

Short communication

Kasvavate puude vigastamine harvendusraietel

Vahur Kurvits¹, Kristjan Tikka^{1,2}, Eneli Põldveer¹ ja Henn Korjus^{1*}

Kurvits, V., Tikka, K., Põldveer, E., Korjus, H. 2024. Damage to residual trees in thinning operations. – Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused 81, 51–61, ISSN 1736-8723. Journal homepage: <http://mi.emu.ee/forestry.studies>

Abstract. Thinning should promote the optimal growth and good health of a forest ecosystem. However, several residual trees usually suffer mechanical damage in stands after thinning operations. This research was conducted to determine the extent, cause and location of damage to residual trees during felling operations and timber extractions in the cut-to-length system in hemiboreal forests in Järvselja, Estonia. Field measurements were carried out in 30 thinning sites in 2017 and 2019. There were 57.6 damaged trees per hectare (7.8% of residual trees) on average. The number of damaged trees per hectare was not dependent on the method (harvester or manual felling) and season (winter period or summer period) of felling, however it was dependent on stand density. There were 23% root damage, 9% root collar damage and 68% stem damage out of all damaged trees. The common causes of residual tree damage were driving damage, falling tree damage and harvester saw damage. The strip roads covered 19% of the thinning area; the mean width of strip roads was 3.76 m. Thinning is certainly an important silvicultural measure whereas careful planning and execution should keep direct and consequential damage to the stand as minimal as possible.

Key words: forest operation, hemiboreal forest, thinning area, strip road.

Authors' addresses: ¹Chair of Forest and Land Management Planning and Wood Processing Technologies, Institute of Forestry and Engineering, Estonian University of Life Sciences, Kreutzwaldi 5, 51006 Tartu, Estonia; ²Natural AS, Jaani tee 22, 73001 Koeru, Estonia; *e-mail: henn.korjus@emu.ee

Sissejuhatus

Metsade majandamisel on oluline hoida puistuid pidevalt heas tervislikus seisundis ja optimaalselt kasvavatena. Selle saavutamiseks tehakse õigel ajal ja kvaliteetselt hooldusraieid, võttes arvesse puistute majanduslikku ja ökoloogilist väärtust. Hooldusraietel on mitu eesmärki: kasvavatele puudele optimaalse kasvuruumi kujundamine, raiutavate puude (looduslikult välja langevate puude) puidu kasutuselevõtmine, puistu elurikkuse ja hea tervisliku seisundi soodustamine ning koosseisu ja tootlikkuse parendamine. Nii valgustusraied nooremaealistes kui ka harvendusraied keskealistes puistutes peavad võimaldama alles jäävatel väärtuslikel ja elujõulistel puudel hästi kasvada. Ideaaljuhul saadakse harvendusraie tulemusena optimaalse tihedusega tuule- ja lumekindel puistu. Õigel ajal harvendamata jäetud puistus kasvavad seevastu puud pikaks ja liiga peenikeseks ning puudevaheline konkurents muutub ülemäära tihedaks (Zimelis *et al.*, 2019).

Hooldusraietega kaasnevaid kahjustusi on probleemina käsitletud juba alates 1950-ndatest aastatest (Gapšytė, 2003). Valgustusraietel, mida tehakse enamasti võsa- või mootorsaagidega ning kus raiutud puud jäetakse raielangile looduslikult lagunema, on kasvavate puude vigastamine ja pinnase kahjustamine harvaesinev probleem. Harvendusraietel kasutatakse masinaid aga nii puude raiumiseks kui ka puidu kokkuveoks, mistõttu esineb raielankidel sageli kasvavate puude mehaanilisi vigastusi ning pinnase kahjustusi. Raietöödel ei ole kahjustusi võimalik täielikult vältida, mistõttu on oluline neid vähendada. Varasemad uuringud näitavad, et harvendusraietel tekib tüvevigastusi kõige enam harvesterraiel (Palander *et al.*, 2019). Tüvevigastused tekivad eelkõige puude langetamisel (Eriksson *et al.*, 1999), kuid ka langetatud puu töötlemisel võib vigastada nii kasvama jäävate puude tüve kui ka juurekaela piirkonda. Kokkuveol vigastatakse tüvesid eelkõige koormapostiga riivates, eriti juhul, kui kokkuveotee pole piisava laiusena (Kärhä *et al.*, 2004).

DOI: 10.2478/fsmu-2024-0013



© 2024 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/>).

Enamik juurevigastustest tekitatakse puidu kokkuveol. Harvendusraietel kasutatavad masinad on sageli rasked ja puude lähedal sõitmine avaldab seetõttu suurt mõju just nende juurtele, seda eriti nõrgema kandejõuga pinnasel (Eriksson *et al.*, 1999). Juurte vigastamise tõenäosus on suurem kuusikutes kuuskede pinnalähedasema juurestiku tõttu (Puhe, 2003). Juurevigastuste tagajärjel, eriti sooja aastaajal tehtud raiete korral, suureneb seenhaiguste leviku risk allesjäävatel puudel (Sibul, 2006).

Uurimuse eesmärk on selgitada kasvavate puude vigastamise ulatus ja põhjused, mis tekivad harvendusraiete käigus tavapärase metsamajandusliku tegevuse raames SA Järvselja Öppe- ja Katsemetskonna puistutes.

Materjal ja meetoodika

Välitööd toimusid 2017. ja 2019. aastal Järvselja Öppe- ja Katsemetskonnas juhuslikult valitud 30 harvendusraielangil kogupindalaga 66,58 ha. Raiet tehti aastatel 2016–2019. Harvesterraiet toimus 16 langil harvesteridega Valmet 911, Timberjack 770E ja Timberjack 1070E, käsitsi raiuti mootorsaega 14 langil. Kokkuvedu tehti 4 langil forvarderiga Timberjack 810B ja 26 langil põllumajandustraktoritega MTZ-82, Zetor Proxima 120 ja Valtra N134A. Raielangid paiknesid angervaksa (13 lanki), jänesekapsa-mustika (6 lanki), jänesekapsa-kõdusoo (5 lanki), jänesekapsa (3 lanki), mustika (2 lanki) ja jänesekapsa-pohla (1 lank) kasvukohatüüpides. Raielankide üldandmed on esitatud lisas 1.

Kasvavatele puudele tekitatud mehaanilisi vigastusi hinnati igal raielangil kahe kokkuveotee vahelisel alal, kus kasvas peale raiet vähemalt 100 puud. Välitööde käigus loendati terved ja vigastatud puud ning igal vigastatud puul hinnati vigastusi visuaalselt. Vigastuste puhul märgiti paiknemiskoht (juure-, juurekaela- või tüvevigastus) ja tõenäoline tekkepõhjus.

Vigastuste tekkepõhjuste jaotati järgnevalt:

1. Kukkuva puu (langetatav puu) – enamasti koorevigastused, suunaga ülevalt alla. Vigastus võib tüvel olla väga pikk ning selliselt kahjustatud puid võib paikneda puistus ka kokkuveoteedest kaugemal. Kukkuva puu kahjustus võib esineda ka juurekaelal kukkuva puu löögi tõttu.
2. Tõstukinoolega riivamine – enamasti koorevigastused, suunaga küljelt, maksimaalsel kõrgusega 3,5–4 meetrit. Kokkuveotee äärsetel puudel esineb kahjustust sagedamini.
3. Koormapostiga riivamine – kokkuveotee

ääres kasvavate puude tüvedel teepoolsel küljel. Vigastused esinevad ligikaudu 1,3–3 meetri kõrgusel ning tekivad, kui väljaveotee ei ole piisavalt lai ja haagise või haakemooduli ühe ratta alla satub takistus (kivi, känd, maapinnalohk), mistõttu haagis kaldub liigselt ja koormapost riivab kasvavat puud. Enamasti on tegu koorevigastusega. Suurem oht selliste vigastuste tekkimiseks on kokkuveoteede pöördekohtadel, kus puud on teele liiga lähedale kasvama jäetud.

4. Haaratsiga riivamine – enamasti koorevigastused, mis tekitatakse, kui sortimendikimp või nott on asetatud kasvava puu juurde ja seda hooletult haarates vigastatakse kasvava puu juurekaela või tüve alumist osa juurekaela lähedalt.
5. Kimbuga löök – hooletusest kimbu tõstmisel kasvava puu tüvele kimbuga tekitatud vigastus. Enamasti on tegemist koorevigastusega.
6. Puu töötlemine – külgsuunaline vigastus puu tüvel (mitte kõrgemal kui 2 meetrit) või juurekaelal. Lõikepeaga puud hoolimatult töödeldes (laasides ja järgates) tabatakse tüükaotsaga kasvavat puud või tekitatakse vigastus kasvava puu juurekaelale töödeldavat puud edasi lohistades. Enamasti on vigastus väikesepinnaline.
7. Sae sisselõige – mootorsaega tekitatav vigastus, mida sae hoolikal käsitsemisel on võimalik vältida. Enamasti puiduvigastus, mis tekitatakse kõrvuti kasvavaid puid langetades puude läheduse tõttu.
8. Lõikepea sae sisselõige – harvesterraiet vigastus, enamasti puiduvigastus, mis tekitatakse kõrvuti kasvavaid puid kimbust lõigates.
9. Lõikepeaga (korpusega) riivamine – enamasti koorevigastus, mis tekitatakse kasvama jäävatele puudele, kui puud asetsevad liiga tihedalt ja lõikepeal on vähe manööverdamisruumi. Oht suureneb kimbust langetamisel (eriti kannuvõsutekkelistes puistutes õigel ajal tegemata jäänud või ebapiisava valgustusraie korral) ja kasutades harvendusraieks mittesobivaid masinaid.
10. Rattaga/lindiga tekitatud vigastus. Enamasti juure- või juurekaelavigastused, mis tekivad masina ratta või lindi ülesõidu korral kokkuveoteede läheduses kasvavatel puudel. Nii koore- kui ka puiduvigastused. Pehmema pinnase korral võib ratas ka juured läbi lõigata. Need vigastused on kuusikutes olulisteks juurepessuga nakatumise kohtadeks.

Analüüsimaiks raietöödel tekkivaid kahjustusi rühmitati raielangid järgmiselt: harvesterraiaks (16 lanki) ja käsitsi raieks (14 lanki) ning suvisteks (10 lanki) ja talvisteks (20 lanki) raieteks.

Kokkuveoteede alla jääva pindala hindamiseks mõõdeti raielangil 50-meetrise mõõdulindiga kõigi kokkuveoteede pikkused. Kokkuveoteede laiuseid mõõdeti valikuliselt raielangi erinevatest osadest ja ka kokkuveoteede pöördekohtadelt, kus tekitatud jäljed olid laiemad. Kokku tehti kokkuveoteede laiuse kirjeldamiseks igal langil kümme mõõtmist.

Andmete analüüsimiseks ja diagrammide koostamiseks kasutati arvutiprogramme R ja Microsoft Excel. Keskmiste võrdlemisel kasutati Studenti t-testi.

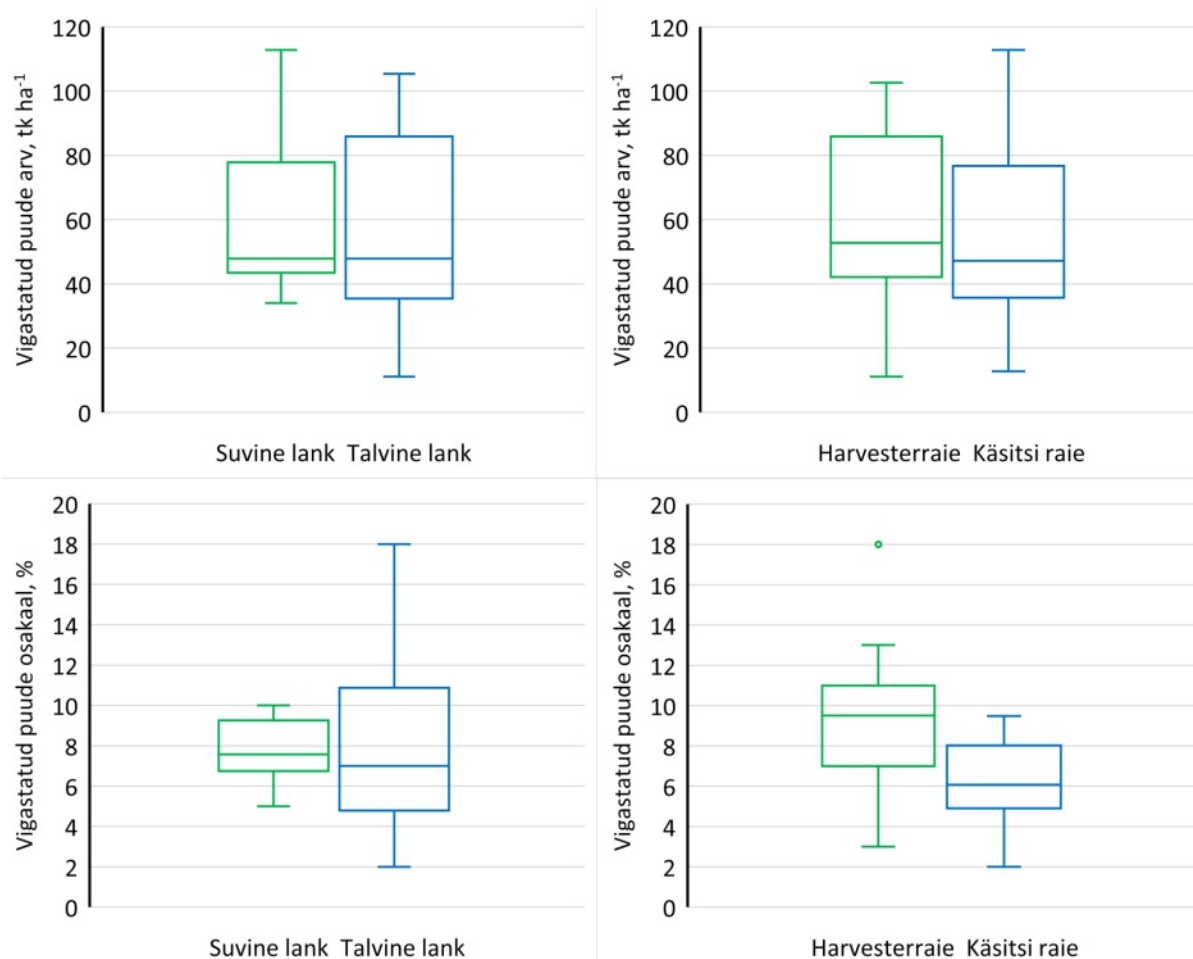
Tulemused

Kokku mõõdeti raielankidel 3582 puud, millest 279 olid raie käigus vigastatud. Vigastatud

puude arv hektari kohta ($\pm$ standardhälve) oli kõigil raielankidel kokku $57,6 \pm 27,7 \text{ tk ha}^{-1}$, suvistel lankidel $58,5 \pm 25,1 \text{ tk ha}^{-1}$ ja talvistel lankidel $57,2 \pm 29,5 \text{ tk ha}^{-1}$ ning harvesterraiel $60,2 \pm 26,7 \text{ tk ha}^{-1}$ ja käsitsi raiel $54,6 \pm 29,6 \text{ tk ha}^{-1}$. Need näitajad ei osutunud statistiliselt usaldatavalt erinevaks.

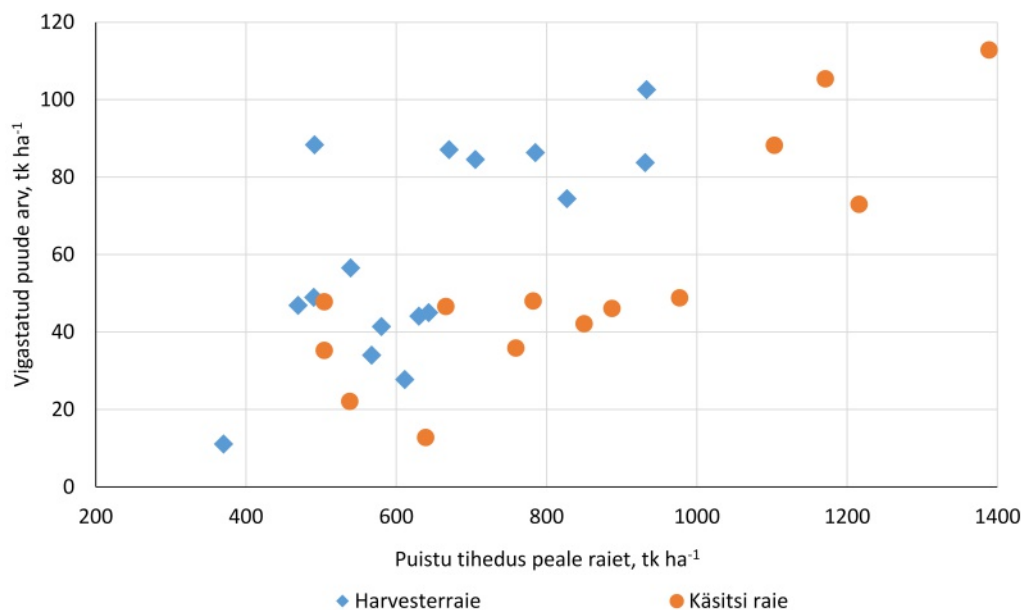
Vigastatud puude osakaal raie järel allesjäänud puudest oli kõigil raielankidel keskmiselt ($\pm$ standardhälve) $7,8 \pm 3,3\%$, suvistel lankidel $7,7 \pm 1,6\%$ ja talvistel lankidel $7,9 \pm 3,9\%$ ning harvesterraiel $9,3 \pm 3,6\%$ ja käsitsi raiel $6,2 \pm 2,1\%$. Erinevus harvesterrai ja käsitsi raie vahel osutus usaldatavalt erinevaks ($p < 0,01$). Joonisel 1 on esitatud karpdiagrammid vigastatud puude arvu ja osakaalu kohta raie järel lähtuvalt raiumise ajast ja viisist.

Joonisel 2 on esitatud harvendusraiel vigastatud puude arv raielankidel sõltuvalt raiemeetodist ja raiejärgsest puistu tihedusest. Mida tihedam oli puistu nii enne kui ka peale raiet, seda rohkem oli ka vigastatud puid hektari kohta ($p < 0,01$).



Joonis 1. Vigastatud puude arv ja osakaal raie järel lähtuvalt raiumise ajast ja viisist.

Figure 1. The number and percentage of damaged residual trees after thinning according to the timing and method of thinning.



Joonis 2. Vigastatud puude arv harvendusraie järel sõltuvalt puistu tihedusest ja raieviisist uuritud raieelankidel.

Figure 2. The number of damaged residual trees according to residual stand density and method of thinning.

Tabel 1. Keskmise vigastatud puude arv vigastamise põhjuse ja raieviisi järgi. (H+F harvester ja forvarder; H+PT harvester ja põllumajandustraktor; S+F saamees ja forvarder; S+PT saamees ja põllumajandustraktor).

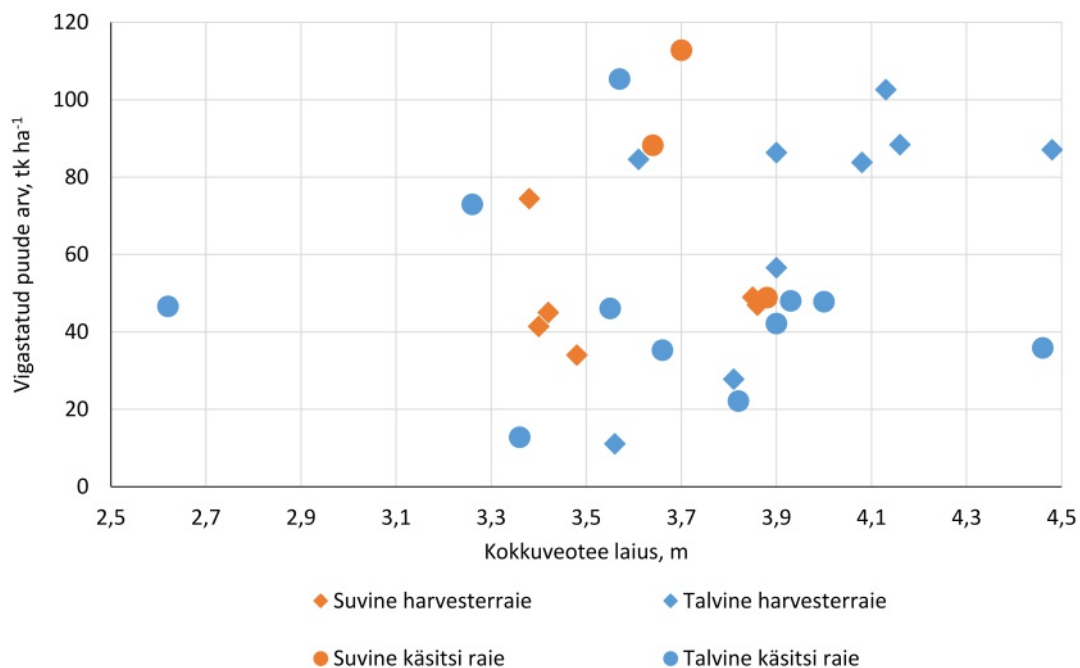
Table 1. Mean number of damaged residual trees according to the cause of damage and method of thinning (H+F harvester and forwarder; H+PT harvester and agricultural tractor; S+F manual with chain saw and forwarder; S+PT manual with chain saw and agricultural tractor).

Vigastamise põhjus	Vigastatud puude arv (tk ha ⁻¹)				
	Kõik langid kokku	Raieviis			
		H+F	H+PT	S+F	S+PT
Kukkuv puu	8,7	2,4	7,9	12,2	10,8
Lõikepea sae sisselõige	1,9	2,4	3,9		
Lõikepeaga riivamine	8,2	29,6	12,0		
Puu töötlemine	3,4	4,5	6,8		
Sae sisselõige	2,2			12,2	4,1
Kokku: lõikamine	24,4	38,9	30,6	24,4	14,9
Haaratsiga riivamine	2,0	2,2	1,8		2,2
Kimbuga lõök	7,0		5,4		10,7
Tõstukinoolega riivamine	1,0		1,5		0,9
Kokku: laadimine	10,0	2,2	8,7		13,8
Koormapostiga riivamine	2,6	2,2	2,9		2,5
Rattaga/lindiga tekitatud vigastus	20,6	17,6	17,8	48,6	22,0
Kokku: sõitmine	23,2	19,8	20,7	48,6	24,5
Kõik kokku	57,6	60,9	60,0	73,0	53,2

Tabelis 1 on esitatud harvendusraiel vigastatud keskmine puude arv vigastamise põhjuste ja raieviisi järgi. Kõikidel lankidel kokku oli vigastatud puudest 43% kahjustatud puude lõikamisel, 40% masinate liikumisel ja 17% puidu laadimisel. Vigastatud puudel olid vigastused 23% juhtudest juurevigastused, 9% juurekaela vigastused ja 68% tüvevigastused. Harvesterraiel oli olulisim lõikamisega seotud vigastamise põhjus lõikepeaga riivamine ja käsitsi raiel kukkuv puu tekitatud vigastus. Forvarderi kasutamisel puidu laadimisega tekitatud vigastusi peaaegu ei esinenud, põllumajandustraktori kasutamisel oli aga enim esinev kimbuga löök. Masinate liikumisel tekitatud vigastustest esines enim rattaga või lindiga tekitatud kahjustusi. Käsitsi raiel ja forvarderiga kokkuveol (tabelis S+F) analüüsiti

vaid üht raielanki, millel oli rattaga või lindiga tekitatud vigastusi palju ilmselt seetõttu, et kokkuveotee ei olnud piisavalt lai.

Joonisel 3 on esitatud vigastatud puude arv harvendusraie järel sõltuvalt kokkuveoteede keskmisest laiusel, raie tegemise ajast ja viisist uuritud raielankidel. Otsene seos nende tunnuste vahel ilmselt puudub. Kokkuveoteede keskmine laius kõigil raielankidel ($\pm$ standardhälve) oli $3,76 \pm 0,40$ m, harvesterraiel lankidel $3,85 \pm 0,37$ m ja käsitsi raie lankidel $3,67 \pm 0,42$ m; suvistel lankidel $3,72 \pm 0,36$ m ja talvistel lankidel $3,79 \pm 0,42$ m. Need näitajad ei osutunud statistiliselt usaldatavalt erinevaks. Kokkuveoteede kogupindala kõigil raielankidel kokku oli 12,70 ha ehk 19%, olles erinevatel lankidel vahemikus 4% kuni 48% vastava raielangi pindalast.



Joonis 3. Vigastatud puude arv harvendusraie järel sõltuvalt kokkuveoteede keskmisest laiusel, raie tegemise ajast ja viisist uuritud raielankidel.

Figure 3. The number of damaged residual trees according to the width of strip roads, timing and method of thinning.

Arutelu

Kuigi harvendusraieid tehakse metsa kvaliteedi parandamiseks ning puistute kasvu ja arengu soodustamiseks, vigastatakse raietööde käigus puid paratamatult, mistõttu võib puistu edasine areng olla soovitud märksa erinev. Käesolevas uurimuses selgus, et Järvelja Õppe- ja Katsemetskonda kuuluvatel raielankidel oli vigastatud puude osakaal raie järel keskmiselt 7,8%. Vigastatud puude osakaal sõltus mõnevõrra

raieviisist. Võrdluseks oli näiteks Kesk-Itaalias tehtud uuringus (Picchio *et al.*, 2011) harvendusraielankidel kohe peale raiet vigastatud puude osakaal 13,6%, vigastatud puude keskmine arv ($\pm$ standardhälve) 138 ± 7 tk ha⁻¹ ning vigastatud puudest 36% osutusid tugevalt vigastatuks. Ka Spinelli *et al.* (2010) Kesk- ja Lõuna-Itaalias tehtud uuringus oli harvendusraiete korral vigastatud keskmiselt 13,6% ning uuendusraiete korral keskmiselt 12,8% allesjäänud puudest. M. Lepistiku (2022)

magistritöös saadi Riigimetsa Majandamise Keskuse (RMK) kuuse enamusega harvendusraie lankidel vigastatud puude osakaaluks keskmiselt 5,3%.

Kasvavate puude vigastamine harvendusraiel sõltub nii raie tegija oskustest ja hoolsusest kui ka läbimõeldud ja süsteemsest tööst raielangil (Tikka, 2020; Ursić *et al.*, 2022). Seetõttu tuleb raiuda hoolikalt ja ettevaatlikult, et mitte kahjustada kasvavate puude juuri ning tüvesid. Eriti ettevaatlik tuleb olla puidu kokkuveol, mille käigus tekitatakse enamik juurekahjustusi. Sageli on metsatööl kasutatavad masinad rasked ja seetõttu avaldab puude lähedal sõitmine suurt mõju just juurtele, eriti nõrgema kandejõuga pinnasel (Eriksson *et al.*, 1999; Picchio *et al.*, 2011). Uuritud raielankidel sai 40% vigastatud puudest kahjustada sõitvate masinate tõttu. M. Lepistiku (2022) magistritöös saadi tulemuseks, et 6% vigastatud puudest RMK harvendusraie lankidel kuusikutes on saanud kahjustada masinate sõitmise järel. Seega saab harvendusraieid paremini ette valmistades ja neid tehes masinate sõitmisega seotud kahjustusi märkimisväärselt vähendada. Spinelli *et al.* (2010) uuringust selgus, et roomikutega masinad põhjustavad rohkem juurekahjustusi kui ratastega masinad. Juurekahjustused soodustavad puistutes aga seenhaiguste levikut (Vasiliauskas, 2001; Hanso & Hanso, 1999).

Hoolas peab olema ka puude langetamisel ja laadimisel. Tööde käigus võib tekitada puudele koorehaavandeid ja erinevad tüvevigastusi nii puude riivamisel haaratsiga kui ka puude kimbu tõstmisel. Vahel võib vigastuse põhjustada ka langetatav puu, mis vastu teist puud kukkudes selle tüve vigastab (Kurvits *et al.*, 2017). Mootorsaega langetamisel on puude vigastamise vältimiseks oluline täpse langetussuuna tagamine. On tõenäoline, et vale langetussuuna tõttu tekitatakse olulisi vigastusi kasvavatele puudele eelkõige vanemates okaspuupuistutes, eriti kuusikutes, langetatava puu suuremate mõõtmete ja massi tõttu. Samuti on oluline raielangile paigutatud kimpude asukoht, et kokkuveomasinal töötades vältida kimbu haaramisel tekkivaid puude vigastusi. Kindlasti aitaks kasvavate puude vigastamise vähendamisele kaasa ka see, kui juba valgustusraiel jäetaks mitmetüveliste puude puhul alles vaid üks tüvi.

Metsa majandamise eeskirjas (2023) seisab, et kokkuveoteede laius võib olla kuni 4 m ja kokkuveoteed ei tohi moodustada rohkem kui 20% raielangil pindalast. Need reeglid kehtisid raie tegemise ajal ka siinses uurimuses kasutatud 30 raielangil. Selgus, et esitatud

normidest kinnipidamine on keeruline, kuna kokkuveoteede laius ületati 6 raielangil (joonis 3) ja kokkuveoteede pindala ületati 13 raielangil, kuigi kokkuveoteede kogupindala kõikide raielankide peale jäi alla 20%. Ka RMK harvendusraie lankidel esineb kokkuveoteedega seotud normide ületamist (Lepistik, 2022). Liiga ranged normid tõenäoliselt soodustavad puude vigastamist harvendusraietel. Seetõttu võiks kaaluda metsa majandamise eeskirjas nimetatud normide leevendamist ning lubada maksimaalseks kokkuveoteede laiuseks 4,5 m ja kokkuveoteede alla jääva pindala osakaaluks kuni 30%. Kuid arvestama peab sellega, et kokkuveoteede alla jääva pindala suurenemisega väheneb puistu tootlikkus.

Harvendusraiate kavandamisel tuleb arvestada, et tööde käigus vigastatakse märkimisväärselt allesjäävaid puid ja sellest on mõjutatud puistu edasine areng. Vigastatud puude kasv aeglustub ja puidu kvaliteet on halvem (Bragg *et al.*, 1994) ning puudel võivad sekundaarselt tekkida seen- ja putukakahjustused (Sibul, 2006). Nagu ka öeldud, väheneb puistu tootlikkus kokkuveoteede alla jääva pindala tõttu. Harvendusraie järel võivad puistus hiljem tekkida uued kahjustused seni tervetel puudel, nt ulukite või tormimurru tõttu (Johnson & Rea, 2024). Lisaks pakuvad raie käigus tekkinud kannud soodsaid nakatumiskohti ka õhus levivatele seenesporidele. Kuna juuremädanikud levivad naaberpuudele edasi juurekontaktide kaudu, võib juuremädanike nakkusoht juurekahjustustega puistus veelgi suureneeda (Allikmäe *et al.*, 2017). Samal ajal on oluline arvestada, et puistutel on lisaks majanduslikule väärtusele ka ökoloogiline roll. Harvendusraie mõju ulatub kaugemale üksikute puude vigastamisest, sest see mõjutab kogu metsa dünaamikat, elupaiku ning bioloogilist mitmekesisust (Põldveer *et al.*, 2022). Seetõttu on alati oluline hinnata, kas harvendusraie konkreetsetes puistutes on metsakasvatuseks vajalik või tekitatakse sellega hoopis liigset kahju puistu edasisele arengule. Kindlasti on kriitilisema tähendusega vanemad okaspuu (eriti kuuse) enamusega puistud, kus harvendusraiate kavandamine peab olema veelgi paremini läbi mõeldud ja põhjendatud. Harvendusraiate planeerimisel tuleb arvesse võtta mitte ainult puistu tootlikkust ja kahjustuste minimeerimist, vaid ka võimalust säilitada või edendada metsa ökoloogilisi väärtusi.

Kokkuvõte

Uurimusest selgus, et 30 harvendusraie langil oli kokku 3582 raie järel mõõdetud puust 279 raie käigus vigastatud puud. Vigastatud puude arv hektari kohta oli keskmiselt 57,6 tk ha⁻¹ ehk 7,8% allesjäänud puudest. Viga saanud puude arv ja osatähtsus suviste ja talviste raielankide vahel usaldatavalt ei erinenud, kuid nende osatähtsus sõltus mõnevõrra puistu tihedusest ja sellest, kas tegemist oli harvesterraietega või käsitsi raiega.

Vigastamise põhjustest olid olulisemad ratta või lindiga tekitatud vigastused, mida oli keskmiselt 20,6 tk ha⁻¹, seejärel kukkuva puu tekitatud vigastused 8,7 tk ha⁻¹ ja lõikepeaga riivamine 8,2 tk ha⁻¹. Harvesterraiel oli olulisim lõikamisega seotud vigastamise põhjus lõikepeaga riivamine ja käsitsi raiel kukkuva puu tekitatud vigastused. Forvarderi kasutamisel puidu laadimisest tulenevaid vigastusi peaaegu ei esinenud, põllumajandustraktori kasutamisel oli enim esinev kimbuga löök. Sõitmisel esines enim rattaga või lindiga tekitatud kahjustusi. Puude langetamise ja töötlemisega seotud vigastused moodustasid keskmiselt 43%, masinate sõitmisega seotud vigastused 40% ja puidu laadimisega seotud vigastused 17% vigastatud puude koguarvust. Vigastatud puudel olid 23% juhtudest juurevigastused, 9% juurekaela vigastused ja 68% tüvevigastused.

Kasutatud kirjandus

- Allikmäe, E., Laarmann, D., Korjus, H. 2017. Vitality assessment of visually healthy trees in Estonia. – *Forests*, 8(7), 223.
- Bragg, W.C., Ostrofsky, W.D., Hoffman, B.F. Jr. 1994. Residual tree damage estimates from partial cutting simulation. – *Forest Products Journal*, 44(7–8), 19–22.
- Eriksson, I., Österblom, U., Orth, L., Persson, J. 1999. Farm forest logging work. (Talumetsa raietööd). Saku, Eestimaa Talupidajate Keskliit. 28 pp. (In Estonian).
- Gapšytė, A. 2003. Assessing damage to trees and soil in thinnings of pine stands. – *Baltic Forestry*, 9(1), 69–74.
- Hanso, S., Hanso, M. 1999. Spread of *Heterobasidion annosum* in forests of Estonia. (Juurepessu levimisest Eesti metsades). – *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 31, 162–172. (In Estonian with English summary).
- Johnson, C.J., Rea, R.V. 2024. Response of moose to forest harvest and management: a literature review. – *Canadian Journal of Forest Research*, 54(4), 366–388. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2023-0158>.
- Kurvits, V., Drenkhan, T., Jürimaa, K., Padari, A., Tikka, K. 2017. Investigation of accompanying forest damages by thinnings in Järvselja Training and Experimental Forest Centre. (Harvendusraietega kaasnevate metsakahjustuste uurimine Järvselja Õppe- ja Katsemetsakonnas). – *Research Report*. (Uuringu aruanne). Tartu, Estonian University of Life Sciences. 53 pp. (In Estonian).
- Kokkuveoteede keskmine laius kõigil raielankidel oli 3,76 m, harvesterraietel 3,85 m ja käsitsi raie lankidel 3,67 m. Kokkuveoteede kogupindala kõigil raielankidel kokku oli 12,70 ha ehk 19%, olles erinevatel lankidel vahemikus 4% kuni 48% vastava raielangi pindalast. Selgus, et „Metsa majandamise eeskirjades“ esitatud normidest kinnipidamine on harvendusraietel keeruline, sest kokkuveoteede lubatud laiust ületati 6 raielangil ja kokkuveoteede lubatud pindala 13 raielangil.
- Harvendusraie on oluline metsakasvatustlik võtte, kuid seda kavandades ja tehes tuleb arvestada nii puistu seisundit, kasvukoha iseärasusi ja ilmastikuolusid kui ka raietega seonduvaid kahjustusi puistutes. Harvendusraietel on puude vigastamise täielik vältimine praktiliselt võimatu; vigastatud puid esines igal uuritud raielangil. Konkreetsete tingimuste põhjal tuleks valida parim võimalik tehnoloogiline lahendus ja harvendusraie tegija, et vigastataks võimalikult vähe puid ja puidusortimendid saaks metsast välja vedada võimalikult ruttu, et vältida seenhaiguste ja putukate levikut.
- Tänuavaldus.** Uurimus on valminud tänu SA Järvselja Õppe- ja Katsemetsakonna rahastatud projektile „Harvendusraietega kaasnevate metsakahjustuste uurimine Järvselja Õppe- ja Katsemetsakonnas“ (T170212MIMT).
- Kärhä, K., Rönkkö, E., Gumse, S.-I. 2004. Productivity and cutting costs of thinning harvesters. – *International Journal of Forest Engineering*, 15(2), 43–56.
- Lepistik, M. 2022. Research of forest thinning quality in the State Forest Management Center's spruce stands. (Harvendusraie kvaliteedi uurimine RMK kuusikutes). – *Magistritöö*. Tartu, Estonian University of Life Sciences. 66 pp. (In Estonian).
- Metsa majandamise eeskiri. 2023. Rules of Forest Management. – *Riigi Teataja I*, 13.07.2023, 34. (In Estonian).
- Palander, T.S., Eronen, J.P., Paltoniemi, N.P., Aarnio, A.I., Kärhä, K., Ovaskainen, H.K. 2019. Improving a stem-damage monitoring system for a single-grip harvester using a logistic regression model in image processing. – *Biosystems Engineering*, 180, 36–49. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.01.011>.
- Picchio, R., Neri, F., Maesano, M., Savelli, S., Sirna, A., Blasi, S., Baldini, S., Marchi, E. 2011. Growth effects of thinning damage in a Corsican pine (*Pinus laricio* Poiret) stand in central Italy. – *Forest Ecology and Management*, 262(2), 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.03.028>.
- Puhe, J. 2003. Growth and development of the root system of Norway spruce (*Picea abies*) in forest stands – a review. – *Forest Ecology and Management*, 175(1–3), 253–273. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00134-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00134-2).

- Pöldveer, E., Laarmann, D., Korjus, H. 2022. Quantification of spatial stand structure. (Puistu ruumilise struktuuri arvutuslik kirjeldamine). – Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused, 76(1), 90–98. <https://doi.org/10.2478/fsmu-2022-0006>. (In Estonian with English summary).
- Sibul, I. 2006. Forest Damages and their Prevention. (Metsakahjustused ja nende ennetamine). Tartu, Eesti Maaülikooli Kirjastus. 19 pp. (In Estonian).
- Spinelli, R., Magagnotti, N., Nati, C. 2010. Benchmarking the impact of traditional small-scale logging systems used in Mediterranean forestry. – Forest Ecology and Management, 260(11), 1997–2001. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.048>.
- Zimelis, A., Kaleja, S., Okmanis, M. 2019. Complex forest management system based on small size forest machines. Engineering for Rural Development. – Proceedings of the 18th International Scientific Conference: Engineering for Rural Development, Latvia, 22.-24.05.2019. Jelgava, 475–480.
- Tikka, K. 2020. Thinning quality evaluation and changes in 2017–2020 based on Järvselja Training and Experimental Forest Center. (Harvendusraie kvaliteedi hindamine ja muutused aastatel 2017–2020 Järvselja Õppe- ja Katsemetskonna näitel). – Bachelor thesis. Tartu, Estonian University of Life Sciences. 48 pp. (In Estonian).
- Ursić, B., Vusić, D., Papa, I., Poršinsky, T., Zečić, Ž., Đuka, A. 2022. Damage to residual trees in thinning of broadleaf stand by mechanised harvesting system. – Forests, 13, 51. <https://doi.org/10.3390/f13010051>.
- Vasiliauskas, R. 2001. Damage to trees due to forestry operations and its pathological significance in temperate forests: a literature review. – Forestry: An International Journal of Forest Research, 74(4), 319–336. <https://doi.org/10.1093/forestry/74.4.319>.

Damage to residual trees in thinning operations

Vahur Kurvits, Kristjan Tikka, Eneli Põldveer and Henn Korjus

Summary

Thinnings should promote the optimal growth and good health of forest ecosystems. However, several residual trees usually suffer mechanical damage in stands after thinning operations. This research was conducted to determine the extent, cause and location of damage to residual trees during felling operations and timber extractions in the cut-to-length system in hemiboreal forests in Järvselja, Estonia. This study revealed that 279 trees out of a total of 3,582 trees measured after felling were damaged in 30 thinning sites. The number of damaged trees per hectare was on average 57.6 trees ha⁻¹, or 7.8% of the remaining trees. The number and proportion of damaged trees did not differ significantly between summer and winter thinnings. The proportion of damaged trees depended on the density of the stand and the type of felling, that is, done by a harvester or manually.

The main causes of damage were wheel or belt injuries, (on average 20.6 trees ha⁻¹), followed by injuries caused by falling trees (8.7 trees ha⁻¹) and scraping by the cutting head (8.2 trees ha⁻¹). In harvester felling, the most important cause of cutting-related damage was scraping by the cutting head, and in manual felling, injuries caused by falling trees. Almost no damage was caused to trees by loading wood with a forwarder, while the most common damage when using an agricultural tractor was

hitting with the bundle. Damage by driving was mostly caused by wheels or belts. On average, 43% of tree damage was caused by felling and processing activities, 40% by machine operation, and 17% by wood loading. Damaged trees had root damage in 23%, root collar damage in 9% and trunk damage in 68% of the cases.

The average width of strip roads on all thinning sites was 3.76 m, on harvester thinning sites 3.85 m and on manual thinning sites 3.67 m. The total area of strip roads on all thinning sites was 12.70 ha or 19%, ranging from 4% to 48%. It turned out that it is difficult to comply with the standards set out in the Forest Management Regulations: the permitted width of strip roads was exceeded in 6 thinnings and the permitted area of strip roads in 13 thinnings.

Thinning is an important silvicultural technique, but it is practically impossible to fully avoid damaging trees in thinning as was evident also in this study since damaged trees were found in every thinning site examined. Based on the specific conditions, the best possible technological solution and experienced operator should be chosen so that there will be as little damage to the trees as possible and the timber assortments should be transported out of the forest as quickly as possible to prevent the spread of fungal diseases and insects.

Lisa 1. Uuritud raielankide üldandmed.

Appendix 1. General data on examined thinning sites.

Jrk. nr.	Kasvukoha-tüüp	Pindala, ha	Koosseis enne raiet	Tagavara I rindes enne raiet (m ³ ha ⁻¹)	Rinnas-pindala enne raiet (m ² ha ⁻¹)	Raie tegemise viis ja masinad (lõikamine + kokkuvedu)	Tööde lõpetamise aeg
1.	Kuivendatud angervaksa	3,51	75Ks20Lm5Ku	255	24	Timberjack 1070E + MTZ 82	august 2017
2.	Kuivendatud angervaksa	1,51	50Ks40Lm10Ku	234	24	Timberjack 1070E + MTZ 82	august 2017
3.	Angervaksa	0,70	100Ks	236	23	Timberjack 1070E + MTZ 82	august 2017
4.	Jänesekapsa-mustika	0,91	80Ku20Ks	137	19	Timberjack 1070E + MTZ 82	november 2017
5.	Jänesekapsa-mustika	1,56	87Ku12Ks1Lm	186	21	Timberjack 1070E + MTZ 82	november 2017
6.	Jänesekapsa-pohla	0,84	95Ku5Ks	227	24	Saamees + MTZ 82	veebruar 2017
7.	Karusambla-mustika	2,48	55Ku45Ks	235	24	Saamees + MTZ 82	veebruar 2017
8.	Mustika	2,20	97Mä3Ks	356	32	Valmet 911 + MTZ 82	märts 2016
9.	Jänesekapsa-mustika	0,59	85Ku15Ks	176	23	Saamees + MTZ 82	november 2016
10.	Jänesekapsa-mustika	0,73	90Lm5Ks5Ku	184	23	Saamees + MTZ 82	november 2016
11.	Kuivendatud angervaksa	0,93	50Lm30Ks20Ku	208	21	Saamees + MTZ 82	november 2016
12.	Kuivendatud angervaksa	3,41	60Ku40Ks	184	20	Valmet 911 + MTZ 82	märts 2016
13.	Jänesekapsa	0,61	100Ku	302	30	Valmet 911 + MTZ 82	märts 2016
14.	Jänesekapsa	1,75	80Ku10Lh10Ks	371	32	Timberjack 1070E + forvarder	märts 2016
15.	Kuivendatud angervaksa	2,14	75Ks10Lm10Ku 5Sa	114	19	Saamees + MTZ 82	jaanuar 2016

Lisa 1. Jätkub

Appendix 1. Continues

Jrk. nr.	Kasvukoha-tüüp	Pindala, ha	Koosseis enne raiet	Tagavara I rindes enne raiet (m ³ ha ⁻¹)	Rinnas-pindala enne raiet (m ² ha ⁻¹)	Raie tegemise viis ja masinad (lõikamine + kokkuvedu)	Tööde lõpetamise aeg
16.	Angervaksa	4,15	85Ks10Lm5Ku	89	14	Saamees + Valtra N134A	mai 2019
17.	Jänesekapsa-kõdusoo	2,30	55Ks40Ku5Lm	120	17	Saamees + Valtra N134A	veebruar 2019
18.	Jänesekapsa-kõdusoo	5,90	51Lm45Ks4Ku	94	16	Saamees + Timberjack 810B	aprill 2018
19.	Angervaksa	3,85	75KS20Lm4Hb1Ku	173	20	Valmet 911 + forvarder	märts 2016
20.	Kuivendatud angervaksa	2,35	75Ks25Lm	214	25	Valmet 911 + forvarder	veebruar 2016
21.	Angervaksa	1,30	90Lm10Ks	248	27	Saamees + MTZ 82	jaanuar 2017
22.	Angervaksa	4,19	65Ks20Lm15Ku	132	19	Saamees + MTZ 82	august 2016
23.	Angervaksa	4,07	75Ks20Lm5Ku	143	20	Saamees + MTZ 82	august 2016
24.	Angervaksa	0,41	80Ks20Lm	221	25	Valmet 911 + MTZ 82	märts 2016
25.	Jänesekapsa-mustika	1,43	82Ku18Ks	287	29	Saamees + MTZ 82	veebruar 2017
26.	Jänesekapsa-mustika	4,45	60Ku40Ks	260	25	Saamees + Zetor Proxima 120	märts 2016
27.	Jänesekapsa-kõdusoo	1,16	85Ks15Ku	172	20	Timberjack 770D + Valtra N134A	september 2019
28.	Jänesekapsa-kõdusoo	2,74	90Ks5Ku5Lm	206	21	Timberjack 770D + Valtra N134A	september 2019
29.	Jänesekapsa-kõdusoo	2,10	100Ks	198	22	Timberjack 770D + Valtra N134A	september 2019
30.	Jänesekapsa	2,31	85Ks10Ku5Hb	243	23	Timberjack 770D + Valtra N134A	september 2019