



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT



Rohtse biomassi varumisahela majanduslik analüüs pilliroo näitel

Hajaenergeetika õppekava

Magistritöö

Õppekava juht	prof	Juhan Valtin
Juhendaja	prof	Aadu Paist
Kaasjuhendaja		Ülo Kask
Lõpetaja		Merle Saaliste

Tallinn 2016

Autori deklaratsioon

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituudile haridusastme lõpudiplomi taotlemiseks hajaenergeetika erialal. Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Töös kasutatud teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Lõpetaja (allkiri ja kuupäev) _____ 27.mai 2016.a.

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

Juhendaja (allkiri ja kuupäev) _____ 27.mai 2016.a.

Kaasjuhendaja (allkiri ja kuupäev) _____ 27.mai 2016.a.

Lubatud kaitsmisele

Hajaenergeetika õppekava kaitsmiskomisjoni esimees (allkiri ja kuupäev)

2016. a.

Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Merle Saaliste	<i>Lõputöö liik:</i> magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Rohtse biomassi varumisahela majanduslik analüüs pilliroo näitel	
<i>Kuupäev:</i> 27.05.2016	60 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Energeetikateaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika instituut	
<i>Õppetool:</i> Soojusenergeetika õppetool	
<i>Töö juhendaja:</i> professor Aadu Paist , soojusenergeetika õppetool	
<i>Töö kaasjuhendaja:</i> Ülo Kask	
<i>Sisu kirjeldus:</i> Magistritöös analüüsitakse pilliroo koristamise, transpordi, ladustamise, pelletiteks töötlemise ja pilliroo põletamisega seotud kulusid. Kirjeldatakse pilliroo ressursse, võimalikke kõrgema lisandväärtusega kasutamise valdkondi, piiranguid koristamisel ja soojusenergeetikas kasutamisel. Antakse hinnang pilliroo soojusenergeetikas kasutamise majanduslikule tasuvusele ja pillirookütuse konkurentsivõimele võrreldes muu biomassiga (sh hakkpuit, puidupellet ja põhupellet). Tööst selgub, et majanduslikult tasuv võib olla kogurhekseldiga koristatud ja otse rooväljalt katlamajja viidud pilliroohakke kasutamine soojusenergeetikas. Muud pilliroo koristamise viisid tõstavad lõpptoote omahinna liiga kõrgeks. Palgakulude piiramisel võib majanduslikult tasuv olla ka pilliroojäätmetest pelletite tegemine, sest sellisel juhul võib toorme alghinnaks võtta 0 eurot ja pelletiliin on võimalik soetada mitme pillirooga tegeleva ettevõtte peale ühiselt.	
<i>Märksõnad:</i> Pilliroog, ressurss, kasutamise võimalused, koristamise tehnoloogiad, kulude arvestus, majanduslik tasuvus.	

Summary of the diploma work

<i>Author:</i> Merle Saaliste	<i>Kind of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> The economic analysis of the supply chain of the herbaceous biomass (on the example of the common reed)	
<i>Date:</i> 27.05.2016	60 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology <i>Faculty:</i> Faculty of Power Engineering <i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering <i>Chair:</i> Thermal Engineering	
<i>Tutor of the work:</i> Professor Aadu Paist , Tallinn University of Technology: Faculty of Mechanical Engineering: Department of Thermal Engineering: Chair of Thermal Power Engineering	
<i>Co-tutor of the work:</i>	Ülo Kask
<i>Abstract:</i> In this Master's Thesis the reed harvesting, transportation, storage and processing costs into pellets and costs related to burning of reed fuel have been analysed. The work describes the reed resources, possible exploitation fields with higher value-added, restrictions on reed harvesting and on usage in the thermal energy applications. The economic feasibility of the use of reed in the thermal energy applications and the competitiveness of fuel made from the reed compared to other biomass fuels (including wood chips, wood pellets and straw pellets) have been evaluated. It turns out from the work that economically viable can be the use of reed chips harvested with forage harvester and transported directly from the reed bed to the boiler house. Other reed harvesting methods raise the cost of the final product too high for the thermal energy applications. In the case of limited wage costs it might be also economically profitable to make reed pellets from the waste, as in this case, the initial price of the raw material is 0 EUR and the small pellet factory can be purchased collectively by a number of enterprises engaged in the reed business.	
<i>Key words:</i> Reed, resources, exploitation opportunities, harvesting techniques, costs assessment, the economic profitability.	

Sisukord

Lõputöö ülesanne.....	6
Teema põhjendus:	6
Töö eesmärk:.....	7
Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:.....	7
Lähteandmed:.....	7
Eessõna	8
Sissejuhatus.....	9
1. Üldpõhimõtted	11
2. Pilliroog, selle ressursid ja kasutamine	11
2.1 Pilliroog ja selle ressursid	11
2.2 Pilliroo alternatiivse kasutuse võimalused	14
3. Pilliroo varumisega seotud kulud	17
3.1 Looduskaitselistest piirangutest tekkivad kulud	17
3.2 Kliimatilistest piirangutest tekkivad kulud.....	18
3.3 Maaomandist tulenevad piirangud ja kulud	19
3.4 Pilliroo koristamise masinad ja koristuskulud pillirooväljal.....	20
4. Pilliroo transportimisega seotud kulud	36
5. Töötlemis- või kasutuseelse ladustamisega seotud kulud	39
6. Pilliroopelletite valmistamisega seotud kulud	40
7. Pilliroo põletamisega seotud kulud	47
7.1 Nõuded kateldele ja sellest tekkivad kulud	47
7.2 Tuha utiliseerimisega seotud kulud.....	51
8. Tulemused	52
Lõputöö kokkuvõte	53

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:	Rohtse biomassi varumisahela majanduslik analüüs pilliroo näitel
Üliõpilane:	Merle Saaliste, 132812AAHMM
Lõputöö juhendaja:	Professor Aadu Paist
Kaasjuhendaja	Ülo Kask
Õppetool:	Soojusenergeetika õppetool
Õppekava juht:	Professor Juhan Valtin
Lõputöö esitamise tähtaeg:	27.05.2016

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

Teema põhjendus:

Rohtne biomass (sh põhk, hein, päideroog, pilliroog jms) võiks Eestis puitkütuste kõrval olla üheks alternatiiviks fossiilsete kütuste osalisel asendamisel ja energeetilise sõltumatuse saavutamisel, kuid seni on selle kasutamine olnud tagasihoidlik. Põhjusteks võivad olla vähene teadlikkus ja teadmatus majanduslikust tasuvusest.

Antud töös keskendutakse pilliroo soojusenergeetikas kasutamise majandusliku tasuvuse hindamisele. Pilliroo kasutamist energeetikas on enam uuritud põlemistehnilisest seisukohast, kuid vajalik on hinnata kogu pilliroo-kütuse varumisahela kulusid tervikuna alates kõrte koristamisest, ladustamisest, töötlemisest kuni põletamise ja tuha utiliseerimiseni.

Pilliroo soojusenergeetikas kasutamise majanduslike aspektide uurimine on oluline maapiirkonnas tegutsevatele ettevõtjatele, kelle jaoks pilliroo varumine kütteks võib olla täiendav sissetulekuallikas aga ka lokaalsetele biokütust kasutavatele katlamajadele, et hinnata, kas pilliroost valmistatud kütus võiks olla nende jaoks odavam alternatiiv/lisand puitkütustele ja samuti eratarbijatele, kes alles plaanivad küttekatla ostmist ja vajavad argumente katlatüübi valiku otsuse langetamisel.

Autori panuseks on kulude arvutamine kõigis ahela etappides ja hinnangu andmine pilliroo energeetikas kasutamise majandusliku tasuvuse kohta.

Töö eesmärk:

Töö eesmärgiks on uurida pilliroo energeetikas kasutamise kogumaksumust ja tasuvust. Eraldi arvutatakse kulusid pilliroo koristamisel erinevate tehnoloogiatega (kaherattaline kahlusiduja, rookombain, kogur-purusti), pilliroo erineval kujul (kahludena, kahlurullides, rullituna ja hakkpuistena) transportimise ja ladustamisega kaasnevaid kulusid, pelletite valmistamisega kaasnevaid kulusid ning pilliroo põletamisega kaasnevaid kulusid. Pilliroost valmistatud kütuse lõpphinda võrreldakse konkureerivate toodetega (hakkpilliroo puhul hakkpuiduga ja pilliroopelletite puhul puidupelletite ja põhupelletitega). Kokkuvõtvalt antakse hinnang pilliroo soojusenergeetikas kasutamise majandusliku tasuvuse kohta ning selle kohta, kas pilliroo põletusseadmetes kasutamine võiks ohustada pilliroo kasutamist kõrgema lisandväärtusega toodetena (eelkõige katusekattematerjalina ja rooplaatidena).

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- Selgitada välja pilliroo koristamisega seotud kulud, sh pillirooväljade rendikulud, ilmastikust tingitud kulud, eritehnika soetamise, kütuse, tööjõu ja materjalikulud.
- Selgitada välja pilliroo transpordi ja ladustamisega seotud kulud.
- Selgitada välja pilliroo pelletiteks pressimisega kaasnevad kulud, sh eritehnika soetamine, energiakulu, lisandmaterjalide (turvas) kulu.
- Hinnata, kas pilliroopelletite katlas põletamisega kaasneb tarbijatele täiendavaid kulusid, sh mõju katlale ja tuha utiliseerimisega seotud kulusid.
- Hinnata, kas pilliroo soojusenergeetikas kasutamine võiks ohustada pilliroo kasutamist kõrgema lisandväärtusega toodetena.
- Selgitada välja pilliroo soojusenergeetikas kasutamise majanduslik tasuvus.

Lähteandmed:

Lähteandmeteks olid masinate, kütuse, teenuste jm hinnad, mida oli võimalik leida vastavaid seadmeid ja teenuseid pakkuvate firmade interneti lehekülgedelt või mida küsiti hinnapäringuga vastavaid masinaid müüvatelt või teenuseid osutavatelt ettevõtjatelt. Pilliroogu koguvate ettevõtjate hulgas viidi läbi ka väike küsitlus e-posti teel, et selgitada välja pillirooväljade rendihinda ja katusepilliroo hinda. Andmeallikaks olid samuti varasemad avaldatud uurimustööd, projektide raportid ja avaldatud raamatud ning Statistikaameti interneti andmebaas ja Äriregistrist pillirooga tegelevate ettevõtjate majandusaasta aruanded.

Eessõna

Lõputöö teema anti välja kaasjuhendaja Ülo Kase initsiatiivil, kes on ise pilliroo ressursse ja energeetikas kasutamist sügavuti uurinud. Autor tänab juhendajaid asjalike juhiste ja märkuste eest ning ettevõtjaid, kes töös kasutatuid andmete hankimisel abiks olid ja pilliroo varumist ja töötlemist käsitlevatele küsimustele lahkelt vastasid.

Merle Saaliste

(saalime@gmail.com)

Maaeluministerium, maaelu arengu osakonna nõunik (merle.saaliste@agri.ee, 6259 262)

Sissejuhatus

Antud töös uuritakse pilliroo soojusenergeetikas kasutamise võimalusi. Pilliroogu on mõttekas kasutada energeetika toorainena vaid juhul, kui tema hind suudab konkureerida muu biokütuse hinnaga. Töös lähtutakse sellest, et pilliroogu kogutakse rooväljadelt vaid talvel, kui see kahjustab kõige vähem keskkonda. Pilliroo kasutamine energeetikas on täiendav võimalus fossiilsete kütuste kasutamise vähendamiseks ja võib pakkuda lisasissetulekuid maapiirkonna elanikele ja ettevõtjatele.

Töö esimeses osas kirjeldatakse üldpõhimõtteid, millest lähtuti töö teostamisel.

Teises osas tuuakse esmalt pillirootaime lühike iseloomustus, kirjeldatakse pilliroole sobivaid kasvutingimusi ja selle ressursse. Järgnevalt uuritakse pilliroo teisi majandusliku kasutamise võimalusi peale soojusenergeetika, antakse ülevaade Eestis tegutsevatest ettevõtjatest, kes pilliroogu varuvad, seda toodete valmistamisel kasutavad või ekspordivad. Ära on toodud katusepilliroo ekspordistatistika aastatel 1995-2014 ja antud hinnang pilliroo alternatiivse kasutuse koguste osas.

Kolmandas osas kirjeldatakse pilliroo koristamisega seotud kulusid. Kõigepealt vaadeldakse looduskaitsealidest, kliimatilistest ja maaomandiga seotud piirangutest tulenevaid kulusid. Seejärel tutvustatakse mõningaid pilliroo koristamise tehnoloogiaid (kaherattaline kahlusiduja, rookombain ja tavapõllumajandustehnikast kogurhekseldi) ning arvutatakse nende kasutamisel tekkivad kulud. Eraldi vaadeldakse sealjuures tööjõukulusid, hoolduskulusid, kulusid koristamisel kasutatavatele materjalidele ja kütusele ning kapitalikulud. Arvutatakse hinnanguline pilliroo kogus, mida on iga seadmega aastas võimalik koristada, ning vastava roovälja suurus hektarites. Antakse hinnang, millise tehnoloogia kasutamisel on kulud kõige väiksemad. Võrreldakse kogurhekseldiga varutud pilliroo ja hakkepuidu hindu.

Neljandas osas vaadeldakse kulusid, mis on seotud pilliroo transportimisega kogumiskohast kasutuskohaga (kui kogutud pilliroogu viiakse kohe katlamajja), ladustamiskohaga (kui pilliroogu on kavas kasutada kunagi hiljem) või siis töötlemiskohaga (kui pilliroost on kavas toota pelletteid või muid tooteid). Transportimise kulud sõltuvad sellest, millisel kujul pilliroogu transportitakse, sest sellest sõltub koorma kubatuur ja mass. Töös vaadeldakse nelja erinevat olukorda: pilliroogu on seotud kahludeks; kahlud on seotud omakorda rullideks; pilliroogu on pallitud tavalise heina varumise tehnoloogiaga; pilliroogu on hakitud puistes. Antakse hinnang, millisel kujul on kõige odavam pilliroogu vedada.

Viiendas osas arvutatakse pilliroo töötlemiseelse või kasutuseelse ladustamisega seotud kulusid. Vaadeldakse jällegi erinevaid olukordi vastavalt sellele, millisel kujul pilliroogu säilitada üritatakse (kahlud rullides, tavapõllumajandustehnikaga pallitud pilliroog, hakitud pilliroog puistes). Antakse hinnang, millisel kujul on kõige odavam pilliroogu säilitada ja millisel kujul seda teha ei ole eriti mõttekas.

Kuuendas osas arvutatakse pilliroo pelletiteks töötlemisega seotud kulusid ja vaadeldakse võimalikku tehnoloogiat. Arvutatakse pilliroopelletite omahinnad ja võrreldakse neid turul pakutavate puidu- ja põhupelletite hindadega.

Seitsmendas osas vaadeldakse agripelletite põletamiseks sobivaid põleteid ja katlaid ning püütakse leida kulusid, mis agripelletite põletamisega kaasnevad.

Viimases osas võetakse kokku tulemused.

Töö tulemusteni jõudmiseks rakendati järgmisi uurimismeetodeid: hinnaküsitlused, ettevõtjate küsitlused, kirjanduse analüüs, arvutused. Töö rakendus on pigem praktiline ja tulemuste esitamisel kasutatakse võrdlevat analüüsi. Andmete analüüsiks kasutati tabelarvutusi Excelis.

Töös kirjeldatud kulude hindamise mudelit on võimalik uute tehnikate kasutuselevõtul, pilliroo koristustingimuste ja võimaluste täpsemal määratlemisel või hindade muutumisel kasutada uute arvutuste teostamiseks.

1. Üldpõhimõtted

Pilliroogu on võimalik energeetikas kasutamiseks koguda nii suvel kui ka talvel. Antud töös vaadeldakse vaid talvel kogutava pilliroo energeetikas (küttes või koostootmisel) kasutamise majanduslikku tasuvust.

Töös on lähtutud sellest, et kulud pilliroo soojusenergeetikas kasutamisel sõltuvad nii kasutada olevatest ressurssidest, koristamise piirangutest, koristamisel kasutatavast tehnikast ja tööjõust, transportimise kaugusest, viisist ja tehnikast, ladustamise vajadusest, ajast ja viisist, tooraine töötlemise astmest ja selleks kasutatavast tehnikast, põletamisel kasutatavast tehnikast ja tuha ladustamise vajadusest. Täpsem metoodika iga kululiigi hindamiseks on kirjeldatud vastavas peatükis.

Pilliroo erikoristustehnika näideteks valiti vaid selline tehnika, mida on võimalik valmiskujul tootjatelt või edasimüüjatelt osta ja mille kohta esitati ka hinnapakumised. Tavapõllumajandustehnika puhul on edasimüüjaid rohkem, seega valiti näideteks masinad, mis on kantud Põllumajanduse Registrite ja Informatsiooni Ameti (edaspidi *PRIA*) hinnakataloogi. Hinnakataloogi kasutatakse põllumajandustoetuste taotlemisel referentshindade fikseerimiseks (so maksimaalne abikõlblik toote hind). Hinnakataloogi hind on sisuliselt selle toote mõistlik hind Eesti turul.

Talvel varutud pilliroogu on võimalik kasutada energeetikas vähem töödeldud kujul – hakkena ja ka rohkem töödelduna – pelletitena. Kuna neil lõpptoodetel on erinevad konkureerivad tooted ja hinnad, siis on ka hinnavõrdlused eraldi välja toodud. Pilliroohakke hinda võrreldakse puiduhakke hinnaga ja pilliroopelletite hindu puidupelletite ja põhupelletite hindadega.

2. Pilliroog, selle ressursid ja kasutamine

2.1 Pilliroog ja selle ressursid

Harilik pilliroog *Pharagmites Australis* kasvab kogu maailmas paljude mererannikute ja siseveekogude ääres, kaasa arvatud Eestis, vee- ja maismaa piiril, kus kasvutingimused on taimede jaoks eriti sobivad. [1]

Sõltuvalt kasvukohast kasvab pilliroog 1,5 m, kohati isegi 4,5-6 m kõrguseks. Tegemist on kõrrelisega, millel on teravaservalised karedad lehed ja suur pihupesa suurune õisik, mis

avaneb juulis. Pilliroog paljuneb peamiselt juurestiku (risoomide) abil. Risoomide levikukiirus võib olla heades tingimustes kuni 5 m aastas. [2]

Roostike pindala võib väheneda ebasoodsate jääolude, tugevate tuulte, karjatamise intensiivsuse ja pilliroo lõikamise mahu suurenemise ning ökoloogiliste häirete, nagu põud või pakane tõttu. Rooalade laienemist soodustab loomade karjatamise intensiivsuse ja suvise roo lõikamise mahu vähenemine, kliima soojenemine ja veekogude eutrofeerumine. Paljud Läänemere-äärsed märgalad on muudetud looduskaitsealadeks, sealhulgas Natura 2000 kaitsealadeks, mille tõttu pilliroo kasutamise võimalused on vähenenud. [2]

Läänemere-äärsetes regioonides, sh ka Eestis, on rooväljad viimase kümne aasta jooksul siiski kiiresti laienenud [1]. Ajavahemikul 1996-2009 on Läänemere Eesti rannikualadel tavalise pilliroo kasvualad laienenud umbes 2,5 korda, mis tähendab keskmiselt 276 ha juurdekasvu aastas [3]. 2007. aastal läbiviidud uurimused annavad Eesti roostike kogupindalaks (kaasa arvatud järvede äärsed alad) 27 746 ha (Eesti põhikaardi, aerofotode ja Corine kaardi andmetel) [4]. Pilliroog on Läänemere regioonis üks kõige produktiivsemaid taimeliike tänu oma kõrgele bioproduktioonile märgala pinnaühiku kohta. Pilliroo biomassi kogus sõltub pilliroo vanusest ja struktuurist, veetasemest ning muu taimestiku rohkusest ning kasvutingimustest, mis võivad oluliselt erineda. [5]

Pilliroogu peetakse atraktiivseks tooraineks bioenergeetikale, kuna selle kasvatamiseks ei kasutata põllumajandusmaad ja seega ei konkureeri pilliroog toidu tootmisega. Samas on pilliroo varujad kurtnud, et järjest arvukamaks muutuvad lihaveisekarjad söövad suvel pilliroo ära [6]. Seega konkurents siiski on. Veelgi enam, rannaniitude pilliroost puhastamiseks on riigi (Keskkonnameti) eestvedamisel käivitatud mitmeid erinevatest allikast finantseeritavaid projekte, mis toetavad lihaveiste karjatamist rannaäärsetel aladel ja ka pilliroo mehaanilist eemaldamist.

Eestis oli ajavahemikus 2006-2011 kaalutud keskmine pilliroo suvesaak (kuivainena) 914g/m^2 (9,14 t/ha), talvine pilliroosaak oli 736g/m^2 (so **7,36 t/ha**, edaspidistes arvutustes on kasutatud seda väärtust pilliroo saagikuse hindamiseks). Pilliroo suvine saagikus oli lehemassi tõttu 24,5% suurem kui talvine (Ü. Kask avaldamata). Talvise pilliroo kuivaine kütteväärtus on 4,9 MWh/t ja 20% niiskusesisaldusega pilliroo kütteväärtus on 3,94 MWh/t (edaspidistes arvutustes on kasutatud seda väärtust pilliroo kütteväärtuse hindamiseks). [1]

Selleks, et tagada roostike jätkusuutlikkus, pole mõistlik pilliroogu koristada igal aastal samadelt aladelt ja ka saagikoristamine kõikidel kasvualadel pole ebasoodsate

keskkonnatingimuste ja omandisuhete tõttu võimalik. Eeltoodut arvestades oleks üheteistkümnes Eesti maakonnas võimalik roogu lõigata ca 13 000 ha aastas. [7] Konservatiivsema hinnangu alusel (kui vaadelda ainult suuremaid roostikke) on see pindala siiski poole väiksem ~6000 ha (so Matsalu märgalal ~3000 ha, Võrtsjärve ümber ~1200 ha, Saare maakonnas ~ 1000 ha, Peipsi järve ümber ~930 ha ja Hiiumaal Käina lahes ~180 ha). [8]

Kui eeldada, et roogu lõigatakse talvel kogu eelnimetatud võimalikult pinnalt üheteistkümnes Eesti maakonnas ja selle niiskusesisaldus on 20%, siis oleks võimalik energiatoodang 377 GWh ($7,36 \text{ t/ha} * 3,94 \text{ MWh/t} * 13\,000 \text{ ha}$), mis võiks panustada ligi 1%-ga Eesti kogu energia lõpptarbimisse (mis oli Statistikaameti andmetel 2013. a 32616,9 GWh ja 2014. a 32264.7 GWh [9]). Konservatiivsema roostike pindala hinnangu alusel (so vaadates ainult suuremaid roostikke) oleks energiatoodang poole väiksem 174 GWh ehk 0,5% Eesti kogu energia lõpptarbimisest. Kuna energia tootmisel on oluline koguda tooraine võimalikult lähedalt ja võimalikult väikeste kuludega, siis võib olla õigustatud ainult suuremate roostike vaatlemine. Hajutatud väikestelt lappidelt pilliroo kogumisel on raske tootmiskulusid kokku hoida.

Samas ei maksa ka unustada, et kogu lõigatud roogu ei ole mõtet kasutada energeetikas. Biomassi energeetikas kasutamise soodustamine Euroopa Liidus on moonutanud biomassi majanduslikult mõttekat kasutust ja tekitanud probleeme teistele tööstusharudele (eelkõige erinevatele keemiatööstuse harudele, materjalitööstusele (s.h komposiitmaterjalid, isolatsioonmaterjalid, tehnilised tekstiilid jne.), tselluloositööstusele, mööblitööstusele, ehitusmaterjalide tööstusele ja taimede kasvusubstraate valmistavale sektorile). Järjest enam leiab poolehoidjaid idee reformida senist Taastuvenergia direktiivi (Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2009/28/EÜ, 23. aprill 2009, taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise edendamise kohta ning direktiivide 2001/77/EÜ ja 2003/30/EÜ muutmise ja hilisema kehtetuks tunnistamise kohta) nii, et see toetaks biomassi, kui väärtusliku tooraine, kasutamist võimalikult asjakohasel moel, et saavutada maksimaalset lisandväärtust ja kasvuhoonegaaside õhkupaiskamise vähenemist. On tehtud ettepanekuid asendada Taastuvenergia direktiiv Taastuvenergia ja materjalide direktiiviga, et soodustada tooraine kaskaad- (astmelist) kasutust (st kõigepealt kasutada materjalina ja alles siis energeetikas, sest peale põletamist ei ole materjalina kasutamine enam võimalik, küll aga on see võimalik vastupidi) ja nn ringmajandust. Biomassi materjalina kasutamine annab samuti suuremat efekti kasvuhoonegaaside vähendamisel. Biomassi energeetikas kasutamisele tuleks eelistada

päikese ja tuule kasutamist, sest nende puhul on vaja oluliselt vähem maad sama koguse energia tootmiseks, kui biomassi puhul. See kehtib nii soojuse, elektri kui ka transpordi valdkonna puhul. Biomassi kasutust energeetikas ei tohiks üldse soodustada, kui seda on võimalik kasutada kõrgema lisandväärtusega sektorites. [10]

Eelnevast lähtuvalt tuleks kütuseks väärintada eelkõige pilliroo (biomassi) töötlemiseahelates tekkivaid jääke ja jäätmeid. Seetõttu vaadeldakse antud töös ka alternatiivseid pilliroo kasutamise viise, mis võimaldavad pilliroo kõrgema lisandväärtusega kasutust ning mis jääke ja jäätmeid tekitavad.

2.2 Pilliroo alternatiivse kasutuse võimalused

Eestis on pilliroogu seni kasutatud peamiselt ehitussektoris katusekattematerjalina ja isolatsioonmattide ja -plaatide valmistamisel ning mitmete taieste lähtematerjalina. Kehvema kvaliteediga roog ja roojäätmed on vähemal määral leidnud kasutust multšina aiandussektoris.

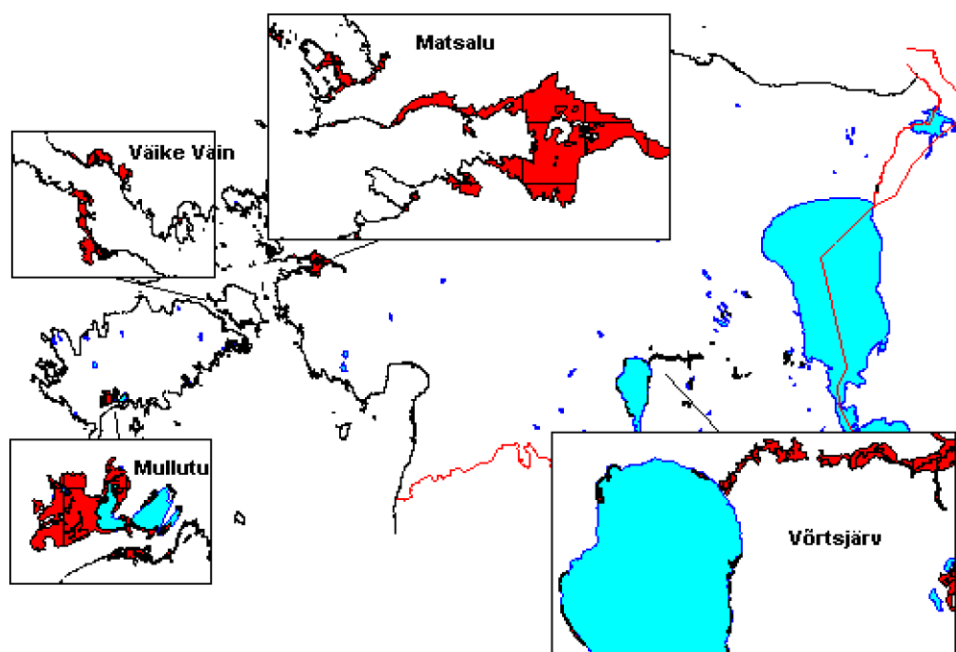
Alternatiivse kasutuse puhul määrab lõpptoote hinna üldjuhul ühe pillirookahlu maksumus. 90-ndate alguses oli pilliroo kokkuostu ja alternatiivse kasutusega tegelevatel firmadel kümneid eraisikust lepingupartnereid, kes käsitsi roogu kogusid ja kahludesse sidusid, kuid nende arv väheneb järjest. 2012. aastal maksid kokkuostjad ühe käsitsi valmistatud 63 cm ümbermõõduga kinniseotud pilliroo kimbu ehk kahlu eest 1-1,3 eurot. [6] Ühe kahlu pikkus on 100 – 220 cm ja mass on umbes 4 kg [11]. Ilma tehnikat kasutamata on töökal inimesel võimalik valmistada päevas paarkümmend kahlu. Kergema tehnikaga kuni 100 kahlu [6].

Pilliroogu kokku ostvate ettevõtjate küsitlusest ja internetiotsingust selgus, et 2016. aastal on kahlu hind tõusnud 1,5-2 euron, mis teeb varutud pilliroo hinnaks 375 - 500 eurot/tonn.

Äriregistri ja internetiotsingu põhjal õnnestus leida andmeid kolme äriühingu kohta, kes valmistavad või on valmistanud pilliroost matte või plaate. Neist üks on praeguseks aktiivse tootmistegevuse lõpetanud. Mõõtmega 5 x 100 x 100 cm rooplaat maksis 2016. aasta mais 10 eurot + käibemaks [12].

Pillirookahlude müüjaid (katusekattematerjaliks) õnnestus leida 6, neist kolm enam ei tegutse, katuse ehitajaid neli ja neist üks enam ei tegutse. Lisaks äriühingutele tegelevad pilliroo kogumise, müügi ja katuste ehitamisega aga ka füüsilisest isikust ettevõtjad, neid tuvastati 10. Kuigi on üsna kindel, et otsinguga kõiki pillirooga tegelevaid ettevõtjaid üles leida ei õnnestunud, võib siiski väita, et pillirooäri ei ole väga populaarne. Pillirooga tegelevad ettevõtjad on koondunud saartele ja mandri läänerannikule, kus ka kõige suuremad rooväljad

paiknevad (vt joonis 1). Kõigist leitud ettevõtjatest asusid või asuvad Saaremaal 7, Hiiumaal 3, Muhumaal 1, Läänemaal 9, Harjumaal 2 ning Tartumaal 1.



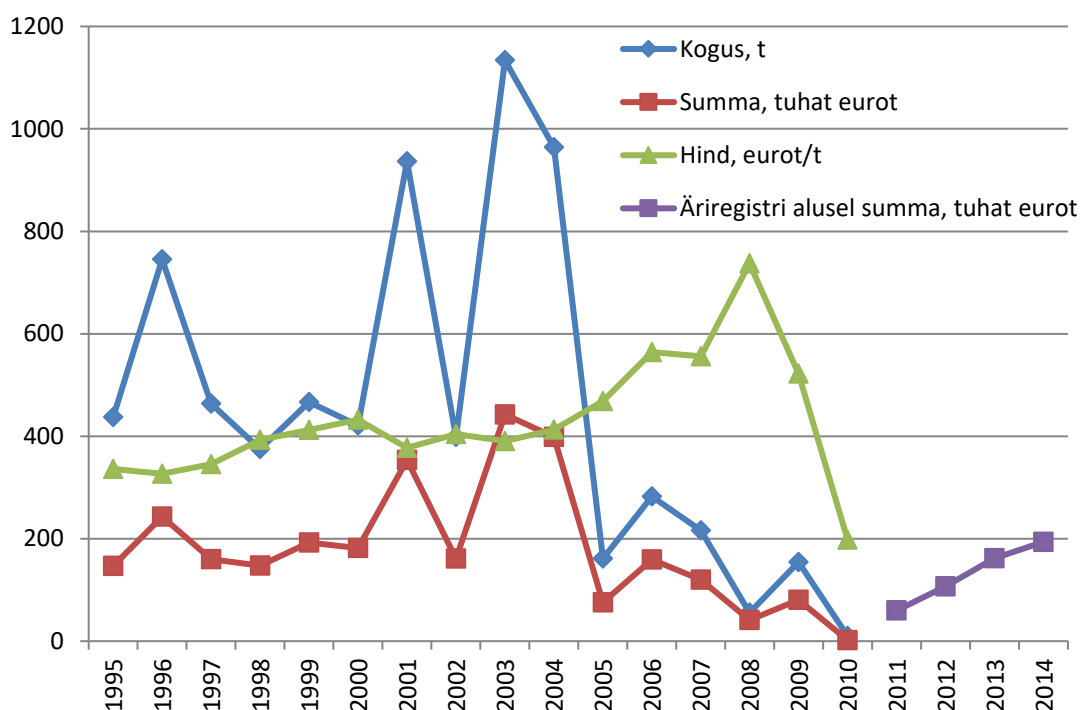
Joonis 1. Peamised roostikud Eestis. Allikas: [8]

Pilliroo lõikamine katusekattematerjaliks ja selle eksportimine Skandinaavia riikidesse (Taani, Rootsi, Soome) oli Statistikaameti andmetel aktiivne 2009. aastani. Katuse pilliroogu eksporditi, kuna selle hind Skandinaavia maades ületas oluliselt kohalikku hinda.

Rookatuse ruutmeetri hind Eestis oli 2012. aastal 45 eurot ilma käibemaksuta, samal ajal Lääne-Euroopas 120 eurot [6]. 2016. aastal pakkus üks Eesti ettevõtja rookatuse ruutmeetri hinnaks Eestis 28 eurot + käibemaks [11]. Ühte katuse ruutmeetrise mahub 10 kahlu [12].

Peale 2009. aastat ekspordistatistika aga praktiliselt puudub. Üks põhjus selleks on kahtlemata statistika kogumise meetodika. Alates Eesti ühinemisest Euroopa Liiduga 2004. aastal kogutakse liikmesriikidega kaubavahetuse andmeid statistiliste aruannetega ja vaid nendelt ettevõtjatelt, kes eelneval aastal ületasid statistilise läve. Statistiline lävi on aastate jooksul muutunud. 2004. aastal pidid ekspordi kohta aruandeid esitama ettevõtjad, kes eelneval aastal eksportisid kaupu 63 912 euro eest, 2014. aastast oli ekspordi lävi aga juba 130 tuhat eurot. Jooniselt 2 on selgelt näha järsku langust pilliroo ekspordikoguste ja summa osas peale 2004. aastat. Andmekogumise meetodikast tulenevalt ei pruugi see aga sugugi tähendada ekspordi tegelikku vähenemist ja võib näidata pigem seda, et sellest hetkest alates on osa eksportööre andmekogumisest lihtsalt välja jäänud. Enamus pilliroogu eksportivad ettevõtjad on väikesed

ja ekspordi statistilist läve ei ületa ning seetõttu ametlik statistika pilliroo ekspordi ka ei kajasta. Siiski on päris kindel, et eksport jätkub. Nimelt oli majandusaasta aruannetest võimalik leida infot, et vähemalt 4 ettevõtjat on tõusvas joones ekspordinud katusepilliroogu ka peale 2010. aastat. Statistikaameti andmete alusel paistab silma, et katusepilliroo hinnad (ja tõenäoliselt ka kasutus) sõltuvad üldisest majanduslikust olukorrast. Raskel ajal nõudlus kukub. On tõenäolisem, et olulisem ekspordikoguste vähenemine toimus hoopis 2009. aastal koos üldise majanduslanguse ja sellest tingitud hinnalangusega. Kuna majandusaasta aruannetest ei ole võimalik välja lugeda koguseid, siis ei ole võimalik anda ka hinnangut, et kuidas katuse pilliroo ekspordihinnad on muutunud peale üldise majanduslanguse läbimist, so peale 2010. aastat.



Joonis 2. Katusepilliroo eksport. Allikas: Statistikaamet (1995-2010) ja Äriregister (2011-2014)

Olemasoleva statistika põhjal oli eksporditava katusepilliroo tonni hind kõrgeim 2008. aastal – 737 eurot/tonn. E-posti teel toimunud küsitlusele vastanud ettevõtjad ise arvasid, et kuna pilliroo kogumise omahind on oluliselt tõusnud, siis ekspordil saadav hinnavõit on muutunud liiga väikeseks, et äri selle peale üles ehitada. Samas ütles üks katusepilliroogu koguv ettevõtja, et pilliroo suuremamahulist kasutust takistab pigem töötlemis- ja varumistehnika kõrge hind, ebakindlad looduslikud tingimused ja suur käsitöö maht, mis on väga kulukas. Katusepilliroo ekspordi saaks selle ettevõtja arvates suurendada, kui pilliroo puhastamist

automatiseerida. Hetkel sorteeritakse katuseroogu peamiselt käsitsi, mis muudab lõpptoote omahinna kõrgeks. Hind on aga võtmeküsimus, sest ekspordis Skandinaavia riikidesse konkureerivad Eesti ettevõtjatega ka Ukraina, Poola, Valgevene ja Türgi ettevõtjad, kes pakuvad kvaliteetset katuseroogu väga odavalt. Katuserooks sobib ainult sirge, terve, ilma lehtedeta esimese aasta kollane kõrs, mis ei tohi alla ka eriti pikk, soovitatav pikkus 1,5 m.

Statistikaameti andmetel eksporditi kõige suurem kogus katusepilliroogu 2003. aastal 1 134 tonni, mis on vaid 2,6% võimalikust konservatiivselt hinnatud aastatoodangust (so $7,36 \text{ t/ha} * 6\,000 \text{ ha} = 44\,160 \text{ tonni}$). Kogu alternatiivselt kasutatava pilliroo kogust on raske täpselt hinnata. Eksporditud kogustele tuleb juurde arvestada, et osa roogu kasutatakse Eestis rooplaatide valmistamiseks, osa rookatuste valmistamiseks ning katuseroo ja plaatide tootmisel läheb osa varutud roost ka praaki. Katuseroo sorteerimisel tekkinud praaki on varem kasutatud omakorda rooplaatide valmistamiseks, kuid hetkel selle toote järgi suurt nõudlust ei ole. Praaki kasutatakse purustatult multšina, vähesel määral on sellest pressitud pakke põhumajade ehitamiseks või siis põletatakse jäägid lihtsalt ära. Hinnanguliselt võiks alternatiivsete toodetena Eestis kasutust leida umbes 5% kogu aastasest võimalikust roo toodangust. Seega peaks pilliroogu jätkuma ka energeetikas kasutamiseks.

Pilliroo hind alternatiivsel kasutusel (375 - 737 eurot/tonn) on kahtlemata kõrgem, kui selle energeetikas kasutamisel oleks eales võimalik, seega peaks pilliroo energeetikas kasutuse suurenemisel jälgima, et see ei hakkaks kahjustama alternatiivse kasutusega tegelevate ettevõtjate huve. Selleks, et varutud pilliroogu oleks võimalik esimese valikuna kasutada kõrgema lisandväärtusega alternatiivsete toodete valmistamiseks, tuleks pilliroog koristada kahludena. Kui on ette teada, et nõudlust alternatiivsete toodete järele ei ole, siis sobivad hästi ka muud koristusviisid, sh hekseldamine ja pallimine. Alternatiivsete toodete valmistamisel praaki läinud roo kasutamine energeetikas oleks aga igal juhul tänuväärne.

3. Pilliroo varumisega seotud kulud

Piirangud roo varumisel on seotud looduskaitsega, kliimatiliste tingimustega, maaomandiga ja kasvukoha eripäraga ning kasutatava tehnikaga.

3.1 Looduskaitselistest piirangutest tekkivad kulud

Eesti Looduskaitseseadus võimaldab sihtkaitsevööndis koosluste kujundamist vastavalt kaitse-eesmärgile, sealhulgas võib kaitse-eeskirjaga lubada ka pilliroo varumist. Kui aga roo varumist ei ole kaitse-eeskirjas käsitletud, on sihtkaitsevööndis roo varumine keelatud.

Vähem reguleeritud võõndis – piiranguvõõndis, ei ole enamasti lubatud roogu varuda külmumata pinnaselt. Nii kaitsealadele kui ka hoiualadele koostab Keskkonnaamet kaitsekorralduskavad. Selleks, et vältida arusaamatusi ametivõimudega, tuleks pilliroo kasutamisest huvitatud ettevõtjatel osaleda kaitsekorralduskavade kaasamiskoosolekutel või hankida piisavalt infot roovarumispiirkonna kohta (kaitseala režiim, väärtused ja lubatud tegevused). [1]

Antud töös on eeldatud, et roovaruja on keskkonnakaitselistest piirangutest teadlik ning nende vastu ei eksi. Seega antud töös võimalikke keskkonnakaitselistest piirangutest tekkida võivaid lisakulutusi (trahve) arvesse ei võeta.

3.2 Kliimatilistest piirangutest tekkivad kulud

Tihti juhtub ilmastikuolude tõttu nii, et igal talvel ei saagi roogu niita, sest jääd ei teki või on lumikate liiga paks või vajutab lumi roo kõveraks. Esineb talvesid, kus jäätumine toimub periooditi ning moodustunud jääkate on mitmekihiline ja õhuke ning sel juhul on roo niitmine ja niitealalt kättesaamine üsna keeruline või isegi võimatu. Mõnel aastal räsivad roostikke tormid ja rüsi jää. [1]

Isegi kui kliimatilised tingimused on roo varumiseks sobivad, siis võib piiravaks teguriks saada ka asjaolu, et roogu saab varuda päevavalges, kuid talvel on valget aega väga vähe. Talvise roo varumine algab pinnase külmudes kõige varem novembris ja lõpeb kõige hiljem aprillis. Kõige pimedamal ajal detsembris – jaanuaris saab rooväljal tööd teha päevas aga maksimaalselt vaid 6 tundi. Ka võib takistada roovarumist vihm, lumesadu, väga madal temperatuur või tugev tuul. Enamus praegusel ajal Eestis kasutatavatest roovarumise tehnoloogiatest ja seadmetest eeldab inimese viibimist vabas õhus, kas siis koorma sättijana, roolõikamismasina operaatorina või rookahlude kokkukogujana. Siit tuleneb, et töötajate heaolu arvestades ei ole iga ilmaga kindlasti võimalik roogu koristada.

Kliimatiliste tingimuste tõttu võib pilliroo koristamine mõnel aastal rannikualadel täiesti luhtuda ja põhjustada lisakulutusi lepingutega võetud kohustuste täitmiseks. Selleks, et lepinguid täita, tuleb roogu osta teistelt (nt Võrtsjärve ja Peipsi järve äärsetelt) varujatelt. Kui pakkujaid on vähe, siis on ka ostuhinnad kõrged. Nii põhjustasid 2009/2010 ja 2010/2011 lumerohked talved tõsiseid majanduslikke raskusi päris mitmele Eesti pilliroovarujale/pillirookatuste ehitajale, keda täna turul enam ei ole. Majandusaasta aruannetes nimetavad mitmed roovarujad ilmastikuriski väga suureks ja sellest tulenevalt majandustulemusi prognoosimatuteks.

Kokkuostjad kurdavad majandusaasta aruannetes ka selle üle, et roovarujaid jääb järjest vähemaks (pensionärid lõpetavad tegutsemise ja noored ei ole sellest lisateenistusest enam huvitatud). Tõenäoliselt peletab noori inimesi roo kogumise juurest eemale see, et rasket füüsilist tööd tuleb teha vabas õhus talvel külmaga. Eriti väheseks on jäänud roovarujaid mandril, saartelt (Hiiumaa, Saaremaa) roo kokkuostmine muudab mandril tegutsevate ettevõtjate toodangu kalliks. [13]

Kliimaatiliste tingimuste ettearvamatus võib muuta suuremahulise pillirooenergeetika üsna võimatuks. Lepinguid on võimalik täita sujuvalt vaid siis, kui ladudes on piisavad varud mitme järjestikuse ebasoodsa aasta üleelamiseks. Kuid ka see ei pruugi olla lahendus, sest pilliroo ladustamiseks on vaja suuri ruume, mille ehitamine või rentimine ei ole odav. Teine variant riskide maandamiseks oleks see, et pilliroo kõrval on kasutusel ka teised sisendid – põhk, hein ja puit (nagu planeeriti Lihula rohtset biomassi põletava katlamaja rajamisel). Kokkuvõtlikult on kliimaatilistest piirangutest tulenevaid kulusid väga raske numbriliselt hinnata, kuid peab arvestama sellega, et nad võivad olla piisavalt suured, põhjustamaks ettevõtjate pankrotte.

3.3 Maaomandist tulenevad piirangud ja kulud

Eestis kasvab pilliroog nii eramaal kui riigi maal, sh ka veel lõpliku omanikuta reformimata maal. Pilliroog, kui maatükil kasvav väärtus, kuulub maaomanikule. Pilliroo puhul ei ole tegemist seente või marjadega, mida võib vabalt korjata ka eramaal, kui omanik ei ole oma maad nähtavalt piiranud. Seetõttu tuleks roovarujal saada maaomanikult nõusolek. Riigile kuuluvate maade volitatud asutused on näiteks Riigimetsa Majandamise Keskus (edaspidi *RMK*) ja Maa-amet. Reformimata maade osas annab kasutusõiguse maavanem, kui tegemist on pool-looduslikuks alaks või põllumajanduslikuks maaks määratletud maaga. [1]

RMK kodulehel olevatest metuskondade metsamajandamise kavades viitavad pilliroo varumise lepingutele [RMK Läänemaa metuskonna metsa majandamise kava aastani 2021](#) (sisuga 31.03.2012 – 23 lepingut) ja [RMK Hiiumaa metuskonna metsa majandamise kava aastani 2022](#) (sisuga 01.01.2013 – 2 lepingut). RMK dokumendiregistrist õnnestus leida teavet tabelis 1 toodud juriidiliste isikutega sõlmitud lepingute kohta, eraisikutega sõlmitud lepingud ei ole avalikud.

Tabel 1. RMK maarendilepingud pilliroo lõikamiseks

Piirkond/ettevõtja	Maatüki suurus	Tasu aastas
Läänemaa, Lihula vald, sihtkaitsevöönd (OÜ Massu Rooplaat, kehtib 6.12.2013-6.12.2018, nr 24)	370,88 ha	421 eurot + käibemaks (84,2 eurot) + maamaks (sihtkaitsevöönd – 0 eurot) =505,2eurot (1,36 eurot/ha)
Läänemaa, Noarootsi vald, sihtkaitsevöönd OÜ Nicoberg Baltic, kehtib 30.11.2011 – 29.11.2012, nr 30)	17,7 ha	1,77 eurot+ käibemaks (0,354 eurot) + maamaks (0 eurot)=2,1 eurot 0,12 eurot/ha
Läänemaa, Lihula vald Migmaster OÜ, kehtis 30.11.2011 - 29.11.2012, nr 24	37,4 ha	30,32 eurot + käibemaks (6,1 eurot)+ maamaks (0 eurot)= 36,384 eurot 0,97 eurot/ha

Allikas: RMK dokumendiregister

Seda, et pilliroovarumise äri ei ole just kõige tulusam tegevus, näitab asjaolu, et tabelis nimetatud kolmest ettevõtjast kaks enam pilliroo varumisega ei tegele.

Tabelist 1 selgub aga ka see, et riigimaade rendihinnad on väga madalad ja sisuliselt ei mõjuta kogutava pilliroo hinda. Kuna kõik ettevõtjad, kes pilliroogu koguvad, ei saa kasutada riigimaid, siis viidi nende hulgas läbi küsitlus ka e-posti teel, et selgitada välja ettevõtjate arvates mõistlik pilliroovälja rendihind. Küsimus saadeti viiele pilliroogu koguvale ettevõtjale, vastasid kaks. Ühe ettevõtja arvates võiks mõistlik maa rendihind olla 0 - 5 eurot/ha, mis sobib kokku riigimaade rendihinnaga, kuid teise arvates on tegelikud hinnad olnud märgatavalt kõrgemad, vahemikus 10 - 40 eurot/ha ja paremate maade eest on makstud koguni 100 eurot/ha. Riigimaade madalam rendihind võib tuleneda ka asjaolust, et tegemist on looduskaitsealade aladega, kus on karmimad piirangud roo lõikamisele (lubatud lõigata üle aasta) ja seega on saadav majanduslik kasu ka väiksem. Võib eeldada, et kui huvi pilliroo kasutamise vastu suureneb, hakkavad kohe kerkima ka pillirooväljade rendihinnad. Lähtuvalt eeltoodust peaks roolõikaja arvestama maa rendihinnaga vähemalt 10 eurot/ha, mis tähendab, et tooraine 1 tonni hinnale lisandub kohe 1,36 eurot ($\frac{10 \text{ eurot/ha}}{7,36 \text{ t/ha}} = 1,36 \text{ eurot/t.}$).

3.4 Pilliroo koristamise masinad ja koristuskulud pillirooväljal

Antud töös vaadeldakse ainult neid rookoristusmasinaid, mida on võimalik valmiskujul osta. Loomulikult on võimalik ka ise ehitada spetsiaalseid masinaid, kuid nende puhul on raske hinnata nende maksumust ja kasutuskulusid. Töös on vaatluse all kergemast spetsiaalsest

pilliroo koristamise tehnikast Itaalia firma BCS S.p.A kahehataline kahlusiduja *622 Reaper-Binder*, rookombainidest Inglismaa tootja Loglogic rookombain *Cutter-Binder system* ja tavapõllumajandustehnikast Valgevene firma GOMSELMASH kogurhekseldi mudel *PALESSE FS80* ja Prantsuse firma Dion AG poolripphaagise tüüpi kogurhekseldi *Forage Harvester F41*.

Spetsiaalne rookoristustehnika on välja töötatud katuseroo koristamiseks ja ei ole seega kõige efektiivsem energetilisel eesmärgil roo koristamiseks (jõudlus on väike, palju käsitööd, kahludesse sidumine ei ole energia roo puhul vajalik), kuid samas on see sobivam problemaatilisel rooväljal liikumiseks.

Tavapõllumajandustehnika puhul tuleb aga kohe mainida, et selle kasutamist piirab väga oluliselt selle mass ja erisurve pinnasele. Traktorid, silokombainid, niidukid, heinapallijad on ette nähtud töötama suvel sirgetel hästi kandva pinnasega põldudel, mitte mudas, lumehangedes, nõrgal jääl või vees. Siiski, kui kliimatilised tingimused on sobivad, võib tavapõllumajandustehnika kasutamine võimalikuks osutuda (kõvema pinnaga rannikualadel, nt mõnes kohas Väikese Väina ääres).

Eestis on kasutusel mitmeid niitmis- ja kahlude valmistamise masinaid *Seiga*, kuid töökoostamise ajal ei õnnestanud enam leida ei nende tootjat ega ka edasimüüjaid. Seega antud töös seda masinat ei vaadelda.

3.4.1 Spetsiaalne pilliroo koristamise tehnika

3.4.1.1 Kahehataline kahlusiduja *622 Reaper-Binder*

Itaalia firma BCS S.p.A *622 Reaper-Binder* (vt joonis 3) on spetsiaalne seade maisi, riisi, seesami, lavendli, maitsetaimede, pilliroo ja muude kahludesse sidumist nõudvate kultuuride koristamiseks. Masinal on 4 edaspidi käiku (5,5 km/h, 7,5 km/h, 10 km/h ja 14,2 km/h ja tagasikäik (6 km/h). Mootor on 10 hj Lamborghini ühesilindriline diiselmootor (3LD450). Kütust võtab 1 l/h. Saadaval on kahte tüüpi seadet: standard – kultuuridele, mille kõrgus on 70/80 cm maapinnast ja spetsiaalselt tõstetud šassiiga mudel kõrgema kasvuga kultuuridele. Seotud kahlud liiguvad šassii alt läbi ja pudenevad maapinnale. Kahlu diameeter on reguleeritav. Vikati laius on 140 cm ja terasid on kolme eri tüüpi. Pilliroole soovitatakse ummistuste vältimiseks multšivaid terasid. Koos istmega kaalub seade 295 kg. [14] Selle seadme plussiks on tema mass. Kuna seade on väga kerge, siis saab sellega töötada ja kahlusiduda ka nõrgemal jääl ning seega on seadme kasutusperiood praktikas pikem, kui raskemate

seadmetega. Samas peab pinnas ikkagi olema piisavalt külmunud selleks, et kanda kahlusid kokku vedavat masinat ja selle koormat.

Soome uurijate andmetel kannab nt 20 cm paksune jää kuni 2-tonnist, 25 cm paksune 3-tonnist ja 30 cm paksune kuni 4,5-tonnist masinat (niidukit, pallijat, traktorit jne). [1]



Joonis 3. Itaalia firma BCS S.p.A kahe rattaline kahlusiduja 622 Reaper-Binder. Allikas: [14]

Käidukulud

Käidukuludena arvestame tööjõukulusid, kulu kütusele, materjalile (sidumisnõör), tehnika rendile ja tehnika hoolduskulusid.

Tööjõukulud

Kuna seade ei kogu ise kahlusid kokku, siis eeldab see lisatehnika ja tööjõu kasutamist. Ilmselt läheb vaja lisaks 622 Reaper-Binder'i operaatorile veel kolme töölise - üks juhib kahlusid koguvat sõidukit, üks sätib koormat ja üks viskab maast kahlud koormasse. Kui eesmärk on tekitada tööhõivet, siis on see ilmselt sobiv lahendus, kuid kui eesmärk on efektiivsus, siis peaks valima midagi muud.

Seadme tootja pakub, et 1 tunni jooksul on võimalik niita 1 ha roovälja, mis teeb liikumiskiiruseks $\sim 7,1 \text{ km/h}$ ($\frac{\frac{100 \text{ m}}{1,4 \text{ m}} * 100 \text{ m}}{1 \text{ h}} = 7,14 \text{ km/h}$). Kui maa ei ole piisavalt tasane, siis võib arvestada, et operaator liigub jalgsi lõikuri taga (st, et istet ei ole võimalik kasutada) ja mitte just väga energilise sammuga. Sellisel juhul saab liikuda esimese käiguga ja ühe hektari

läbimiseks kulub siiski rohkem kui tund ($\frac{100m \cdot 100m}{5500m/h} = 1,3h$). Tunni ajaga seotakse kahludeks seega maksimaalselt 5,7 tonni pilliroogu ($\frac{7,36t/ha}{1,3h/ha} = 5,7t/h$) ja koristatakse 0,77 hektarit.

Kui roogu koristatakse aga spetsiaalselt katusel kasutamiseks (nagu sellise tehnika puhul ka reeglina tehakse), siis peab arvestama väiksema pilliroo saagikusega, kui on maksimaalne võimalik (7,36 t/ha). Katuseroo jaoks lõigatakse ainult parimat roogu ja ka lühemat roogu, seega võib saagikuseks arvestada umbes 4 tonni/ha. Sellisel juhul koristatakse tunni ajaga vaid 3,1 tonni pilliroogu ($\frac{4t/ha}{1,3h/ha} = 3,1t/h$).

Kuna antud seadmega pilliroo koristamine on füüsiliselt raske töö, eriti sellele töötajale, kes kahlusid maapinnalt korjab ja koormasse viskab, siis võiks meeskond töökohti vahetada iga tunni tagant. Teise töötunni lõpuks oleks siis kõik neli töötajat läbinud jalgsi 5,5 km ja neist kaks visanud kumbki koormasse ka 5,7 t (või katuseroo kogumisel 3,1 t) pilliroogu. Kui meeskond on heas füüsilises vormis, siis peale 30 minutilist puhkust võivad nad sama tempoga töötada ehk veel kaks tundi. Praktikas on sellise tempo saavutamine aga küsitav, ilmselt jääb koristatav kogus samaks aga tööpäev venib oluliselt pikemaks ning koos sellega lähevad suuremaks ka tööjõukulud.

Seega võib arvestada, et väga produktiivse meeskonna tööpäev võikski olla ehk 4,5 tunnine ja vähem võimekate töötajate puhul võib tööpäev sama koristatava koguse puhul vabalt olla ka poole pikem. Kui 4 töötajat teenivad miinimumpalka (2016. aastal 2,54 eurot/h), siis palgakulu tööandjale on töötaja kohta 3,4 eurot/h (brutopalk 2,54 eurot/h + sotsmaks 33% 0,84 eurot/h + tööandja töötuskindlustus 0,8% 0,02 eurot/h) ja kogu meeskonna peale 13 eurot/h (1h * 3,4eurot * 4 = 13,6 eurot/h). Ilmselt keegi miinimumpalga eest seda rasket füüsilist tööd talvel vabas õhus tegema ei tule ja palgakulu võiks vabalt viiega korrutada (brutopalk oleks siis 12,7 eurot/h ja kulu tööandjale meeskonna peale 67,96 eurot/h (1h * 16,99 eurot * 4 = 67,96 eurot/h). Ühele tonnile valimatult (energeetikas kasutamiseks sobib igasugune pilliroog) koristatud pilliroole lisandub siit 11,92 eurot ($\frac{67,96 \text{ eurot/h}}{5,7t/h} = 11,92 \text{ eurot/t}$) ja kui koristatakse ainult kõrgema kvaliteediga katusepilliroogu, siis 21,92 eurot ($\frac{67,96 \text{ eurot/h}}{3,1t/h} = 21,92 \text{ eurot/t}$). Kui meeskond koristab roogu aeglasemalt, kui siin eeldatud, siis võivad lisanduvad summad olla ka oluliselt suuremad.

Kütusekulu

Palgakulule lisandub aga veel kütusekulu (niiduk: $1 \text{ l/h} * 1,028 \text{ eurot/l} = 1,03 \text{ eurot/h}$; kahlude kokkuvedamine (näiteks traktor kütusekuluga 5 l/h [15]): $5 \text{ l/h} * 1,028 \text{ eurot/l} = 5,14 \text{ eurot/h}$). Kütuse kasutusest lisandub seega 1 tonnile valimatult koristatud pilliroole 1,08 eurot ($\frac{1,03 \text{ eurot/h} + 5,14 \text{ eurot/h}}{5,7 \text{ t/h}} = 1,08 \text{ eurot/t}$) ja valitud katusepilliroole 1,99 eurot ($\frac{1,03 \text{ eurot/h} + 5,14 \text{ eurot/h}}{3,1 \text{ t/h}} = 1,99 \text{ eurot/t}$).

Materjalikulu

Eeldame, et kahlud seotakse tavalise heinapallinööriga, mille rulli hind on 29,9 eurot ja milles on 1098 m nööri [16]. Ühe meetri nööri hind on seega 2,7 senti ($\frac{29,9 \text{ eurot}}{1098 \text{ m}} = 0,027 \text{ eurot/m}$). Kui arvestada, et kahlu ümbermõõt on 63 cm, siis ühe kahlu sidumiseks kulub umbes 0,8 m nööri. Kui kahl kaalub 4 kg, siis üks tonn sisaldab umbes 250 kahlu ($\frac{1000 \text{ kg}}{4 \text{ kg/kahl}} = 250 \text{ kahlu}$). Kulu nöörile on seega 5,4 eurot tonni pilliroo kohta ($250 \text{ kahlu} * 0,8 \text{ m} * 0,027 \text{ eurot} = 5,4 \text{ eurot}$).

Tehnika rendikulu

Kui arvestada, et pillirookahlusid kokku vedav sõiduk koos haagisega on renditud tasuga 30 eurot/h, siis lisandub valimatult koristatud pilliroo tunnihinnale 5,26 eurot ($\frac{30 \text{ eurot/h}}{5,7 \text{ t/h}} = 5,26 \text{ eurot/t}$) ja valitud katusepilliroo puhul 9,68 eurot ($\frac{30 \text{ eurot/h}}{3,1 \text{ t/h}} = 9,68 \text{ eurot/t}$).

Tehnika hoolduskulu

Iga seade kulub ja vajab hooldust. Kuna tegemist on väikese seadmega, siis arvestame hoolduskuludeks (sh remondikulud) 5% kahlusiduja hinnast aastas. Maaletooja hinnapakumise järgi oleks vaadeldava kahlusiduja maksumus ilma istmeta 9500 eurot (so mootoriplokk, vikat ja kahlusidumise süsteem). Hinnale ei ole arvestatud juurde Itaaliast Eestisse kohaletoimetamise kulu ja maha ei ole arvestatud kliendiallahindlust. Eeldame, et need kaks teineteist enam-vähem tasakaalustavad. Seega oleks aastane hoolduskulu 475 eurot.

Kui eeldada, et päevas tehakse seadmega tööd vähemalt 4 tundi, töötatakse ainult tööpäevadel, koristusperiood algab novembri keskpaigas ja lõpeb aprilli keskpaigas, ning kliimatiliste tingimuste tõttu sobib töö tegemiseks 1/3 tööpäevadest, siis lisandub hoolduskuluna ühe tonni valimatult koristatud pilliroo hinnale 0,59 eurot

($\frac{475 \text{ eurot}}{5 \cdot \frac{21 \text{ tööpäeva}}{3} \cdot 4 \text{h} \cdot 5,7 \text{t}} = 0,59 \text{ eurot/t}$) ja katusepilliroo hinnale 1,09 eurot

($\frac{475 \text{ eurot}}{5 \cdot \frac{21 \text{ tööpäeva}}{3} \cdot 4 \text{h} \cdot 3,1 \text{t}} = 1,09 \text{ eurot/t}$).

Kapitalikulud

Kapitalikulud koosnevad kulumist ja kasvikut.

$$C_K = D + E$$

kus

C_K – kapitalikulud;

D – kulum;

E – kasvik.

Kuna antud lõputöö koostamise perioodil on pangaintressid väga madalad ja EURIBOR on miinuses, siis edasistes arvutustes kasvikut ei arvestata.

Kulum on põhivara soetusmaksumuse ja selle arvestusliku eluea suhe.

$$D = \frac{I}{n}$$

kus D – iga aastane kulum;

I – põhivara soetusmaksumus;

n – põhivara ökonoomiline (arvutuslik) eluiga aastates.

Maaletooja hinnapakumise järgi oli vaadeldava kahlusiduja maksumus 9500 eurot. Seadme elueaks arvestame 10 aastat (eeldame, et hooldust tehakse korralikult ning tööaeg aastast ei ole pikk). Aastane kulum on sellisel juhul 950 eurot ($D = \frac{9500 \text{ eurot}}{10 \text{ a}} = 950 \text{ eurot/a}$).

Kui kasvikut ei arvesta, siis kogu kapitalikulu on võrdne kulumiga, ehk siis on 950 eurot. Kui eeldada, et päevas tehakse seadmega tööd vähemalt 4 tundi, töötatakse ainult tööpäevadel, koristusperiood algab novembri keskpaigas ja lõpeb aprilli keskpaigas, ning kliimatiliste tingimuste tõttu sobib töö tegemiseks 1/3 tööpäevadest, siis lisandub kapitalikuludest ühe tonni valimatult koristatud pilliroo hinnale 1,19 eurot ($\frac{950 \text{ eurot/a}}{5 \cdot \frac{21 \text{ tööpäeva}}{3} \cdot 4 \text{h} \cdot 5,7 \text{t}} = 1,19 \text{ eurot/t}$) ja

valitud katusepilliroo hinnale 2,19 eurot ($\frac{950 \text{ eurot/a}}{5 \cdot \frac{21 \text{ tööpäeva}}{3} \cdot 4 \text{h} \cdot 3,1 \text{t}} = 2,19 \text{ eurot/t}$). Koristamisel

osaleb veel teine masin koos haagisega, kuid kuna eeldasime, et see on renditud, siis kapitalikulu sellele masinale ei arvesta (arvesse on võetud rendikulu).

Kahlusidujaga võiks kirjeldatud tingimustel koristada aastas valimatult maksimaalselt 798 tonni pilliroogu või 434 tonni valitud katusepilliroogu 108,4 hektarilt. Tekkivad kulud on koondatud tabelisse 2.

Tabel 2. Kokku koristuskulud 622 Reaper-Binder'iga ühe tonni pilliroo kohta

Kulud	Valimatult koristatud pilliroog Summa, euro/t	Katusepilliroog Summa, euro/t
Käidukulud kokku	24,25	40,08
sh		
tööjõukulud	11,92	21,92
kütusekulu	1,08	1,99
materjalikulu (nöör)	5,40	5,40
tehnika rendikulu	5,26	9,68
tehnika hoolduskulu	0,59	1,09
Kapitalikulud	1,19	2,19
Kokku	25,44	42,27

3.4.1.2 Rookombain *Cutter-Binder system*

Inglismaa tootja Loglogic on välja arendanud spetsiaalse pilliroo lõikamise seadme *Cutter-Binder system* (vt joonis 4) oma maastikusõidukile Softrak. Softrak sobib tööks väga pehmel pinnasel. Softrak'il on 60 cm laiused kummiroomikud, mistõttu on tema erisurve maapinnale väike ja seega on väike ka negatiivne mõju tundlikule pinnasele ja selle elustikule. Lõikav süsteem on esimesena vaadeldud Itaalia firma BCS lõikuri edasiarendus. BCS lõikuri süsteem on valitud Inglismaa tootja poolt aluseks seetõttu, et see on lihtne ja usaldusväärne. *Cutter-Binder system* võimaldab lõigatud roo siduda kahludesse ja transportida konveiersüsteemiga sõiduki platvormile. Lisaseadmega võib kahlud pallida 1,2 m diameetriga ja 2,4 m pikkuseks rulliks (sisaldab umbes 80-100 kahlu). Kahlurull seotakse polüpropüleen- või sisalnööri, plastist või terasest lindiga või siis taaskasutatava sulguriga lindiga. Kui peaks olema vajalik õues ladustamine, võib rulli katta kilega, et suurendada ilmastikukindlust. [17] Kui masinale haakida taha treiler, siis võib masin kaasa vedada veel 5 rulli lisaks sellele, mis on parasjagu rullimisseadmes. [18] Rulli suurus on sobilik selle edasiseks transportimiseks treileris. Töölaius on 140 cm ja minutiga suudab lõikursüsteem siduda 20 - 25 kahlu, mis teeb 1200-1500 kahlu tunnis. Softrak sõidukil on 65 hobujõuline turbodiisel mootor, kandevõime on 2 tonni ja sõiduk ise kaalub 2,2 tonni. [17] Eespool toodud jää kandevõime andmed näitavad, et

sellise massi jaoks peaks jää paksus olema vähemalt 30 cm, kuid kuna masin liigub roomikutel (raskus jaotub ühtlasemalt laiemale pinnale), siis ilmselt võib jää ka õhem olla.

Kütusekulu ilma haagiseta on 5 l/h. Ühe rulli mass on ligi 300 kg (kui rullis on 80 kahlu, siis ühe kahlu mass on 3,75 kg). [19] Ühe 3,75 kg kahlu valmistamiseks läbib masin 3,6 m ($\frac{3,75 \text{ kg}}{0,736 \text{ kg/m}^2 * 1,4 \text{ m}} = 3,6 \text{ m}$) ning liikumiskiirus on seega 5,5 km/h (3,6 m/kahl * 1500 kahl/h = 5459 m/h). See on sama, mis eelmisel seadmel. Antud seadme puhul eeldame, et koristatakse valimatult igasugust pilliroogu. Kui masin peatusteta liiguks, siis tunni ajaga suudaks ta koguda ligi 5,6 tonni roogu. Tegelikuses on jõudlus väiksem.



Joonis 4. Inglismaa tootja Loglogic rookombain Cutter-Binder system. Allikas: [17]

Käidukulud

Käidukuludena arvestame jällegi tööjõukulusid, kulu kütusele, materjalile (sidumisnõör), tehnika rendile ja tehnika hoolduskulusid.

Tööjõukulud ja kütusekulu

Vaatamata heale reklaamile kaasneb ka selle masinaga siiski ohtralt käsitööd. Seadmega töötamiseks on vaja vähemalt kahte töötajat, üks juhib sõidukit ja teine sätib koormat. Kui haagist taha ei ühendata, siis tuleb iga kord rulli valmimisel sõita mahalaadimiskohta või siis lasta rull maha ja hiljem eraldi sõiduki ja tõstukiga need kokku koguda. Kuna rulli mahub 80 kahlu ja masin toodab 20-25 kahlu minutis, siis tuleks rulli maha laadima sõita iga 4 minuti järel. Kui taha ühendada haagis, siis peaks sõitma mahalaadimiskohta iga 24 minuti (6 * 4 minutit = 24 minutit) järel, mis tundub mõistlikum. Edasistes arvutustes lähtume seega masinast, millel on pallimisseade ja lisahagis. Haagise kasutamise puhul on tunni ajaga

võimalik koguda 9 rulli pilliroogu. 24 minutiga saab täis üks 6 rulliga koorem ($6 * 300\text{kg} = 1,8\text{ t}$), 24 minutit kulub mahalaadimise kohta sõitmisele ja koorma mahalaadimisele ning ülejäänud 12 minutiga jõuab koguda veel pool järgmisest koormast ($3 * 300\text{kg} = 0,9\text{ t}$). Tunni aja jooksul koristatakse selle tehnika ja kahe töötajaga sellisel juhul 0,37 ha ($\frac{1,8\text{t}+0,9\text{t}}{7,36\text{t/ha}} = 0,37\text{ ha}$). Kuna selle tehnikaga töötamine ei ole nii kontinuurdev kui eelmise näite puhul, siis juhul, kui sõiduki juht ja koormasättija omavahel kohti vahetavad, võivad nad töötada niikaua, kui on valget aega. Kui valget aega on 6 tundi, siis jõuab meeskond päevas koristada 2,2 ha ja koguda 16,2 t roogu.

Kuna töötajaid on poole vähem, on ka palgakulu tööks rooväljal ühe tunni jooksul tööandjale täpselt poole väiksem, kui eelnevalt vaadatud seadme kasutamisel: 33,98 eurot/h. Kokku lisandub roo tonni hinnale 14,48 eurot/t, palgakuludena 12,58 eurot/t ($\frac{33,98\text{ eurot/h}}{2,7\text{ t/h}} = 12,14\text{ eurot/t}$) ja kütuse tarbena 1,90 eurot/t ($\frac{5\text{ l} * 1,028\text{ eurot/l}}{2,7\text{ t/h}} = 1,90\text{ eurot/t}$).

Materjalikulu

Kuna lõikav ja siduv mehhanism on sama, mis eelnevas näites, siis võib ka siin arvestada, et kahlude sidumiseks kulunud nõõrist lisandub ühe tonni pilliroo hinnale 5,4 eurot. Kui kahlud seotakse lisaks ka suuresse rullidesse, siis lisandub veel kolme rulli sidumiskulu. Kui rull siduda kinni kolmest kohast, siis lisandub ligikaudu 0,92 eurot ($C = \pi * d = 3,14 * 1,2\text{ m} = 3,77\text{ m}$; $3,77\text{ m} * 3 * 3 * 0,027\text{ eurot} = 0,92\text{ eurot}$). Kokku lisandub seega 6,32 eurot/t.

Tehnika rendikulu

Kuna rooväljal töötab ainult rookombain, siis tehnika rendikulu on null.

Tehnika hoolduskulu

Hoolduskuluks arvestame seekord 3% seadme hinnast. Seade on oluliselt kallim, kui eelmisena vaadeldud kahlusiduja ning tema hoolduskulud peaksid seega ka protsentuaalselt hinnast väiksema osa moodustama. Tootja hinnapakkumise alusel maksab rookombain Inglismaalt ostes 85 799 Suurbritannia naela, mis teeb 108 799 eurot (vahetuskursiga 0,7886). Selles hinnas ei ole arvestatud masina Eestisse transportimise kulu ja lisahaagise maksumust, seega lisame nende kulutuste katteks hinnale hinnanguliselt veel 20 000 eurot. Kokku arvestame rookombaini maksumuseks seega 128 799 eurot. Seadme aastane hoolduskulu oleks siis 3863,97 eurot. Eelnevalt arvestasime, et selle kombainiga on võimalik töötada päevas vähemalt 6 tundi. Kui ülejäänud tingimused on samad kui eelmises näites (tööd

tehakse ainult tööpäevadel, koristusperiood algab novembri keskpaigas ja lõpeb aprilli keskpaigas, ning kliimatiliste tingimuste tõttu sobib töö tegemiseks 1/3 tööpäevadest), siis lisandub hoolduskuluna ühe tonni pilliroo hinnale 6,81 eurot ($\frac{3863,97 \text{ eurot}}{5 \cdot \frac{21 \text{ tööpäeva}}{3} \cdot 6 \text{ h} \cdot 2,7 \text{ t}} = 6,81 \text{ eurot/t}$).

Kapitalikulud

Kokku arvestasime rookombaini maksumuseks 128 799 eurot. Masina elueaks arvestame jälle 10 aastat. Aastane kulum on sellisel juhul 12 880 eurot ($D = \frac{128\,799 \text{ eurot}}{10 \text{ a}} = 12\,880 \text{ eurot/a}$).

Kui selle kombainiga tehakse tööd päevas vähemalt 6 tundi, tööd tehakse ainult tööpäevadel, koristusperiood algab novembri keskpaigas ja lõpeb aprilli keskpaigas, ning kliimatiliste tingimuste tõttu sobib töö tegemiseks 1/3 tööpäevadest, siis lisandub kapitalikuludest ühe tonni pilliroo hinnale 22,72 eurot ($\frac{12\,880 \text{ eurot/a}}{5 \cdot \frac{21 \text{ tööpäeva}}{3} \cdot 6 \text{ h} \cdot 2,7 \text{ t}} = 22,72 \text{ eurot/t}$). Sellisel juhul koristatakse aastas 567 tonni pilliroogu 77,0 hektarilt. Antud arvutustes on lähtutud sellest, et roomikud kompenseerivad masina massi ja see ei ole tööaega piiravaks teguriks. Koristuskulud Inglismaa tootja Loglogic *Cutter-Binder system*'iga on kokku võetud tabelis 3.

Tabel 3. Kokku koristuskulud Loglogic *Cutter-Binder system*'iga ühe tonni pilliroo kohta

Kulud	Summa, euro/t
Käidukulud kokku	27,61
sh	
tööjõukulud	12,58
kütusekulu	1,90
materjalikulu (nöör)	6,32
tehnikarendikulu	0
tehnikahoolduskulud	6,81
Kapitalikulud	22,72
Kokku	50,33

3.4.2 Tavapõllumajandustehnika

Tavapõllumajandustehnikast võiks kõne alla tulla peamiselt 2 varianti:

- A) traktor niidukiga + traktor kaarutajaga + traktor heinapallijaga + tõstuki ja haagisega palle koguv ja kokkuvedav sõiduk;
- B) kogurhekseldi ja hakitud pilliroogu koguv(ad) haagisega sõiduk(id).

Tavapõllumajandustehnika plussiks on see, et nende seadmete hankimiseks ei ole vaja ettevõtjal, kes on tegev ka põllumajanduses, lisakulutusi teha. Miinuseks on aga see, et nende

seadmete kasutamisel ei ole enam võimalik varutud pilliroogu kõrgema lisandväärtusega toodete tootmiseks kasutada (kõrs on juba lõmastatud või tükeldatud) ja nende kasutusaeg on nende massi tõttu piiratum. Samas, kui koguda pilliroogu spetsiaalselt kütteks, siis ilmselt oleks kõige mõistlikum pilliroog kogumisel just hakkida. Sellisel juhul oleks töötajaid vaja kaks või kolm, nad kõik oleks välistingimuste eest kaitstud sõiduki kabiinis, ei oleks vaja teha füüsilist tööd, kogutud roogu ei ole vaja roovälja äärde vahe-ladustada ning kogutud biomass võtaks kõige vähem ruumi ja seda oleks kõige lihtsam tarbimis- või töötlemiskohta transportida ja ka vajadusel edasi töödelda. Variandi A puhul on täiendavaks miinuseks veel ka see, et tundlik rooväli sõidetakse raske tehnikaga mitu korda üle ja selleks kulutatakse ka ohtralt fossiilseid kütuseid. Seega vaatame lähemalt vaid varianti B.

3.4.2.1 Kogurhekseldi *PALESSE FS80*

Kogurhekseldi esimese näitena võtame vaatluse alla Valgevene firma **GOMSELMASH** mudeli *PALESSE FS80* (vt joonis 5).



Joonis 5. Kogurhekseldi GOMSELMASH *PALESSE FS80*. Allikas: [20]

Kogurhekseldi sobib igasuguste kõrgete vartega põllukultuuride niitmiseks ja purustamiseks (näiteks igasuguses küpsusastmes mais ja päevalill), seega peaks kogurhekseldi sobima ka talvel pillirookörte niitmiseks ja purustamiseks. Kuna kogurhekseldi kasutamisel ei ole kogutud pilliroost enam võimalik kõrgema lisandväärtusega tooteid teha, siis arvestame, et pilliroogu kogutakse valimatult. Masina heedri laius on 4,5 m, töökiirus on 12 km/h, seega

suudaks kogurhekseldi koristada 1 ha roovälja 0,18 tunniga ($\frac{\frac{100\text{ m}}{4,5\text{ m}} \cdot 100\text{ m}}{12000\text{ m/h}} = 0,18\text{ h}$). Tunni ajaga koristab masin seega 5,56 hektarilt 40,89 tonni pilliroogu ($\frac{7,36\text{ t/ha}}{0,18\text{ h/ha}} = 40,89\text{ t/h}$). [20]

Selle tehnika tõsiseks puuduseks on mass – masin kaalub tervelt 11 tonni. Jää peale sellega

minna ei ole mõistlik ja siit tulevad ka tõsised piirangud selle masina kasutamisele. Edasistes arvutustes eeldame, et rooväli on hea kõva pinnasega suhteliselt sile maa.

Tööjõukulud

Kui töö on korraldatud nii, et hakitud pilliroogu kogub vaheldumisi kaks haagisega sõidukit (sõidavad niitmise ajal kogurhekseldiga kaasa ja veavad täislasti vahepeal kohe sihtpunkti ära), siis tuleb arvestada kolme töötaja palgakuludega ($1 \text{ h} * 16,99 \text{ eurot} * 3 = 50,97 \text{ eurot/h}$), mis lisab koristatud pilliroo tonnihinnale vaid $1,25 \text{ eurot}$ ($\frac{50,97 \text{ eurot/h}}{40,89 \text{ t/h}} = 1,25 \text{ eurot/t}$).

Kütusekulu

Kütust kasutab kogurhekseldi $5,5 \text{ l/h}$. Arvestame, et ka hakitud pilliroogu koguvad veokid on sama kütusetarbega ja nad liiguvad vaheldumisi pidevalt kogurhekseldi kõrval, siis on rooväljal koristamisega seotud kogu kütusetarve 11 l/h , mis teeb hinnalisaks ühele koristatud pillirootonnile $0,28 \text{ eurot}$ ($\frac{11 \text{ l} * 1,028 \text{ eurot/l}}{40,89 \text{ t}} = 0,28 \text{ eurot/t}$).

Materjalikulu

Kuna hekseldamisel ei kasutata mingeid materjale, siis materjalikulu on null.

Tehnika rendikulu

Kui arvestada, et pilliroohaket kokku vedavad sõidukid on renditud kumbki tasuga 30 eurot/h , siis lisandub pilliroo tonnihinnale $1,47 \text{ eurot}$ ($\frac{2 * 30 \text{ eurot/h}}{40,89 \text{ t/h}} = 1,47 \text{ eurot/t}$).

Tehnika hoolduskulu

Kui eeldame, et kogurhekseldit kasutatakse ka põllumajanduslikus tootmises ja ta ei ole spetsiaalselt ostetud pilliroo varumiseks, siis võime tehnika hoolduskulude ja edaspidi ka kapitalikulude arvutamisel jagada masina hinna kahega. Selle masina hind Eesti turul on PRIA hinnakataloogi [21] andmetel $173\,630 \text{ eurot}$, seega, kui hoolduskuludeks arvestada jälle 3% masina hinnast, on hoolduskulud $5208,9 \text{ eurot}$ aastas.

Kui arvestada, et päevas on võimalik töötada vähemalt 6 tundi, tööd tehakse ainult tööpäevadel, koristusperiood algab selle seadme puhul jaanuari keskpaigas (kuna eesmärk on pilliroo energeetiline kasutamine, siis tuleb lähtuda sellest, et pilliroo niiskus väheneb 20% -ni kõige varem jaanuari kuuks [1]) ja lõpeb aprilli keskpaigas ning kliimatiliste tingimuste tõttu sobib töö tegemiseks $1/4$ tööpäevadest (kuna ilm peab olema korralikult külm, siis vähendame

sobivate päevade arvu võrreldes eelmiste näidetega), siis lisandub hoolduskuludena ühe tonni pilliroo hinnale 1,35 eurot ($\frac{5209,9 \text{ eurot}}{3 \cdot \frac{21 \text{ tööpäeva}}{4} \cdot 6 \text{ h} \cdot 40,89 \text{ t}} = 1,35 \text{ eurot/t}$).

Kapitalikulud

Selle põllumajandusmasina hind Eesti turul on PRIA hinnakataloogi [21] andmetel 173 630 eurot, kapitalikulu arvutamisel lähtume hinnast 86 815 eurot. Masina elueaks arvestame 10 aastat.

Aastane kulum on sellisel juhul 8 682 eurot ($D = \frac{86 \ 815 \text{ eurot}}{10 \text{ a}} = 8 \ 682 \text{ eurot/a}$).

Kui arvestada, et päevas on võimalik töötada vähemalt 6 tundi, tööd tehakse ainult tööpäevadel, koristusperiood algab jaanuari keskpaigas ja lõpeb aprilli keskpaigas ning kliimaatiliste tingimuste tõttu sobib töö tegemiseks 1/4 tööpäevadest, siis lisandub kapitalikuludest ühe tonni pilliroo hinnale 2,25 eurot ($\frac{8 \ 682 \text{ eurot/a}}{3 \cdot \frac{21 \text{ tööpäeva}}{4} \cdot 6 \text{ h} \cdot 40,89 \text{ t}} = 2,25 \text{ eurot/t}$).

Sellisel juhul koristatakse aastas 3864,11 t pilliroogu 525,01 hektarilt. Koristamisel tekkivad kulud on toodud tabelis 4.

Tabel 4. Kokku koristuskulud kogurhekseldiga GOMSELMASH PALESSE FS80 ühe tonni pilliroo kohta

Kulud	Summa, euro/t
Käidukulud kokku	4,35
sh	
tööjõukulud	1,25
kütusekulu	0,28
materjalikulu (nöör)	0
tehnika rendikulu	1,47
tehnika hoolduskulu	1,35
Kapitalikulud	2,25
Kokku	6,60

3.4.2.2 Poolripphaagise tüüpi kogurhekseldi *Forage Harvester F41*

Teise näitena olgu toodud süsteem, mis on natukene kergem ja seega ehk ka rooväljadel paremini kasutatav. Vaatame Prantsuse firma Dion AG poolripphaagise kujul kogurhekseldit – *Forage Harvester F41* (vt joonis 6). Kogurhekseldi kaalub 4 tonni ja selle liigutamiseks on vaja traktorit. [22] Kuna raskus järelveetava seadme puhul paigutub laiemale pinnale, võrreldes eelmise näitega, siis võib loota, et selle tehnikaga on võimalik töötada ka jääl, mille paksus on vähemalt 30 cm. Seadme heedri laius on väiksem, kui eelmisena vaadeldud

kogurhekseldis – 3 m, seega on jõudlus ka natuke väiksem. Seadmega on võimalik koristada

1 ha roovälja 0,27 tunniga ($\frac{\frac{100\text{ m}}{3\text{ m}} * 100\text{ m}}{12\,000\text{ m/h}} = 0,27\text{ h}$). Tunni ajaga koristab masin seega 3,7

hektarilt 27,26 t pillroogu ($\frac{7,36\text{ t/ha}}{0,27\text{ h/ha}} = 27,26\text{ t/h}$).



Joonis 6. Prantsuse firma Dion AG Forage Harvester F41. Allikas: [22]

Tööjõukulud

Kui tööprotsess on sama, mis eelmisel näitel, siis on ka tööjõukuludena pilliroo tonni hinnale lisanduv summa sama – 1,25 eurot. Tööprotsessi saab selle seadme puhul optimeerida nii, et haagis ühendatakse kogurhekseldi taha (üks traktor veab nii kogurhekseldit kui ka haagist). Sellisel juhul piisaks ühest lisaõidukist, mis viiks ära täis haagise ja tooks kogurhekseldi taha uue tühja haagise (haagised haagitakse ümber). Haagiste ümberühendamise ajaks tuleks siis muidu pidevasse tööprotsessi väike paus. Sellise töökorralduse puhul oleks tööjõukulud väiksemad, sest 3 töötaja asemel oleks 2. Ka oleks kütusekulud mingil määral väiksemad, sest haket koguv sõiduk ei pea kogurhekseldiga kaasa sõitma, kuid samas kogurhekseldit ja haagist vedava traktori kütusekulu oleks jälle veidi suurem.

Kütusekulu

Kui tööprotsessi ei optimeerita, siis on ka eeldatav kütusekulu sama, mis eelnevalt vaadeldud näite puhul. Kütusekuludest lisandub pilliroo tonni hinnale 0,28 eurot.

Materjalikulu

Materjalikulu ei ole.

Tehnika rendikulu

Kui lisaks pilliroohaket kokku vedavatele sõidukitele on renditud ka kogurhekseldit vedav traktor (antud seade ei ole võimeline iseseisvalt liikuma), siis lisandub pilliroo tonnihinna 3,3 eurot ($\frac{3 \cdot 30 \text{ eurot/h}}{27,26 \text{ t/h}} = 3,30 \text{ eurot/t}$).

Tehnika hoolduskulu

Forage Harvester F41 maksab PRIA hinnakataloogi järgi 92 400 eurot. Kuna jällegi on tegemist põllumajandusmasinaga, mis leiab kasutust ka suvel, siis lähtume hooldus- ja kapitalikulude arvestamisel vaid poolest hinnast, mis on 46 200 eurot. Hoolduskuludeks arvestame 3% masina hinnast, mis teeb 1386 eurot aastas.

Kui tööaeg jääb eelmise näitega samaks, siis lisandub hoolduskuludest ühe tonni pilliroo hinnale 0,54 eurot ($\frac{1386 \text{ eurot}}{3 \cdot \frac{21 \text{ tööpäeva}}{4} \cdot 6 \text{ h} \cdot 27,26 \text{ t}} = 0,54 \text{ eurot/t}$).

Kapitalikulud

Forage Harvester F41 kapitalikulude arvestamisel lähtume jällegi vaid poolest masina hinnast, mis on 46 200 eurot. Masina elueaks arvestame 10 aastat.

Aastane kulum on sellisel juhul 4 620 eurot ($D = \frac{46\,200 \text{ eurot}}{10 \text{ a}} = 4\,620 \text{ eurot/a}$) ja kapitalikuludena lisandub ühe tonni pilliroo hinnale 1,79 eurot ($\frac{4\,620 \text{ eurot/a}}{3 \cdot \frac{21 \text{ tööpäeva}}{4} \cdot 6 \text{ h} \cdot 27,26 \text{ t}} = 1,79 \text{ eurot/t}$). Sellisel juhul koristatakse aastas 2576,07 tonni pilliroogu 350,00 hektarilt. Koristamisel tekkivad kulud on toodud tabelis 5.

Tabel 5. Kokku koristuskulud kogurhekseldiga *Forage Harvester F41* ühe tonni pilliroo kohta

Kulud	Summa, euro/t
Käidukulud kokku	5,37
sh	
tööjõukulud	1,25
kütusekulu	0,28
materjalikulu (nöör)	0
tehnika rendikulu	3,30
tehnika hoolduskulu	0,54
Kapitalikulud	1,79
Kokku	7,12

3.4.3 Koristusseadmete võrdlus

Tabelis 6 on toodud käsitletud tehnoloogiate ja seadmete korral lisandunud hinnalisad pilliroo tonnihinna ning aastas koristatud pilliroo kogused.

Tabel 6. Tehnoloogia ja seadmete võrdlus

Tehnoloogia/seade	Hinnalisa ühele tonnile pilliroole (koristuskulud+ maa rendihind), eurot	Aastas koristatud pilliroo kogus	
		tonni	hektarit
Itaalia firma BCS S.p.A 622 <i>Reaper-Binder</i> (valimatult koristatud pilliroog)	25,44+1,36= 26,8	798	108,4
Itaalia firma BCS S.p.A 622 <i>Reaper-Binder</i> (katusepilliroog)	42,27+1,36= 43,63	434	108,4
Inglismaa tootja Loglogic <i>Cutter-Binder system</i>	50,33+1,36= 51,69	567	77,0
Valgevene firma GOMSELMASH mudel <i>PALESSE FS80</i>	6,60+1,36= 7,96	3 864	525,0
Prantsuse firma Dion AG <i>Forage Harvester F41</i>	7,12+1,36= 8,48	2 576	350,0

Tabelist nähtub, et konkurentsilt odavam oleks pilliroogu soojusenergeetikas kasutamiseks koguda kogurhekseldiga. Siiski tuleb arvestada sellega, et kogurhekseldiga kogutud pilliroogu ei ole enam võimalik kõrgema lisandväärtusega toodetes kasutada, ning et niivõrd häid tulemusi, kui tabelist 6 nähtub, on võimalik saavutada siiski ainult juhul, kui rooväli sarnaneb pigem kultuurse hooldatud heinamaaga. Tõenäoliselt on võimalik leida turult kogurhekseldi mudeleid, mis on väiksema massiga ja väiksema jõudlusega, kuid mis sobivad rooväljale paremini, kui siin näidetes käsitletud kogurhekseldite mudelid. Nagu arvutustest näha, kasvavad kogurhekseldite puhul pilliroo tonnihinna lisanduvad kulud koos jõudluse vähenemisega, kuid siiski on üsna kindel, et kogurhekseldi sobib vaadeldud seadmetest energeetikas kasutamiseks mõeldud pilliroo kogumiseks kõige paremini.

3.4.4 Hakkpilliroo hinna võrdlus hakkpuidu hinnaga

Hakkpuitu müüakse Eesti turul hinnaga 12 eurot/m³ [23] - 76 eurot/m³ [24], mis teeb tonni hinnaks ligi 60 – 380 eurot/tonn (arvestusega, et 1 tonn ~ 5 m³). Viimane väärtus vastab tselluloositööstuses kasutatavale hakkele. Tabelist 7 selgub, et kogurhekseldiga varutud pilliroog on igati edukas konkureerima hakkpuiduga, kuna hakkpilliroo hind on lausa kordades madalam. Samas peab arvestama sellega, et kuna hakkpilliroo 1 m³ kaalub vähem

(120-150 kg/m³) kui hakkpuidu 1 m³ (200-250 kg/m³), siis on hakkpilliroo (energiasalduse järgi) vedu katlamajja kallim.

Hakkpuidu hind katlamajja transpordituna (taandatuna kütteväärtusele) on vahemikus 12-17 eurot/MWh. Siit järeldub, et hakkroo hind oleks katlamajadele väga atraktiivne. Selle lisamine hakkpuidule kuni 15% ulatuses massi järgi ei tohiks ka katlas põletamisel erilisi probleeme tekitada.

Tabel 7. Pilliroo ja hakkpuidu hinnavõrdlus (taandatuna kütteväärtusele)

Kütus	Tonni hind, euro	Kütteväärtus, MWh/t	MWh hind, euro
Pilliroog (varutud kogurhekseldiga)			
GOMSELMASH mudel <i>PALESSE FS80</i>	7,96	3,94	2,02
Dion AG <i>Forage Harvester F41</i>	8,48	3,94	2,15
Hakkpuit	60	4	15

4. Pilliroo transportimisega seotud kulud

Katusepilliroogu eksportivad ettevõtjad on avaldanud arvamust, et transpordikulud moodustavad eksporditava kahlu hinnast kolmandiku [25], seega on transpordikulud väga olulised pilliroo biokütusena kasutamise võimaluse hindamisel.

Edasiste arvutuste jaoks eeldame, et roog koristatakse kas eespool vaadeldud kahe rattalise kahlusidujaga või siis rookombainiga, seotakse kahludesse läbimõõduga 63 cm, pikkusega 1,8 m ja ladustatakse esmaselt roovälja serva. Selleks, et kahlud esmase ladustamise kohast tarbimis-, ladustamis- või töötlemiskohta toimetada, ei ole mõtet spetsiaalset tehnikat soetada, sest seda võib vaja minna olenevalt küll varutud roo kogusest, kuid siiski loetud päevade jooksul aastas. Interneti otsing näitas, et tõstukiga veokite rendihinnad kõiguvad vahemikus 0,85 - 1,5 eurot/km + käibemaks, millele võib lisanduda ka laadimisaja või ooteaja eest tunnihind 30-40 eurot/h. Kuna rookahlud on kerged ja võtavad palju ruumi, siis valiti arvutuste jaoks välja kõige suurema kubatuuriga ja 7 m pikkuse PALFINGER tõstukiga varustatud treilerveok, mille rendihind oli 1,1 eurot/km + käibemaks ja tunniootetasu 30 eurot/tund [26]. Omanik pakub nimetatud veokit küll heinarullide veoks (vt joonis 7), kuid ilmselt saab seda sama edukalt kasutada ka rookahlude veoks. Antud treileri platvorm on 11 m pikk, 2,5 m lai ja koorma kõrgus võib olla 3 m.



Joonis 7. Madala platvormiga treiler. Allikas: [26]

Kui pilliroog koristati kahehatalise kahlude sidujaga, siis tuleb treilerile paigutada üksikuid kahlusid. Ühe kahlu läbimõõt on umbes 20 cm ($d = \frac{C}{\pi} \rightarrow \frac{0,63}{\pi} = 0,2$) ja pikkus 1,8 m. Kuna kahl on koonuse kujuline, siis paigutame ühe kahla ühtepidi ja selle peale teise teistpidi, et enam-vähem silindrilist vormi saavutada. Lähtudes eelnevast saab treilerile paigutada umbes 1 719 kahu (näiteks pikuti kuues virnas: $(2 * \frac{11 \text{ m}}{1,8 \text{ m}} * \frac{2,5 \text{ m}}{0,2 \text{ m}}) * (\frac{3 \text{ m}}{0,2 \text{ m}} * 0,75) = 1 719$). Koorma mass on seega vaid $1719 * 4 \text{ kg} = 6,8$ tonni.

Kui pilliroog koristati rookombainiga ja seoti rullidesse diameetriga 1,2 m ja pikkusega 2,4 m, siis on võimalik koormasse paigutada risti platvormiga 26 rulli ja koorma mass oleks 7,8 tonni ($\frac{11 \text{ m}}{1,2 \text{ m}} * 2 = 26$ rulli; $26 \text{ rulli} * 300 \text{ kg} = 7,8$ tonni).

Võrdluseks: heinapallide veol oleks koorma mass olnud $52 * 1000 \text{ kg} = 52$ tonni.

Kui seda koormat vedada 50 km ning peale ja maha laadimiseks kuluks 2 tundi, tuleks maksta vähemalt 115 eurot + käibemaks ($(1,1 \text{ eurot/km} * 50 \text{ km}) + (2 * 30 \text{ eurot/tund}) = 115$ eurot), kuid sellele lisandub veel auto objektile ja tagasi sõit. Kui auto telliti näiteks 50 km kauguselt, siis teeb see veel 110 eurot. Siit tuleks kahludesse seotud tooraine 1 tonni hinnale juurde

33,1 eurot ($\frac{115 \text{ eurot} + 110 \text{ eurot}}{6,8 \text{ t}} = 33,1 \text{ eurot/t}$) ja kahlurullides tooraine puhul 28,8 eurot ($\frac{115 \text{ eurot} + 110 \text{ eurot}}{7,8 \text{ t}} = 28,8 \text{ eurot/t}$). Kui veoki saaks tellida 1 km kauguselt ja vedada 1 km

kaugusele, oleks hinnalisa kahlude puhul 9,3 eurot/t ($\frac{(1,1 \text{ eurot/km} * 1 \text{ km}) + (2 * 30 \text{ eurot/tund}) + (1,1 \text{ eurot/km} * 2)}{6,8 \text{ t}} = 9,3 \text{ eurot/t}$) ja kahlurullide puhul

8,1 eurot/t ($\frac{(1,1 \text{ eurot/km} * 1 \text{ km}) + (2 * 30 \text{ eurot/tund}) + (1,1 \text{ eurot/km} * 2)}{7,8 \text{ t}} = 8,1 \text{ eurot/t}$).

Ilma sõiduki kohalesõidu ja laadimisaega arvestamata oleks kahlude transportimisel ühele tonnile ühe veosekilomeetri kohta lisanduv kulu 16 senti ($\frac{1,1 \text{ eurot/km}}{6,8 \text{ t}} = 0,16 \text{ eurot/t}$) ja kahlurullide puhul 14 senti ($\frac{1,1 \text{ eurot/km}}{7,8 \text{ t}} = 0,14 \text{ eurot/t}$).

Kui aga pilliroog pallida kogumiskohas, kasutades tavalist heinavarumise tehnikat, või siis spetsiaalseid rullivaid kombaine, oleks saadav rull tavalise heinarulli mõõtmetega aga sellest oluliselt kergem - vaid 191 kg, seega oleks koorma mass $52 * 191 \text{ kg} = 9,9 \text{ tonni}$ [27]. Esimese näite (50 km veodistsid) puhul lisanduks siis tooraine ühe tonni hinnale 22,7 eurot ($\frac{225 \text{ eurot}}{9,9 \text{ t}} = 22,7 \text{ eurot/t}$) ja teise näite puhul (1 km veodistsid) 6,3 eurot ($\frac{63,3 \text{ eurot}}{9,9 \text{ t}} = 6,3 \text{ eurot/t}$). Ilma sõiduki kohalesõidu ja laadimisaega arvestamata lisanduks pallitud pilliroo tonnile iga kilomeetri kohta 11 senti ($\frac{1,1 \text{ eurot/km}}{9,9 \text{ t}} = 0,11 \text{ eurot/t}$).

Kolmas võimalus on pilliroog kogumiskohas hakkida (näiteks 10 cm pikkusteks tükkideks) ja vedada töötlemiskohta konteineris. Eeldusel, et kõik muud tingimused on samad, vaid lahtise treileri asemel on 90 m^3 konteiner, siis oleks koorma mass ligi 11 tonni ($90 \text{ m}^3 * 120 \text{ kg/m}^3 = 10,8 \text{ tonni}$) [27]. Kuna hakkroog laaditakse koormasse juba koristamise käigus, siis ei ole hakitud kujul vedamise korral vaja arvestada enam aega, mis läheks koorma laadimiseks, seega oleks täiendav kulu seotud ainult sõiduki kohalesõiduga. Ja hinnalisa oleks 50 km distantside korral vastavalt 15,2 eurot/t ($\frac{(1,1 \text{ eurot/km} * 50 \text{ km}) + (2 * 50 \text{ km} * 1,1 \text{ eurot})}{10,8 \text{ t}} = 15,2 \text{ eurot/t}$) ja 1 km distantside puhul 0,3 eurot/t ($\frac{(1,1 \text{ eurot/km} * 1 \text{ km}) + (2 * 1 \text{ km} * 1,1 \text{ eurot})}{10,8 \text{ t}} = 0,30 \text{ eurot/t}$). Ilma sõiduki kohalesõidu kulu arvestamata lisanduks hakitud pilliroo tonnile iga kilomeetri kohta 10 senti ($\frac{1,1 \text{ eurot/km}}{10,8 \text{ t}} = 0,10 \text{ eurot/t}$).

Võrdluseks võiks siinkohal tuua, et hakkpuidu puhul oleks sama suure veokiga koorma mass 18 tonni ja hinnalisa ühele tonnile iga kilomeetri kohta 6 senti ($\frac{1,1 \text{ eurot/km}}{90 \text{ m}^3 * 200 \text{ kg/m}^3} = 0,06 \text{ eurot/t}$). See tähendab, et sama summa eest oleks võimalik viia hakkpuitu 1,7 korda kaugemale.

Tabelis 8 on toodud erineval kujul pilliroo transportimise kulud.

Tabel 8. Pilliroo transportimise kulud

Transporditava pilliroo seisund	Hinnalisa 50 km distantside puhul, euro	Hinnalisa 1 km distantside	Hinnalisa ühele tonnile pilliroole ühe veokilomeetri
---------------------------------	---	----------------------------	--

		puhul, euro	kohta ilma sõiduki kohalesõidu ja laadimisajata, euro
Kahludesse seotud	33,1	9,3	0,16
Rulli seotud kahlud	28,8	8,1	0,14
Pallitud tavapõllumajandustehnikaga	22,7	6,3	0,11
Hakitud puistena	15,2	0,3	0,10

Siit selgub, et kõige kallim on vedada pilliroogu kahludena ja kõige odavam nagu juba eespool oletatud - hakkena.

5. Töötlemis- või kasutuseelse ladustamisega seotud kulud

Pilliroo ladustamiseks ei ole vaja väga korralikult välja ehitatud laoruume, piisab, kui hoone on kinnine ja vihma eest kaitstud. Selliste lihtsate hoonete rendihinnad ei ole väga kõrged. Läänemaalt Ridalast oleks näiteks võinud seisuga 06.05.2016 rentida 330 m² laohoone ilma kütte ja veevarustusega, kuid elektriga, kuuhinnaga 165 eurot, mis teeb ruutmeetri hinnaks 0,5 eurot. Iseasi on see, et ega nii odavaid laohooneid väga palju turul pakkuda ei ole. Ka mõned praegused pilliroogu varuvad ettevõtjad on oma majandusaasta aruannetes kurtnud, et tootmise laiendamist takistab just sobiva laoruumi puudumine pilliroo varumiskoha läheduses. Sellisesse 330 m² hoonesse (eeldusel, et ta on vähemalt 3 m kõrge, 10 m lai ja 33 m pikk) oleks võimalik ladustada kolmes kihis umbes 324 kahlu rulli kokku 97,2 tonni. Kui sellises hoones säilitada rullis kahludes pilliroogu 1 kuu, siis lisab see tonnihinnale 1,6 eurot ($\frac{165 \text{ eurot}}{97,2 \text{ t}} = 1,6 \text{ eurot/t}$). Kui ladustada kahlud lahtiselt, siis peaks neid sinna mahtuma 82,5 tonni (1 719 kahlu (autokoorem) * 3 * 4 = 20 628 kahlu; 20 628 kahu * 4kg = 82,5 tonni). Ühe kuuga lisanduks tonni hinnale 2 eurot ($\frac{165 \text{ eurot}}{82,5 \text{ t}} = 2 \text{ eurot/t}$).

Tavapõllumajandustehnikaga pallitud pilliroogu oleks võimalik ladustada vaatlusalusesse hoonesse 648 palli kokku 123,8 t. Nende ühe kuulisel ladustamisel lisanduks tonnihinnale 1,3 eurot ($\frac{165 \text{ eurot}}{123,8 \text{ t}} = 1,3 \text{ eurot/t}$).

Hakitud kujul pilliroo ladustamine võib olla problemaatiline. Kuna õhk ei pääse tihedas massis liikuma, siis võib puistes pilliroog niiskuda ja hallitama minna või ka kuumeneda ja süttida. Hakke puhul peaks eesmärk olema selle viimine koristuskohast otse katlamaja lattu ilma vahepeal ladustamata. Teoreetiliselt mahuks eelpool vaadeldud hoonesse ligi 108 t

puistet, kui eeldada, et ruumi ei ole võimalik ukseauguni puistet täis laduda ja ukse ette jääb 3 m * 10 m vaba ruumi (10 m * 30 m * 3 m = 900 m³; 900 m³ * 120 kg/m³ = 108 t). Pilliroopuiste (hakkroo) ühekuulisel ladustamisel lisanduks tonnihinnale 1,5 eurot ($\frac{165 \text{ eurot}}{108 t} = 1,5 \text{ eurot/t}$). Erineval viisil ladustatud pilliroo ladustamiskulud on toodud tabelis 9.

Tabel 9. Pilliroo ladustamise maksumus

Ladustatava pilliroo seisund	Hinnalisa ladustamisel 1 kuu, euro	Hinnalisa ladustamisel 6 kuud, euro
Kahludesse seotud	2,0	12,0
Rulli seotud kahlud	1,6	9,6
Pallitud tavapõllumajandustehnikaga	1,3	7,8
Hakitud puistena	1,5	9,0

6. Pilliroopelletite valmistamisega seotud kulud

Nagu näitavad ka eelnevad arvutused oleks kahtlemata kõige mõistlikum põletada kogumisel hakitud pilliroogu ilma täiendava töötlemiseta koos hakkpuiduga, vedades seda otse kogumiskohast katlamaja lattu ilma vahepealse ladustamiseta. Kui pilliroog on juba koristatud pallitud kujul, ka siis ei ole enam ilmselt mõtet seda edasi pelletiteks töödelda. Kui on olemas lähiümbruses katel, kus on võimalik põletada terveid palle (nt Lihulas), siis peaks seda varianti kasutama. Nii näiteks põletatakse Västanfjärdis (Rootsi) olevas katlamajas nii, põhu-, rohu- kui ka pilliroorulle. Tuhka veetakse välja kord nädalas [28].

Pilliroo pelletiteks pressimine võib aga olla lahendus nende ettevõtjate jaoks, kes esimese valikuna toodavad kogutud pilliroost kõrgema lisandväärtusega tooteid ja otsivad lahendust praaki läinud pilliroomassile, et seda ei peaks niisama keskkonda saastades ära põletama.

Pilliroograanulite valmistamine sarnaneb mistahes muust materjalist graanulite tegemisele. Kõigepealt jahvatatakse pilliroog peeneks ja seejärel pressitakse graanuliteks (pelletiteks). Peenestatud pilliroog ei kleepu nii hästi kokku kui puit, seetõttu soovitatakse kasutada mitmesuguseid lisandeid, näiteks turvast. [28]. Turba lisamisel suureneb pelletite põletamisel tekkiva tuha hulk, sest turbas võib olla 8-9% tuhka. Ka suureneb väävlisisaldus ja katlamajadele võib lisanduda CO₂ maks. Võimalik on toota pilliroopelleteid ka turvast lisamata kasutades erilisi tehnoloogilisi lahendusi nt piserdada peenestatud pilliroole enne pressimist vett või juhtida sellesse ülekuumendatud auru.

Kuna võib eeldada, et ehitusmaterjalitööstuses praaki läinud pilliroogu ei ole just väga suurtes kogustes, siis vaatleme edasistes arvutustes väiksema võimsusega pelletiliine, mida oleks võimalik ka ühe ettevõtja juurest teise juurde viia. Pelletiliini ühise kasutuse puhul on ettevõtjatel võimalik investeeringu maksumust vähendada ja selle kasutuse intensiivsust suurendada.

Näitena vaatleme Itaalias firma CAEB International SRL poolt toodetavat väikest pelletitehas *EPS Line* (vt joonis 8) [29], mis on küll originaalis mõeldud viinamarjaväätidest pelletite tegemiseks, kuid võib arvata, et väiksemate modifikatsioonidega oleks võimalik neidsamu seadmeid kasutada ka pilliroopelletite tootmiseks. *EPS Line* on modulaarne süsteem, mis koosneb hakkurist *EASYCHIPPER*, pelletimasinast *EASYPELLET*, kottide täitmise konveierist, PLC-st, tolmu kogumise süsteemist ja konveierist, millega transporditakse toorainet hakkurisse. Tunni ajaga toodab tehas viinamarjaväätidest ligi 100 kg pelletteid. Kuna pilliroo erikaal võib olla veidi väiksem, kui viinamarjaväätidel, siis ilmselt pilliroopelletteid saaks ka veidi vähem, kui 100 kg tunnis, kuid arvutuste lihtsustamise huvides eeldame, et ajaühikus toodetav kogus on sama. Ühe tonni pelletite tootmiseks kulub seega 10 tundi. [29]



Joonis 8. Itaalias firma CAEB International SRL pelletitehas *EPS Line*. Allikas: [29]

Käidukulud

Käidukuludena vaatame tööjõukulusid, elektrikulu, materjalikulu ja tehase hoolduskulu.

Tööjõukulud

Tehase opereerimiseks on vaja ühte töötajat, kes toorainet liinile tõstab ja seadmete tööd jälgib. Kuna töö toimub siseruumides, siis eeldame, et ta lepib väiksema palgaga, kui varem vaadeldud pillirooväljal pilliroo koristamisel osalenud töötajad. Kui selle töötaja palk oleks kolmekordne miinimumpalk (7,62 eurot/h), siis oleks tööjõukulu tööandjale 10,19 eurot/h. Seega lisandub tonni pelletite hinnale 101,9 eurot (10,19 eurot/h * 10 h = 101,9 eurot). Kui ta on aga nõus töötama miinimumpalga eest oleks lisanduv kulu 34 eurot (3,40 eurot/h*10 h = 34 eurot)

Elektrikulu

Tehas töötab elektriga, hakkuri võimsus on 11,5 kW ja pelletimasinal 23 kW. Seega arvestame elektrienergia kuluks kokku tunnis 34,5 kWh. Kui elektri hind on näiteks 0,10297 eurot/kWh, siis kulu elektrile kokku on 3,55 eurot/h. Ühe tonni pelletite tootmiseks kulub 35,5 eurot (3,55 eurot/h * 10h = 35,5 eurot).

Materjalikulu

Kuna pilliroog puhtal kujul on kehvasti pelletiteks pressitav (sõltub kasutatavast tehnoloogiast), siis arvestame, et tonni pelletite peale on vaja 0,7 tonni pilliroogu ja 0,3 tonni turvast. Kui pilliroogu ei varutud spetsiaalselt pelletite tegemiseks, vaid selleks kasutatakse muude toodete jäätmeid, mis oleks nagunii hävitatud, siis arvestame pilliroo hinnaks 0 eurot. Kütte freesturvas aga maksab ühe tootja hinnapakumisest lähtuvalt 12 eurot/t + transpordikulu, kui osta 90 m³ korraga. Kui arvestame, et transpordikulu on 1,1 eurot/km ja vahemaa on 25 km, siis lisanduks koormale 55 eurot. Arvestades, et freesturvas kaalub keskmiselt 350 kg/m³, siis transpordikuludelt lisanduks turba ühe tonni hinnale 1,59 eurot ($\frac{50 \text{ eurot}}{0,350 \text{ t/m}^3 * 90 \text{ m}^3} = 1,59 \text{ eurot/t}$). Antud pakumisest oli turba niiskus 40% ja tuhasus 8-10%. Arvata võib, et pilliroojäätmeid, kui nad on hoitud tootmisruumides, mitte välitingimustes, on suhteliselt kuivad. Pelletite pressimiseks on aga sobiv niiskus vahemikus 15 - 20%, seega tõenäoliselt ei ole vaja freesturvast enne kasutamist kuivatada. Niiske turba lisamine peaks muutma pelletitooraine paremini kleepuvaks. Seega ei ole turba ettevalmistamiseks täiendavaid kulusid vaja teha ja ühe tonni pelletite hinnale lisandub siit ainult turba enda hind 4,08 eurot (13,59 eurot/t * 0,3 = 4,08 eurot/t).

Kui pelletite valmistamisel kasutada ainult pilliroojäätmeid, siis on materjalikulu praktiliselt null, sest vee või auru kogus, mida sellisel juhul on vaja kasutada on väga väike ja selle hind ebaoluline.

Kui valmistada pelleteid aga spetsiaalselt selleks kogutud pilliroost, siis lisanduvad pelletite ühe tonni hinnale tabelis 10 toodud hinnalisad. Arvestatud on, et pilliroogu on transporditud 50 kilomeetrit ja säilitatud laos keskmiselt 6 kuud.

Tabel 10. Pelletitele lisanduv materjalikulu erinevate koristustehnoloogiatega varutud pilliroost, eurodes

Pilliroo varumise tehnoloogia/seadmed	Koristus-kulu 1 t kohta	Transport 1 t kohta	Ladusta-mine 1 t kohta	Kokku 1 t kohta	Pelleti 1 t-le (70% pilliroogu) lisandub
Itaalia firma BCS S.p.A 622 <i>Reaper-Binder</i> (valimatult koristatud pilliroog)	26,8	33,1	12,0	71,9	50,33
Inglismaa tootja Loglogic <i>Cutter-Binder system</i>	51,7	28,8	9,6	90,1	63,07
Prantsuse firma Dion AG <i>Forage Harvester F41</i>	8,48	15,2	9,0	32,68	22,88

Valmis pelletid tuleb pakendada müügipakenditesse. Kõige vähem tööd nõudev on müüa pelleteid suurtes kottides (*big-pack*). Kasutame arvutustes kõige odavamat ja lihtsamat suurt kotti nelja tõstesangaga, pealt lahti ja mõõtmetega 90*90*100 cm (sarnane kott on näiteks ka pelletitehase joonisel). Sellisesse 0,81 m³ kotti mahub umbes 0,486 tonni pelleteid (0,6 t/m³ [30] * 0,81 m³ = 0,486 t). Väiksemate pakendite korral oleks vaja lisaks pakendusseadet, kilekotte, töötajat, kes pakendab. Valitud suur kott maksab 4 eurot [31] ja ühele tonnile pelletitele tuleb siit hinnalisa 8,23 eurot ($\frac{4 \text{ eurot}}{0,468 \text{ t}} = 8,23 \text{ eurot/t}$).

Tehnika hoolduskulud

Ka pelletitehas vajab hooldust ja remonti ning hoolduskuludeks arvestame 1% tehase maksumusest. Tootja hinnapakumine pelletitehasele oli ilma Eestisse transportimise kuludeta 59 500 eurot + käibemaks. Tehase Eestisse transportimise kuluks arvestame juurde 1 000 eurot. Seega hoolduskulu aastas on 60 500 eurot * 0,01=605 eurot aastas.

Kui eeldada, et enamus hetkel Eestis pillirooga tegelevatest ettevõtjatest osaleks tehase investeeringus, kogu alternatiivne kasutus oleks 5% aastasest võimalikust pillirootoodangust (44 160 t * 0,05 = 2 208 t) ja sellest omakorda läheks praaki 5% (2 208 t * 0,05 = 110 t), kogu praak pressitakse pelletiteks ning pelletitele lisatakse turvast 30% ($\frac{110 \text{ t}}{0,7} = 157 \text{ t}$), siis lisanduks hoolduskuluna pelletite tonnihinnale 3,85 eurot ($\frac{605 \text{ eurot}}{157 \text{ t}} = 3,85 \text{ eurot/t}$). Kui pelletitele turvast ei lisata, siis lisandub hoolduskuluna pelletite tonnihinnale 5,5 eurot

($\frac{605 \text{ eurot}}{110 \text{ t}} = 5,5 \text{ eurot/t}$). 157 tonni pressimiseks töötab tehas 9 kuud aastas ($\frac{157 \text{ t} * 10 \text{ h/t}}{40 \text{ h/nädals}} = 39,25 \text{ nädalat}$), 110 tonni pressimiseks natuke üle poole aasta ($\frac{110 \text{ t} * 10 \text{ h/t}}{40 \text{ h/nädals}} = 27,3 \text{ nädalat}$).

Kui toota pelleteid spetsiaalselt varutud pilliroost, siis võib arvestada, et tehas töötab täisvõimsusega 11 kuud (so 47 nädalat aastas). Selle ajaga jõuaks tehas pressida 188 tonni pilliroogu ($\frac{47 * 40 \text{ h}}{10 \text{ h/t}} = 188 \text{ t}$) ja hoolduskuluna lisanduks pelleti tonnihinnale 3,2 eurot ($\frac{605 \text{ eurot}}{188 \text{ t}} = 3,2 \text{ eurot/t}$).

Kapitalikulud

Tehase maksumus on 60 500 eurot ja selle elueaks arvestame 10 aastat. Aastane kulum on sellisel juhul 6050 eurot ($D = \frac{60\,500 \text{ eurot}}{10} = 6050 \text{ eurot/a}$). Kui jällegi eeldada, et aastane pelletitoodang turba lisamisel on 157 tonni pelleteid ja ilma turbata 110 tonni, siis lisanduks kapitalikuluna turbaga pelletite tonnihinnale 38,53 eurot ($\frac{6050 \text{ eurot}}{157 \text{ t}} = 38,53 \text{ eurot/t}$) ja ilma turbata pelletitele 55 eurot ($\frac{6050 \text{ eurot}}{110 \text{ t}} = 55 \text{ eurot/t}$).

Spetsiaalselt varutud pilliroo puhul (kui tehas töötab täisvõimsusel 47 nädalat aastas) lisanduks kapitalikuluna pelletite tonnihinnale 32,18 eurot ($\frac{6050 \text{ eurot}}{188 \text{ t}} = 32,18 \text{ eurot/t}$).

Kui kõik leitud kulud kokku liita (vt tabel 11) siis oleks jäätmetest turbalisandiga pilliroopelleti tonni omahind töötajale miinimumpalga maksmisel 124,19 eurot/t, so 26,14 eurot/MWh, kui pelletite kütteväärtuseks arvestada 4,75 MWh/t [32] ($\frac{124,19 \text{ eurot/t}}{4,75 \text{ MWh/t}} = 26,14 \text{ eurot/MWh}$) ja kolmekordse miinimumpalga maksmisel 192,09 eurot/t, so 40,44 eurot/MWh, ($\frac{192,09 \text{ eurot/t}}{4,75 \text{ MWh/t}} = 40,44 \text{ eurot/MWh}$). Hinnale tuleb lisada veel käibemaks, sest müüma hakatakse pelleteid lõpptarbijale ning võrreldavad hinnad on samuti koos käibemaksuga. Koos käibemaksuga on hinnad vastavalt 155,24 eurot/t, so 32,68 eurot/MWh ja 240,11 eurot/t, so 50,55 eurot/MWh. Esimesel juhul on hind konkurentsivõimeline, võrreldes turul pakutavate puidupelletite ja põhupelletitega (vt tabel 12), kuid töötajale kõrgema palga maksmisel muutub roojäätmetest pelleti hind juba liiga kõrgeks (väiketootmise omahind ongi suurem).

Ilma turbalisandita jäätmetest toodetud pelletid on vaadeldavas näites kallimad, kui turbalisandiga, sest tehas töötab tugeva alakoormusega (valitud lähteandmete alusel toorainet,

so pilliroojäätmeid, ei jätku) ning tonni pelleti hinnale lisanduvad kapitali ja hoolduskulud on suuremad, kui need oleks täiskoormusega töötamisel. Siiski on ka turbalisandita pilliroopelletid veel suhteliselt konkurentsivõimelise hinnaga 36,37 eurot/MWh koos käibemaksuga.

Tabel 11. Kulud pelleti valmistamisel pilliroojäätmetest

Kulud pelleti valmistamisel pilliroojäätmetest	Hinnalisa ühele tonnile turbaga pilliroopelletile, eurot	Hinnalisa ühele tonnile pilliroopelletile, eurot
Tööjõukulu, 1 töötaja	101,9 (3x min palk) 34,0 (min palk)	101,9 (3x min palk) 34,0 (min palk)
Elekter	35,50	35,50
Lisand (turvas)	4,08	0
Kotid pakendamiseks	8,23	8,23
Tehnika hoolduskulud	3,85	5,5
Kapitalikulud	38,53	55,00
KOKKU	192,09 (3x min palk), so koos käibemaksuga 240,11 124,19 (min palk) so koos käibemaksuga 155,24	206,13 (3x min palk), so koos käibemaksuga 257,66 138,23 (min palk) so koos käibemaksuga 172,79

Kuna pilliroopelletite tuhasus (2,1-4,4% [33]), väävlis sisaldus (0,085% [34]) ja kloori sisaldus (0,06% [34]) on suurem kui puidupelletitel, siis peab tema hind olema madalam, kompenseerimaks madalamat kvaliteeti.

Tabel 12. Puidu ja põhupelletite hinnad turul

Pellet	Kogus, kg	Hind, euro	Tonni hind, euro	Niiskus, %	S, %	Cl, %	Tuhasus, %	Kütteväärtus, MWh/t	Hind MWh kohta
Puidupellet Premium 8mm [35]	975	190	194,9	8	0,05	0,03	0,5	5,0	38,98
Puidupellet Premium [36]	1000	174	174,0	5-8			0,5	4,75 -5,0	36,06
Puidupellet Premium Pluss [37]	960	190	197,9				0,3 -0,5	5,3	37,34
Põhupellet kütteks*	1100	180	163,6	7	0,4	0,03	5	4,1	39,90

*BJ Tootmise OÜ laohinnad (hinnapäringu andmetel)

**14,9 MJ/kg

Pilliroopelletite müügiedu ei taga aga ainult hind. Eesti turul on olnud tootjaid, kes on üritanud pakkuda põhubrikette või -pelletteid kütteks, kuid nende ärid ei ole olnud edukad ja firmad on tegevuse lõpetanud. Näiteks OÜ Goodwill, kes nüüdseks on pankrotis, ostis aastatel 2011-2012 põhupalle hinnaga 30-35 eurot tonn ja müüs nendest valmistatud brikette hinnaga 120-150 eurot/tonn koos käibemaksuga [38]. Kõige suurem takistus on ilmselt turunõudluse puudumine. Pelletite ja brikettide peamised tarbijad on eramajaomanikud, kelle

küttesüsteemid ei võimalda agripelletide põletada või on nende kasutamine tülikas mitmekordselt suurenenud tuha koguse tõttu. Ka üks praegune põhupelletite tootja pakub neid peamiselt hobustele või muudele lemmikloomadele allapanuks, mitte kütteks.

Kui juba jäätmetest valmistatud pilliroopelletid on vaevu konkurentsivõimelised, siis seda raskem müüa spetsiaalset varutud pilliroost pelletideid. Kui tehas töötaks 47 nädalat aastas, siis tootmiskulud turbalisandiga pelletite tootmisel (millele tuleb lisada veel põhitooraine maksumus) oleks töötaja miinimumpalga puhul 117,19 eurot ilma käibemaksuta ja 3 x miinimumpalga puhul 185,09 eurot ilma käibemaksuta. Tabelis 13 on toodud erinevatel viisidel varutud toorainest valmistatud turbalisandiga pilliroopelletite omahinnad ja müügihinnad käibemaksuga.

Tabel 13. Erinevalt varutud pilliroost valmistatud turbalisandiga pelletite ühe tonni hinnad (pelletitehase töötaja miinimumpalga puhul)

Tooraine varumise tehnoloogia/seade	Pilliroo hind, euro	Pelleti omahind, euro		Pelleti müügihind koos käibemaksuga, euro	
		euro/t	euro/MWh	euro/t	euro/MWh
Pilliroojäätmed	0	124,19	26,14	155,24	32,68
Itaalia firma BCS S.p.A 622 <i>Reaper-Binder</i> (valimatult koristatud pilliroog)	50,33	167,52	35,27	209,4	44,08
Inglismaa tootja Loglogic <i>Cutter-Binder system</i>	63,07	180,26	37,95	225,33	47,44
Prantsuse firma Dion AG <i>Forage Harvester F41</i>	22,88	140,07	29,45	175,09	36,89

Kui toota spetsiaalselt varutud pilliroost pelletideid ilma turbalisandita, siis oleks tootmiskulud töötaja miinimumpalga puhul 113,11 eurot ilma käibemaksuta ja 3 x miinimumpalga puhul 181,01 eurot ilma käibemaksuta. Tabelis 14 on toodud erinevatel viisidel varutud toorainest valmistatud pilliroopelletite omahinnad ja müügihinnad käibemaksuga.

Tabel 14. Erinevalt varutud pilliroost valmistatud pelletite ühe tonni hinnad (pelletitehase töötaja miinimumpalga puhul)

Tooraine varumise tehnoloogia/seade	Pilliroo hind, euro	Pelleti omahind, euro		Pelleti müügihind koos käibemaksuga, euro	
		euro/t	euro/MWh	euro/t	euro/MWh
Pilliroojäätmed	0	138,23	29,10	172,79	36,37
Itaalia firma BCS S.p.A 622 <i>Reaper-Binder</i>	71,9	185,01	38,95	231,26	48,69

(valimatult koristatud pilliroog)					
Inglismaa tootja Loglogic <i>Cutter-Binder system</i>	90,1	203,21	42,78	254,01	53,48
Prantsuse firma Dion AG <i>Forage Harvester F41</i>	32,68	145,79	30,69	182,24	38,36

Tabelist 13 ja 14 nähtub, et ainsa tõenäoliselt konkurentsivõimelise koristusviisina (kui täiendavalt kulusid kokku hoida - väiksem transpordikaugus, väiksem palk rooväljal töötajatele jne) võiks pelletitooret koguda kogurhekseldiga.

7. Pilliroo põletamisega seotud kulud

7.1 Nõuded kateldele ja sellest tekkivad kulud

Kuna üheks põhjuseks, et pelletite tootmine pilliroost ei ole käivitunud, võib olla see, et lõpptarbijatel ei ole agripelletite põletamiseks sobivaid põleteid ja katlaid, siis järgnevalt uurime mõningaid sobivaid põletite ja katelde tüüpe ning nende hindu, võrreldes traditsiooniliste puidupelletide põletavate kateldegaga.

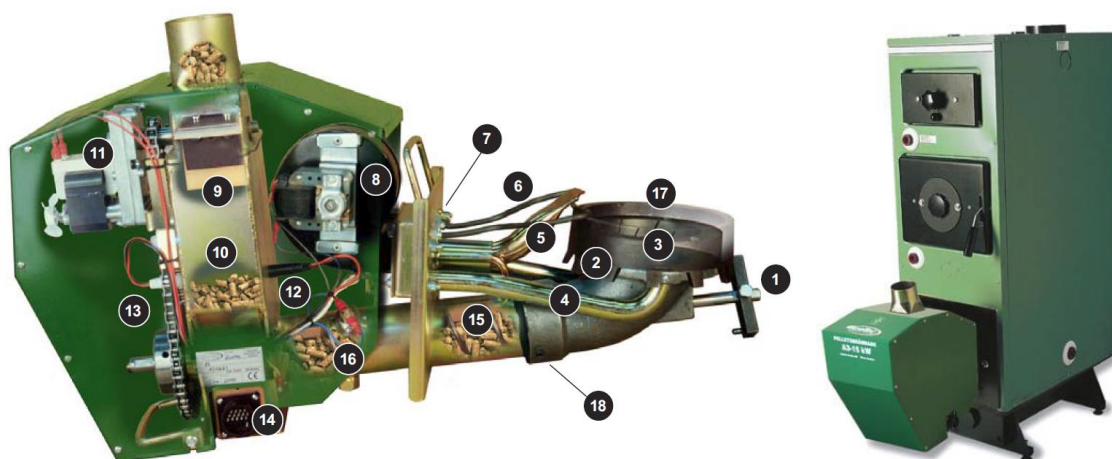
Pilliroo energiasisaldus (~17 MJ/kg) sarnaneb puidu omale, kuid selle põletamiseks tuleb kasutada tehnilisi erilahendusi. [28]

Pilliroost ja põhust graanulitele on iseloomulik suur tuhasus, sest need sisaldavad palju mineraalosa. Sealjuures säilitavad pilliroograanulid peale põletamist hästi oma kuju ja võivad ummistada traditsiooniliste puitgraanulite põletamiseks mõeldud põleti ja/või kolde. [28]

Teadlased on välja uurinud, et briketi valmistamisel pilliroost ja turbast kulub vähem energiat ning brikett on vastupidavam. Turba lisamise tõttu muutub väävli ja kloori vahekord, mis vähendab küttekolde korrosiooni. [28] Antud töös pelletite valmistamise kulude peatükis sellest soovitusel lähtutigi ja arvatati ka turbalisandiga pilliroopelletite hinnad.

Järgnevalt vaatleme kahte võimalikku tehnilist lahendust agripelletite põletamiseks - Rootsi firma Ecotec põletit ja Ungari firma CARBOROBOT katelt koos põletiga.

Rootsi firma Ecotec (joonis 9) lahendus on osutunud väga sobivaks pilliroo pelletite põletamisel. Põleti pöörleb ja ärapälenud graanulid pudenevad üle ääre. Uusi graanuleid lisatakse alt. Õhk pääseb juurde nii alt kui ka külgedelt, tagades maksimaalse efektiivsuse põlemisel. [28]



Joonis 9. Rootsi firma Ecotec mudel A3 põleti skeem

Selgitus joonise juurde: (1. rootorkonsool, 2. hammasrõngas, 3. primaar-rõngas, 4. esmane õhutoru, 5. lisa õhutoru, 6. süüteelement, 7. optiline monitor, 8. põleti ventilaator, 9. toitevärv, 10. sisemine kütuse mahuti, 11. kütuse ajami monitor, 12. taseme monitor (vastuvõtja), must, 13. taseme monitor (saatja), valge, 14. *plug-in* pistik, 15. tigu, 16. termolüliti, 17. põleti anum, 18. põletianuma stoppkruvid). Allikas: [39]

Kuigi EcoTec pelletipõletid on ette nähtud igasuguste pelletite põletamiseks on siiski tähtis, et kütus oleks kvaliteetne. Nõuded kütusele on EcoTec pelletipõleti mudel A3 puhul järgmised: erikaal $600-750 \text{ kg/m}^3$, energiasisaldus $4,7-5,0 \text{ kWh/kg}$, diameeter $6-12 \text{ mm}$, pikkus maksimaalselt 35 mm , niiskus maksimaalselt 12% , tuhasus (puidupelletite puhul) $0,5-1\%$, tolmusisaldus massi kohta maksimaalselt 3% ja tuha minimaalne sulamistemperatuur 1100°C . Seadmel on automaatne tuhaemaldamise süsteem. Kui kütuse tuhasus on kuni $0,5\%$, siis on vajalik tühjendada tuharuum iga 3-4 nädala tagant, kui aga tuhasus on 2% , siis vähemalt kord nädalas. [39] Eelistatud kütuseks on ikkagi puitlaastudest või puukoorest pelletid. [40]

Samad nõuded kehtivad ka mudeli A3 edasiarendusel Bioline 20-25 puhul, millele on töös edaspidi viidatud.

Ecotec Bioline 20-25 põlemise efektiivsus on 90% , süütamiseks vajab elektrivõimsust 370 W ning kruvipõleti tööks 90 W . Mudel on ette nähtud standardse elumaja kütte- ja sooja vee vajaduse katmiseks. Kasutab aastas $6,3$ tonni pelletid, mis vastab umbes 3 m^3 vedelkütusele või $30\,000 \text{ kWh}$ elektrile. [40]

Selleks, et välja selgitada kui palju võiks eritehnoloogia kasutamine lisada pilliroo kasutamise kuludele on järgnevalt võrreldud omavahel tavalisi pelletipõleteid eelnevalt vaadeldud EcoTec Bioline 20-25 põletiga (vt tabel 15).

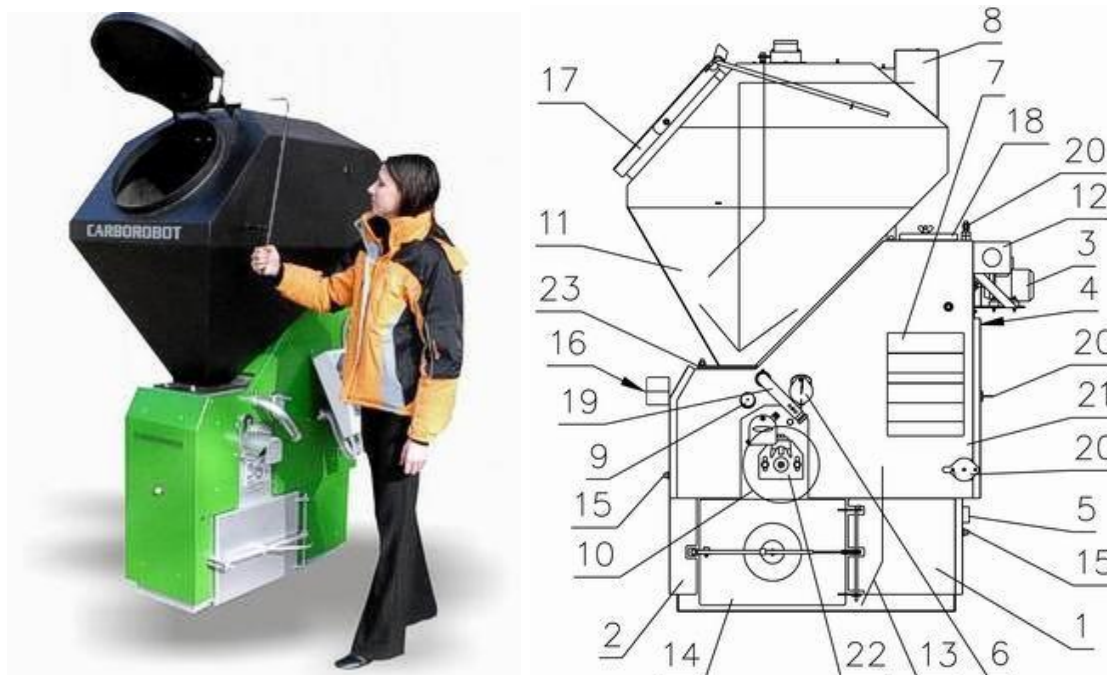
Tabel 15. 20 kW pelletipõletite hindade võrdlus

Põleti	Hind*
Ecotec BioLine 20	23 000 kr [41] 2470 eurot
Effecta Supra 20kW	17550 kr 1885 eurot [42]
Effecta Supra Aero 20 kW (suruõhk puhastusega)	23520 kr 2526 eurot [42]
Janfire NH Mody, 24 kW	2784 eurot [43]
Ariterm BeQuem 20D	2452 eurot [43]
Baxi HSPB 20 kW	15 590 kr [41] 1674 eurot
KMP PX22 Aero, 20kW (suruõhk puhastusega, ei ole liikuvaid osi)	2559 eurot [43]
Viking BIO 20, 20 kW	18 500 kr [41] 1987 eurot
Pelltech põleti PV Compact PV20b	1380 eurot [44]

*Rootsi krooni kursiks arvestatud 1 Euro = 9,3115 kr

Tabelist nähtub, et põleti, mis sobib agripelletite põletamiseks ei ole sugugi kallim nendest, mis on ette nähtud ainult puidupelletitele.

Teine katelde tootja, kelle tehnoloogia võimaldab põletada problemaatilisi biokütuseid on Ungari firma CARBOROBOT Co. LTD (joonis 10). Carborobot kasutab pöörlevate restide tehnoloogiat, mis on robustsem, võrreldes tigusteemiga. Pöörlevad restid eemaldavad põlemiskambri ka sellise tuha, mis on juba šlakkunud (klompideks kokku sulanud). Carborobot'i kateldes võib põletada kehva kvaliteediga, madala kütteväärtusega ja kõrge paakuva tuhaga kütuseid, näiteks heina-, maisi- ja puukoorepelleteid aga ka pinnasega saastunud hakkpuitu, kive sisaldavat pruunsütt või märga ligniiti. [45]



Joonis. 10. Ungari firma CARBOROBOT 30 BIO HW kuuma vee katel

Selgitus joonise juurde: 1. katla kest, 2. tuhakamber, 3. heitgaasi ventilaator, 4. väljuv küttevesi, 5. sisenev küttevesi, 6. vaatlusava, 7. katla kontrollpaneel, 8. liikursüsteem, 9. süüteava, 10. pöörlev rest, 11. kütuse konteiner, 12. suitsu väljalaskeava, 13. tuhalõõri puhastamise ava, 14. tuharuumi uks, 15. vee väljalaskeava (krugi), 16. resti astmeline ajam, 17. kütusemahuti täitmise ava, 18. soojusvaheti ava, 19. lisaõhu toru, 20. tolmu puhastamise ava, 21. resti reguleerimise laagrid, 23. punkri ava. Allikas: [45]

Tabelis 16 on võrreldud omavahel tavalisi pelletikatlaid ja eelnevalt vaadeldud katelt CARBOROBOT 30 BIO HW.

Tabel 16. Katelde ja põletite hinnavõrdlus

Katel koos põletiga	hind
CARBOROBOT 30 BIO HW (kuuma vee katel)	2450 eurot [45]
Pelletikütuse katel „Pelle“+ Peltech pelletipõleti PV Compact PV30a	1499 eurot+ 1440 eurot =2939 eurot [44]
Pelletikatel koos põletiga Ariterm Biomatic+ 20 D	5 113 eurot [43]

Ka tabelist 15 nähtub, et agripelletitele sobivad katlad ei pruugi olla sugugi kallimad, kui tavakatlad. Ilmselt on nad vähem levinud lihtsalt seetõttu, et tarbijad ei oska neid tahta ja kuna keegi ei küsi, siis on ka pakkumine katelde müüjate poolt loid.

7.2 Tuha utiliseerimisega seotud kulud

Pilliroo põletamisel tekib rohkem tuhka, kui puidu puhul, kuid seda ei saa vaadelda ohtliku jäätmena. Pillirootuhk peaks sobima päris hästi väetisena põllumaal kasutamiseks. Turbalisandiga pelletite tuhk enam nii hästi väetiseks ei sobi (toitaineid on vähem ja väävlit on rohkem), kuid põllumaa lupjamisel saab ka seda kasutada. Probleemiks võib tuha kogus kujuneda nendele, kellel küttetarve suurem ja kellel oma aiamaad ei ole (korterühistud), sest sellisel juhul tuleb tuhk jäätmena prügilasse saata (vt tabel 17). Prügiveoarved võivad selle tõttu veidi suurenedada.

Tabel 17. Koldetuha prügilasse ladestamise hinnad

Prügila	Hind, euro/tonn
Väätsa prügila [46]	72
Torma prügila [47]	75
Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskus AS [48]	76,20
Uikala Prügila [49]	74,52

Näiteks kui eramaja tarbija kasutaks aastas puidupelletideid 6,3 tonni, siis tekiks tuhka vaid 31,5 kg ($\frac{6,3 \text{ t} * 0,5}{100} = 31,5 \text{ kg}$), selle prügilas ladustamine maksaks umbes 2,36 eurot, sama koguse pilliroopelletite puhul oleks tuhka juba 204,75 kg ($\frac{6,3 \text{ t} * 3,25}{100} = 204,75 \text{ kg}$), selle ladustamine maksaks 15,36 eurot ning 30% turbalisandiga pilliroopelletite puhul oleks tuhka 237,8 kg ($\frac{6,3 \text{ t} * 0,7 * 3,25}{100} + \frac{6,3 \text{ t} * 0,3 * 5}{100} = 143,3 \text{ kg} + 94,5 \text{ kg} = 237,8 \text{ kg}$) ning selle ladustamine maksaks 17,83 eurot.

Ühest tonnist puidupelletitest tekkiva tuha ladustamine maksab umbes 37 senti (0,005 t * 75 eurot/t = 0,37 eurot), pilliroopelletite puhul 2 eurot ja 43 senti (0,0325 t * 75 eurot/t = 2,43 eurot) ning turbalisandiga pilliroopelletite puhul 2 eurot ja 83 senti ((0,02275 t + 0,015 t) * 75 eurot/t = 2,83 eurot).

8. Tulemused

Selgitati välja pilliroo koristamisega seotud kulud, sh pillirooväljade rendikulud, ilmastikust tingitud kulud, eritehnika soetamise, kütuse, tööjõu ja materjalikulud.

Selgitati välja pilliroo transpordi ja ladustamisega seotud kulud.

Selgitati välja pilliroo pelletiteks pressimisega kaasnevad kulud, sh eritehnika soetamine, energiakulu, lisandmaterjalide (turvas) kulu.

Hinnati, kas pilliroopelletite katlas põletamisega kaasneb tarbijatele täiendavaid kulusid, sh mõju katlale ja tuha utiliseerimisega seotud kulusid.

Hinnati, kas pilliroo soojusenergeetikas kasutamine võiks ohustada pilliroo kasutamist kõrgema lisandväärtusega toodetena.

Selgitati välja pilliroo soojusenergeetikas kasutamise majanduslik tasuvus.

Lõputöö kokkuvõte

Töö eesmärgiks oli uurida pilliroo soojusenergeetikas kasutamise majanduslikku tasuvust. Teema on oluline maapiirkonnas tegutsevatele ettevõtjatele, kes otsivad täiendavaid sissetulekuallikaid, lokaalsetele biokütust kasutavatele katlamajadele, kes on huvitatud odavamast toorainest ja samuti eratarbijatele, kes alles plaanivad küttekatla ostmist ja vajavad argumente katlatüübi valiku otsuse langetamisel.

Majandusliku tasuvuse hindamiseks selgitati välja peamised kulud, mis on seotud pilliroo talvise varumisega, selle ladustamisega, transpordiga, pelletiteks pressimisega ja põletamisega. Töös kasutatud kulude hindamise mudelit on ettevõtjatel või muudel huvitatud isikutel võimalik hiljem kasutada täpsemate arvutuste tegemiseks lähtudes nende endi konkreetsest olukorrast ja kasutada olevast tehnikast.

Lähtuvalt varem teostatud uurimistöödest, selgub, et pilliroo varud on Eestis päris suured. 2007. aastal läbiviidud uurimused annavad Eesti roostike kogupindalaks (kaasa arvatud järvede äärsed alad) 27 746 ha [4]. Eestis oli ajavahemikus 2006-2011 kaalutud keskmine talvine pilliroosaak 736 g/m^2 (Ü. Kask avaldamata). Talvise pilliroo kuivaine kütteväärtus on $4,9 \text{ MWh/t}$ ja 20% niiskusesisaldusega pilliroo kütteväärtus on $3,94 \text{ MWh/t}$. [1]

Pilliroo kütusena kasutamisele pakuvad Eestis konkurentsi peamiselt pillirookatuseid ja soojustusplaate valmistavad ettevõtjad ning katusepilliroogu eksportivad ettevõtjad. Töö teostamisel selgitati välja, et nimetatud ettevõtjaid on aga suhteliselt vähe (Äriregistri andmetel kümnekond äriühingut ja kümnekond füüsilisest isikust ettevõtjat) ning nad kasutavad hinnanguliselt aastasest pilliroo saagist (mis on konservatiivsel hinnangul 44 160 tonni) vaid ligi 5%. Seega on Eesti pilliroovarud piisavad, et kasutada roogu nii energeetilisel eesmärgil kui ka toota kõrgema lisandväärtusega tooteid. Tõenäoliselt pilliroo soojusenergeetikas kasutamine niipea ei ohusta pilliroo kasutamist kõrgema lisandväärtusega toodetena, sest spetsiaalse pilliroo koristamiseks mõeldud tehnikaga koristatud pilliroo omahind on käesoleval ajal liiga kõrge selle energeetikas kasutamiseks ja raske tavapõllumajandustehnika, mis teoreetiliselt võiks omahinna alla viia, kasutamine märgaladel on keeruline, piiratud ja mitte igal aastal võimalik.

Kulud pilliroo koristamisel tulenevad peamiselt kliimaatilistest tingimustest, maaomandist, ja kasutatavast tehnikast. Ilmastik muudab majandustulemuste planeerimise praktiliselt võimatuks. Võib esineda järjestikuseid aastaid, kus pilliroogu koguda ei ole võimalik ja lisaks

saamata jäävale tulule võib ka varem sõlmitud lepingute rikkumine leppetrahvidena kaasa tuua tõsist majanduslikku kahju.

Kui pillirooväljad õnnestub rentida riigilt, siis on rendikulu praktiliselt olematu. Eraomanikelt rentimisel võib rendihind ulatuda kuni 100 euronit hektari kohta.

Töös arutati koristamisel tekkivad kulud rookoristusmasinatele, mida on võimalik valmis kujul osta. Selgus, et turul pakutava pilliroovarumise eritehnika valik on kesine. Vaatluse all olid kergemast spetsiaalsest pilliroo koristamise tehnikast Itaalia firma BCS S.p.A kaherattaline kahlusiduja *622 Reaper-Binder* ja rookombainidest Inglismaa tootja Loglogic rookombain *Cutter-Binder system*. Arvutustes ilmnes, et kütuse ja materjali kulu ei ole eritehnika kasutamisel lõpptoote hinna kujunemisel määravad, hoopis olulisem on tööjõukulu (peamine kulude allikas *622 Reaper-Binder*'i kasutamisel) ja kapitalikulu (peamine kulude allikas rookombaini *Cutter-Binder system* kasutamisel). Spetsiaalse roo koristamiseks mõeldud tehnika jõudlus on väike ning see eeldab suurema meeskonna (2-4 inimest) samaaegset viibimist rooväljal. Kuna tööd tuleb teha talvel vabas õhus, siis miinimumpalgaga hakkama ei saa. Rookombaini puhul olid kulud ühe tonni koristatud roo kohta kõige suuremad – 50,33 eurot ja aastas koristatud pind kõige väiksem – 77 hektarit.

Odavam ja efektiivsem oleks kasutada tavapõllumajandustehnikat, kuid siin saab piiravaks teguriks tehnika mass. Tavapõllumajandustehnikast vaadeldi töös Valgevene firma GOMSELMASH kogurhekseldi mudelit *PALESSE FS80* ja Prantsuse firma Dion AG poolripphaagise tüüpi kogurhekseldit *Forage Harvester F41*. Selgus, et kogurhekseldi *PALESSE FS80* kasutamisel on kulud ühe tonni koristatud roo kohta kõige väiksemad - 7,96 eurot ja aastas koristatud pind kõige suurem – 525 hektarit. Tõenäoliselt on võimalik leida turult kogurhekseldi mudeleid, mis on väiksema massiga ja väiksema jõudlusega, kuid mis sobivad rooväljale paremini, kui siin näidetes käsitletud kogurhekseldite mudelid. Kogurhekseldiga kogutud hakkpilliroo hind (taandatuna kütteväärtusele) on kordades odavam, kui hakkpuidul (vastavalt ligi 2 eurot/MWh ja 15 eurot/MWh), seega oleks selle kasutamine katlamajades koos hakkpuiduga (lisades pilliroohaket kuni 15%) igati mõistlik ja ei tohiks katlale ka probleeme tekitada.

Pilliroo transportimise kulud sõltuvad sellest, millisel kujul pilliroo koristati. Arvutused tehti kahludena, kahlurullidena, pallitud ja hakitud pilliroo kohta. Selgus, et kõige kallim on pilliroogu transportida kahludena (iga kilomeetriga lisandub ühe tonni hinnale 0,16 eurot) ja kõige odavam hakitud puistena (hinnalisa kilomeetri kohta tonnile 0,1 eurot). Igal juhul on

pilliroo transportimine kallim, kui hakkpuidu transportimine (pilliroog on kergem ja võtab rohkem ruumi).

Ka ladustamiskulude arvutamisel lähtuti erineval kujul koristatud pilliroost. Arvutustest selgus, et kõige kallim on pilliroogu ladustada kahludesse seotud kujul (1 kuuga lisandub tonni hinnale 2 eurot) ja kõige odavam tavapõllumajandustehnikaga pallitud kujul (lisandub 1,3 eurot). Hakitud kujul koristatud pilliroogu ei ole mõtet ladustada. Kuna õhk ei pääse tihedas massis liikuma, siis võib puistes pilliroog niiskuda ja hallitama minna või ka kuumeneda ja süttida. Hakke puhul peaks eesmärk olema selle viimine koristuskohast otse katlamaja lattu ilma vahepeal ladustamata. See on võimalik, kui koristada pilliroog alles siis, kui tema niiskusesisaldus on langenud 20%-ni, so kõige varem alates jaanuari kuust [1].

Pelletiteks pressida on mõistlik ehitusmaterjali tootmise jäätmeid. Sellisel juhul on tooraine hind 0. Kuna jäätmeid on vähe, peaks kasutama väiksema võimsusega pelletiliine ja investeerima mitme ettevõtja peale ühiselt. Spetsiaalselt kogutud pilliroo hind on kõrge ja tõstab ka pelletite hinna nii kõrgeks, et see ei ole enam puidupelletitega konkurentsivõimeline. Ainsana võib kaaluda hakitud kujul kogutud pilliroo kasutamist pelletite toorainena, kuid kuna seda saab kasutada kütusena ka hakkena, siis ei ole sellel erilist mõtet. Samuti on ka pallitud pilliroogu mõistlikum põletada kohe pallidena. Kui kasutada toorainena jäätmeid, siis on pilliroo pelletiteks pressimise peamised kulud tööjõukulud (34 - 101,9 eurot/t), kulud elektrile (35 eurot/t) ja kapitalikulud 38,53 eurot/t), ülejäänud kulud (turvas, pakendid) ei ole lõpptoote hinna kujunemisel määravad. Jäätmetest toodetud pilliroopelletite hind võib olla konkurentsivõimeline puidupelletitega, kui õnnestub kokku hoida tööjõukuludelt (makstes töötajale miinimumpalka).

Uuringust selgus, et agripelletitele sobivate põletite ja katelde hinnad ei ole kõrgemad, kui puidupelletite põletite ja katelde omad. Kuna tuhka on rohkem, kui puidupelletite põletamisel, siis võib see kaasa tuua väiksemaid täiendavaid kulusid kortermajade elanikele kasvanud prügiveoarvete näol.

Kokkuvõtteks võib öelda, et majanduslikult tasuv võib olla kogurhekseldiga koristatud ja otse rooväljalt katlasse viidud pilliroohakke kasutamine soojusenergeetikas. Muud pilliroo koristamise viisid tõstavad lõpptoote omahinna liiga kõrgeks. Palgakulude piiramisel võib majanduslikult tasuv olla ka pilliroojäätmetest pelletite tegemine, sest sellisel juhul võiks toorme alghinnaks võtta 0 eurot ja pelletiliin on võimalik soetada mitme pillirooga tegeleva ettevõtte peale ühiselt.

Kirjandus

- [1] Miljan, J., Kask, Ü. jt. Pilliroog ja selle kasutamise võimalused, Tartu: Interreg IV A projekt Cofreen, EMÜ maaehituse osakond, TTÜ soojustehnika instituut, 2013.
- [2] Tallinna Tehnikaülikool, Riiklik Looduskaitsekeskus, Tartu Ülikool, Roostike strateegia Väinamere piirkonnas 2008-2018, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2008.
- [3] Tartu Observatoorium, Eesti riikliku keskkonnaseire allprogrammi "Eesti maastike kaugseire" 2009. aasta aruanne (leping nr.18-20/308), Tartu-Tõravere, 2009-2010.
- [4] Kask, Ü., Kask, L. Pilliroog ja selle kasutus, Tallinn: Eesti Loodus 2/2013, 2013.
- [5] Räikkönen, N. Classification of reed beds and reed biomass and quality mapping 2007 – Read up on Reed /Ed. Ikonen, I., Hagelberg, E., Southwest Finland Regional, Environment Centre, 2007.
- [6] Lember, A. „Käsitsi roolõikajate ring hakkab kokku kuivama“, Saarte Hääl, 14.03.2012. [Võrgumaterjal: <http://www.saartehaal.ee/2012/03/14/kasitsi-rooloikajate-ring-hakkab-kokku-kuivama/>. Kasutatud 24.03.2016].
- [7] Kask, Ü., Kask, L., Paist, A. Reed as Energy Resource in Estonia. In :Reed up on reed (Eds.Ikonen, I. and Hagelberg, E.), Southwest Finland Regional Environmental Centre, 2007.
- [8] Kask, Ü. „Biomassi energeetiline resurss ja selle kasutamise maksumus Eestis, REPROMO seminar“, Tallinna Tehnikaülikool, 12 märts 2004. [Võrgumaterjal: <http://www.eby.ee/ressurss.pdf>. Kasutatud 13.04.2016].
- [9] Statistikaamet, „Statistika andmebaas“ [Võrgumaterjal: <http://pub.stat.ee/px-web.2001/dialog/statfile2.asp>. Kasutatud 24.03.2016].
- [10] Carus, M., Dammer, L., Hermann, A., Essel, R. „Proposals for a Reform of the Renewable Energy Directive to a Renewable Energy and Materials Directive (REMD)“, NovaInstitute, Öko-Institut, 05.2014. [Võrgumaterjal: www.nova-institut.de/download/nova-paper-4-remd. Kasutatud 13.04.2016].

- [11] Viiron, K. „Kehv pilliroolõikus ähvardab materjalinappusega“, ärileht.ee, 08 05 2008. [Võrgumaterjal: <http://arileht.delfi.ee/news/uudised/kehv-pillirooloikus-ahvardab-materjalinappusega?id=51128861>. Kasutatud 24.03.2016].
- [12] Nicoberg Baltic OÜ, „katuseroog.ee“ [Võrgumaterjal: <http://www.katuseroog.ee/>. Kasutatud 24.03.2016].
- [13] Äriregister, „Äriregistri teabesüsteem“, Registrate ja Infosüsteemide keskus, [Võrgumaterjal: <https://ariregister.rik.ee/>. Kasutatud 24.03.2013].
- [14] S.p.A BCS, „BCS, mowers“ [Võrgumaterjal: <http://www.bcsagri.it/en/product/mowers-537a868fa2387c44627b23c7>. Kasutatud 18.04.2016].
- [15] Sander-Sõrmus, M. Kuidas vähendada traktori kütusekulu?“, Põllumajandus.ee. [Võrgumaterjal: <http://www.pollumajandus.ee/uudised/2012/12/28/kuidas-vahendada-traktori-kutusekulu>. Kasutatud 05.05.2016]
- [16] OÜ Alve „Alve E-shop“ [Võrgumaterjal: <http://alve.ee/en/silotarvikud/138-heinapallinoor-122m-kg.html>. Kasutatud 05.05.2016].
- [17] Logologic, „Logologic“ [Võrgumaterjal: <http://www.loglogic.co.uk>. Kasutatud 18.04.2016].
- [18] Cooper, M., Lindegaard, K. „Wetland Biomass to Bioenergy:Efficient harvesting, processing and conversion of wetland biomass“, Department of Energy & Climate Change, 2013.
- [19] Cooper, M., Walker, J. „Wetland Biomass to Bioenergy: Project Kade“, Department of Energy & Climate Change, 2015.
- [20] GOMSELMASH, „GOMSELMASH“ [Võrgumaterjal: <http://eng.gomselmash.by/produksiya/kormouborochnye-kombainy/high-producing-forage-harvesting-complex-palesse-fs80.html>. Kasutatud 06.05.2016].
- [21] Põllumajanduse Registrate ja Informatsiooni Amet (PRIA), „Hinnakataloog“ [Võrgumaterjal: <https://epria.pria.ee/epria2/#/hinnakataloog/valideeritud>. Kasutatud 06.05.2016].
- [22] DION AG Inc. „DION“ [Võrgumaterjal: <http://www.dion-ag.com/eng/>

- dion_products_harvester.php. Kasutatud 12.05.2016].
- [23] OÜ Hemeltron „Hemeltron, Hakkepuidukatlad“ [Võrgumaterjal: <http://www.hemeltron.ee/hakkepuidukatlad>. Kasutatud 10.05.2016].
- [24] OÜ Vivaro „Vivaro, müük“ [Võrgumaterjal: <http://www.vivaro.ee/?id=11&keel=ee>. Kasutatud 10.05.2016].
- [25] BNS „Pilliroo eksport kosub“, Saarlane.ee, 14.09.2000. [Võrgumaterjal: <http://www.saarlane.ee/uudised/uudis.asp?newsid=1713&kat=2>. Kasutatud 06.05.2016].
- [26] OÜ Ranna-Villa „Ranna-Villa teenused“ [Võrgumaterjal: <http://www.highlandcattle.ee/teenused.htm>. Kasutatud 14.04.2016].
- [27] Beckmann, G. „Harvesting technologies for reeds in Austria“, Bureau of Mechanical and Energy Engineering, 2013. [Võrgumaterjal: http://duene-greifswald.de/doc/rrr2013/talks/Harvesting%20Techniques%202_Beckmann%202013%20-%20Harvesting%20Technologies%20for%20reeds%20in%20Austria.pdf. Kasutatud 14.04.2016].
- [28] Projekti Interreg IVA Cofreen Korraldusasutus, „Pilliroo kasutamine ehituses ja energeetikas“, Riia Tehnikaülikool, Riia, 2013.
- [29] CAEB International, „CAEB“ [Võrgumaterjal: <http://www.caebinternational.it/w/lang1/professional-line-1.html>. Kasutatud 06.05.2016].
- [30] Ikonen, I. „Common reed as a source of energy“, *Baltic Cities*, nr 1, 2006.
- [31] Zymotec Oy „Zymotec Oy“ [Võrgumaterjal: <http://www.zymotec.fi/1/product/suursakki-avoin-ylaosa-ja-tasapohja/>. Kasutatud 11.05.2016].
- [32] Miljan, J., Kask, Ü. jt. Guidbook of reed business, Tallinn, Cofreen project, EU's Central Baltic INTERREG IVA 2001-2013 Programme, 2013.
- [33] Komulainen, M., Simi, P., Hagelberg, E., Ikonen, I., Lyytinen, S. Reed energy - Possibilities of using the Common Reed for energy generation in Southern Finland, Turku: Turku University of Applied Sciences, 2008.

- [34] Kask, Ü. „Energiatalgud.ee“ [Võrgumaterjal: http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/7/7b/Kask,_%C3%9C._Biok%C3%BCtused_ja_nende_kasutamine_v%C3%A4ikek%C3%BCtteseadmetes_I_10.10.2012.pdf. Kasutatud 12.05.2016].
- [35] Briketipoisid OÜ, „Briketipoisid“ [Võrgumaterjal: <http://www.briketipoisid.ee/>. Kasutatud 14.04.2016].
- [36] AS Graanul Invest, „Pelletiküte“ [Võrgumaterjal: <http://www.pellet.ee/est>. Kasutatud 14.04.2016].
- [37] Leili Brikett OÜ, „Leili Brikett OÜ“ [Võrgumaterjal: <http://leilibrikett.ee/>. Kasutatud 14.04.2016].
- [38] Raudvere, R. „Õled ahju ja tuba soojaks!“, Maaleht, 22.04.2012. [Võrgumaterjal: <http://maaleht.delfi.ee/news/maaleht/uudised/oled-ahju-ja-tuba-soojaks?id=64104501>. Kasutatud 13.05.2016].
- [39] Sahlins EcoTec AB, „Instruction manual for model A3, maksimum power 15-20-25kW“ [Võrgumaterjal: http://www.kruse.st/pellets/ecotec/ENGA3_INST.pdf. Kasutatud 14.04.2015].
- [40] Sahlins EcoTec AB „EcoTec“ [Võrgumaterjal: <http://www.ecotec.net/bostad/sma-villor/bioline-20-25-pelletsbrannare/>. Kasutatud 15.04.2015].
- [41] Eldkraft „Eldkraft“ [Võrgumaterjal: <http://www.eldkraft.se>. Kasutatud 07.04.2016].
- [42] VVS & Värmeteknik Timrå AB „VVS&Värmeteknik“ [Võrgumaterjal: http://www.framtidsenergi.se/visa_produk.asp?id=125&t=Effecta+Supra+Aero+20+kW. Kasutatud 12.04.2016].
- [43] Mr Pellets Online Shopping „Mr Pellets Online Shopping“ [Võrgumaterjal: <http://mrpellets.se>. Kasutatud 07.04.2016].
- [44] AVM-Term OÜ, „AVM Term, Katlad“ [Võrgumaterjal: <http://www.avmterm.ee/>. Kasutatud 07.04.2016].
- [45] CARBOROBOT Co LTD „Carborobot, Automatic biomass and multifuel boilers“ [Võrgumaterjal: <http://www.carborobot.hu/>. Kasutatud 07.04.2016].

- [46] Väätša prügila „Tavajäätmete vastuvõtu hinnakiri 2015“ [Võrgumaterjal: <http://www.prygila.ee/hinnakirjad/tavajaatmete-hinnakiri/>. Kasutatud 24.05.2016].
- [47] Torma Prügila, „Hinnakiri“ [Võrgumaterjal: <http://www.tormaprugila.ee/et/?4>. Kasutatud 24.05.2016].
- [48] Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskus AS „Hinnakiri“ [Võrgumaterjal: <http://www.tjt.ee/admin/upload/files/Hinnakiri%20alates%2001%2005%202016%20V5.pdf>. Kasutatud 24.05.2016].
- [49] Uikala Prügila AS, „Hinnakiri“ [Võrgumaterjal: <http://www.uikalaprugila.ee/et/p/price-list>. Kasutatud 24.05.2016].
- [50] P. Raesaar, „Lõputöö koostamine. Juhendmaterjale bakalaureuse- ja magistriõppe üliõpilastele ning lõputööde juhendajatele.“ Tallinn, 1998.
- [51] TTÜ Avaliku halduse instituut, „Kirjalike tööde vormistamine. Juhend.“ 2008.
- [52] T. Nurmiste, „Viitamine“ 2011.