaülemaga e-posti teel, 26. aprillil 2013. (Interview with Järvelja Experimental Forest District forest officer by e-mail on April 26, 2013).
- Valk, U. 1968. Eesti rabamännikute kuivendamise tulemustest. (Drainage Results of Estonian Bog Pineforests). – Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused, 6, 93–107. (In Estonian with Russian and German summaries).
- Valk, U. 1988. Eesti sood. (Estonian Mires). Tallinn, Valgus. 344 pp. (In Estonian with English summary).
- Valk, U. 2005. Eesti rabad. (Estonian Bogs). Tartu, Halo Kirjastus. 314 pp. (In Estonian with English summary).
- Venables, W.N., Ripley, B.D. 2002. Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0.
- Wood, S.N. 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semi-parametric generalized linear models. – Journal of the Royal Statistical Society (B) 73(1), 3–36.

Effect of drainage on the development of an oligotrophic bog Scots pine (*P. sylvestris* L.) stand in Järvelja

Silver Sisak

Summary

Notable changes had taken place in the drainage influenced oligotrophic bog Scots pine stand in the course of 59 years. A sparse pubescent birch understory had developed. Greatest changes were discovered in stand characteristics. Mean height had grown 84% (8.60 ± 0.39 m or 14.6 ± 0.66 cm a^{-1}). Mean DBH had increased 48% (6.55 ± 0.59 cm or 1.11 ± 0.01 mm a^{-1}). Stand density had decreased about 30% (-423 ± 133 trees ha^{-1} or -7.17 ± 2.25 trees $ha^{-1} a^{-1}$) but basal area increased 59% (10.6 ± 3.41 m² ha^{-1} or 0.180 ± 0.058 m² $ha^{-1} a^{-1}$). Growing stock had increased 179% (169 ± 31.9 m³ ha^{-1} or 2.86 ± 0.54 m³ $ha^{-1} a^{-1}$). Site quality had improved by 1.8 classes. Knowing that measurements in 1951 had been conducted in an already drained stand and site quality was calculated using the age of trees remaining from pre drainage, the overall drainage effect on stand characteristics and site productivity has to be even greater.

A shift in competition conditions in the stand has occurred. Stunted bog pine forest

that behaves as an ecosystem in its climax stadium and where continuously trees are dying and new young trees are appearing, has changed into a more even structured, single storied pine stand where young trees cannot survive. It is expected that now the rotation of forest generations will happen due to disturbances.

It can be concluded that this studied stand is an good example of successful forest drainage in bog site type. Statement that bog pine forests with thin peat layer can produce good results without additional fertilization is supported by this study. Having a sandy bedrock underneath the peat layer and a well decomposed bottom peat layer have probably also contributed to these good drainage results.

This stand development data can be used for constructing better forest growth models for drained forests. These results contribute to a better understanding of changes in bog pine forests after drainage but it is not an ideal case since the true pre-drainage state was not known. It would be worth investigating how the new tree generation will develop at the same site.

Received September 12, 2013, revised January 15, 2014, accepted January 23, 2014