Short communication

Turberaied ja nende ökonoomiline hindamine pohla kasvukohatüübi männiku näitel

Paavo Kaimre* **ja Vivika Kängsepp**

Kaimre, P., Kängsepp, V. 2022. Shelterwood systems and their economic assessment on the example of pine stand in *Rhodococcum* forest site type. – Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused 76, 76–89, ISSN 1406-9954. Journal homepage: http://mi.emu.ee/forestry.studies

Abstract. The article provides an overview of the experience of using shelterwood systems in Estonia and the methodological aspects of their economic assessment. The methodology is tested with calculations made on the management alternatives of pine (*Pinus sylvestri*s L.) stand in *Rhodococcum* site type. Based on the Estonian forest management rules and the results of previous silvicultural studies, the management models were elaborated for different types of shelterwood harvesting. The difference model was used when predicting stand development, the actual prices of different wood assortments and the actual cost of management activities were used in calculations. The net present value of cash flows is used as a criterion, which allows comparing management periods of different lengths. Calculations were performed for three different periods: one regeneration felling cycle, two regeneration felling cycles and perpetual management cycles. The results of different types of shelterwood systems are compared with the results of clear-cutting scenarios. The calculations indicate that in the short term, the net present value of the different types of shelterwood harvesting and clear-cutting are quite similar. The results of the first cycle of regeneration felling are most affected by the costs of cultivation and tending of a plantation and young forest. In the long run, clear-cutting will have an advantage over shelterwood harvesting, as the stand regeneration period is shorter.

Key words: shelterwood system, regeneration felling, economic assessment, net present value.

Authors' address: Chair of Forest and Land Management and Wood Processing Technologies, Institute of Forestry and Engineering, Estonian University of Life Sciences, Kreutzwaldi 5, 51006 Tartu, Estonia; *e-mail: paavo.kaimre@emu.ee

Sissejuhatus

Lageraiepõhine metsamajandus on osutunud edukaks puidu kasvatamisel tööstuslikuks tooraineks, mistõttu on see olnud domineeriv metsade majandamise viis kogu maailmas. Eestiski on käesoleval sajandil lageraiete pindala olnud 85% ja raiutud puidu maht koguni 95% kõigist uuendusraietest (Keskkonnaagentuur, 2021).

Viimastel aastatel on aga Eestis esitatud lageraiete kohta küllaltki palju kriitikat ja nii mõneski arvamusavalduses on kutsutud üles lageraiete lõpetamisele. Metsanduse arengukava aastani 2030 koostamise protsessis osalejad sõnastasid järgmise probleemi: lageraie keskne metsamajandus ohustab elurikkuse säilimist (Keskkonnaministeerium, 2019). Tõdeti, et lageraiepõhine metsamajandus ei taga ka koostoimes

DOI: 10.2478/fsmu-2022-0005

© 2022 by the authors. Licensee Estonian University of Life Sciences, Tartu, Estonia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

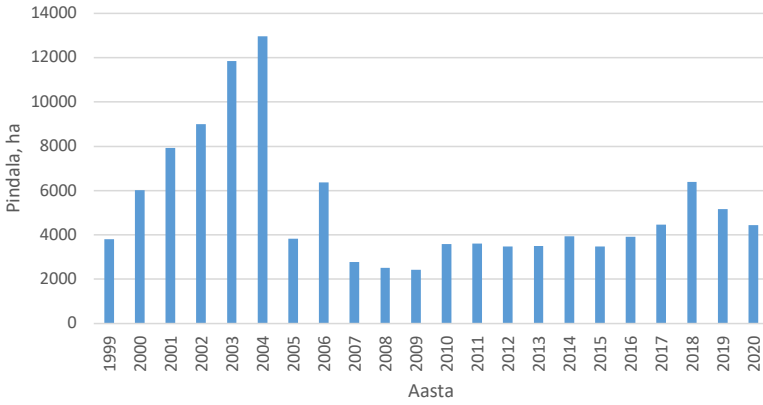
rangelt kaitstavate alade ja säilikpuudega kõigi metsaliikide elujõulisust, puudu jääb teiste raieviiside süsteemsest kasutamisest.

Sellest tulenevalt soovitatakse metsade uuendamisel kasutada alternatiivseid raieviise, nagu turbe- ja valikraie, ning rakendada püsimetsandust. Viimane tähendab metsamajanduslikus mõistes püsimetsa majandamist. Toetus püsimetsana majandamisele tuleneb tõenäoliselt arvamusest, et säärane majandamine aitab lageraietega kaasnevaid negatiivseid ilminguid vältida või vähemalt leevendada.

Turberaieid peetakse võrreldes lageraietega looduslähedasemaks majandamisviisiks, sest puistut ei raiuta ühe korraga, vaid järkude kaupa, kombineerides vanu allesjäävaid puid kas looduslikult tekkivate või ka kultiveeritavate puudega. Inimese meeltele on turberaied maastikus oluliselt vähem häirivamad kui lageraie, mistõttu sobivad need asulate ümbrusesse, puhkealadele ja muudele kõrgendatud huviga aladele. Turberaiete eeliseks lageraie ees peetakse metsa loodusliku uuenemisvõime kasutamist ja seeläbi uuendamiskulude vähenemist.

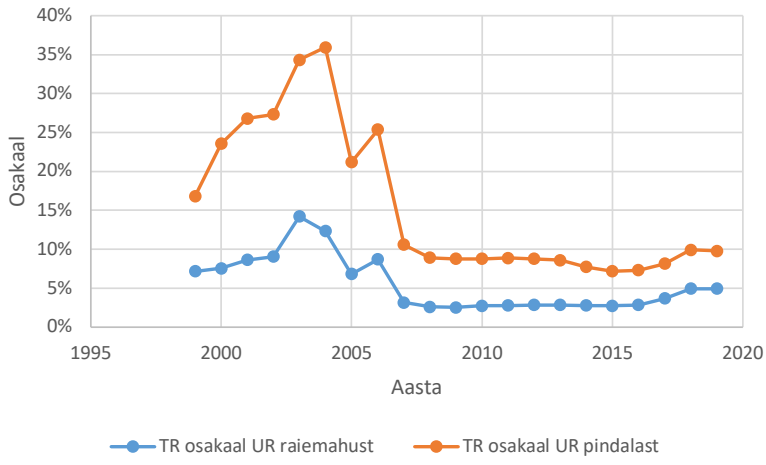
Turberaie mõiste ja praktika võib olla riigiti erinev. Eestis jaguneb see metsaseaduse järgi veer-, häil- ja aegjärkseks raieks. Eesti metsanduses on turberaieid suuremal või väiksemal määral ajast aega pidevalt tehtud ja jõutud tõdemuseni, et ilma sobivate eeltingimusteta on metsa enamikus kasvukohatüüpides väga keeruline uuendada (Tishler, 2020).

Eestis kavandati turberaieid märkimisväärselt käesoleva sajandi alguses (joonis 1), mil nende osakaal uuendusraiete pindalast küündis isegi 35%-ni (joonis 2).



Joonis 1.

Kavandatud turberaiete pindala metsateatiste põhjal aastatel 1999–2020.



Joonis 2.

Turberaiete pindala osakaal uuendusraiete pindalast ja raiemahust.

Keskmiselt moodustasid turberaied viimase kahekümne aasta jooksul 15% uuendusraiete pindalast, varutud puidu maht aga oli veidi alla 5% uuendusraietega raiutud tagavarast (Keskkonnaagentuur, 2021).

Eesti metsanduse arengukava aastani 2030 kavandis seisuga 08.12.2021 (Keskkonnaministeerium, 2021) on ühe mõõdikuna esitatud turbe- ja valikraiete pindala osakaal uuendusraiete pindalast, mille algtase on 11% ja mille sihttase on kavandatud jääma ligikaudu samale tasemele.

Turberaie käsitlemine metsanduslikes õigusaktides

Raietega seonduvat käsitlevad Eestis kaks olulist metsanduslikku õigusakti: metsaseadus (2020) ja metsa majandamise eeskiri (2021). Alates 1993. aastast, mil Riigikogu kiitis heaks iseseisvuse taastanud Eesti uue metsaseaduse, on metsanduslikes õigusaktides käsitletud ka turberaietega seonduvat. Seaduses vaadeldi erinevaid raieviise metsa kasutamisena puidu varumiseks: lõppraie, valikraie, hooldusraie ja muud raied.

9. jaanuaril 1999 jõustunud metsaseaduses (1998) sätestatu kohaselt jaguneb turberaie aegjärkseks, häil- ja veerraieks. Hiljem on turberaiet käsitlevat paragrahvi täiendatud lõikega, mis määrab raiejärkude vahelise perioodi pikkuse. Juhul, kui metsa uuenemine on esimese järgu järel toimunud nõutaval määral, võib küpse metsa raiuda (uuendada) minimaalselt kuue aasta jooksul. Määratleti puistu miinimumvanus, mil turberaieid tohib teha. See vanus on sarnane kõigi uuendusraiete jaoks.

2006. aastal täpsustati metsaseaduses (2006) turberaiete raielangi pindala, mis ei tohi olla tulundusmetsas suurem kui kümme hektarit ja kaitsemetsas suurem kui viis hektarit. Turberaie kogupindala ei saanud olla suurem metsamajandamiskavaga määratud lubatavast turberaie pindalast.

Üksikasjalikud turberaiete tegemise reeglid on sätestatud metsa majandamise eeskirjas ja need puudutavad raiet lubavat koosseisu põhjal kaalutud esimese rinde keskmist vanust või keskmist rinnasdiameetrit. Praegu kehtivate nõuete kohaselt ei tohi aegjärksel raiel viia puistu esimese rinde täiust pärast esimest raiejärku madalamale kui 30%. Häilraiel võib ühe hektari kohta sisse raiuda kuni viis häilu. Sisseraiutavate häilude pindala pärast esimest raiejärku ei tohi olla suurem kui 25% puistu pindalast. Turberaie järgmise raiejärgu võib teha, kui raielangil kasvab sobivaks tunnistatud liigi järelkasvu elujõulisi vähemalt 0,3 m kõrguseid puid vähemalt 1000 ühe hektari kohta.

Turberaie viimase raiejärgu võib teha, kui raielangil kasvab sobivaks tunnistatud liigi järelkasvu elujõulisi vähemalt 0,5 m kõrgusi puid vähemalt 1500 ühe hektari kohta. Veerraiel võib raiuda lageraie korras langi servast kuni metsa keskmise kõrguse laiuse riba. Lagedaks raiutud riba kõrval võib raiuda üksikpuid või häile puistu kõrguse laiuselt nii, et täius ei langeks alla 50%.

Turberaiete uuringud Eestis

Eesti metsateadlased on olnud turberaiete osas pigem kriitilised (Etverk, 2007), kuid on neis näinud teatud perspektiivi kaitstavate metsade majandamisel (Örd, 2000). Eestis on turberaieid propageeritud 1930. aastail ja nõukogude perioodil kuni 1967. aasta tormini, kuid mõne aja möödudes on mõistetud turberaiete sobivust vaid vähestes kohtades, nt kui lage raiesmik on mõnes kohas vastuvõetamatu või lageraiejärgne uuendamine on liialt kallis ja raske (Etverk, 2007). Seoses teema aktuaalsusega on just viimastel aastatel ilmunud uusi turberaieid käsitlevaid uurimusi (Tullus, 2014; Rosenvald *et al*., 2020; Tishler *et al.,* 2020).

Uurimistöid turberaietest on pikemat aega tehtud Edela-Eesti luitemännikutes, nende puistute kohta on koostatud üliõpilaste kursuse- ja lõputöid (Kõresaar, 2000; Rist, 2017). Ennekõike on uuritud puistu uuenemist. See on igati mõistetav, sest tegemist on uuendusraiega, millega loodetakse saada uus metsapõlv looduslähedaselt ja kultiveerimisega võrreldes väiksemate kuludega. Edela-Eesti luitemännikutes

tehtud uurimistööde tulemuste kohaselt on korduvad aegjärksed ja valikraied taganud männi uuenduse tekke, kuid suurema vanametsa täiusega (rinnaspindalaga) aladel on uuenduse teke ja puude kõrguskasv pidurdatud (Rist, 2017). Analüüsitud on ülarinde ja turbepuude mõju loodusliku uuenduse arvukusele ja kasvukiirusele, samuti turbepuude arvu mõju uuendusele (Rosenvald *et al.*, 2020; Tishler *et al.*, 2020).

Kuna turberaiete puhul on tegemist ühe uuendusraie viisiga, määrab selle tulemuslikkuse loodusliku uuenemise tekke kiirus, taimede arv ja kasvukiirus ning elujõulisus. Laas & Väät (2004**)** uurisid aegjärkseid ja häilraieid pohla- ja samblikumännikutes, keskendudes ennekõike metsa uuenduse õnnestumisele allesjäävate puude turbe all. Uuring tugines 2003. aastal Varbla, Kiidjärve, Võru, Loobu ja Aegviidu metskonnas läbiviidud puistute inventeerimise andmetele. Metsabioloogiliselt ootuspärane tulemus oli, et mida madalamaks jäi puistu täius pärast esimest raiejärku, seda enam männitaimi hektari kohta kasvas. Männitaimede arv varieerus täiuse 0,3 ja 0,4 juures kolmest tuhandest kuni üheteist tuhande taimeni ühe hektari kohta. Autorid soovitasid aegjärksete raiete korral kasutada vaid kaht raiejärku, mille vaheaeg oleks metsaseadusega lubatud minimaalne vahemik, st järgmine raiejärk tehakse kuuendal aastal pärast eelmist. Rosenvald *et al.* (2020) uurimuse kohaselt võiks edukaks uuenemiseks jääda turbepuude tiheduseks umbes pool normaalpuistu tihedusest, *ca* 200 puud ha kohta.

Kui uuendamise edukust mõjutab oluliselt allesjäävate puude hulk, siis raiete ärimajanduslikku edukust määrab paljuski puidu kogus, mida erinevatel turberaie järkudel raiutakse ja realiseeritakse. Laasi & Väädi (2004) uurimuses kasutatud mõõtmisandmed näitavad, et aegjärkse raie esimese raiejärgu keskmine väljaraie oli 37–49% puistu raie-eelsest tagavarast. Järvselja katsealal raiuti 2012. aastal aegjärkse raie esimese järguga välja 51% puistu tagavarast.

Rosenvald *et al.* (2020) kirjutavad, et märkimisväärselt mõjutas nende uuringus uuenduse arvu maapinna mineraliseerimine, mis näitab selle tegevuse metsamajanduslikku otstarbekust. Maapinna mineraliseerimise positiivset mõju uuenduse tekkele on mainitud teistegi autorite (Örd, 1977; Tullus, 2014; Soolmann, 2014) töödes.

Rist (2017) kirjutab, et turberaiel tekkinud uuenduse hooldamisel tuleb teha valgustusraie põhimõttel hooldusraieid puistu liigilise koosseisu kujundamiseks ja uuenduse tiheduse reguleerimiseks, et mets uueneks edukalt sobiva puuliigiga ja koosneks elujõulistest puudest.

Aegjärkse raiete korral selgus, et täiusklassi 70–80% ja suurema rinnaspindala kui 21 m^2 ha^{-1} juures on uuenduse kasvukiirus juba nooremas eas aeglasem, kui võrrelda lageraiejärgsete männinoorendike kasvuga (Rist, 2017). Madalama täiuse (40–60%) juures jääb kasv vanemas eas selgelt tagasihoidlikumaks. Sarnast tulemust kinnitavad uurimused Soomest ja Rootsist, kus kõrgema ülarinde tiheduse korral on puude kasvukiirus aeglasem (Valkonen *et al.*, 2002; Strand *et al.*, 2006).

Järvselja õppe- ja katsemetskonnas asuva katseala näitel on selgitatud erineva paljundamisviisiga männitaimede ja turberaie viisi mõju taimede juurdekasvule kuue aasta jooksul (Tishler *et al.*, 2020). Istutatud taimed kasvasid kiiremini kui seemnetest looduslikult paljunenud ja külvatud taimed. Külvatud ja loodusliku külvi teel uuenenud taimede keskmine kõrgus erines oluliselt kõigi turberaiemeetodite puhul, nt aegjärkse raie puhul oli see 54% madalam kui veerraie puhul. Külvatud ja loodusliku külvi teel uuenenud taimede keskmine kõrgus jäi aegjärkse raie korral kaks korda madalamaks kui istutatud taimedel.

Turberaiete ökonoomika uurimused

Enamasti pole turberaiete uuringutes tehtud põhjalikku ökonoomilist analüüsi, sest tavaliselt on need teinud metsakasvatuse asjatundjad või puistu kasvukäigu uurijad, mitte ökonomistid. Põhjus ka ilmselt

selles, et põhjalikult on uuritud turberaiete algusaastaid, turberaiete kohta puuduvad puistu arengu ja majandamise andmete pikad aegread.

Turberaiete ökonoomilisel analüüsil (Tullus, 2014) on leitud, et peamine tasuvust alandav tegur on turberaie pikk uuenemisperiood, sest vastavalt metsaseadusele lisandub uuendusraiet lubavale minimaalsele vanusele turberaie korduste periood, kokku 20 kuni 40 aastat.

Teine tegur on turberaiel vana metsa puude poolt mõjutatud uuenduse aeglane kasv. Analüüsides näiteks Surju metsandiku luitemännikute uuenemisel vana metsa puude poolt mõjutatud uuenduse kasvukiirust ja võrreldes seda lageraiejärgse männikultuuri kasvukiirusega, selgus, et 10 aasta jooksul kaotatakse võrreldes lageraiejärgse uuendusega viie aasta kõrguse juurdekasv ja 20 aasta jooksul 10 aasta kõrguse juurdekasv.

Turberaiete kohta on ka teistes maades publitseeritud vaid üksikuid ökonoomilisi uuringuid (Hånell *et al*., 2000; Hazard-Daniel *et al*., 2017), küll aga on analüüsitud püsimetsa majandamise tasuvust ja võrreldud seda rotatsioonilise metsa majandamisega. Neist uurimustest leiame viiteid sobivatele ökonoomilise hindamise meetoditele, kriteeriumidele ja ökonoomilist tulemust mõjutavatele teguritele.

Hanewinkel (2002) analüüsis uuringuid, milles võrreldi püsimetsa ja lageraie režiimide finantstulemusi ning leidis sisulisi probleeme nii empiirilistes katsetes kui ka modelleerimisrakendustes. Viimaste põhiprobleem on majandamisalternatiivide küllaltki meelevaldne formuleerimine. Tema uuringu hüpotees oli, et püsimetsana majandatavad hariliku kuuse puistud annavad suurema positiivse rahavoo, võrreldes ühevanuselise puistuga. Uurimistöö tulemused aga näitasid, et hüpotees ei pidanud paika. Üldiselt saadi sarnaste tingimuste juures kahele alternatiivile küllaltki sarnased finantstulemused (netotulu).

Tahvoneni (2007) tehtud arvuline analüüs näitas, et nii lageraiepõhine kui püsimetsana majandamine võivad mõlemad anda lokaalselt optimaalse lahenduse ja toota võrdse ökonoomilise tulemuse. Diskonteerimismäära, puidu hinna või metsauuendamiskulude muudatused võivad suunata optimaalse lahenduse ühelt majandamisviisilt teisele. Empiirilised arvutused näitasid, et püsimetsana majandamine annab umbes 30% parema majandusliku tulemuse, võrreldes ühevanuselise puistu majandamisega. Säärane tulemus saadi teatud lihtsustamiste tulemusena, nt oletades, et kännuraha ei sõltu majandamisviisist. Teiseks ei arvestatud metsauuendamise kuludega, mis annab püsimetsana majandamisele teatud eelise. Reventlow *et al*. (2021) on arvestanud kulude erinevusega erinevate majandamisviiside vahel.

Ökonoomilisel hindamisel tuleks raieviiside kasutamist vaadelda korduvalt kulgeva protsessina, mis on peatumatu. Metsandusökonoomikas on laialt levinud maa ootusväärtuse (ingl *Land Expectation Value* e *LEV*) kasutamine, seda näitajat on võimalik kasutada ka teiste uuendusraieviiside korral.

Uurimuse eesmärk on esitada erinevate uuendusraieviiside ökonoomilise võrdluse hindamise kriteerium ja metoodika, mis võimaldaks esitada tulemusi mitte ainult lühikeselt perioodilt (raie esimene järk või uuenemistsükkel), vaid oluliselt pikemalt ning arvutuslikult selgitada, millised tegurid tulemusi enim mõjutavad. Kuna metsa majandamisel on oluline seada pikaajalisi eesmärke ja jälgida nende saavutamist, hinnatakse siinses töös vähemalt ühe raieringi pikkust perioodi, samuti metsa majandamist pidevalt jätkuva protsessina.

Materjal ja metoodika

Ökonoomilise hindamise metoodika testimiseks tehakse näidisarvutused pohla kasvukohatüübi männikute kohta, sest just selles kasvukohatüübis on Eestis näiteid õnnestunud turberaietest. Samuti on pohla kasvukohatüübi puistutes tehtud uurimis-

tööde tulemusi publitseeritud, tänu millele on võimalik koostada realistlikke stsenaariume, et neid ökonoomiliselt analüüsida.

Raiejärkude modelleerimisel lähtuti õigusaktides sätestatud reeglitest ja varasemates uurimistöödes esitatud tulemustest ja majandamissoovitustest. Häilraie puhul kasutati kolme raiejärku, neist esimesega raiutakse 25% tagavarast, teisega 50% ja kolmandaga ülejäänud kasvama jäetud ning lisandunud tagavara. Analüüsiti variante:

1. Raiejärkude intervall on minimaalne õigusaktides lubatud kuus aastat.
2. Raiejärkude intervall on kümme aastat.

Iga raiejärgu järel maapinda mineraliseeritakse.

Aegjärkse raie korral kasutati kaht raiejärku 10-aastase intervalliga, kus esimesel juhul raiutakse välja 50% tagavarast ja teise järguga ülejäänud kasvama jäetud ning lisandunud tagavara. Raiele järgneval aastal maapind mineraliseeritakse loodusliku uuendamise soodustamiseks. Kuna allesjäävad turbepuud jätkavad kasvamist, on nende lisanduva mahuga mudelis arvestatud.

Veerraie puhul raiutakse puistu kolmes järgus intervalliga 10 aastat.

Lageraie kasutamine sisaldub kahes stsenaariumis: ühel juhul lageraiejärgne raiesmik kultiveeritakse, teisel juhul jäetakse looduslikule uuenemisele. Lageraiele järgneva kultiveerimise metsamajanduslike tööde nimistu ja tegemise aeg on esitatud tabelis 1. Loodusliku uuenemise stsenaariumis arvestati maapinna ettevalmistamise, seemnepuude raie ja noorendiku hooldamisega 18. aastal pärast raiet.

Tabel 1. Lageraie ja sellega kaasnevate tegevuste mudel.

Aasta	Metsamajanduslik tegevus
1	Maapinna ettevalmistamine
2	Kultiveerimine
3	Kultuuri hooldamine
4	Kultuuri hooldamine
6	Kultuuri hooldamine
8	Seemnepuude raie
10	Noorendiku hooldamine
18	Noorendiku hooldamine

Puistu arengu modelleerimisel kasutatati Kiviste (1997) loodud Eesti riigimetsa puistute kõrguse, diameetri ja tagavara vanuseridade diferentsmudelit, mille abil saab prognoosida puistu kõrgust H, diameetrit D ja tagavara M soovitud vanusel A, lähtudes nende takseertunnuste hetkeväärtusest.

Mudel kirjeldab takseertunnuste keskmiste väärtuste sõltuvust puistu vanusest eelkõige tüüpiliste metsakoosluste jaoks noorendikuea lõpust kuni raievanuseni. Tabelis 2 on esitatud pohla kasvukohatüübi männiku diferentsmudeliga saadud näitajad nii looduslikult uuenenud kui ka kultiveeritud puistu kohta.

Tabel 2. Pohla kasvukohatüübi looduslikult uuenenud ja kultiveeritud männipuistu andmed (Kiviste, 1997).

Vanus A, a	Looduslikult uuenenud puistu			Kultuurpuistu		
	H, m	D, cm	M, tm/ha	H, m	D, cm	M, tm/ha
10	2,1	2,7	14	2,0	2,6	15
20	5,6	6,3	47	5,4	6,0	51
30	9,1	9,9	87	8,9	9,4	96
40	12,2	13,2	126	12,2	12,6	140
50	14,8	16,2	159	15,0	15,5	178
60	17,0	18,9	187	17,4	18,0	210
70	18,8	21,2	208	19,4	20,3	235
80	20,3	23,3	225	21,1	22,4	255
90	21,5	25,1	239	22,5	24,2	272
96	22,0	26,1	246	23,3	25,2	280
100	22,5	26,7	250	23,7	25,8	285
102	22,7	27,0	252	23,9	26,1	287
110	23,3	28,2	259	24,7	27,2	295
120	24,1	29,4	266	25,5	28,5	304

Raietest saadav puit jagati sortimentideks 2017. aastal Keskkonnaagentuurile koostatud mudeli (Padari, 2017) abil, kus puud jagatakse diameetriklassidesse, igale diameetriklassile arvutatakse kõrgus. Diameetrite ja kõrguste järgi arvutati igale diameetriklassile sortimentide väljatulekud. Sortimentide pikkuseks valiti palkide puhul 3,1 kuni 6,1 m (samm 0,3 m) ning paberi- ja küttepuidu puhul 3 m. Sortimentidesse jagamine toimus noti peenema otsa diameetri järgi.

Arvutustes kasutati Järvselja õppe- ja katsemetskonna puidu müügi ja metsamajanduslike tööde maksumuse andmeid aastatelt 2019–2021, mis on esitatud tabelis 3 ja 4.

Tabel 3. Männipuidu sortimentide keskmine vahelaohind Järvselja õppe- ja katsemetskonnas aastatel 2019–2021.

Sortiment	Keskmine hind, €/m³
Männi jämepalk	86,00
Männi peenpalk	65,30
Männi paberipuit	41,00
Okaspuu küttepuit	29,20
Raidmed	20,50

Tabel 4. Arvutustes kasutatud metsamajanduslike tegevuste maksumus (Allikas: Järvselja õppe- ja katsemetskond).

Tegevus	Maksumus	Ühik
Harvendusraie	15,30	€/m³
Lageraie	11,50	€/m³
Aegjärkne raie	15,20	€/m³
Metsakultuuri rajamine	867,00	€/m³
Kultuuride hooldamine	213,00	€/m³
Noorendike hooldamine	247,00	€/m³

Puistu uuendamise lühiajalise perioodi rahavoogude puhasnüüdisväärtuse arvutus tugineb standardsele valemile

$$NPV = \sum_{0}^{T} \frac{(R_r - C_t)}{(1+i)^t}, \quad (1)$$

kus

NPV rahavoogude puhasnüüdisväärtus;
R_t metsa majandamise tulu aastal t;
C_t metsa majandamise kulu aastal t;
i intressimäär;
T analüüsitava perioodi pikkus.

Puhasnüüdisväärtuse *NPV* arvutamisel arvestatakse puistu majandamise tulude ja kuludega, teisendades need diskonteerimismäära abil nüüdisväärtuseks. Vaatlusaluse perioodi erinevate aastate rahavoogude nüüdisväärtuste summa annab majandamisviisi puhasnüüdisväärtuse. Sama valemit kasutatakse ka kahe üksteisel järgneva uuendusraie rahavoogude puhasnüüdisväärtuse arvutamiseks.

Kolmanda alternatiivi, peatumatult korduvate rahavoogude arvutamise põhimõtteid väljendab valem 2.

$$NPV = \frac{R_0(1+i)^T + \sum_1^T R(1+i)^{T-X} - \sum_1^T C(1+i)^{T-X}}{(1+i)^C - 1} - \frac{A}{i}, \quad (2)$$

kus

NPV	rahavoogude puhasnüüdisväärtus;
R_0	raietulu majandamistsükli (perioodi) alguses;
i	intressimäär;
T	majandamistsükli pikkus;
R	raietulu;
X	raietulu ja metsa majandamise kulu toimumise aeg, aastate arv praegusest hetkest tegevuse toimumiseni;
A	iga-aastased majandamisega seotud kulud.

Tegemist on metsandusökonoomikas hästi tuntud maa ootusväärtuse (ingl *Land Expectation Value*) arvutamise põhimõtte rakendamisega, kus oletatakse, et majandamistsüklid korduvad metsamaal peatumatult. Valemi kasutamisel arvestatakse, et maatükil on puistu juba olemas ning määratletakse ühe tsükli rahavood, arvestatakse need raieringi lõpu väärtuseks ja see väärtus arvutatakse peatumatult korduma, saades niimoodi peatumatult korduvate suuruste nüüdisväärtus *NPV*. Sama arvutuspõhimõtet on kasutanud nt Hazard-Daniel *et al*. (2017).

Kuna töö eesmärk on erinevate raieviiside omavaheline võrdlemine, ei ole arvutustes arvesse võetud kõigi raieviiside jaoks sarnaseid tegevusi ja kulusid, harvendusraieid ja iga-aastaseid majandamise kulusid.

Tulemused

Tabelites 5, 6 ja 7 on esitatud erinevate majandamisviisidega kaasnevate rahavoogude puhasnüüdisväärtus erinevalt vaatlusperioodilt: lühikeselt (20 aastat), kahte raiet hõlmavalt perioodilt 92…135 aastat ja peatumatult korduvate raiete lõpmatult perioodilt.

Tabel 5. Erinevate uuendusraiete rahavoogude puhasnüüdisväärtus esimeselt uuendusperioodilt, € ha^{-1}.

Raieviis	Intressimäär			
	0	0,01	0,02	0,03
Häilraie, 6 a intervall	10474	9833	9253	8729
Häilraie, 10 a intervall	10658	9551	8619	7830
Aegjärkne raie	10584	10094	9651	9250
Veerraie	10766	9857	9080	8414
Lageraie + kultiveerimine	9259	9327	9387	9440
Lageraie + looduslik uuenemine	11012	11013	11009	11004

Tabel 6. Kahe järjestikuse uuendusraie rahavoogude puhasnüüdisväärtus, € ha^{-1}.

Raieviisid ja nende tegemise periood	Intressimäär			
	0	0,01	0,02	0,03
Häilraie+häilraie, 6 a intervall	21945	13725	10643	9233
Häilraie+häilraie, 10 a intervall	21315	12725	9381	7822
Aegjärkne+ aegjärkne	21415	13900	11006	9739
Veerraie+veerraie	21531	13282	10061	8577
LR+kultiveeritud puistu lageraie	21386	14182	11348	10240
LR+looduslikult uuenenud puistu lageraie	22751	15353	12630	11615

Tabel 7. Erinevate raieviiside rahavoogude puhasnüüdisväärtus peatumatult korduvate raietetsüklitena, € ha^{-1}.

Raieviis	Tsükli pikkus, a	Intressimäär 0,01	0,02	0,03
Häilraie	100	15634	10371	8576
Aegjärkne raie	100	16015	11197	9758
Veerraie	100	15640	10534	8878
Lageraie, kultiveerimisega	90	15767	11287	10151
Lageraie, loodusliku uuenemisega	100	20552	16121	15882

Arutelu ja järeldused

Uuringu tulemused näitavad, et lühiajaliselt on nii turberaie erinevate viiside kui ka lageraiega kaasnevate rahavoogude puhasnüüdisväärtus küllaltki sarnane. Raha ajaväärtust arvestamata on suurima ja väikseima puhasnüüdisväärtuse erinevus 18%. Turberaiete rahavood võivad olla lageraiega võrreldes suuremad, sest turbepuude kasv jätkub ja tagavara suureneb. Lageraielankidele tuleb jätta nii seemnekui säilikpuid, mis vähendavad raiutavat tagavara ja puidutulu.

Lühiajaliselt mõjutab tulemusi kõige enam uuendamiskulude suurus. Kui lageraiega kaasneb metsakultiveerimine ning kultuuri ja noore metsa hooldamine, siis vähendavad need tegevused oluliselt puhasnüüdisväärtust. Lageraie ja järgneva kultiveerimise stsenaariumi puhasnüüdisväärtus 9259 € ha^{-1} on teiste alternatiividega võrreldes väiksem. Samal ajal saavutab lageraie koos järgneva loodusliku uuenemisega turberaietest suurema puhasnüüdisväärtuse 11 012 € ha^{-1}, samas kui turberaiete näitaja jääb vahemikku 10 474 € ha^{-1} kuni 10 766 € ha^{-1}.

Baltimaades tehtud uuringud (Zdors & Donis, 2017; Tishler *et al*., 2020) näitavad, et turberaiealadel on piisavas mahus ja piisava kvaliteediga uuenduse saamiseks tarvis alale taimi istutada või seemneid külvata. Oma töös kavandasime ka turberaietega majandamise mudelitesse mineraliseerimise, mis vähendab uuendamiskulude vältimisest tulenevat turberaiete eelist lageraie ees.

Optimeerimismudelite empiirilisel rakendamisel on mõnikord (Tahvonen, 2007) eeldatud, et nii püsimetsa kui ka üheealise metsa majandamisel on kännuhind ühesugune. Selles töös kasutatud Järvselja õppeja katsemetskonna andmed aastatelt 2019–2021 näitavad aga, et turberaiete korral on raietööde ja kokkuveo kogumaksumus lageraietega võrreldes 28–36% suurem. Erinevate raieviiside kulude erinevust kinnitab Rootsis läbi viidud uuring (Hånell *et al*., 2000), kus selgus, et raielangil pindalaga 15 hektarit oli raietööde maksumus turberaiel 11–13% suurem kui lageraiel. Samas ei ole raietööde kulude erinevusel nii suur mõju kui metsakultiveerimisel ja sellega kaasnevatel töödel.

Finantsmajandusliku analüüsi aluseks olevast filosoofiast ja rakendatavast metoodikast tulenevalt mõjutab tulemusi rahavoogude toimumise aeg ja raha ajaväärtuse hindamiseks kasutatav intressimäär. Meie arvutused näitavad, et intressimäära kasvades muutub lageraie võrreldes turberaietega tulusamaks, seda isegi koos raiesmiku kultiveerimisega.

Kultiveeritud puistute puhul saadakse pikema aja jooksul pindalaühiku kohta rohkem puitu, Kiviste (1997) diferentsmudeli kohaselt on 90-aastase kultiveeritud pohlamänniku tagavara 272 tm/ha, looduslikult uuenenud puistul 239 tm/ha. 2021. aastal koostatud uuringu (Valgepea *et al*., 2021) kohaselt on männi enamusega küpsete kultuurpuistute tagavara 2–12% suurem, kui võrrelda looduslikult uuenenud puistutega. Puistute raieringi keskmisena on ühe hektari kultiveeritud okaspuistute tagavara looduslikult uuenenud puistute tagavarast 27 m^3 võrra suurem. Seega, kui pikas perspektiivis seatakse metsa majandamise eesmärgiks võimalikult suur puidu kogus, on eelistatud met-

sakultiveerimist sisaldavad majandamismudelid.

Nii nagu enamiku metsa majandamist puudutavate otsuste puhul, määravad turberaiete kasutamise otstarbekust erinevad tegurid: majanduslikud näitajad (diskonteeritud või diskonteerimata keskmine tulu teatud perioodilt, puidu maht, uuenemiskulud), ökoloogilised (liigiline mitmekesisus, elupaigad), esteetilised ja sotsiaalsed: nt maastikuvaade, asulate ümbruse loodus.

Uuringut tehes ilmnes tõsiasi, et Eestis puuduvad turberaietega majandatud puistute dünaamika andmed ja mudelid ning modelleeritud turberaiete arvutusi hõlbustav tarkvara. Kui mõnes teises riigis on erinevate raieviiside ökonoomilisel hindamisel kasutatud spetsiaalset tarkvara, nt Saksamaal SILVA (Pretzsch *et al*., 2002; Reventlow *et al*., 2021), Soomes MOTTI (Hynynen *et al*., 2005), siis Eestis sarnast tarkvara pole arendatud. Seepärast on siinse uuringu arvutused tehtud erinevaid programme, mudeleid ja algoritme kasutades n-ö käsitööna, mis muudab analüüsi ajamahukaks. Metsanduslike analüüside toetamiseks oleks otstarbekas arendada erinevaid mudeleid integreeriv tarkvara, n-ö metsa majandamise simulaator. Tuleks mõelda puistute reaalset kasvu arvestava simulatsioonikeskkonna arendamisele, mis aitab kaasa mitmese metsakasutuse kavandamisele.

Pommerening & Murphy (2004) kirjutasid, et püsimetsa majandamise soovitused erinevad nii metsavööndite kui ka riikide vahel. Põhja-Euroopa boreaalsetes ja hemi-boreaalsetes metsades on turberaie meetodeid rakendatud tavaliselt männi enamusega puistutes. Eesti metsamajanduse senine kogemus kinnitab seda, põhjus nii männipuistute loodusliku uuenemise võimes kui turbepuude elujõulisuses ja vastupanuvõimes erinevate häiringute suhtes, mis avaldub ka rahalistes näitajates.

Seega tuleb ka Eestis valida meie looduslikele tingimustele vastav sobivaim majandamisrežiim, mis algab metsa juhtfunktsiooni määratlemisest, olgu selleks siis tulus metsa majandamine, loodushoid, asulate ümbruse rohevöönd või mõni muu eesmärk.

Selles töös on arvestatud positiivsete stsenaariumidega, õigusaktides lubatud järkude vaheliste minimaalsete intervallidega ja sisuliselt riskivaba puistu arenguga. Tulevaste arvutuste aluseks olevate stsenaariumide puhul oleks tarvis arvestada ka erinevate raieviisidega kaasnevate riskide, nt tormikahjustuste, üraskirüüste jms tegurite rahalise mõjuga.

Turberaiete empiiriliseks ökonoomiliseks analüüsimiseks on oluline jätkata olemasolevate katsealade puistute arengu detailset kirjeldamist, et saada pikaajalise majandamise ökonoomiliseks analüüsiks vajalike andmete aegridasid.

Tänusõnad. Artikkel valmis Keskkonnainvesteeringute Keskuse 2020. a metsanduse programmi projekti nr 17709 „Turbe- ja valikraiete ökonoomilise hindamise metoodika väljatöötamine ja testimine“ rahalise toetuse abil. Täname kolleeg Allar Padarit abi eest sortimentatsiooni arvutamisel.

Kasutatud kirjandus

Etverk, I. 2007. A Short Forestry Course. (Väike metsanduskursus). Tartu, Eesti Loodusfoto. 55 pp. (In Estonian).

Hånell, B., Nordfjell, T., Eliasson, L. 2000. Productivity and costs in shelterwood harvesting. – Scandinavian Journal of Forest Research, 15(5), 561–569. https://doi.org/10.1080/028275800750173537.

Hanewinkel, M. 2002. Comparative economic investigations of even-aged and uneven-aged silvicultural systems: a critical analysis of different methods. – Forestry, 75(4), 473–481.

Hazard-Daniel, S.W., Hiesl, P., Loeb, S.C., Straka, T.J. 2017. An incremental economic analysis of establishing early successional habitat for biodiversity. – Resources, 6(4), 53. https://doi.org/10.3390/resources6040053.

Hynynen, J., Ahtikoski, A., Siitonen, J., Sievänen, R., Liski, J. 2005. Applying the MOTTI simulator to analyse the effects of alternative management schedules on timber and non-timber production. – Forest Ecology and Management, 207(1–2), 5–18. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.10.015.

Keskkonnaagentuur. 2021. Yearbook Forest 2019. (Aastaraamat Mets 2019). Estonian Environment Agency. [WWW document]. – URL https://keskkonnaagentuur.ee/media/882/download. [Accessed 4 April 2022].

Keskkonnaministeerium. 2019. Identification of the issues in the field of ecology for the initiation of the Forestry Development Plan 2030. (MAK 2030 algatamise ökoloogia valdkonna alamtöörühma probleemide kaardistus). Tallinn, Keskonnaministerium. 68 pp. (In Estonian).

Keskkonnaministeerium. 2021. Estonian forestry development programme until 2030. Draft 08.12.2021. (Eesti metsanduse arengukava aastani 2030. Kavand seisuga 08.12.2021). [WWW document]. – URL https://envir.ee/media/4935/download. [Accessed 28 March 2022]. (In Estonian).

Kiviste, A. 1997. Difference equations of stand height, diameeter and volume depending on stand age and site factors for Estonian state forests (on the basis of 1984–1993 forest inventory data). (Eesti riigimetsa puistute kõrguse, diameetri ja tagavara vanuseridade diferentsmudel 1984–1993. aasta metsakorralduse takseerikirjelduste andmeil). – EPMÜ teadustööde kogumik / Transactions of the Estonian Agricultural University, 189, 63–75. (In Estonian).

Kõresaar, P. 2000. The dune pine forest natural regeneration in Surju Forest. (Luitemännikute looduslikust uuenemisest Surju metskonnas). – Kursusetöö. Tartu, Eesti Põllumajandusülikooli metsandusteaduskond. 59 pp. (In Estonian).

Laas, E., Väät, T. 2004. Shelterwood system in Scots pine stands and pine regeneration under shelterwood. (Turberaied männikutes ja männiuuenduse tekkimine turberaiealadel). – Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused, 41, 86–100. (In Estonian with English summary).

Metsa majandamise eeskiri. 2021. Rules of Forest Management. – Riigi Teataja I, 06.04.2021, 8. (In Estonian).

Metsaseadus. 1998. Forest Act. – Riigi Teataja I, 113, 1872. (In Estonian).

Metsaseadus. 2006. Forest Act. – Riigi Teataja I, 30, 232. (In Estonian).

Metsaseadus. 2020. Forest Act. – Riigi Teataja I, 10.07.2020, 75. (In Estonian).

Örd, A. 1977. Scots pine regeneration with shelterwood cuttings. (Männi uuendamine aegjärksete raietega). – Etverk, I. (ed.). Metsamajandus. Tallinn, Valgus, 15–22. (In Estonian).

Örd, A. 2000. Protection Forests and their Management in Estonia. (Kaitsemetsad ja nende majandamine Eestis). Tallinn, Keskkonnaministeerium. 234 pp. (In Estonian).

Padari, A. 2017. Creating an updated assortment model. (Uuendatud sortimenteerimise mudeli koostamine). Tartu, Estonian University of Life Sciences. 26 pp. (In Estonian).

Pommerening, A., Murphy, S.T. 2004. A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. – Forestry, 77(1), 27–44. https://doi.org/10.1093/forestry/77.1.27.

Pretzsch, H., Biber, P., Ďurský, J. 2002. The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. – Forest Ecology and Management, 162(1), 3–21. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00047-6.

Reventlow, D.O.J., Nord-Larsen, T., Biber, P., Hilmers, T., Pretzsch, H. 2021. Simulating conversion of even-aged Norway spruce into uneven-aged mixed forest: effects of different scenarios on production, economy and heterogeneity. – European Journal of Forest Research, 140, 1005–1027. https://doi.org/10.1007/s10342-021-01381-0.

Rist, E. 2017. Shelterwood regeneration methods in Uulu-Rannametsa pine forests. (Turberaied Uulu-Rannametsa luitemännikutes). – Master thesis. Tartu, Estonian University of Life Sciences. 60 pp. (In Estonian with English summary).

Rosenvald, R., Rosenvald, K., Kaart, T., Soolmann, E. 2020. Effects of stand parameters on conifer regeneration success in pine shelterwood stands in Estonia. – European Journal of Forest Research, 139, 29–40. https://doi.org/10.1007/s10342-019-01255-6.

Soolmann, E. 2014. Factors affecting the natural regeneration under uniform shelterwood cuttings system. (Aegjärksel raiel loodusliku uuenduse teket mõjutavad tegurid). – Master thesis. Tartu, Estonian University of Life Sciences. 61 pp. (In Estonian with English summary).

Strand, M., Löfvenius, 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 Managment, 224(3), 258–265.

Tahvonen, O. 2007. Optimal choice between even- and uneven-aged forest management systems. – Natural Resource Modelling, 22(2), 289–321.

Tishler, M. 2020. The forest may not regenerate enough well after shelterwood cutting. (Turberaiel ei pruugi mets uueneda piisavalt hästi). – Eesti Mets, 1, 30–33. (In Estonian).

Tishler, M., Tullus, T., Tullus, A., Jäärats, A., Lutter, R., Lundmark, T., Tullus, H. 2020. Effects of shelterwood method and plant stock type on the early growth and survival of pine seedlings in regeneration stands under hemiboreal conditions. – Scandinavian Journal of Forest Research, 35(1–2), 85–95. https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1707273.

Tullus, H. 2014. Ecological-economical analysis of shelterwood regeneration method and establishment of the network of demonstration-experimental areas. (Turberaiete ökoloogilis-majanduslik analüüs ja näidiskatsealade võrgustiku rajamine). – RMK Research Project Report. 11 pp. [WWW document]. – URL http://files.voog.com/0000/0004/9218/files/Rakendusuuringu_lopparuanne_turberaie.pdf. [Accessed 11 March 2022]. (In Estonian).

Valgepea, M., Raudsaar, M., Karu, H., Suursild, E., Pärt, E., Sims, A., Kauer, K., Astover, A., Maasik, M., Vaasa, A., Kaimre, P. 2021. Analysis of the carbon sequestration capacity of land use, land-use change and forestry sector up to 2050. (Maakasutuse, maakasutuse muutuse ja metsanduse sektori sidumisvõimekuse analüüs kuni aastani 2050). Tartu, Keskkonnaagentuur, Eesti Maaülikool. 164 pp. https://doi.org/10.15159/eds.rep.21.01. (In Estonian).

Valkonen, S., Ruuska, J., Siipilehto, J. 2002. Effect of retained trees on the development of young Scots pine stands in Southern Finland. – Forest Ecology and Managment, 166(1–3), 227–243. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00668-5.

Zdors, L., Donis, J. 2017. Evaluating the edge effect on the initial survival and growth of Scots pine and Norway spruce after planting in different size gaps in shelterwood. – Baltic Forestry, 23(2), 534–543.

Shelterwood systems and their economic assessment on the example of pine stand in *Rhodococcum* forest site type

Paavo Kaimre and Vivika Kängsepp

Summary

In recent years, clear-cutting forest management has been quite actively criticized in Estonia. Alternative methods, such as shelterwood systems, selective harvesting and continuous cover forestry are recommended for forest management. Support for continuous cover forestry is likely to stem from the opinion that such management helps to prevent or at least mitigate the negative effects of clear-cutting.

In Estonia, the share of shelterwood harvesting in this century has been on average 15% of the area of regeneration fellings. However, the volume of harvested timber is less than 5% of the total volume felled by regeneration cutting.

The aim of our study was to find a suitable criterion and methodology for the economic comparison of different regeneration felling methods, which allows to make an economic assessment not only about the first stage of harvesting and regeneration cycle, but also for the traditional rotation period and for perpetual forest management.

As shelterwood is a type of regeneration felling, its performance is determined by the success of natural regeneration. Over the decades, several studies have been conducted on shelterwood systems in Estonia, focusing primarily on regeneration and on the factors influencing it. Economic analysis has mostly not been given attention. This is probably due to the fact that although the early years of shelterwood have been thoroughly studied, data on the further development and management of the new stand is missing.

Based on the Estonian forest management rules and the results of previous silvicultural studies, the management models were elaborated for different types of management of *Rhodococcum* site type pine (*Pinus sylvestris* L.) stand. The difference model was used in the prediction of stand development, the actual prices of wood assortments and the actual cost of management activities were used in calculations.

In the short-term economic evaluation we used the standard calculation principle of the net present value of cash flows, using a 0–3% interest to estimate the time value. In the economic assessment of forest management, activities should be seen as a perpetual process. Land Expectation Value (LEV) has been widely used in forest economics to assess rotational forestry, but this criterion and methodology can also be used for other regeneration methods.

The calculations indicated that in the short term, the net present value of the different types of shelterwood harvesting and clear-cutting are quite similar. Excluding the time value of money, the difference between the highest and lowest net present value is 18%. Cash flows from shelterwood harvesting may be higher than from clear-cutting, as retained trees continue to grow and their stem volume increases. Both seed and retention trees must be left on clear-cutting sites, which reduces the harvesting volume and timber income.

In the short term, the economic results are most affected by the level of reforestation costs. If clear-cutting is followed by cultivation and the tending of a plantation and young forest, these activities significantly reduce the net present value. The net present value of clear-cutting and the subsequent cultivation scenario of €9,259 ha^{-1} is lower compared to other alternatives. At the same time, clear-cutting to-

gether with the subsequent natural regeneration achieved a higher net present value of €11,012 ha^{-1}, while the NPVs of shelterwood systems were €10,474 ha^{-1} to €10,766 ha^{-1}.

The study revealed the fact that in Estonia we do not have data and models on the dynamics of stands managed by shelterwood system, as well as software that enables the respective economic calculations. While in other countries special software are used for the economic evaluation of different management methods, e.g., SILVA in Germany and MOTTI in Finland, in Estonia such software is lacking. Therefore, the calculations in this study have been performed manually using a variety of programs, models, and algorithms, which makes the analysis time consuming. To support forestry analyses, it would be expedient to develop software for Estonian conditions, a so-called forest management simulator that would integrate different models.

In this work, positive scenarios – the minimum intervals between the stages allowed in the legislation and the development of a substantially risk-free stand have been considered. The scenarios underlying future calculations would also need to take into account the risks associated with different management practices, such as the financial impact of storm damage, damage caused by bark beetles, etc.

Recommendations for continuous cover forest management vary between forest zones and countries. The most suitable management regime to our natural conditions must be chosen in Estonia as well, starting with the determination of the forest management lead function, be it profitable forest management, nature conservation, recreation or some other function. It is important to continue to describe in detail the development of the stands in the existing experimental areas in order to generate the time series necessary for the economic analysis of long-term forest management.

Received May 27, 2022, revised October 30, 2022, accepted October 30, 2022