Seoseid puistu juurdekasvu ja koosseisu vahel hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) enamusega segametsades

Ando Lilleleht

Lilleleht, A. 2011. Relationships between stand volume growth and composition in mixed stands dominated by Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). – Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused 54, 18–27. ISSN 1406-9954.

Abstract. Relationships between the volume growth of mixed stands and their species composition were analyzed in order to examine the so-called “mixture effect” on stand productivity. The influence of co-species was studied using multiple linear regression analysis. Stand level basal area and height growth models were constructed in order to find out which stand characteristics can be used to describe mixture-effects. The study material originates from the Estonian network of permanent forest growth plots, only stands consisting of mainly ($\geq 50\%$ of volume) Scots Pine with Norway spruce and/or Birch *spp.* as co-species were used. Sample size was 139 5-year measurement periods on 88 plots; stand ages range from 14 to 167 years. The study results indicate that an increasing proportion of birch in the stand causes a negative effect on both basal area and height growth. Spruce seems to be a weaker competitor than other pines as its trend in the model is positive. Also, height growth is more rapid when the mean diameter of spruce is smaller than that of pine. Species composition coefficients for co-species (calculated by standing volume) proved to be the most significant variables that describe stand composition in the models.

Key words: *Pinus sylvestris*, mixed forests, inter-specific competition, stand-level growth modeling, basal area increment, height increment.

Author’s address: Department of Forest Management, Institute of Forestry and Rural Engineering, Estonian University of Life Sciences, Kreutzwaldi 5, 51014 Tartu, Estonia, e-mail: ando.lilleleht@emu.ee

Sissejuhatus

Viimastel aastakümnetel on seoses metsade majandamise intensiivsuse tõusuga hoogustunud diskussioon segapuistute kasvatamise üle. Uue ülesandena on metsade kasvatamisele puidutoogi maksimeerimise kõrvale tekkinud metsade säästva ja jätkusuutliku majandamise meetodika väljaarendamine. Kandev roll on selles liigilise mitmekesisuse säilitamisel ning parim võimalus selle tagamiseks on metsi majandada viisil, mis on looduslähedaseim ehk segapuistutena. Kenk (1992) leiab, et metsade stabiilsus sõltub suuresti nende liigilisest koosseisust ja majandamisvõtetest. Eelis on mitmest puuliigist koosneva-

tel puistutel, sest paremini täidetakse erinevad kasvunišid. Segapuistute kasvatamise ökoloogiliste ja majanduslike eeliste üle on pikemalt arutlenud mitmed autorid (Assmann, 1970, Burkhart & Tham, 1992; Kelty, 1992, Mielikäinen, 1996; Knoke *et al.*, 2008), kuid siiani puudub ühine seisukoht küsimuses, kas segapuistute tootlikus on suurem samaväärsetes tingimustes kasvavatest puhtpuistutest.

Metsade efektiivseks majandamiseks on vaja objektiivset hinnangut nendes paikneva puiduressursi koguse ja juurdekasvu kohta. Statistilise metsainventeerimise andmete alusel moodustavad segapuistud Eesti metsade pindalast 27,0% (Adermann, 2009). Kahjuks peab tõdema, et selle, meie

metsavarudest ligikaudu neljandiku suuruse, osa kohta puudub täpne ülevaade. Põhjuseks on asjaolu, et veel praegugi käib segapuistute juurdekasvu arvutamine puhtpuistute põhjal väljatöötatud mudelite ja mahutabelitega. Igat koosseisus olevat puuliiki „kasvatatakse” kui puhtpuistut, saadud tulemused korrutatakse läbi vastava puuliigi koosseisukordajaga ning summeeritakse. Samas on teada, et segapuistus võivad kaaspuuliigi esindajad avaldada peapuuliigi kasvule erinevat mõju kui sama liigi esindajad (Pukkala *et al.*, 1998). Eelpool kirjeldatud viisil talitledes ei arvestata liikidevahelisest konkurentsist tingitud vastastikmõjudega ning arvutuskäigu tulemus võib reaalsest situatsioonist oluliselt erineda. Tuleb tõdeda, et segapuistute juurdekasvumudelite suuremat täpsust ei ole võimalik saavutada ilma liikidevahelisi mõjutusi kirjeldavaid muutujaid kasutamata. Sellest tulenevalt on käesoleva uurimuse eesmärgiks välja selgitada, milliseid koosseisu kirjeldavaid takseertunnuseid ja nende tuletisi on võimalik kasutada seguefekti arvestavate juurdekasvumudelite koostamisel. Lisaks analüüsitakse ühe töö osana männi enamusega segapuistute näitel seguefekti mõju puistu tootlikkusele.

Materjal ja meetodika

Andmestik

Puistu kasvu modelleerimiseks kasutati Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustiku 5-aastaste perioodide kordusmõõtmiste andmeid. Võrgustiku rajamisega alustati 1995. aastal, selle peamine

eesmärk on andmete kogumine üksikpuu tasemel puistukasvumudelite koostamiseks. Proovitükkide valikul jälgitakse, et esindatud oleks kõik metsamajanduslikku tähtsust omavad puuliigid, metsatüübid, vanuseklassid ja täiuseastmed. Proovitükid on ringikujulised raadiusega 15–30 m. Proovitükkide suurus sõltub alale jäävate puude arvust, igale proovitükile peaks jääma vähemalt 100 puud. Tagamaks kogutud andmete põhjal koostatud mudelite üle-eestilise rakendatavuse, seati eesmärgiks rajada võrgustikku suurusjärgus 600 proovitükki. 2010. aasta lõpuks oli võrgustikus 762 proovitükki, mõõtmisi oli teostatud kokku 2065 korral. Detailsema ülevaate metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustikust on andnud Kiviste & Hordo (2002).

Käesoleva uurimuse jaoks valiti andmebaasist välja proovitükid, millel enamusepuuliigiks (koosseisukordaja $\geq 50\%$) harilik mänd (*Pinus sylvestris* L.) ning kaaspuuliikideks harilik kuusk (*Picea abies* (L.) H. Karst.) ja/või aru- (*Betula pendula* Roth) või sookask (*Betula pubescens* Ehrh.). Kasutati ainult nende proovitükkide esimese rinde puude andmeid, millel rajamisest alates raieid teostatud ei ole. Valimi suuruseks saadi 139 kordusmõõtmist 88-l proovitükil – neist 73 olid esimese, 56 teise ja 10 kolmanda kordusmõõtmise andmed. Proovitükkide asukohad on näidatud joonisel 1. Kaaspuuliikidest ainult kuuske esines

Joonis 1. Uurimuses kasutatud proovitükkide paiknemine.

Figure 1. Locations of the plots used in the study.

Joonis 2. Uurimuses kasutatud puistute vanuseline jaotus.

Figure 2. Age distribution of the stands used in the study.

22, ainult kaske 30 ning mõlemat liiki koos 104 kordusmõõtmise andmetes. 5 kordusmõõtmist olid tehtud puhtmännikutes, kus teisi puuliike ei esinenud. Enamik proovitükkidest asuvad mineraalmaadel (83 proovitükki), levinuimad kasvukohatüübid on pohla (21), mustika (18) ning jänesekapsa-pohla (14). Kasvukohatüübid on esitatud Lõhmuse (2006) tüpoloogia järgi, loetletud tüübid on tuntud peamiste männialadena. Proovitükkidel kasvavate puistute vanused jäid vahemikku 14–167 aastat, kattes kogu tavapärase raieringi pikkuse. Jooniselt 2 on näha, et kõige arvukalt on valimis esindatud kesk- ja latiealised puistud.

Andmetöötlus ja analüüs

Käesolevas töös analüüsitakse segapuistutes esinevat liigilise koosseisu efekti puistuelementide tasemel, sest varasemates uurimustes on pakutud (Gadow & Hui, 1999, Porté & Bartelink, 2002), et enamasti on puude kasvu otstarbekam modelleerida puistu tasandil. Põhjenduseks tuuakse mudelite vigade summeerumine, sest üksikpuu-mudelitega arvatud juurdekasvude summeerimisel liidetakse kokku ka kõikide puude juurdekasvude prognooside vead, mis lõpptulemusena võib osutuda oluliselt suuremaks kui puistu tasemel koostatud mudeli prognoosiviga. Proovitükkide andmete analüüsimiseks arvutati üksikpuude mõõtmisandmetest puistuelemendi

ja puistu tasemel keskmine kõrgus, ruutkeskmine diameeter, rinnaspindala ja tagavara ning lisaks ainult puistu tasemel olevad tunnused kõrgusindeks (peapuuliigi järgi, H_{100MA}), puistu hõredus (L) ja täius (T).

Modelleerimine toimus statistikapaketi *R* versiooni 2.12.1 keskkonnas. Takseeritunnuste vaheliste seoste esmaseks analüüsiks kasutati mitteparameetrilist meetodit *GAM* (üldistatud aditiivsed meetodid, funktsioon *gam* paketist *MGCV*), millega uuriti tunnustevaheliste sõltuvuste kujusid ja suundasid. Katsetati erinevate argumenttunnuste kombinatsioone, milles puistu juurdekasvu sõltuvust uuriti nii männi enese kui ka kuuse- ja kaseelementide tunnustest.

Teise etapina uuriti puistu koosseisust tulenevaid mõjusid juurdekasvule mitmese regressioonanalüüsi abil. Eelistati tunnuseid, millistelt eeldati tugevamat mõju ning kasutati ka tuletatud tunnuseid, näiteks männi ja kase diameetrite suhet. Argumenttunnuseid lisati ükshaaval ning jäeti mudelisse ainult siis, kui sellest paranes mudeli determinatsioonikordaja ning vähenes jääkstandardhälve, lisaks kontrolliti iga tunnuse olulisust 95% usaldusnivoo juures. Eelkirjeldatud protsessi käigus kogutud informatsiooni põhjal koostati sobivaid teisendusi kasutades lõplikud lineaarmudelid. Analüüsi käigus loodi lineaarse regressiooni mudelid nii

rinnaspindala kui ka kõrguse 5-aastaste juurdekasvude kohta. Lineaarse mudeli üldkuju on esitatud alljärgnevas valemis:

$$y = ax + b + \varepsilon,$$

kus

y – funktsioontunnus, antud juhul rinnaspindala või kõrguse juurdekasv;

a – argumenttunnuse kordaja;

x – argumenttunnus;

b – vabaliige;

ε – mudeli viga.

Mudelite headust kontrolliti dispersioonanalüüsiga (ANOVA) ning lisaks viidi läbi mudeli prognoosijääkide visuaalne analüüs.

Tulemused

Rinnaspindala juurdekasv

Kaaspuuliikidest tulenevate mõjude väljaselgitamiseks koostatud lineaarse regressiooni mudelis prooviti argumenttun-

nustena nii kaaspuuliikide kui ka puistu tasemel takseertunnuseid. Koosseisu kirjeldavate tunnustena jäeti mudelisse tagavara järgi kaalutud kuuse- ja kaseelemendi koosseisukordajad (K_{KU} ja K_{KS} , vahemikus 0–10), millede mõju oli statistiliselt oluline ($p < 0,05$).

Mudeli parameetrite hinnangutest (tabel 1) lähtub, et rinnaspindala juurdekasv suureneb kuuse osaluse tõusuga puistu koosseisus ehk teisisõnu mändide kasv on parem situatsioonis, kus nende naaberpuud on kuused. Seevastu kase lisandumine koosseisu avaldab puistu tootlikkusele negatiivset mõju. Ühtlasi on juurdekasvu pärssiva mõjuga puistu rinnasdiameeter (D) ning puistu kõrgus (H), mis on ka ootuspärane, sest füsioloogilise vanuse suurenemisega aeglustub juurdekasv. Ülejäänud mudelis olevad tunnused (kõrgusindeks H_{100MA} ja puude arv hektaril N) avaldavad juurdekasvule positiivset mõju. Mudel osutus puistu rinnaspindala juurdekasvu varia-

Joonis 3. Rinnaspindala juurdekasvu mudeli prognoosijääkide ja mudeli parameetrite vahelised sõltuvused.

Figure 3. Residual plots for the parameters in the basal area growth model.

Tabel 1. Puistu rinnaspindala viieaastase juurdekasvu mudeli parameetrite hinnangud.

Table 1. Parameter estimates for basal area growth model (5-year period).

Parameeter Variable	Hinnang Estimate	Standardhälve Std. Error	t-väärtus t-value
Vabaliige / Intercept	-0,06351	0,5934	-0,107
D	-0,05093	0,01393	-3,656
1/H	16,31	2,939	5,551
K_{KU}	0,09894	0,06433	1,538
K_{KS}	-0,1588	0,06762	-2,348
H_{100MA}	0,09817	0,01481	6,627
N	0,0005602	0,00006919	8,096

Tabel 2. Puistu keskmise kõrguse viieaastase juurdekasvu mudeli parameetrite hinnangud.

Table 2. Parameter estimates for height growth model (5-year period).

Parameeter Variable	Hinnang Estimate	Standardviga Std. Error	t-väärtus t-value
Vabaliige / Intercept	1,149691	0,343305	3,349
D	-0,070814	0,009634	-7,35
K_{KS}	-0,293389	0,062406	-4,701
D_{MA}/D_{KU}	0,397367	0,142989	2,779
H_{100MA}	0,04419	0,01275	3,466
G	0,019246	0,009637	1,997

tiivsuse kirjeldamisel edukaks, selle korregeeritud determinatsioonikordaja (R^2_A) on 0,8828 ning jääkstandardhälve (RSE) 0,6233 $m^2 ha^{-1} 5a^{-1}$. Visuaalse hinnangu alusel ei täheldatud mudeli prognoosijääkide (joonis 3) juures heteroskedastiivsuse ega kalututuse ilminguid. Samuti võib joonis 5a alusel väita, et mudeli prognoosijäägid on jaotunud normaaljaotusele vastavalt, sest teoreetiliste ja tegelike kvantiilide punkti-paarid langevad normaaljaotuse sirgele.

Kõrguse juurdekasv

Kõrguskasvu modelleerimine toimus üldjoontes sama meetodika järgi, mida raken-dati rinnaspindala juurdekasvu puhul. Erinevate argumenttunnuste kombinatsioonidega mudelitest osutus parimaks kaseelemendi koosseisukordajat ning männi ja kuuse diameetrite (D_{MA} ja D_{KU}) suhet arvestav.

Mudeli parameetrite hinnangutest (tabel 2) selgub, et sarnaselt rinnaspindala

Joonis 4. Kõrguse juurdekasvu mudeli prognoosijääkide ja mudeli parameetrite vahelised sõltuvused.

Figure 4. Residual plots for the parameters in the height growth model.

Joonis 5. Tõenäosuspaberid prognoosijääkide normaaljaotusele vastavuse hindamiseks: a) rinnaspindala juurdekasvu mudel; b) kõrguse juurdekasvu mudel.

Figure 5. Q-Q plots for assessing normality of model residuals: a) basal area growth model; b) height growth model.

juurdekasvule mõjub ka kõrguskasvu puhul diameetri suurenemine negatiivselt. Ühtlasi on negatiivne mõju kase osaluse suurenemisel puistu koosseisus. Oluliseks osutus ka männi- ja kuuseelementide keskmiste diameetrite suhe, mida peenemad on männiga võrreldes kuused, seda suurem on kõrguse juurdekasv. Positiivset mõju avaldasid ka puistu kõrgusindeks ning rinnaspindala (G).

Kõrguse juurdekasvu hajuvuse kirjeldamine osutus mõnevõrra keerukamaks kui rinnaspindala korral. Koostatud mudel suudab ära kirjeldada ca 38% andmestiku varieeruvusest ($R^2_A = 0,3808$) ning selle jääkstandardhälve (RSE) on $0,5988 \text{ m } 5a^{-1}$. Sarnaselt rinnaspindala juurdekasvu mudelile on ka kõrguse juurdekasvu mudeli prognoosijäägid (joonis 4) jagunenud mudeli tunnuste suhtes ühtlaselt ning visuaalse hinnangu järgi võib pidada tulemust rahuldavaks. Lisaks sellele on täidetud ka prognoosijääkide vastavus normaaljaotusele (joonis 5b).

Arutelu

Hemiboreaalses kliimavöötmes on enamik puhtpuistuid inimtekkelised, ilma metsamajanduslike võtete rakendamiseta valitseksid siin segametsad. Liikide eraldamisega monokultuuridesse jätame neile ise-

loomulikud omadused ja nendest tulenevad potentsiaalsed kasulikud vastastikmõjud kasutamata ning kaotame ressursikasutuse efektiivsuses (Pretzsch & Schütze, 2009). Puuliikide omavahelised mõjutused segapuistutes varieeruvad üsnagi laias ulatuses ning sõltuvad põhiliselt seguliikidest, kasvukoha omadustest ja majandamisviisist. Puhtpuistutega võrrelduna võib erinevate kasvustrateegiatega liike koos kasvatades saavutada tänu paremale ressursikasutusele kuni 30% suurema tootlikkuse, seevastu sarnaseid kasvutingimusi eelistavate liikide korral kaotame intensiivistunud konkurentsi tõttu kuni 20% (Pretzsch, 2009). Mitmed Skandinaaviamaades läbi viidud uurimused on näidanud, et segapuistute tootlikkus on vähemalt samaväärne või suurem kui seguliikide puhtpuistutes (Agestam, 1985; Frivold & Mielikäinen, 1990; Pukkala *et al.*, 1994). Teadaolevalt esimesena Soomes segapuistuid uurinud Lappi-Seppälä (1930) andmetel on männi kasv kasega segus kasvades kiirem. Ühtlasi saavutab mänd suurema kõrguse ja diameetri ning väiksema koondega tüvevormi. Ka kase puhul on segapuistus kasv kuni keskeani parem (puhtpuistuga võrreldes), kuid juurdekasvu kulminatsioon saabub varem ning summaarne puidutoodang on väiksem.

Rootsi metsade kasvusimulaatori koos-

tanud Ekö (1985) leidis, et rinnaspindala juurdekasvu mudeli täpsus ei parane kaaspuuliikide täpsema määratlemisega. Kaaspuuliikide mõju määramiseks mudelis kasutas ta puistus esinevate teiste puuliikide rinnaspindalade summat, mille mõju osutus negatiivseks. Ka Agestam (1985) kasutas oma rinnaspindala juurdekasvumudelites konkurentsi kirjeldamiseks kaaspuuliikide rinnaspindala ning jõudis samaväärsete tulemusteni. Segapuistute võimaliku suurema tagavara uurimiseks simuleeris Ekö (1985) erinevate puuliikide segude kasvu, saadud tulemuste kohaselt oli segapuistute tagavara enamjaolt samaväärne puhtpuistutega või minimaalse positiivse erinevusega. Eelmainituga sama andmestikku kasutanud Söderberg (1986) modelleeris puistu kasvu üksikpuu tasandil ning sai üldjoontes sarnased tulemused. Peamine erinevus oli rinnaspindala juurdekasvu mudeli väiksem standardhälve: 6,9% üksikpuu mudelil vs. 30,0% puistu mudelil. Üksiku puu kasvu varieeruvusest suudab Söderbergi mudel ära kirjeldata ainult ca 50%, samas juurdekasvude summeerimisega (puistu tasandile viimisega) hälbed normaliseeruvad ja saavutatakse rahuldav prognoositäpsus. Kesk-Rootsi tingimuste jaoks mõeldud männi rinnaspindala juurdekasvu mudelis kasutab ta puuliikide vaheliste konkurentsi-efektide kirjeldamiseks kuuse osakaalu kogu puistu rinnaspindalast, mille kordaja on positiivse väärtusega. Sellest võib järeldada, et kuusk on männile nõrgem konkurent kui teine mänd, mis on kooskõlas käesoleva uurimuse tulemustega ent vastuolus Ekö poolt leitudga.

Soomes männi ja kase segametsade struktuuri ning arengut uurinud Mielikäinen (1980) koostas töö ühe osana ka rinnaspindala juurdekasvu mudelid. Võrranditest selgub, et kase osakaalu suurenemisega puistu koosseisus väheneb nii männi- kui ka kaseelemendi rinnaspindala juurdekasv. Mielikäinen simuleeris ka puhtmänniku ja segapuistu tagavara juurdekasvu vanusevahemikus 40–80 a., tule-

mustes olid ainult minimaalsed erinevused, mis sõltusid harvendusraiate režiimist. Harvenduste käigus peamiselt kasket välja raiudes saavutati raieringi jooksul $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ suurem koguproduktioon. Valkonen & Ruuska (2003) uurisid varajases arengustaadiumis (9–16 aasta vanused puistud) männikutes seguliigina esinevate kaskede mõju mändide kõrgus- ja jämeduskasvule ning okslikkusele. Kõikide eelmainitud tunnuste jaoks koostati ka mudelid, millede abil simuleeriti puistu arengut erinevate kaseelemendi tiheduste korral. Kõrguskasvu mudeli järgi mõjutasid mändide kasvu kased ja teised kaaspuuliigid, männid üksteisele konkurentsi ei avaldanud. Suurima kaskede arvukusega simulatsioonis ($10\,000 \text{ tk ha}^{-1}$) oli mändide kõrgus ainult 18 cm (5,6%) madalam kui puhtmännikus. Jämeduskasvus oli sama kase arvukuse korral erinevus -2,5 cm, mis on ligikaudu 2,5 aastane mahajäämus kasvus. Seega tuleneb noortes männikutes kase negatiivne efekt peamiselt mändide pidurdunud diameetrikasvust.

Eelpool kirjeldatud uurimused põhinevad ajutistel proovitükkidel ning ei arvesta puuliikide vahelise konkurentsi muutumisega ajas ja lehtpuude varisest tulenevate mullastiku muutustega. See on ka üheks põhjuseks, mille tõttu segapuistu tagavara ei ole enamasti võrdne selles esinevate liikide puhtpuistute tagavarade keskmise väärtusega (Mielikäinen, 1996). Lisaks on männi-kuuse segapuistute näitel teada, et liigisisene konkurent on tugevam kui liikidevaheline (Pukkala *et al.*, 1994). Pikemas perspektiivis võib liikide segamise tulemusena muutuda puistute arengudünaamika ja juurdekasvukõverate kuju (Pretzsch & Schütze, 2009). Kui võrrelda puhtpuistut analoogsetes tingimustes kasvava segapuistu sama puuliigi elemendiga, mille juurdekasvukõver on seguefektist tulenevalt järsema kujuga, kuid samas ka varasema kulminatsiooniga, jätame arvesse võtmata nende arengustaadiumi erinevuse. Sisuliselt oleks tulemus sama, kui erivanuselistest puistutest võrdlemisel. Üheks lahen-

duseks oleks püskatsealade andmete kasutamise, kuid segapuistute puhul on enamasti probleemiks piisavalt pika aegreaga andmete puudumine. Rootsist läbi viidud männi-kuuse segude võrdlused lähedalasuvate muus osas samaväärsete puhtpuistutega ei suutnud samuti tõestada eri liikide kooskasvatamisest tulenevat positiivset seguefekti (Lindén & Agestam, 2003). Uurimuses kasutati püskatsealalt pärinevat 18 aasta pikkust aegrida, milles oli 5 mõõtmiskorda. Seguefekti ei tuvastanud ka Frivold & Frank (2002), kes korraldasid sarnase uuringu Norras. Täiendava liigina oli kaasatud kask ning osaliselt kasutati ka ajutiste proovitükkide andmeid.

Kokkuvõte

Käesoleva uurimuse raames otsiti seoseid puistu juurdekasvu ja koosseisu vahel Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustikus olevate hariliku männi enamusega puistute näitel. Koostati puistu tasandil rinnaspindala ja kõrguse juurdekasvu mudelid, millede abil kirjeldati juurdekasvu sõltuvust erinevate puistu takseertunnuste kombinatsioonidest. Seguefekti kirjeldamisel osutusid puistu koosseisu kirjeldavatest tunnustest parimateks puuliikide tagavara järgi arvatud koosseisukordajad. Mudelitest järeldub, et puistu rinnaspindala juurdekasv väheneb kase osaluse tõusuga puistu koosseisus, teisisõnu kased on mändidele tugevamad konkurendid kui teised männid. Kõrguskasvu puhul ilmneb sarnane tendents, kase osakaalu suurenemine koosseisus pärsib kõrguse juurdekasvu. Samuti on kõrguse juurdekasv sõltuv kuuse- ja männieleemendi keskmiste diameetrite suhtest, mida suurem on diameetrite erinevus kuuse kahjuks, seda parem on puistu kõrguskasv.

Tänuavaldused. Käesolev töö on valminud Keskkonnainvesteeringute Keskuse, Riigimetsa Majandamise Keskuse ning Eesti Vabariigi Haridus- ja Teadusministeeriumi sihtfinantseeritava teema SF0170014s08 toe-

tusel. Autor tänab professor A. Kiviste't ja vanemteadur A. Sims'i väärtuslike kommentaaride ja tähelepanekute eest, mis olid suureks abiks uurimuse koostamisel.

Kasutatud kirjandus

- Adermann, V. (ed.). 2009. Eesti Metsad 2008. (Estonian Forests 2008). Tallinn, Metsakaitse- ja Metsauuenduskuskeskus. 134 pp. (In Estonian).
- Agestam, E. 1985. A growth simulator for mixed stands in Sweden and two examples of yield in birch-pine and birch spruce mixed stands. – Hägglund, B., Peterson, G. (eds). Broadleaves in Boreal Silviculture – an obstacle or an asset? Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture, Report No. 14, 235–252.
- Assmann, E. 1970. The Principles of Forest Yield Study. Oxford, Pergamon Press. 506 pp.
- Burkhart, H.E., Tham, Å. 1992. Predictions from growth and yield models of the performance of mixed-species stands. – Cannell, M.G.R., Malcolm, D.C., Robertson, P.A. The Ecology of Mixed-Species Stands of Trees. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 21–34.
- Ekö, P.M. 1985. A growth simulator for Swedish forests, based on data from the national forest survey. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture, Report No. 16. 224 pp. (In Swedish with English summary).
- Frivold, L.H., Frank, J. 2002. Growth of Mixed Birch-Coniferous Stands in Relation to Pure Coniferous Stands at Similar Sites in South-eastern Norway. Scandinavian Journal of Forest Research, 17, 139–149.
- Frivold, L. H., Mielikäinen, K. 1990. The effects of hardwoods on softwood growth in mixed stands in Fennoscandia. – Titus, B.D., Lavigne, M.B., Newton, P.F., Meades, W.J. (eds). The silvics and ecology of boreal spruces. Proceedings of the 11th IUFRO Northern Forest Silviculture and Management Working Party S1.05-12 Symposium, 12-17 August 1989, Central Newfoundland, Canada. Information Report – Newfoundland and Labrador Region, Forestry Canada 1990 No. N-X-271, 75–82.
- Gadow, K.v., Hui, G.Y. 1999. Modelling forest development. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 212 pp.
- Kelty, M.J. 1992. Comparative productivity of monocultures and mixed-species stands. – Kelty, M.J., Larson, B.C., Oliver, C.D. The Ecology and Silviculture of Mixed-Species Forests. A Festschrift for David M. Smith. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 125–141.

- Kenk, G.K. 1992. Silviculture of mixed-species stands in Germany. – Cannell, M.G.R., Malcolm, D.C., Robertson, P.A. The Ecology of Mixed-Species Stands of Trees. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 53–63.
- Kiviste, A., Hordo, M. 2002. Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustik. (Network of permanent forest growth plots in Estonia). – Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused, 37, 43–58.
- Knoke, T., Ammer, C., Stimm, B., Mosandl, R. 2008. Admixing broadleaved to coniferous tree species: a review on yield, ecological stability and economics. – European Journal of Forest Research, 127, 89–101.
- Lappi-Seppälä, M. 1930. Research on the development of even-aged mixed pine-birch stands. – Communicationes Instituti Forestalis Fenniae, 15, 1–241. (In German with Finnish summary).
- Lindén, M., Agestam, E., 2003. Increment and Yield in Mixed and Monoculture Stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* Based on an Experiment in Southern Sweden. – Scandinavian Journal of Forest Research, 18, 155–162.
- Lõhmus, E. 2006. Eesti metsakasvukohatüübid. (Estonian Forest Site Types). Tartu, Eesti Loodusfoto. 80 pp. (In Estonian).
- Mielikäinen, K. 1980. Structure and development of mixed pine and birch stands. – Communicationes Instituti Forestalis Fenniae, 99, 1–82. (In Finnish with English summary).
- Mielikäinen, K. 1996. Approaches to Managing Birch-dominated Mixed Stands in Finland. – Comeau, P.G., Thomas, K.D. Silviculture of Temperate and Boreal Broadleaf-conifer Mixtures. Victoria, B. C. Ministry of Forests. Forestry Division Services Branch. Production Resources, 8–14
- Porté, A., Bartelink, H. H. 2002. Modelling mixed forest growth: a review of models for forest management. – Ecological Modelling, 150, 141–188.
- Pretzsch, H. 2009. Forest dynamics, growth and yield. From measurement to model. Berlin, Heidelberg, Springer. 664 pp.
- Pretzsch, H., Schütze, G. 2009. Transgressive overyielding in mixed compared with pure stands of Norway spruce and European beech in Central Europe: evidence on stand level and explanation on individual-tree level. – European Journal of Forest Research, 128, 183–204.
- Pukkala, T., Miina, J., Kurttila, M., Kolström, T. 1998. A spatial yield model for optimizing the thinning regime of mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. – Scandinavian Journal of Forest Research, 13, 31–42.
- Pukkala, T., Vettenranta, J., Kolström, T., Miina, J. 1994. Productivity of mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. – Scandinavian Journal of Forest Research, 9, 143–153.
- Söderberg, U. 1986. Functions for forecasting of timber yields. Increment and form height for individual trees of native species in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences, Section of Forest Mensuration and Management, Report No. 14. 251 pp. (In Swedish with English summary).
- Valkonen, S., Ruuska, J. 2003. Effect of *Betula* Admixture on Tree Growth and Branch Diameter in Young *Pinus sylvestris* Stands in Southern Finland. – Scandinavian Journal of Forest Research, 18, 416–426.

Relationships between stand volume growth and composition in mixed stands dominated by Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.)

Ando Lilleleht

Summary

The discussion whether growing mixed stands should be preferred over pure stands is an increasingly popular topic among forest scientists. The debate has become livelier with the increase in forest management intensity over the last decades, which sets new public requirements that forestry practitioners have to fulfill. Sustainability and maintaining biodiversity have become key factors; the best management method that meets these criteria seems to be multi-species forestry. The ecological and economic aspects of growing mixed forests have been discussed by several authors (e.g. Assmann, 1970; Burkhart & Tham 1992; Kelty, 1992; Mielikäinen, 1996; Knoke *et al.*, 2008), yet there is no common opinion if the productivity of mixtures exceeds that of pure stands growing under *ceteris paribus* conditions.

The aim of the study was set to find out which stand characteristics could be used to incorporate the effects of species mixture in forest growth models. The growth models used today are based on pure stands and leave out the growth interactions between trees of different species. In addition, the so-called "mixture effect" was analyzed with the example of stands dominated by Scots Pine with Norway Spruce and/or Birch *spp.* as co-species. The data

used in this study comes from the Estonian network of permanent forest growth plots (Kiviste & Hordo, 2002) and consists of 139 5-year measurement periods on 88 plots. Data analysis and modeling was carried out in statistical software R 2.12.1. Multiple linear regression with appropriate transformations of variables was used to construct basal area and height growth models, which in turn were used to detect the effects of interspecific competition. Only those variables that were statistically significant ($p < 0.05$) were left in the final models.

Species composition coefficients for co-species (calculated by standing volume) turned out to be the best variables for describing stand composition in the models. Study results show that birch inhibits both height and basal area growth of the stand; the higher the proportion of birch is the lower is the productivity. Spruce has an opposite effect; according to the basal area model its trend is positive. That can be interpreted as spruce is a weaker competitor than other pines. The same effect appears also with height growth, which is more intense when the mean diameter of spruce does not exceed the mean diameter of pine.

Received July 27, 2011, revised September 18, 2011, accepted October 10, 2011