



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maehitusinstituut

Ragnar Kaivapalu

LAGERAIE MASINATE VÕRDLUS RMK NÄITEL
THE COMPARISON OF CLEARCUT MACHINERY BASED
ON THE EXAMPLE OF THE STATE FOREST
MANAGEMENT CENTRE

Bakalaureusetöö
Metsanduse õppekava

Juhendaja: lektor Vahur Kurvits, *MSc*

Tartu 2017

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Ragnar Kaivapalu		Õppekava: Metsandus	
Pealkiri: Lageraie masinate võrdlus RMK näitel			
Lehekülgi: 31	Jooniseid: 11	Tabeleid: 7	Lisaid: 1
Osakond:	Metsatööstus		
Uurimisvaldkond:	Metsatööstus		
Juhendaja:	Vahur Kurvits, MSc		
Kaitsmiskoht- ja aasta:	Tartu 2017		
<p>Käesolev uurimustöö koosneb kahest osast. Esimeses osas kirjeldatakse töös kasutatavat meetodikat. Teises ja kõige mahukamas osas toimub analüüs ja uuritakse erinevaid metsamasinate toodangut mõjutavaid tegureid.</p> <p>Antud uurimistöö on valminud peamiselt autori tähelepanekute põhjal. Andmed graafikutesse ja tabelitesse on autor saanud valdavalt RMK aruannetest. Samuti on töös kasutatud raiemasinate kasutajatelt saadud infot raiemasinate ja raietööde kohta.</p> <p>Käesolevas töös selgus, et ükski uuritud faktor, vaadeldes võrdlusesse valitud masinaid, ei mõjutanud tootlikkust märkimisväärselt. Seega on selle töö tulemusel peamiseks tööviljakuse mõjutajaks masinate operaatorite võimekus.</p> <p>Autori arvates saaks uurimustööst kasulikku teavet nii masinaoperaatorid kui ka metsa ülestöötamisega tegelevad ettevõtjad.</p>			
Märksõnad: John Deere, harvester, tootlikkus			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Summary of Bachelor's Thesis	
Author: Ragnar Kaivapalu		Speciality: Forestry	
Title: The comparison of clearcut machinery based on the example of The State Forest Management Centre			
Pages: 31	Figures: 11	Tables: 7	Appendixes: 1
Department:		Forest Industry	
Field of research:		Forest Industry	
Supervisor:		Vahur Kurvits, MSc	
Place and date:		Tartu 2017	
<p>This study is composed of two parts. The first section describes the research method used in the work. The second and the largest part of the analysis consists an observation of the factors affecting the timber production of forest machinery.</p> <p>This research was carried out mainly on the basis of the author's observations. The data in the tables and graphs, the author has obtained from SFMC reports. This study also consists an information obtained from harvesters' operators.</p> <p>In this Paper, it became clear that none of the investigated factors, considering the comparison machines, does not significantly affect productivity. Thus, the main factor affecting the productivity according this study is the machine operator capability.</p> <p>The author thinks that this study can be useful for harvesters' operators as well as for forest management entrepreneurs.</p>			
Keywords: John Deere, harvester, productivity			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. MATERJAL JA METOODIKA.....	6
2. TULEMUSED JA ARUTELU.....	8
2.1 Masinraiete ja saega raiete osakaal.....	8
2.2 Masinlageraie osakaal.....	9
2.3 Lageraiemasina margi ja mudeli valik.....	10
2.4 Harvesterid 1270E Kirde regioonis	11
2.5 RMK Kirde regioonis töötavate 1270E masinate tehniliste andmete võrdlus	12
2.6 Tüvemahtude võrdlus.....	16
2.7 Sortimentatsioon.....	18
2.8 Lehtpuu ja okaspuu puidu osakaal.....	19
2.9 Kallite ja odavate puidusortimentide osakaal.....	20
2.10 Praagi osakaal raiutud puidust.....	21
2.11 Raiete logistika	21
KOKKUVÕTE	24
KASUTATUD KIRJANDUS	25
SUMMARY	26
LISAD.....	28
Lisa 1. Harvester John Deere 1270E üldised tehnilised andmed.....	29
Lisa 1 järg.....	30
Lihtlitsents.....	31

SISSEJUHATUS

Töö autor valis antud teema seetõttu, kuna puutub ise töö käigus tihti kokku lageraiemasinade ja nende poolt toodetud puiduga. Autoril on oma kogemuse tõttu võimalik valitud valdkonda analüüsida. Alates 2008 aastast on autor töötanud töökohal, milles on tegelenud raie tööde juhendamisega.

Teema on aktuaalne, sest töö autoril kui ka Riigimetsa Majandamise Keskusel (edaspidi RMK) tervikuna ja kõige enam töövõtjatel on huvi võimaldada raiemasinatel efektiivsemalt töötada.

Töö eesmärk on välja selgitada:

- 1) kas peale harvesteri operaatorite oskuste ja võimekuse on ka masinate tehnilistest omadustest ning raielankide iseloomust tulenevalt midagi, mis oluliselt tootlikkust mõjutab;
- 2) mis täpsemalt põhjustab kõrgema tootlikkuse ja kuidas oleks võimalik ka teisi vähem tootlikke masinaid paremini tööle rakendada?

Samuti on eesmärk töös koostada materjal, millest oleks RMK töövõtjatel võimalik infot saada, millised faktorid ja mil määral võiksid mõjutada lageraiemasinade tootlikkust.

Bakalaureusetöö koosneb sissejuhatausest, kahest peatükist ja kokkuvõttest. Esimeses peatükis tutvustatakse uurimistöö metoodikat. Teises peatükis, mis on ühtlasi töö põhiosa, tuuakse välja tulemused ja arutelu. Antud peatüki esimeses ja teises alapeatükis selgitatakse, miks uurimise objektiks valiti just masinraie ja lageraie masinad. Kolmandas ja neljandas alapeatükis tehakse masina ja mudeli valik analüüsi. Analüüsiks valitakse välja masina mudel John Deere 1270E, mis on uurimuseks valitud perioodil osutunud kõige enam kasutatavaks lageraiemasinaks RMK-s. Edasistes alapeatükkides proovitakse masinate tehnilisi omadusi ja raiekohtadega seonduvat analüüsides leida töös püstitatud eesmärgile lahendust.

1. MATERJAL JA METOODIKA

Käesolev bakalaureusetöö on koostatud kasutades RMK raiete kohta RMK siseseks kasutamiseks mõeldud aruandeid, töö koostaja enda töökogemust ja andmeid vestlustest masinate operaatoritega.

Lageraiemasinate võrdluseks on valitud raied, mis on teostatud ajavahemikul 01.07.2016. – 31.12.2016. (edaspidi võrdlusperiood). Töö koostaja hinnangul peaks selline ajavahemik andma masinate võrdlemiseks piisavad võimalused. Lühema perioodiga oleks see oht, et mõnel masinal võib juhtuda pikaajaline remont. Tõsisemate rikete korral tuleb ette nädala või koguni paari nädala pikkuseid tööseisakuid. Pikemat perioodi vaadeldes remonttööde tõttu tekkinud seisakud nii-öelda hajuvad. Samuti peaks pikemat perioodi vaadates tulema sarnaste aastakäikude, samadel harvesteri mudelitel ka remondiaega enam-vähem võrdselt.

Töö koostamiseks on uuritud erinevaid faktoreid, mis mõjutavad lageraiemasinate tootlikkust. Igas uuringu analüüsiva osa alapeatükis on uuritud erinevat faktorit ja püstitatud põhjus, mis võiks soodustada tootlikkuse tõusu või langust. Seejärel on proovitud leida kinnitust, kas ja mil määral uuritav faktor mõjutas tootlikkust.

Töö analüüsiva osa alguses on tegeletud masinate valimisega analüüsi. Selleks kasutati RMK aruandeid, millest võeti töömahud raieliikide ja masinate viisi ning seejärel valiti võrdlusesse kõige rohkem puitu tootnud harvesteri mudel.

Seejärel tehti taas RMK aruandlusest väljavõtte kõige enam tootnud harvesteri mudeli ja kõigi Kirde regioonis võrdlusperioodil töötanud masinate mahtude kohta. Väljavõtte põhjal valiti edasisse võrdlusesse neli kõige tootlikumat masinat.

Edasi võrreldi harvesteride tehnilisi andmeid, mida koguti masinate kohta harvesterioperaatoritelt telefonivestlustes. Samuti kasuti andmete võrdlusel erinevaid John Deere harvesteride ja löikepeade internetist leitavaid brošüüre.

Järgmisena võeti võrdlusesse masinate raiutud lankide keskmised tüvemahud, mis saadi RMK aruannetest. Tüvemahude analüüsiks, kasutab töö koostaja enda kogemust ja infot vestlustest erinevate harvesterioperaatoritega.

Edasi võrreldi toodetud puidu sortimentatsiooni, kallite ja odavate sortimentide osakaalu leht- ja okaspuidu osakaalu raiutud puidust ja praagi osakaalu raiutud puidust. Kõigisse nendesse võrdlustesse saadi andmed RMK aruannetest. Analüüsiks kasutas töö koostaja enda töökogemuse läbi välja kujunenud põhimõtteid.

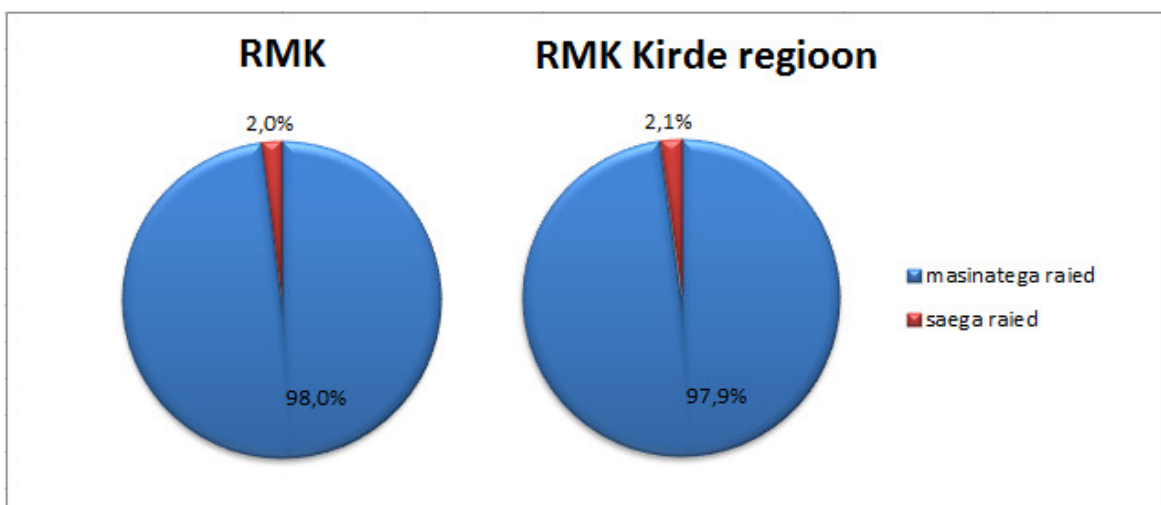
Viimases analüütilises osas võeti vaatluse alla raielogistika. Raiutud lankide nimekiri saadi RMK aruannetest. Raielangid pandi ajalise raiejärjekorda. Seejärel kasutati RMK kaardirakendust RITA II, et mõõta kaardil lankide vahelised kaugused. Peale kauguste mõõtmist otsustati millisel moel harvester järgmisele langile liikus. Juhul kui järgmine lank asus lähemal kui kümme kilomeetrit, siis liikus harvester langini nii-öelda „omal jalal“, aga kui lank asus kaugemal kui kümme kilomeetrit, siis kasutati treileri abi

Andmete analüüsimiseks kasutati Microsoft Excel versioon 2010 tabelarvutusprogrammi, kus koostati töös kasutatavaid tabelid kui ka diagrammid ning töö koostamisel on kasutatud tekstitöötlusprogrammi Microsoft Word versioon 2010 ning töö on vormistatud EMÜ metsandus- ja maaehitusinstituudis kasutusel oleva juhendi „Lõputöö vormistamise nõuded“ järgi [10].

2. TULEMUSED JA ARUTELU

2.1 Masinraiate ja saega raiete osakaal

Taustainfo lisamiseks uurimusele tegi töö koostaja aruannetest väljavõtted RMK ja RMK Kirde regiooni teostatud masinraie ja saega raie mahtudest võrdlusperioodil. Tulemused on näidatud joonisel 1. Vaadeldud on vaid neid raieid, millest puitu varutakse. Mahud on esitatud tihumeetrites. Selgus, et RMK teostas saega 2,0% raietest ja RMK Kirde regioon teostas saega 2,1% raietest. Seega suurusjärk on väga sarnane. Samuti näitavad need andmed, et RMK teostab valdava osa likviidsetest raietest ehk raietest kust varutakse puitu masinatega.



Joonis 1. RMK ja RMK Kirde regiooni masinraiate ja saega raiete osakaal (autori koostatud)

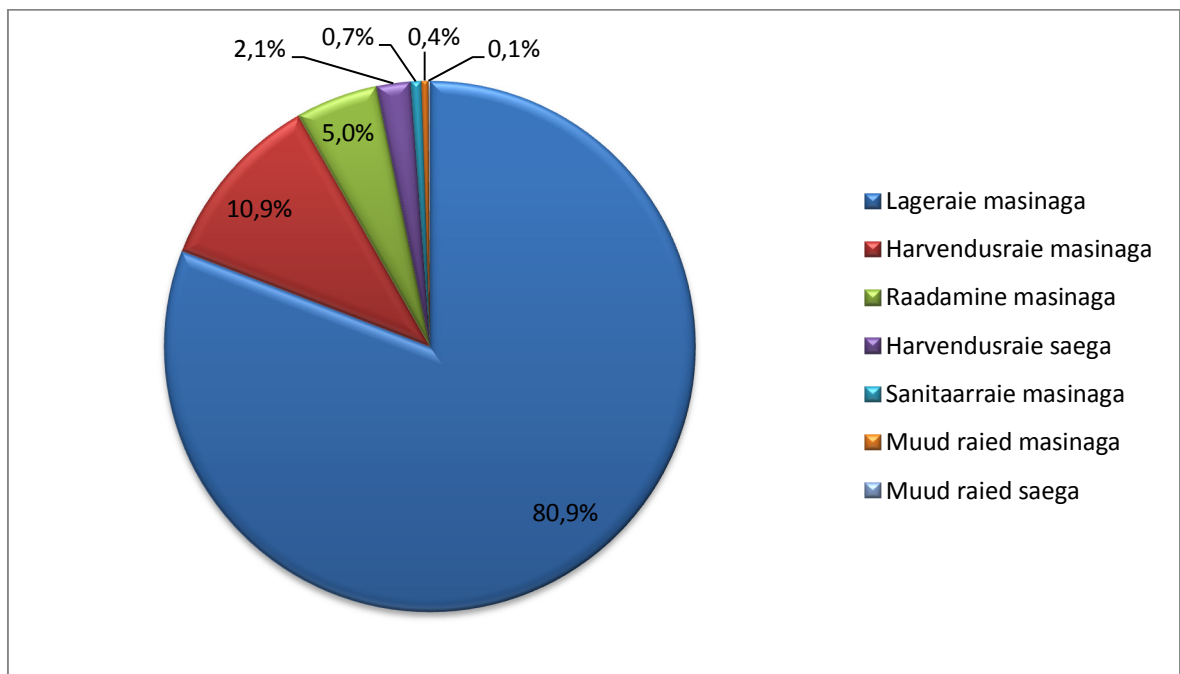
Harvester on kombineeritud metsamasin, mis langetab, laasib ja järkab puutüve sortimentideks. Sõltuvalt masina gabariitidest, kaalust, lõikepea suurusest ja võimsusest eristatakse uuendusraie- ja hooldusraieharvestere. [7: 537]

Vastavalt metsaseadusele lageraie korral raiutakse raielangilt ühe aasta jooksul raie algusest arvates kõik puud, välja arvatud seemnepuud ja säilikuud [8]. Töö koostaja

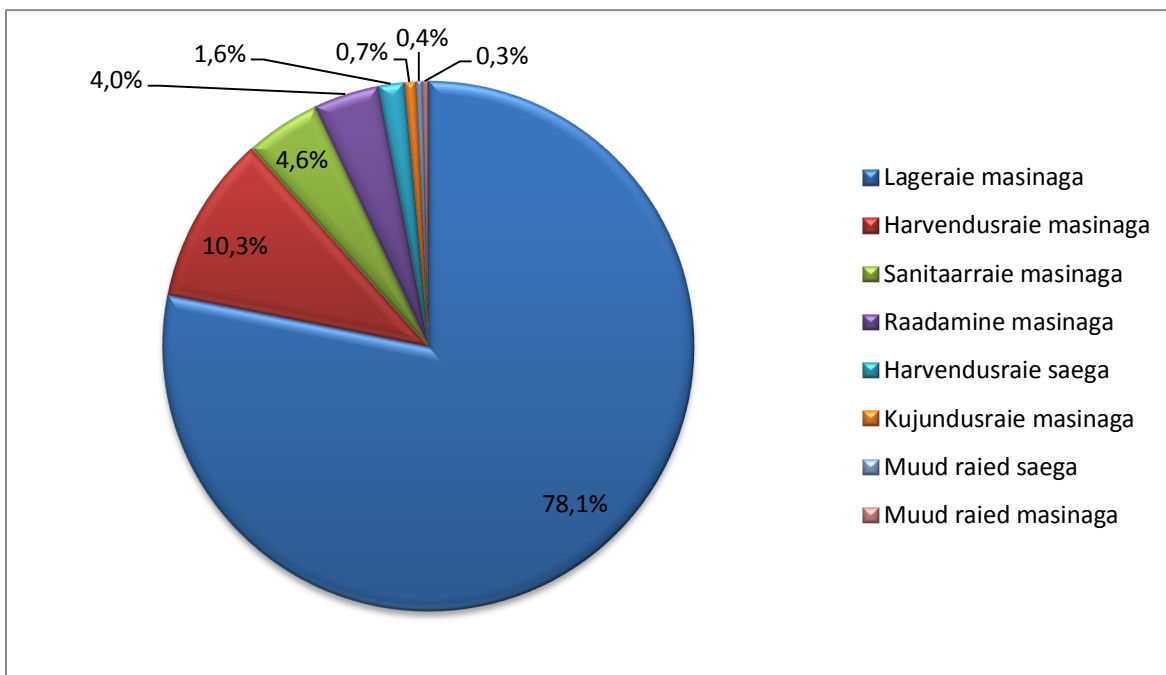
kogemus on, et lageraiet teostavad harvesterid keskmiselt tempoga üks hektar ööpäevas. Töö autori hinnangul on keskmise lageraielangi pindala kaks-kolm hektarit.

2.2 Masinlageraie osakaal

Antud alapeatükis on võrreldud masinlageraie osakaalu teiste raieliikidega. Graafiliselt on esitatud tulemused joonistel 2 ja 3.



Joonis 2. RMK raieliikide osakaal (autori koostatud)



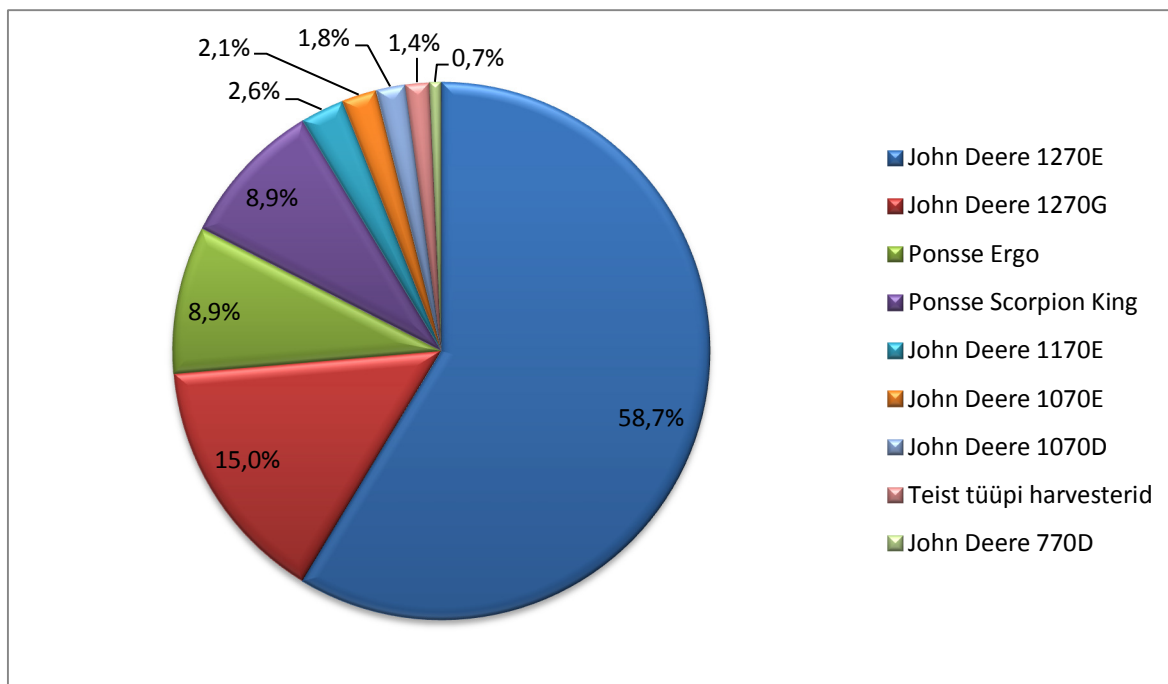
Joonis 3. RMK Kirde regiooni raieliikide osakaal (autori koostatud)

Joonistelt 2 ja 3 on näha, et masinlageraie moodustab võrdlusperioodil RMK-s ja RMK Kirde regioonis raiutavast mahust ligikaudu 80%. Seega on sarnaste andmete tõttu võrdluspiirkonna kitsendamise Kirde regiooni näol õigustatud.

Võrdlusperioodil raiuti RMK-s kokku 7093 hektarit lageraieid mahus 1 776 737 tihumeetrit. RMK Kirde regioonis raiuti võrdlusperioodil 2397 hektarit lageraieid mahus 607 798 tihumeetrit.

2.3 Lageraiemasina margi ja mudeli valik

RMK-s teostatakse lageraied erinevat marki ja mudelit masinatega. Allpool on toodud välja millist tüüpi masinaid ja millise osaakaluga RMK Kirde regioonis raietel kasutati.



Joonis 4. Harvesteri mahtude osakaal (autori koostatud)

Joonisel 4 on näha, et 58,7% masinlageraietest teostatakse Kirde regioonis harvesteridega John Deere 1270E. Kokku tegutses Kirde regioonis kümme antud tüüpi harvesteri, mis on välja toodud järgnevas alapeatükis. Teisel kohal on uuem ja hetkel veel vähemlevinum John Deere 1270G, mis raius 15,0% lageraietest. Kokku tegutses Kirde regioonis kaks antud tüüpi harvesteri. Kolmandal kohal oli Ponsse Ergo, millega raiuti 8,9% lageraietest. Kokku tegutses Kirde regioonis kaks seda tüüpi harvesteri.

Kuna 1270E tüüpi harvester oli Kirde regioonis enamkasutatud masinatüüp, mis annab ka analüüsiks laialdamased valikuvõimalused, siis autor valis edasiste võrdluste jaoks välja selle harvesteritüübi.

2.4 Harvesterid 1270E Kirde regioonis

Kokku töötas võrdlusperioodil Kirde regioonis kümme 1270E tüüpi harvesteri. Nende masinate toodetud puidu mahud on toodud tabelis 1. Kuna need masinad teostavad vähesel määral ka teisi raieid: sanitaarraieid, aegjärksed raieid ja raadamisi, peame vaatama ka

nendest raietest saadud puidu koguseid. Need leiame samuti tabelist 1, kus on masinad sorteeritud kõrgeimast tootlikkusest madalamani. Harvester 1 tootis 59 893 tihumeetrit, samas kui harvester 10 tootis 9077 tihumeetrit.

Tabel 1. Harvesteride toodetud puidu mahud (autori koostatud)

Harvesterid 1270E	Maht tihumeetrites				
	Lageraie	Sanitaarraie	Raadamine	Aegjärgne raie	Kokku
Harvester 1	59 734		99		59 833
Harvester 2	41 990	133	8828		50 951
Harvester 3	47 880	2751		296	50 927
Harvester 4	45 290	69	2148		47 507
Harvester 5	39 826				39 826
Harvester 6	31 794		34		31 828
Harvester 7	30 138	67			30 205
Harvester 8	28 304	500			28 804
Harvester 9	23 058		142		23 200
Harvester 10	8 576	501			9 077
Kokku	356 590	4 021	11 251	296	372 158

Harvesteridel 1, 2, 3 ja 4 töötab kõigil kolm operaatorit, seega on ka tööaeg kõigil sarnane. Need masinad töötavad niiöelda 24 tundi ööpäevas ja seitse päeva nädalas. Teistel masinatel töötas, kas siis kaks operaatorit (seega rohkem seisuaega) või ei töötatud kogu kuue võrdlusperioodi kuu jooksul Kirde regioonis. Seega valime edasisteks võrdlusteks sarnase tööajaga harvesterid 1, 2, 3 ja 4.

2.5 RMK Kirde regioonis töötavate 1270E masinate tehniliste andmete võrdlus

Antud alapeatükis on välja toodud RMK Kirde regioonis töötavate harvesteride John Deere 1270E masinate tehniliste andmete võrdlus. Tabelis 2 on toodud autori ja harvesteride kasutajatega läbi arutamise tulemusena selgunud olulisemad jõudlust mõjutada võivad omadused. Ülevaate andmiseks lisas autor ka sellesse tabelisse üles töötatud kogu tihumeetrid.

Tabel 2. Harvesteride kasutajatelt kogutud tehnilised andmed (autori koostatud)

Harvesterid 1270E	Kokku raiutud tm	Nool m	Lõikepea	Aasta	IT4	Rehvid soolvett täis
Harvester 1	59 833	10	H480c	2015	jah	ei
Harvester 2	50 951	10	H415	2015	jah	esimesed soolvett täis
Harvester 3	50 927	10	H480c	2015	jah	esimesed soolvett täis
Harvester 4	47 507	10	H480c	2014	jah	esimesed soolvett täis

Kõigil võrreldavatel harvesteridel on kasutuses CH7 tüüpi nool. Nendel nooletüüpidel on kasutuses kolmes pikkuses nooli, 8,6m; 10m; 11,7m. [2] Võrdluses olevatel masinatel on kõigil nooled pikkusega 10m, seega jõudluse erinevusi see omadus ei saa tekitada.



Joonis 6. John Deere H415 lõikepea [4]



Joonis 7. John Deere H480C lõikepea [2]

Lõikepea on üldjuhul 1270E tüüpi masinatel kasutuses H480C [2], nii ka meie võrdluses olevatel masinatel. Välja arvatud harvester 2, mis kasutab lõikepead 415C. Brošüürilt me seda tüüpi lõikepead 1270E masinale valikus ei leia [4]. Küll aga on selline lõikepea valikus uuematel 1270G tüüpi masinatel, selle leiame ka 1270G brošüürilt [3]. Samuti on selline lõikepea kasutuses Kirde regioonis töötavatel 1270G harvesteridel. John Deere H415 lõikepea kohta tuli kasutajatelt telefonivestlustes vastakaid arvamusi. Harvester 2 üks operaatoritest, kellega vestlesin (esindas ka teiste sama masina operaatorite arvamust) arvas, et võrreldes H480C lõikepeaga on nende kasutuses olev lõikepea aeglasem, kohmakam ja võtab jõudlust maha. Samas vestlustest 1270G mudeli kasutajatega, kellel oli kasutuses samuti H415 lõikepea kumas läbi vastupidine arvamus, et H415 on just võrreldes H480C peaga kiirem ja võimsam ja et tänu uut tüüpi lõikepeale on neil jõudlus suurenenud. H415 lõikepea kohta leiame John Deere veebilehelt info, et tegemist on uusima lõikepeaga [4]. See info ja fakt, et H415 lõikepea on kasutuses uutel 1270G mudelitel, mille kasutajad kõik uut pead kiidavad, tekitab mõtteid, et ehk ei sobi H415 pea ja veidi vanemat tüüpi harvester 1270E omavahel väga hästi kokku ja sellest võivad tekkida mõningad jõudlusprobleemid. Samas on see vähetõenäoline, et tehase poolt on harvesterile paigaldatud mittesobiv ja jõudlust vähendav pea. Pigem võib olla siin põhjus

selles, et kasutajad alles harjuvad uut tüüpi lõikepeaga, kuna nad on varem aastaid töötanud H480C lõikepeaga masinatega.

Väljalaskeaasta on harvesteridel 1 kuni 3 2015.a. ja harvesteril 4 2014.a. Kuna need masinad töötavad aasta jooksul ca 5000 töötundi (harvesteride kasutajatelt saadud info), siis tekitab ka aastane kasutus mõningase seadmete kulumise. Tabel 2 näitabki, et teistest vanem harvester 4 on lõiganud teistest vähem puitu. Tõenäoliselt seetõttu, et on teistest enam viibinud remondis. Järgnevas alapeatükis tuleb juttu tüvemahtudes ning sealgi on näha, et sellele harvesterile on sattunud ka kõige madalama tüvemahtuga langid.

Kõik võrdlusesse valitud harvesterid on uuema IT4 tüübi masinad. Võrreldes vanema mudeliga on kasutajate hinnangul olulisemaks erinevuseks see, et neil on kasutuses kahe pumbaga hüdroüsteem. Vanemal 1270E mudelil on ühe pumbaga hüdroüsteem, mis kasutajate hinnangul oli uuemaga võrreldes aeglasem ja tagas aeglasemate tööoperatsioonide läbiviimise ja seega ka madalama jõudluse [1]. Vaadates tagasi tabelisse 1 saame ka sellele mõningat kinnitust. Näiteks harvester 9 on vanema tüübi mudel. Kindlasti on sellel harvesteril ka madala tootlikkuse põhjuseks vanus (väljalaske aasta 2012) ja see, et masinal töötab vaid kaks operaatorit.

Soolvett kasutatakse rehvides, et tagada masina parem stabiilsus. Rehvides on just soolvesi, mitte tavaline vesi, seepärast et vältida talvel vee jäätumist [9:16]. Harvesteri 1 operaator andis kommentaari, et nende masinal vett rehvides ei ole, ja tema hinnangul pidi masin ilma veeta rehvides piisavalt stabiilne olema. Masin pidi ilma veeta ka juba piisavalt raske olema ja vee lisamine pidi pigem tagama suurema pinnasesse läbivajumise, seetõttu on hiljem ka forwarderil, ehk metsaveotraktoril, keerulisem kokkuvedu teostada. Töö koostaja lisas antud parameetri selleks, et kontrollida kas vee lisamine rehvidesse annab masinatele parema stabiilsuse ja tagab seetõttu ka suurema tootlikkuse. Kuna harvester 1 ei kasuta soolvett, aga samal ajal on ta kõige suurema tootlikkusega, sai see väide ümber lükatud. Teistpidi vaadates võib soolvee lisamisest tekitatud suurem pinnasesse läbivajumine tekitada mõningase jõudluse languse. Seetõttu peab harvester hoolikamalt kokkuveoteele ja rataste alla raiejäätmeid paigutama, et vajumist vältida ning läbi vajuv pinnas võib tekitada harvesterile aeglasema edasi liikumise. Töö koostaja enda hinnang on siinkohal siiski, et soolvee lisamine ei saa tekitada olulist jõudluse langust. Põhjus on selles, et langid antakse töösse arvestusega, et ka forwarder peab olema suuteline nendel kokkuvedu teostama. Juhul kui harvesteri töö on läbivajumise tõttu raskendatud, siis on

suur tõenäosus, et forwarder jääb langile sootuks kinni. Selliseid lanke üldjuhul töösse ei anta. Võib ka juhtuda, et ilmastikuolude muutuse tõttu, näiteks tugevate vihmasadude tõttu, muutub tugeva pinnasega lank poole raie pealt läbi vajuvaks. Sellisel juhul katkestatakse langil raietöö ja antakse töösse tugevama pinnasega lank.

2.6 Tüvemahtude võrdlus

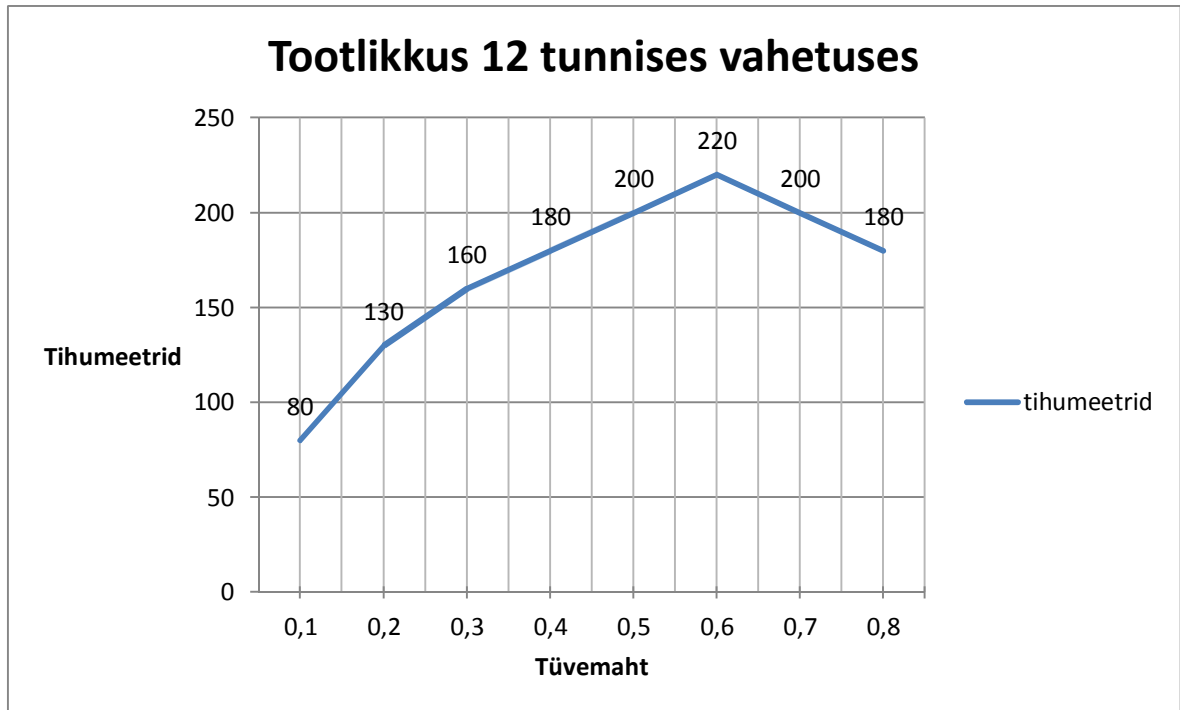
Käesolevas alapeatükis võrreldakse tüvemahte ning kas see mõjutab harvesterite tootlikust. Keskmise tüvemahu arvutavad harvesterid automaatselt ja edastavad RMK infosüsteemi. Keskmise tüvemaht saadakse langilt raiutud puidu kogu mahtu jagades kõigi langilt raiutud puude arvuga. Vaatluse alla võetud harvesterite keskmine tüvemaht oli võrdlusperioodil 0,34 tihumeetrit.

Tabel 3. Tüvemahtude võrdlus (autori koostatud)

Harvester	Raiutud tm	Keskmine tüvemaht	Tüvemaht alla 0,2	Alla 0,2 tüvemahu osakaal % kogu raiest	Tüvemaht üle 0,6	Üle 0,6 tüvemahu osakaal % kogu raiest
Harvester 1	59 833	0,30	4593	7,7	677	1,1
Harvester 2	50 951	0,51	233	0,5	16742	32,9
Harvester 3	50 927	0,32	2040	4,0	960	1,9
Harvester 4	47 507	0,27	4394	9,2	0	0,0
Kokku	209218	0,34	11260,00	5,38	18379	8,8

Tabelist 3 on näha, et 1, 3 ja 4 harvesterite tüvemahud on suhteliselt sarnased. Teistest erinev on harvesteri 2 tüvemaht. Kuid kuna nende harvesterite tüvemahud on võrreldes harvester 1 tüvemahuga, siis ei saa olla tüvemaht põhjuseks miks nad vähem toodavad kui harvester 1. Pigem peaks sellisel määral kõrgem tüvemaht tagama suurema tootlikkuse. Vestlusest harvesteri operaatoritega ja töö koostaja enda hinnangul peaks 0,3 tüvemahust alates jõudlus suurenema kuni tüvemahtudeni mis ületavad 0,6...0,7 sealt edasi peaks tekkima tootlikkuses mõningane langus, kuna väga suurte puude langetamine ja järkamine nõuab rohkem aega. Jõudluse langust alates tüvemahust 0,6 on ka näidatud joonisel 8. Joonise 8 on autor koostanud tuginedes enda kogemusele, samuti on arvanud mitmed

harvesteri operaatorid, et ligikaudselt peaks sarnanema tüvemahu ja tootlikkuse suhe graafikul esitatule. Tulenevalt raielangi eripäradest võib tootlikkus oluliselt erineda joonisel 8 esitatust.



Joonis 8. Jõudluse seos tüvemahuga laggeraie masinatel (autori koostatud)

Kuid siiski on kõrgema tüvemahuga lankidel tootlikkus alati kõrgem kui madalamate tüvemahtudega lankidel. Piltlikult öeldes, harvester 1 pidi 100 tm puidu saamiseks raiuma 333 puud, samas harvester 2 pidi sama koguse saamiseks raiuma 196 puud. Kui siit edasi vaadata eraldi harvesteri 2 lankide tüvemahte, siis sealt on näha, et 0,6 ja kõrgema tüvemahuga lanke raiuti mahus 16742 tihumeetrit. See moodustas harvesteri 2 raiutud kogumahust 32,9%. Nii kõrged tüvemahtud tingivad tõesti vähese tootlikus languse, kuid arvestades et 0,3...0,6 jõudlus tõuseb ja sealt edasi hakkab vähehaaval langema, siis tüvemahtude koha pealt on siiski harvesteril 2 teistega võrreldes eelis. Samas kui vaadata harvester 1 tüvemahte, siis siin on just vastupidine olukord, kus esineb palju lanke väga madalas tüvemahus. Tüvemahuga 0,2 ja madalamad moodustavad harvesteril 1 langid mahus 4593 tihumeetrit. Mis moodustab harvester 1 raiutud kogumahust 7,7%. Harvesteride 3 ja 4 tüvemahtude jaotus lankide lõikes on sarnane harvesterile 1.

2.7 Sortimentatsioon

Antud peatükis käsitleme harvesteride lõigatud puidu sortimentatsiooni. Tabelis 4 on välja nelja võrdluseks valitud harvesteri lõigatud mahud sortimentiti, tihumeetrites.

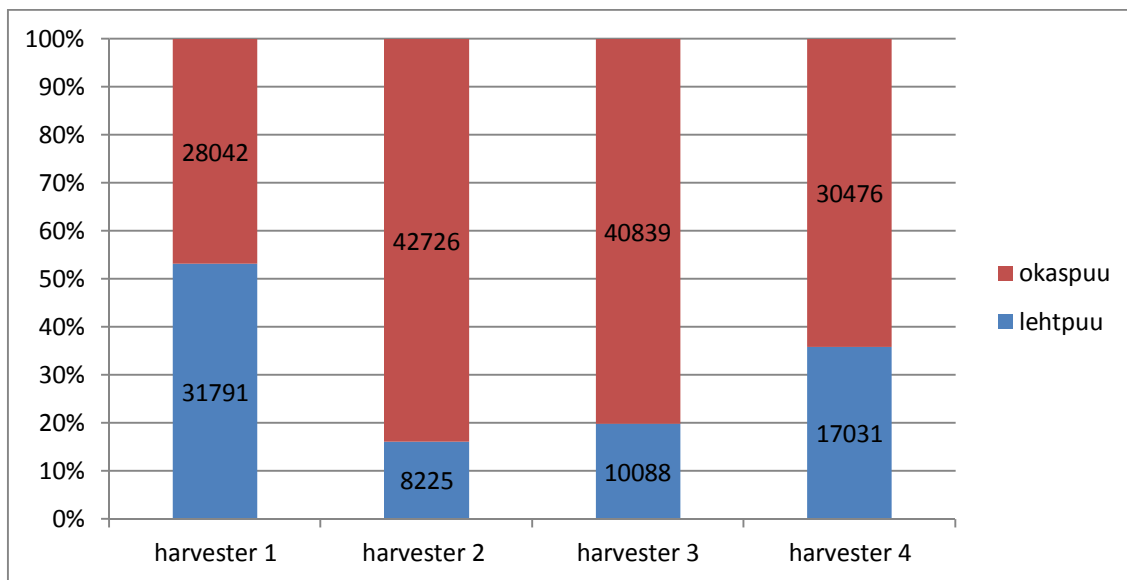
Tabel 4. Harvesteride lõigatud puidu sortimentatsioon (autori koostatud)

Sortiment	Harvester 1	Harvester 2	Harvester 3	Harvester 4
Haavapaberipuit	4549	854	2582	2753
Haavapalk	1010	4	481	449
Kasepaberipuit	9900	5363	3391	5353
KasepalkM	1071			
Kasesaepalk	2738	258		
Kasespoonipakk	844	32	41	53
Kasevineeripakk	2540	926	1463	2652
Kuuseküttepuit	2665	2784	4578	3912
Kuuselatt	1493	620	248	1060
Kuusepaberipuit	3843	5145	6052	3684
Kuusepalk	13089	8301	11036	10450
KuusepalkM	360	642	1885	3021
Kuusepost	27			
Küttepuit	7674	788	2130	5633
Muu lehtpuupalk	26			
Männi majapalk		353		
Männiküttepuit	201	1083	450	0
Männilatt	136	201	170	169
Männipaberipuit	673	6493	3000	1574
Männipakk		1015		
Männipalk	5453	15923	13133	6418
Männipalk M		165	286	188
Männipost	103			
Sanglepapalk	1439			137
Kokku	59833	50951	50927	47507

Tabelist 4 on näha, et masinate raiutud sortimentatsioon on erinev. Harvester 1 on lõiganud võrreldes teiste masinatega suuremates kogustes erinevaid lehtpuusortimente. Harvester 2 on lõiganud teistest enam okaspuusortimente. Harvesteril 3 ja 4 on sortimentatsioon sarnane. Edasises töös käsitleme sortimentatsiooni mõju tootlikkusele.

2.8 Lehtpuu ja okaspuu puidu osakaal

Käesolevas osas antakse ülevaade lehtpuu ja okaspuu puidu osakaalust nelja harvesteri poolt raiatud puidust ning selle mõjust harvesteri tootlikkusele.

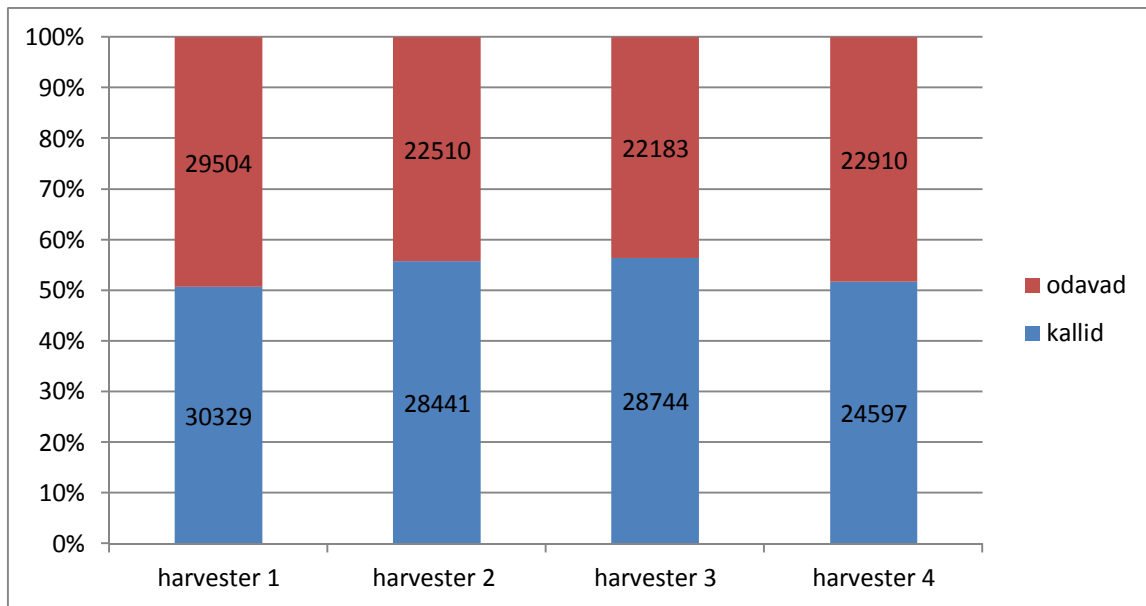


Joonis 9. Lehtpuu ja okaspuu puidu osakaal (autori koostatud)

Jooniselt 9 on näha kui suure osa raiatud puidust moodustas lehtpuu ja kui suure okaspuu. Kõige rohkem raius lehtpuid harvester 1, kokku 28042 tihumeetrit. Kõige rohkem okaspuid raius harvester 2, kokku 42726 tihumeetrit. Ka siit me ei leia põhjust, miks harvester 1 lõigatud puidu maht on teistest harvesteridest oluliselt suurem. Kuna lehtpuu enamuse mõjub just tootlikkusele pärssivalt. Lehtpuude laasimine (valdavas enamuses kask) on aeganõudvam, kuna oksad on okaspuudega võrreldes jämedamad. Lehtpuude järkamine võtab rohkem aega, kuna enamasti lõigatakse lühikesi 2,5m - 3,3m pikkuseid sortimente. Samuti teeb järkamise keerukamaks see, et lehtpuud on võrreldes okaspuudega kõveramad ja operaatoril on rohkem nuputamist, kas lõigata paberipuitu või kallimaid sorte (palk, pakk).

2.9 Kallite ja odavate puidusortimentide osakaal

Antud alapeatükis käsitletakse kallite ja odavate sortide osakaalu raiutud puidust. Kalliteks sortideks on märgitud: palgid, pakud, postid ja latid. Odavateks on märgitud paberi- ja küttepuit. Kallite ja odavate puidusortimentide osakaal nelja harvesteri lõikes on välja toodud joonisel 10.



Joonis 10. Kallite ja odavate puidusortimentide osakaal (autori osakaal)

Jooniselt 10 on näha, et kõige suurem kallite sortide osakaal oli harvesteridel 2 ja 3. See tulemus on ka täiesti ootuspärane, kuna nendel masinateel oli raiutud puidul ka suurem okaspuidu osakaal, mille tootlikkus on võrreldes lehtpuudega kõrgem. Ka siit ei leita põhjust, miks harvester 1 teistest masinatest tootlikum on. Juhul kui kallite sortide osakaal oleks olnud harvesteril 1 oluliselt väiksem, siis võiks kahtlustada, et lõigatud on kiirustades ja mõtlematult, kuid pisut madalamam näit, mida joonisel 9 näeme, on põhjendatav suurema lehtpuu puidu osakaaluga.

2.10 Praagi osakaal raiutud puidust

Käesolevas osas tuuakse välja nelja harvesteri lõikes praagi osakaal raiutud puidust. Praagi andmed on leitud RMK aruannetest. Ajavahemikuks on võetud samuti 2016.a. teine poolaasta.

Tabel 5. Praagi osakaal raiutud puidust (autori koostatud)

Masin	Praagi protsent
Harvester 1	3,41
Harvester 2	2,61
Harvester 3	2,91
Harvester 4	2,88
Kokku	2,95

Tabelis 5 on näha, et harvesteril 1 on õige suurem praagi protsent, mis on 3,41. See on ka ootuspärane, sest see masin lõikas kõige rohkem lehtpuud. Valdavalt põhjustab suurema lehtpuu praagi kõverus ja järkamisel tekkivad rebendid. Lehtpuu, mis on valdavalt kask, mitmete kallimate sortide ostjatega on kokkulepe, et antakse praak RMK-le tagasi, seejärel RMK leiab praagile uue ostja. Harvester 2 on ootuspäraselt kõige väiksema praagi protsendiga, kuna see masin lõikas ka kõige rohkem okaspuud (joonis 8). Võrdluseks olid võrdlusperioodil RMK keskmine praagi protsent 3,28 ja RMK Kirde regiooni keskmine praagi protsent 3,36. Kui võrrelda neid numbreid võrdluses olevate harvesteride praagi protsentidega on näha, et ka need numbrid on keskmisele üsna lähedased.

2.11 Raiete logistika

Raielogistikana käsitleme harvesteri läbitud vahemaad ja aega, mis kulub peale langi lõpetamist, järgmisele langile liikumiseks.

Oluliseks faktoriks parima jõudluse tagamisel on hea raiete logistika. See tähendab minimaalne raielankide omavaheline kaugus. Kuna mida kaugemal asub harvesteri jaoks järgmine lank, seda rohkem aega kulub selle langini jõudmiseks ja lõikuse jätkamiseks.

Täpset analüüsi palju võrdlusperioodil kulus harvesteridel aega langilt-langile sõiduks kahjuks pole võimalik teostada, kuna selliseid andmeid ei koguta. Küll aga saame raiutud lanke kaardile paigutades vaadata, kui kaugel paiknesid langid teineteisest ja selle põhjal saame arvutada ligikaudse ajakulu järgmise langini jõudmiseks.

Selline raielogistika analüüsimine on mahukas töö ja autori hinnangul saame piisava ülevaate ka kahe kõige tootlikuma masina võrdelemisest. Seega võtame siin võrdlusesse harvesterid 1 ja 2 ning jätame harvesterid 3 ja 4 kõrvale.

Töö koostaja leidis aruannetest mõlema masina poolt võrdlusperioodil raiutud langid. Seejärel pandi paika mõlemal masinal lankide raiumise järjekord. Peale seda mõõdeti lankide vahelised kaugused, liikudes edasi mööda lankide raiumise järjekorda.

Seejärel arvutati välja langilt langile jõudmise aeg. Arvestusega, et kui järgmise langini on alla kümme kilomeetri ja/või enne järgmist lanki pole kõvakattega teelõiku, siis harvester liigub nii-öelda omal jalal. Kui järgmine lank asub kaugemal kui kümme kilomeetrit, siis kasutatakse transpordiks treilerit. Omal jalal liikumisel arvestati, et harvester liigub kiirusega 10 km/h. Seega jagati kilomeetritesse teisendatud läbitud vahemaa 10-ga ja saadi kulunud aeg tundides.

Juhul kui harvester kasutas järgmisele langile jõudmiseks treilerit, siis arvestati et harvesteri peale ja maha laadimiseks kulub kokku üks tund ja treiler liigub keskmise kiirusega 50 km/h. Seega vahemaa järgmise langini jagati 50-ga ja saadi kulunud aeg tundides, millele liideti üks tund peale- ja mahalaadimise aega. Harvesteriga transpordil pole arvestatud, et harvester peab treilerit ootama, vaid et treiler saabub õigeaegselt või veidi varem nii nagu see ka reeglina toimub. Seega arvutustele ooteaega ei lisandunud. Tabelis 6 on toodud näide harvesteri 1 esimese seitsme langi raielogistika arvutuste kohta.

Tabel 6. Harvester 1 raielogistika andmed (autori koostatud)

Raie järjekord	Lank	Raie algus	Raie lõpp	Kaugus järgmise langini km	Kasutati treilerit	Ajakulu h
1	lank 1	6.juuli	7.juuli			
2	lank 2	8.juuli	8.juuli	0,7		0,07
3	lank 3	12.juuli	12.juuli	0,7		0,07
4	lank 4	12.juuli	12.juuli	0,1		0,01
5	lank 5	12.juuli	13.juuli	0,05		0,005
6	lank 6	14.juuli	15.juuli	27,5	jah	1,55
7	lank 7	16.juuli	16.juuli	0,1		0,01

Arvutuste lõpptulemused on tootud tabelis 7, milles on näha, et raielogistiline ajakulu oli võrdlusperioodil harvesteril 1 kokku 14 tundi ja harvesteril 2 kokku 14,6 tundi. Nii väikesed numbrid on töö koostaja jaoks üllatuslikud.

Tabel 7. Harvesteride 1 ja 2 raielogistika tulemused (autori koostatud)

Masin	Lankide arv	Vahemaa			Ajakulu		
		Treileril läbitud km	Omal jalal läbitud km	Läbitud km kokku	Treileriga ajakulu h	Omal jalal ajakulu h	Ajakulu kokku h
Harvester 1	75	70	86	156	5,4	8,6	14
Harvester 2	62	212	34	246	11,2	3,4	14,6

Arvestades, et keskmine lageraie harvester toodab tavaliselt 12 tunnises vahetuses 160 tihumeetrit puitu, toodetak 14 tunniga, mis kulus harvesteril 1 langilt-langile sõitmisele, vaid ligikaudu 170 tm puitu. Mis on meie võrdlusperioodil kumbagi masina raiutud puidu koguseid vaadates marginaalne kogus. Isegi kui prognoositud ajakulu raielogistikaks sai tagasihoidlik ja kuluks kasvõi kahekordne aeg, on nende arvutustega tõestatud, et parem raielogistika ei ole põhjuseks, miks harvester 1 löikas võrreldes teiste masinatega tunduvalt suurema mahu puitu.

KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli võrrelda sarnaseid raiemasinaid ja välja selgitada, miks osad masinad on teistest tootlikumad. Uuring näitas, et harvester 1 on teistest masinatest oluliselt tootlikum. Edasi prooviti välja selgitada põhjuseid, mis kõrgema tootlikkuse põhjustasid.

Uuringu tulemusel ei leitud ühtegi olulist põhjust, miks harvester 1 on tunduvalt tootlikum võrreldes teiste harvesteridega. Vähemal määral tootlikkuse mõjutajatena võib välja tuua masina kaalu, mis on rehvide soolveega täitmata jätmise tõttu harvesteril 1 võrreldes teiste masinatega väiksem ja seetõttu masin vajub vähem pinnasest läbi. Tehnilistest andmetest võib ka mõjutajana välja tuua lõikepea. Uurimus näitas, et uuemat tüüpi lõikepea ei pruugi tagada suuremat tootlikkust. Samuti võib vähesel määral suuremat tootlikkust harvesteril 1 tekitada pisut suurem praagi protsent. Samas on suurem praagi osakaal ka tingitud oluliselt suuremast lehtpuidu osakaalust, mis just vastupidi peaks mõjuma tootlikkusele negatiivselt.

Seega peab peamise põhjusena välja tooma operaatorite eripära. Kuna erinevate operaatorite võimekust mõõta ei olnud antud töö eesmärk ja samuti on seda väga keeruline teha. Ja oleme kõik teised teadaolevad suuremat tootlikkust tagavad faktorid välistanud, siis järelikult on Harvesteri 1 operaatorid teistest paremate oskustega ja suudavad seetõttu rohkem puitu toota.

RMK töövõtjate jaoks võiksid selles töös autori arvates olla kõige huvipakkuvamad peatükid, kus on juttu tüvemahtudest ja raielogistikast. Mõlema puhul on töös tõestatud, et jõudlust ei mõjuta need faktorid nii oluliselt kui on seni arvatud. Selle tõestuseks on fakt, et madalama tüvemahuga lanke lõiganud masin on osutunud kõige tootlikumaks. Raielogistika osas selgus, et masinatel kulus langilt langile sõitmiseks peaaegu võrdselt aega, kuigi üks masinatest sõitis oluliselt rohkem ja pikemaid maid treileril.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. John Deere 1270E/1470E brošüür internetis.
http://www.intrac.ee/userfiles/file/_ee/JohnDeere/1270_1470.pdf (04.05.2017).
2. John Deere H480C harvesting head. – *John Deere*.
https://www.deere.co.uk/en_GB/products/equipment/harvesting_heads/john_deere/h480c/h480c.page (04.05.2017).
3. John Deere 1270G brošüür internetis.
http://www.deere.co.uk/en_GB/docs/html/brochures/publication.html?id=532d8328#2 (04.05.2017).
4. John Deere H415 harvesting head.- *John Deere*.
https://www.deere.co.uk/en_GB/products/equipment/harvesting_heads/john_deere/h415/h415.page (04.05.2017).
5. John Deere 1270E IT4. – *John Deere*.
https://www.deere.co.uk/en_GB/products/equipment/wheeled_harvesters/1270e_it4/1270e_it4.page (04.05.2017).
6. John Deere 1270E IT4 ja 1470E IT4 brošüür internetis.
http://www.pintocruz.pt/fotos/produtos/1270e_1470e_it4_159535739452693b2f1c2f2.pdf (04.05.2017).
7. **Laas, E., Uri, V., Valgepea, M.** (2011). Metsamajanduse alused. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus. 862 lk.
8. Metsaseadus. (vastu võetud 07.06 2006, viimati jõustunud 01.03.2016). – *Riigi Teataja*
<https://www.riigiteataja.ee/akt/130122015032> (03.05.2017).
9. **Müürisepp, A.** (1998). Lageraiemasinad. Tartu: Maaelu Arengu Instituut. 32 lk.
10. Lõputöö vormistamise nõuded. (2016). Koostanud **Mikita V., Pallav V., Kass M., Roosmaa Ü., Maasikamäe S., Külvik M., Lorenz A.** Tartu: Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. 48 lk.
http://www.emu.ee/userfiles/loputoode_vormistamise_juhend/LOPUTOO_VORMISTAMISE_NOUDED.pdf (03.05.2017)

THE COMPARISON OF CLEARCUT MACHINERY BASED ON THE EXAMPLE OF THE STATE FOREST MANAGEMENT CENTRE

SUMMARY

The aim of this Bachelor's Thesis was to compare similar forest logging machines and to find out why some of them are more productive than the others. The study showed that harvester 1 was significantly more productive than the other machines. Next step was to identify the causes that led to higher productivity.

The study found no significant reason why the harvester 1 was much more productive compared to other harvesters. To a lesser extent it may be pointed out that weight of machines may have had something to do with higher productivity. Since the harvester 1 was the only machine that did not have salt water in tyres, compared to other three harvesters. So the harvester 1 weighted less and probably did not sink in soil that much. The other technical difference between machines was the harvesting head. The study showed that the newer type of harvesting head of harvester two did not give higher productivity. Slightly higher cull percentage may result a slightly higher productivity of harvester one. However the higher percentage of cull of harvester one is also caused by significantly higher proportion of produced hardwood. Which should affect productivity negatively.

Thus, the main reason to bring out was the specific nature of the harvester operators. Since the objective of this study was not to measure skills of different harvester operators and other reasons of lower productivity are ruled out. Therefore the main factor that resulted higher productivity must have been more skillful operators of harvester one.

Logging contractors of State Forest Management Centre should find the most interesting the chapters that analyse stem volumes and logging area logistics. In both chapters, the

work has shown that these factors affect the productivity insignificantly. As a proof, according to research, machine that logged areas that had highest stem volumes did not have the highest productivity. Analysing logistics between logging sites showed that harvesters one and two spent almost equal time traveling from site to site. Even though harvester two traveled significantly longer distances.

LISAD

Lisa 1. Harvester John Deere 1270E üldised tehnilised andmed



Joonis. 11 John Deere 1270E [5]

John Deere 1270E IT4 tehnilised andmed [6]

Pikkus:	7 695mm
Laius:	2 960 mm (710-rehvidega)
Kõrgus transpordiasendis:	3 985 mm
Kliirens:	640 mm
Mass:	Alates 20 650kg (sõltuvalt varustusest)
Kabiin:	Fikseeritud või pöörlev ja nivelleeriv Pöördenurk 160° Kaldenurk külgedele 17° Kaldenurk ette-taha 10°
Mootor:	John Deere 6090 HTJ IT4 Turboülelaaduri ja vahejahutiga diiselmootor 6 silindriline Mootori võimsus 170 kW /1900 p/min Pöördemoment 1125 Nm / 1400 p/min
Rehvid:	Ees 26,5-20

Lisa 1 järg.

Taga 34-14

Teljed:	Ees HD tandemtelg ja taga jäik telg Mõlemad elektrohüdraulilise Diferentsiaalilukustusega
Roolisüsteem:	Liigendraam mini- kangjuhtimine Pöördenurk $\pm 44^\circ$
Hüdraulikasüsteem:	Koormustundlik, elektriliselt reguleeritav Topelt pumba süsteem Pumba tootlikkus 190 cm ³ Töörõhk 24/28 Mpa
Liigendnool:	Paralleeltoimega liigendnool CH7 Nooleulatus 10m Brutotõstemoment 197 kNm Brutopöördemoment 50 kNm Kaldenurk $+28^\circ / -14^\circ$ Pöördenurk 220°
Mõõtmissüsteem:	PC/ windows® baseeruv TimberMatic H-12
Lõikepea:	H480C 4 sööterulli Max. lõigatav tüve läbimõõt 710mm Kaal 1240 kg 4 liikuvat ja 2 fikseeritud laasimisnuga

LIHTLITSENTS

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Ragnar Kaivapalu, sünniaeg 21.04.1983,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö „Lageraie masinate võrdlus RMK näitel“, mille juhendaja on Vahur Kurvits, *MSc*,
 - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____

(allkiri)

Tartu, _____

(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)