Research paper

Harvendusraiate tasuvuse analüüs ja pikaajalise mõju simulatsioonid Järvselja õppe- ja katsemetskonnas

Paavo Kaimre^{1*}, Priit Vellak² ja Meelis Teder¹

Kaimre, P., Vellak, P., Teder, M. 2020. Economic analysis and simulation of the impact of thinning on wood production in Järvselja Training and Experimental Forest Centre. – Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused 72, 54–63, ISSN 1406-9954. Journal homepage: <http://mi.emu.ee/forestry.studies>

Abstract. The results of the analysis of profitability and impact of thinning on wood production in Järvselja Training and Experimental Forest Centre are presented in the article. The profitability was assessed on the basis of harvesting income and costs of logging operations in 2015–2017. The impact of thinning on the wood production was assessed using the MOTTI simulation program. Three different scenarios for the management of the stand were compared: 1) stand management in accordance with the Finnish forest management recommendations (Tapio recommendations), 2) management according to the Estonian Forest Management Regulations and 3) stand development without thinning. The results revealed that 61 thinnings out of the 70 were profitable. The average net income from thinning was 344 euros per hectare. Fuel wood accounted for 45% and pulpwood for 30% of the harvested timber. Net present value was applied as a criterion to assess the profitability of long-term management scenarios. Considering Tapio's recommendations, the total net present value was 33% higher and following Estonian forest management rules, it was 23% higher compared to the simulations without thinning. The results indicated that thinning is economically viable in the long run. In simulations without thinning, timber production is the highest, but the net present value of management is lower compared to simulations with thinning.

Key words: thinning, profitability, net present value, MOTTI, scenario.

Authors' addresses: ¹Chair of Forest Management Planning and Wood Processing Technologies, Institute of Forestry and Rural Engineering, Estonian University of Life Sciences, Kreutzwaldi 5, 51006 Tartu, Estonia; ²Milrem Robotics OÜ, Raatuse 20, 51009 Tartu, Estonia; *e-mail: paavo.kaimre@emu.ee

Sissejuhatus

Harvendusraiate tegemise eesmärk on suurendada puistu tootlikkust, parandada kasvama jäävate puude kvaliteeti ning ennetada puude looduslikku suremust, kasutades looduslikult väljalangevad puud ära puiduna. Kuigi harvendusraiate mõju puistu edasisele arengule on küllaltki palju

uuritud, ei ole uuringud andnud alati samasuunalisi tulemusi, mistõttu on autorid esitanud ka erinevaid järeldusi. Harvendusraiate tegemine on uuendusraietega võrreldes keerulisem ja ajamahukam ning raiutav puit enamasti odavam. Eestis on praeguse sajandi algusaastatel olnud harvendus- ja uuendusraiate pindala suhe ligikaudu 1:1,3 ehk uuendusraiate pind-

DOI: 10.2478/fsmu-2020-0005

© 2020 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/>).

ala on 30% suurem. Metsamajanduslikust seisukohast võiks olla olukord vastupidine ja harvendusraiate pindala uuendusraiate pindalast märkimisväärselt suurem. Harvendusraiate soovituslikust väiksema mahu üks põhjus võib olla rahas, st harvendusraietest saadav tulu on uuendusraietega võrreldes väike.

Pikas perspektiivis aga võiks harvendusraiate tulemusena suurenedu uuendusraietel varutavate jämesortimentide osakaal ja paraneda puidu kvaliteet, mis tõstab uuendusraietelt saadava puidu hinda. Suurema tüvemahuga puude ülestöötamise kulud on madalamad, sest raie tööde efektiivsus on suurem. Nimetatud ökonoomilised tegurid toetavad harvendusraiate tegemist. Üldiselt ollakse seisukohal, et harvendusraietega on võimalik tõsta metsa pikaajalise majandamise tasuvust (Niemistö *et al.*, 2018). Samas on avaldatud uurimusi, mille kohaselt harvendusraie tähendab kulusid (Soucy, 2010).

Harvendusraiate lühi- ja pikaajalise tasuvuse analüüsimiseks on tehtud pikaajalisi katseid, uuritud harvendusraiate mõju üksikpuu tasandil ning loodud erinevaid mudeleid, et ennustada metsakasvatustlike võtete mõju puistu arengule (Mäkinen & Isomäki, 2004; Renshaw *et al.*, 2009; Teder & Kaimre, 2015). Katsete ja uuringute abil üritatakse selgitada ning tõestada metsakasvatustlike võtete kasutamise vajalikkust ja majanduslikku potentsiaali. Puidu müügitulu ning ülestöötamise kulusid teades on üksikute harvendusraiate tegemise tasuvust lihtne hinnata. Pikaajalise ökoloogilise ja majandusliku mõju hindamine on märkimisväärselt keerukam, sest arvestada tuleb paljude ajas muutuvate teguritega (Boström, 1982). Ajas muutuvateks ökonoomilisteks teguriteks võib pidada näiteks raha väärtuse, puidu hinna ja ülestöötamise kulude muutusi.

Eestis tehtud harvendusraiate uurin-gutes on ennekõike keskendunud sellele, kuidas erineva väljaraie aste (raiekraadi) mõjub puistute tootlikkusele (Muiste, 1963; Muiste, 1982). On üldtunnustatud

seisukoht, et peale hooldusraiet allesjäävate puude juurdekasv suureneb tänu paranenud valgus- ja toitumistingimustele (Tullus, 1988). Ollakse aga lahkavamusel, kas allesjäänud puude juurdekasvu suure-nemine kompenseerib ja ületab väljaraiu-tud puude juurdekasvu. Eesti Põllumajan-duse Akadeemia metsakasvatuse kateedris tehtud uuringu (Muiste, 1982) kohaselt II ja III boniteedi männikutes tehtud nõrk ja mõõdukas raiekraad ei avalda puistu tootlikkusele olulist positiivset mõju. Tu-gevama raiekraadiga (>20% tagavarast) raied võivad aga suurendada puude rin-nasdiameetri juurdekasvu kuni 1,5 korda raie-eelsega võrreldes.

Soomes tehtud uuringus (Mäkinen & Isomäki, 2004) analüüsiti hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) kasvu ja tootlikkust erinevate raiekraadidega tehtud harvendus-raiate korral. Uurimistöö tugines pikaajali-sele katsele, mis korraldati Lõuna-Soomes mineraalmuldadel kasvavates puistutes. Uuringus jõuti järeldusele, et harvendus-raiate tulemusena vähenes puistus puude looduslik suremus ning puude diameetri juurdekasv suurenes, kui suurendati raie-kraadi.

Niemistö *et al.* (2018) uurimuses ana-lüüsiti keskmise viljakusega kasvukoha männipuistus erinevas vanuses tehtud harvendusraiate tulu ja tulusust ning tõ-de ti, et esimese harvendusraie tulu 30aas-tases puistus jäi vahemikku 400–440 eurot ha kohta, hilisem harvendusraie 40aasta-ses puistus aga andis ligikaudu neli korda suurema tulu.

Muiste (1988) artikli „Hooldusraie kat-setööd Järvselja metsades“ kohaselt on Järvselja õppe- ja katsemetskonnas hool-dusraialast katsetööd tehtud metskonna rajamisest alates. Uuritud on erinevate hooldusraiemetodite ja harvendamistu-gevuse mõju hariliku männi, hariliku kuu-se (*Picea abies* Mill.) ja arukase (*Betula pendula* Roth.) puistute juurdekasvule ja kvaliteedile. Kuna enamikul katsealadel on hooldusraieid ja mõõtmisi tehtud pik-ka aega, on võimalik teha järeldusi hool-

dusraievõtete mõju kohta nii puistu tootlikkusele, sanitaarsele seisundile kui ka paljudele takseernäitajatele. Samas aga ei ole Eestis avaldatud uurimistulemusi selle kohta, kuidas mõjutavad harvendusraied puistu majandamise tulusust.

Siinse uuringu eesmärk oli analüüsida harvendusraiete tasuvust Järvelja õppe- ja katsemetskonna 2015.–2017. aasta andmetel ning selgitada simulatsioonide abil harvendusraiete mõju puistute pikaajalise majandamise tulemustele. Eesmärk oli koostada ülevaade harvendusraietel varutava puidu sortimentatsioonist ning võrrelda erinevate majandamisviiside mõju puistu pikaajalisel majandamisel kujunevale sortimentide proportsioonile.

Materjal ja meetodika

Uuring koostati Järvelja õppe- ja katsemetskonna puistute põhjal, kus aastatel 2015–2017 tehti harvendusraie. Lühiajalise tasuvuse hindamiseks vajalikud andmed (eraldise nr, tööde maksumus, raiutud puit sortimentide kaupa) saadi tööde vastuvõtmise aktidest. Puistu takseerandmed saadi Järvelja õppe- ja katsemetskonna metsamajanduse infosüsteemi andmebaasist (Järvelja infosüsteem, 2020), mis on internetis leitav aadressil <https://jarvelja.emu.ee/>.

Lühiajaline tasuvus arvutati eraldiste kaupa sortimentide müügitulu ja metsavarumistööde kulude põhjal, arvutades puhastulu hektari kohta (€/ha). Valim koosnes 70 eraldisest kogupindalaga 120,4 ha. Kasutati ainult neid eraldisi, mille tööde vastuvõtmise aktidel oli olemas nii raietööde kui ka kokkuveo maksumus või kompleksteenuse (raie + kokkuvedu) maksumus. Puidutulu arvutamisel kasutati Järvelja õppe- ja katsemetskonnas aastatel 2015–2017 müüdud sortimentide keskmisi hindu (Tabel 1).

Tabel 1. Sortimentide keskmine hind (€/m³) vahelaos.

Sortiment	Hind, €/m ³
Männipalk	68,30
Männipeenpalk	39,50
Kuusepalk	62,30
Kuuselatt	26,00
Kuusepeenpalk	38,50
Kasepalk	35,00
Haavapalk	37,00
Männipaberipuit	20,10
Kuusepaberipuit	20,10
Kasepaberipuit	23,00
Haavapaberipuit	22,20
Okaspuu küttepuit	16,90
Küttepuit	16,50

Harvendusraiete pikaajalise tasuvuse hindamiseks kasutati MOTTI (2019) simulatsiooniprogrammi. MOTTI on puistu tasemel metsa kasvu simuleerimise programm, mille on välja töötanud kunagise Soome metsauurimisinstituudi METLA spetsialistid Jari Hynyneni juhtimisel, praeguse (alates 01.01.2015) nimega LUKE (soome k *Luonnonvarakeskus*).

Programmiga modelleeriti eraldise takseerandmete põhjal puistu kasvu kolme erineva stsenaariumi kohaselt ning saadud tulemuste alusel hinnati harvendusraiete pikaajalist tasuvust, arvutades iga stsenaariumi puhasnüüdisväärtuse. Puhasnüüdisväärtuse NPV (1) arvutamisel arvestatakse puistu majandamise tulude ja kuludega, teisendades need diskonteerimismäära abil nüüdisväärtuseks ning leides nende vahe.

$$NPV = \sum_0^n \frac{(B_n - C_n)}{(1 + i)^n} \quad (1)$$

kus B_n on tulud aastal n , C_n on kulud aastal n , i on intressimäär.

Simulatsioonides kasutati 3% intressimäära. Uuringus arvestati harvendusraiate otseste tulude ja kuludega, kaudsete kuludega (nt metskonna üldkulu, maamaks jms) ei arvestatud. Seetõttu saab saadud tulemuste abil võrrelda erinevate stsenaariumite edukust, aga mitte anda hinnangut puistu majandamise absoluutsele tulususele. Simulatsiooniprogramm MOTTI modelleerib üksikpuu kasvu ja sellega on võimalik hinnata ka metsakasvatustlike võtete mõju puistu majandamisele. Seepärast kasutatakse Soomes seda tarkvara sagedasti metsamajanduslike otsuste langetamisel (Hynynen *et al.*, 2005). Programmis kasutatavatest sisenditest tulenevalt on MOTTI tarkvara kasutamine usaldusväärne vaid Soomes või sarnaste looduslike tingimustega aladel. Mõningate kohandamistega on MOTTI programmi ka varem Eestis kasutatud (Korjus *et al.*, 2011; Teder & Kaimre, 2015).

Olulisemad puistu kasvu mõjutavad geograafilise asukoha spetsiifilised indeksid on aktiivsete õhutemperatuuride summa, mere indeks ja järve indeks. Järvelja tingimuste jaoks programmi sobivate seadete valimiseks konsulteeriti MOTTI programmi arendajatega. Arvestades Järveljal valitsevaid olusid, kasutati uurimuse läbiviimisel MOTTI simulatsiooniprogrammis Järvelja asemel Soome Karjalohja piirkonnas (nn mere indeks 0,0; järve indeks 18,5 ja temperatuuride summa 1333). Eesti ja Soome kasvukohatüübid erinevad üksteisest. Uurimuses kasutati peamiste Eesti metsakasvukohatüüpide teisendamiseks andmeid teadusartiklist „*Evaluation of the basal area growth models in the Finnish stand simulator MOTTI with data from the Estonian network of permanent forest growth plots*” (Lilleleht *et al.*, 2011), kus Eesti peamisi kasvukohatüüpe on võrreldud MOTTI programmis kasutatud viljakusklassidega (nt naadi kasvukohatüüp on 1. viljakusklass).

Simulatsioonides kasutati hariliku kuuse, arukase ja hariliku männi peapuuliigiga eraldisi, mille kohta tehti kolm erinevat simulatsiooni. Kuna MOTTI programmi vaikeseeded võimaldavad sortimentatsiooni ja materjali hindu muuta vaid kolmel eelmainitud puuliigil, siis jäid 19 eraldise andmed simulatsioonides kasutamata. Simulatsiooni jaoks sisestati puistu harvendusraie-eelsed puistuelemendi inventeerimisandmed: puuliik, rinne, tekkeviis, vanus, kõrgus, diameeter ja rinnaspindala. Näitajaid ei modifitseeritud Soome arvutusreeglite kohaselt. Olemasolevat puistu kahjustusastet ja harvendusraiate võimalikku mõju selle muutusele ning uute kahjustuste tekkimisele simulatsioonides ei arvestata. Simulatsiooni tulemusena saadakse puistu majandamise tulude ja kulude puhasnüüdisväärtus eurodes.

Simulatsioonis 1 (nn Tapio variant) on kasutatud Soome metsamajandusorganisatsiooni Tapio soovitusi, modelleerides puistu majandamist inventeerimise hetkest (st olemasolevaid takseerandmeid kasutades) kuni uuendusraieni. See on automaatne simulatsioon, mille käigus MOTTI programm kavandas nii erinevad harvendusraied kui ka lageraie. Simulatsioonis 2 (harvendusraietega variant) toimus puistu majandamine kuni lageraieni (kaasa arvatud), lähtudes kehtivast metsaseadusest ja metsa majandamise eeskirjast. Simulatsioonis 3 harvendusraieid ei kavandatud, puistu kasvu modelleeriti olemasolevast seisundist kuni lageraieni, mis toimus samal ajal kui simulatsioonis 2.

Esimeses simulatsioonis ühtegi muutust peale puistu inventeerimisandmete ja sortimenteermisparameetrite (Tabel 2) ei sisestatud. Programm tegi simulatsiooni ise. Peenpalkide minimaalseks pikkuseks määrati 3,5 meetrit ja paberipuidul 3,0 meetrit.

Tabel 2. Simulatsioonis kasutatud sortimentide parameetrid.

Puuliik	Palkide minimaalne läbimõõt, cm	Peenpalkide minimaalne läbimõõt, cm	Paberipuidu minimaalne läbimõõt, cm
Harilik mänd	18	12	6
Harilik kuusk	18	12	7
Arukask	16	16	6

Tabel 3. Sortimentide kännuraha (€/m³) harvendus- ja lageraietel.

Sortiment	Lageraie, €/m ³	Harvendusraie, €/m ³
Männipalk	61,96	57,45
Männipeenpalk	45,23	40,72
Kuusepalk	59,90	55,39
Kuusepeenpalk	45,32	40,81
Kasepakk	100,57	96,06
Kasepalk	49,32	44,81
Haavapalk	23,11	18,60
Männipaberipuit	14,58	10,07
Kuusepaberipuit	14,23	9,72
Kasepaberipuit	13,96	9,45
Haavapaberipuit	6,57	2,06
Küttepuit	8,33	3,82

Teises simulatsioonis tehti harvendusraie metskonnas tegelikult raiutud puistu vanuses. Vajadusel tehti ka teine harvendusraie, mille juures lähtuti puistu vanusest ja jälgiti programmi arvutatavat suremus-

joont. Kõik raied modelleeriti alameetodil metsa majandamise eeskirja alusel. Harvendusraiete modelleerimiseks sisestati programmi harvendusraiejärgne minimaalne lubatud rinnaspindala.

Teises ja kolmandas simulatsioonis kasutati lageraie vanustena metsa majandamise eeskirjas (2006) kehtestatud raiet lubavaid vanuseid, mida rakendati eraldise takseerikirjelduses märgitud enamuspuuliigi järgi.

Tasuvusarvutuste tegemisel kasutati 2017. aasta puiduhindade ja ülestöötamise kulude (Sirgmetts & Kaimre, 2018) abil arvutatud sortimentide kännuraha (Tabel 3). Kuludena arvestati metsavaramise kompleksteenuse maksumust, mis lageraiel oli 12,37 €/m³ ja harvendusraietel 16,88 €/m³.

Tulemused

Analüüsitud harvendusraiete keskmine puhastulu hektari kohta oli 344 €/ha (Tabel 4). Enamik (kuuskümmend üks seitsmekümnest ehk 87%) raietest andis puhastulu. Keskmine väljaraie oli 41,2 tm/ha.

Tabel 4. Analüüsitud harvendusraiete koondandmed.

Aasta	Valimi maht	Pindala, ha	Raiemaht, tm	Keskmine väljaraie, tm/ha	Puhastulu, €	Keskmine puhastulu, €/ha
2015	22	26,3	1140	43,3	11 098	422
2016	24	48,4	1755	36,3	13 167	272
2017	24	45,7	2120	46,4	17 144	375
2015–2017	70	120,4	4966	41,2	41 409	344

Kõige kahjumlikum raielank andis 299 €/ha kahjumi, suurima puhastuluga harvendusraielt saadi 2206 €/ha.

Joonis 1. Harvendusraietelt saadud puidu jaotus sortimentideks.

Raiete tasuvus sõltub saadud sortimentidest, mis omakorda sõltub puistu vanusest ja tervislikust seisukorrast. Alameetodil tehtud harvendusraiate käigus raiutakse kasvus alla jäänud puude tüvesid või haigestunud puid. Kuna Järvelja õppe- ja katsemetskonnas tehti harvendusraied alameetodil, siis saadi peamiselt küttepuitu (45% kogu puidu mahust). Rohkem kui kolmandiku puidust moodustasid paberipuit ja latid (Joonis 1).

Simulatsioonitulemuste kõrvutamine näitab, et puistute tootlikkus (puidu kogus) oli raieteta simulatsioonides suurem, kuid harvendusraietega simulatsioonides saadi kõrgema hinnaga sortimente rohkem, mis andis suurema puhasnüüdisväärtuse, võrreldes harvendusraieteta simulatsioonidega (Tabel 5).

Tabel 5. Erinevate stsenaariumide korral tekkivate sortimentide kogus (tm) ja nende keskmine osakaal (%) puidu koguses.

Sortiment	Stsenaarium					
	Tapio		Harvendusraietega		Harvendusraieteta	
	tm	%	tm	%	tm	%
Palk	11 163,6	47,52	18 621,8	57,75	16 338,9	50,51
Peenpalk	1 926,7	8,20	2 194,3	6,80	2 030,4	6,28
Paberipuit	9 169,0	39,03	10 049,7	31,17	6 543,7	20,23
Jäätmepuit	689,4	2,93	682,7	2,12	233,1	0,72
Surnud puit	544,6	2,32	697,6	2,16	7 200,9	22,26
Kokku	23 493,3	100,00	32 246,1	100,00	32 347,0	100,00

Tabelis olevad arvud kirjeldavad väga hästi harvendusraiate majanduslikku otsustavust, s.o erineva hinnaga sortimentide osakaalu muutust ja puidu kasutamist enne, kui puude suremise tõttu toimub nn looduslik väljalangemine ja puidu kõdunemine. Tapio ja harvendusraietega simulatsioonides oli surnud puidu osa vastavalt 2,3% ja 2,2%, harvendusraieteta simulatsioonides tekkis surnud puitu 22,3%.

Pikaajalise tasuvuse hindamiseks oli valimi põhjal võimalik arvutada 51 puistu simulatsioonide puhasnüüdisväärtus (Ta-

bel 6). Arvutusi ei tehtud sanglepa (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) ja hariliku haava (*Populus tremula* L.) puistute kohta, sest MOT-TI programmis ei ole nende puuliikide jaoks mudeleid.

Kõigi kolme aasta simulatsioonide summeeritud puhasnüüdisväärtus on Tapio variandil 33% ja harvendusraietega simulatsioonil 23% suurem kui harvendusraieteta stsenaariumil. Kuna nn Tapio simulatsiooni korral on puistu majandamine kõige intensiivsem (kõige rohkem harvendusraied) ja harvendusraieteta si-

Tabel 6. Simulatsioonide tulemused (puhasnüüdisväärtus, €) eraldiste ja aastate kaupa.

2015				2016				2017			
Eraldis	Tapio	HR-ga *	HR-ta	Eraldis	Tapio	HR-ga	HR-ta	Eraldis	Tapio	HR-ga	HR-ta
JS 058-7	3 971	4 079	3 108	JS 082-2	10 045	8 889	7 691	JS 050-14	12 315	12 028	10 229
JS 058-10	10 386	9 927	8 794	JS 085-4	4 105	3 664	2 000	JS 050-8	6 653	5 584	4 877
JS 072-1	5 886	5 453	4 584	JS 085-5	4 357	3 962	2 046	JS 059-4	11 283	10 867	8 889
JS 072-4	4 459	4 625	3 106	JS 106-14	7 951	6 918	5 509	JS 059-5	10 929	10 756	9 098
JS 076-9	10 207	9 270	7 804	JS 106-15	9 580	9 767	8 335	JS 083-22	7 823	6 851	6 596
JS 082-2	11 561	8 919	6 999	JS 119-3	5 997	5 344	4 161	JS 108-9	9 671	8 176	6 888
JS 083-4	12 893	10 139	6 895	JS 119-4	5 075	4 664	3 679	JS 117-13	7 808	6 843	5 326
JS 083-4	12 540	10 808	6 376	JS 133-14	8 514	7 943	7 528	JS 117-17	10 943	10 742	8 679
JS 085-4	4 105	3 664	2 040	JS 137-11	5 180	4 599	3 925	JS 161-4	13 949	13 789	12 064
JS 085-5	4 357	3 943	2 046	JS 138-3	10 167	8 747	7 234	JS 162-4	14 027	13 447	11 795
JS 118-7	6 582	6 491	5 572	JS 146-3	5 043	5 014	3 605	JS 174-6	4 212	4 642	3 652
JS 118-9	8 478	7 514	5 742	JS 147-4	5 879	5 770	4 247	JS 213-10	11 889	11 544	9 549
JS 133-14	8 566	8 205	8 079	JS 167-2	6 614	6 891	6 241	JS 215-2	6 691	6 114	5 157
JS 133-4	5 879	5 281	4 714	JS 169-7	7 284	7 006	6 470	JS 296-4	8 056	8 041	5 856
JS 141-11	3 894	3 165	2 163	JS 175-5	4 106	3 711	1 892				
JS 141-2	6 076	6 114	4 827	JS 218-2	6 032	5 301	4 985				
JS 148-10	4 478	3 701	2 256	JS 230-3	12 043	11 256	9 785				
JS 148-9	4 095	3 755	2 046	JS 230-3	11 209	10 259	9 213				
JS 167-2	6 588	6 884	6 720								
Kokku	135 000	121 937	93 872	Kokku	129 180	119 706	98 547	Kokku	136 250	129 424	108 653

*HR-ga tähistab harvendusraietega ja HR-ta harvendusraieteta simulatsiooni.

mulatsiooni korral looduslikku arengusse mittesekkuv, saab arvutuste põhjal teha järelduse, et mõõdukalt intensiivse majandamise korral saavutatakse suurem puhasnüüdisväärtus kui majandamata jätmisel. Tulemus viitab harvendusraiate kasutamise majanduslikule otstarbekusele puistute pikaajalisel majandamisel.

Arutelu ja järeldused

Järvelja õppe- ja katsemetskonna harvendusraiate analüüsi tulemused näitasid harvendusraiate majanduslikku põhjendatust nii lühikeses kui pikas perspektiivis. Aastatel 2015–2017 tehtud enamik harvendusraietest olid kasumlikud, st puidutulu ületas raie tööde kulusid. Iga raielangi tulemust mõjutavad erinevad tegurid, lisaks enamuspuuliigile ja sortimentidele ka nt kokkuveokaugus. Mitme kahjumit andnud eraldise puhul oli veokaugus keskmisest pikem, isegi kuni 1200 meetrit. Erinevate tegurite (nt tüvemaht, veokaugus, väljaraie %) mõju harvendusraie kasumlikkusele vajab eraldi uuringut ja usaldusväärsete tulemuste saamiseks suuremat hulka algandmeid. Järveljal tehtud harvendusraiate kasumlikkus võib tuleneda ka metskonnas tehtud nn eelvalikust. Raie kavandades juba arvestatakse sellega, et puidutulu ületaks metsavarumiskulusid. Keskmine puhastulu 344 €/ha kohta jääb samasse suurusjärku Soomes tehtavate esimese harvendusraie tuludega (Niemistö *et al.*, 2018). Kuna Soomes on paberipuidu hinnad kõrgemad kui Eestis, on sealne harvendusraietelt saadav tulu arusaadavalt suurem kui Eestis.

Harvendusraietega varutud puidu sortimentatsioon peegeldab raie eesmärgipärasust – suurima osa moodustab küttepuit. Tulemus viitab sellele, et võib-olla on harvendusraie tegemisega isegi veidi hiljaks jäädud. Harvendusraiate väga oluline majanduslik kasu tuleneb sellest, et looduslikult surevad puud kasutatakse ära tarbepuiduna. Simulatsioonide tulemused

kinnitasid varasemates töödes (Nilsson *et al.*, 2010; Teder & Kaimre, 2015) esitatud seisukohta, et hooldusraieid tehes vähe- neb puude looduslik suremus. Õigemini küll ennetatakse harvendusraietega puude suremist ja madala hinnaga küttepuidu teket, kasutades ära puistu puidutootmise potentsiaali paberipuiduna.

Järveljal tehtud harvendusraiate keskmine väljaraie oli 41,2 tm/ha, mis on märkimisväärselt väiksem Riigimetsa Majandamise Keskuse tegelike raieandmete põhjal arvatud harvendusraiate keskmisest väljaraiest, mis 2017. a oli 72 tm/ha (Keskkonnaagentuur, 2020). Artikli autorid ei analüüsinud puistut kirjeldavate näitajate mõju raiutava puidu kogusele, mistõttu võib vaid oletada mainitud erinevuse põhjusi: nt puistute vanus, tagavara, keskmine tüvemaht. Raiutava puidu koguse erinevuse selgitamiseks tuleks võrrelda uuritud harvendusraieobjekte mujal Eestis tehtud raie tuga. Põhjus võib olla ka teadlikult valitud väiksemas raieintensiivsuses. Järvelja õppe- ja katsemetskonnas 2017. aastal tehtud harvendusraietel varutud puidu kogus oli keskmiselt 20,9% puistu tagavarast.

Palkide suurim osakaal harvendusraietega stsenaariumis tuleneb tõenäoliselt pikemast puistu kasvatamise ajast, võrreldes Tapio stsenaariumiga, ning harvendusraiate mõjust diameetri kasvule, võrreldes harvendusraieteta stsenaariumiga. Diameetri täiendav kasv ja saadavate sortimentide parem hind annab harvendusraieid tehes suurema puhasnüüdisväärtuse kui majandamine ainult lageraiega. Puistute majandamise mudelid tulekski kujundada sellisena, et harvendus- ja uuendusraied tervikuna annaksid finantsmajanduslikult parima tulemuse.

Tänu sõnad. Uuringu koostajad tänavad Soome metsateadlasi prof Jari Hynyneni ja dr Hannu Salmineni MOTTI tarkvara puudutavate nõuannete eest ning Järvelja õppe- ja katsemetskonna metsaülem Tanel Piiri abi eest harvendusraiate algandme-

te hankimisel. Siiras tänu retsensentidele käsikirja kohta tehtud kasulike märkuste ja soovitude eest.

Kasutatud kirjandus

- Boström, C. 1982. Profitability of thinning: short- and long-term considerations. – *New Zealand Journal of Forestry Science*, 12, 364–379.
- 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, 5–18. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.10.015>.
- Järvselja infosüsteem. 2020. Järvselja Forest Management Information System. (Järvselja Metsamajandamise Infosüsteem). [WWW document]. – URL <https://jarvselja.emu.ee/>. [Accessed 6 January 2020]. (In Estonian).
- Keskkonnaagentuur. 2020. Yearbook Forest 2018. (Aastaraamat Mets 2018). Tallinn, Estonian Environment Agency. 297 pp. (In Estonian).
- Korjus, H., Pöllumäe, P., Rool, S. 2011. Profitability analysis of short rotations in Scots pine, Norway spruce and silver birch stands. – *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 54, 28–36.
- Lilleleht, A., Sims, A., Kiviste, A., Hynynen, J., Lehtonen, M. 2011. Evaluation of the basal area growth models in the Finnish stand simulator MOTTI with data from the Estonian network of permanent forest growth plots. – *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 55, 80–97. <https://doi.org/10.2478/v10132-011-0104-8>.
- Metsa majandamise eeskiri. 2006. Forest management act. (Metsa majandamise eeskiri). – RT I, 15.12.2017, 17. (In Estonian).
- MOTTI. 2019. Motti User's guide: version 3.2.1. [WWW document]. – URL www.metla.fi/metinfo/motti/pdf/manual-3-2-1.pdf. [Accessed 21 May 2019].
- Muiste, L. 1963. Improvement cuttings in pine forests. (Hooldusraietest männikutes). – *Compilation of Research Papers of the Estonian Agricultural Academy: Forest Management Studies*. (Eesti Põllumajanduse Akadeemia teaduslike tööde kogumik: Metsamajandusalased tööd). Tartu, Estonian Agricultural Academy, 118–129. (In Estonian).
- Muiste, L. 1982. Impact of improvement cuttings on forest increment in Soviet Estonia. (Hooldusraiete mõju metsade juurdekasvule Eesti NSV-s). – *Research Report. (Metsakasvatuse kateedri lepingulise teadusliku töö nr. 258 aruanne 1980...1981. aasta kohta)*. Tartu, Estonian Agricultural Academy. 46 pp. (In Estonian).
- Muiste, L. 1988. Experimental improvement cuttings in the forests of Järvselja. (Hooldusraie katsetööd Järvselja metsades). – *Forest Management 1985. (Metsamajandus 1985)*. Tallinn, Valgus, 69–87. (In Estonian).
- Mäkinen, H., Isomäki, A. 2004. Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland. – *Forest Ecology and Management*, 201(2), 311–325.
- Niemistö, P., Kilpeläinen, H., Poutiainen, E. 2018. Effect of first thinning type and age on growth, stem quality and financial performance of a Scots pine stand in Finland. – *Silva Fennica*, 52, 7816. <https://doi.org/10.14214/sf.7816>.
- Nilsson, U., Ågestam, E., Ekö, P.-M., Elfving, B., Fahlvik, N., Johansson, U., Karlsson, K., Lundmark, T., Wallentin, C. 2010. Thinning of Scots pine and Norway spruce monocultures in Sweden: Effects of different thinning programmes on stand level gross- and net stem volume production. – *Studia Forestalia Suecia, Report. Umeå, Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Forest Sciences*. 47 pp.
- Renshaw, E., Comas, C., Mateu, J. 2009. Analysis of forest thinning strategies through the development of space-time growth-interaction simulation models. – *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23(3), 275–288. <https://doi.org/10.1007/s00477-008-0214-x>.
- Sirgumets, R., Kaimre, P. 2018. Formation of standard unit prices of subsidies paid in the framework of action no. 08 „Investments in forest area development and improvement of the viability of forests“ of the Estonian rural development policy for 2014–2020. (Eesti maaelu arengukava 2014–2020 meetme 08 „Investeeringud metsaala arengusse ja metsade elujõulisuse arendamiseks“ raames makstavate toetuste standardsete ühikuhindade kujunemine). Tartu, Estonian University of Life Sciences, Institute of Forestry and Rural Engineering. 17 pp. (In Estonian).
- Soucy, M. 2010. Importance of wood value in the thinning profitability problem. – *A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in the Graduate Academic Unit of Forestry and Environmental Management. Fredericton, The University of New Brunswick*. 240 pp.
- Teder, M., Kaimre, P. 2015. Economic analysis of thinnings. (Harvendusraiete ökonoomiline analüüs). – *Research Report. Tartu, Estonian University of Life Sciences*. 34 pp. (In Estonian).
- Tullus, H. 1988. The effect of thinning on stand growth. (Harvendus- ja põimendusraiete mõju puistute kasvule). – *Forest Management. (Metsamajandus)*. Tallinn, Valgus, 60–68. (In Estonian).

Economic analysis and simulation of the impact of thinning on wood production in Järvelja Training and Experimental Forest Centre

Paavo Kaimre, Priit Vellak and Meelis Teder

Summary

To analyze the profitability of thinning, long-term experiments have been conducted, the effects of thinning at a single-tree level have been investigated, and various models have been developed to predict the impact of silvicultural practices on stand development. The aim of this study was to analyze the profitability of thinning in a time period from 2015 to 2017 in Järvelja Training and Experimental Centre and to simulate the impact of thinning on the financial performance of long-term forest management. In addition, the aim was to compile an overview of the timber assortments removed in thinning and to compare the effect of different management scenarios on the proportion of assortments formed during the long-term stand management.

The profitability was calculated for each stand on the basis of timber sales revenue and costs of logging operations as a net income per hectare. The sample consisted of 70 stands with a total area of 120.4 ha. The MOTTI simulation program was used to evaluate the impact of thinning on the profitability of forest management. Three different scenarios of stand management were compared: stand management in accordance with Finnish forest management recommendations (Tapio recommendations), management according to the Estonian Forest Management Regulations and

stand development without thinning.

The profitability of thinning depends on the assortments removed, which, in turn, depends on the age and health of the trees. As thinning in Järvelja Experimental and Training Centre was done from below, 45% of the harvested timber was firewood. More than a third of the wood volume were pulpwood and rods. The average net income per hectare of the analyzed thinning was 344 euros. Most (sixty-one out of seventy, or 87%) fellings yielded a net income. The average harvested volume was 41.2 m³ per hectare.

The cumulative net present value of the simulations was 33% higher for the Tapio variant and 23% for the thinning simulation compared to the no-thinning scenario. With moderately intensive management, a higher net present value is achieved. The results indicate economic feasibility of thinnings for long-term forest management. The results of the simulations corroborated the results of previous studies that the natural mortality of trees is reduced when performing thinning. Thinning utilizes the timber production potential of a stand via the procurement of pulpwood. Due to thinning the additional stem diameter increases and better prices for harvested timber give a higher net present value, compared to a no-thinning management scenario with a final felling only.

Received February 17, 2020, revised April 07, 2020, accepted April 07, 2020