



www.emu.ee

Eesti Maaülikool

Estonian University of Life Sciences

Eesti Maaülikool

Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Taimikasvatuse ja rohumaa viljeluse osakond

**PÕLLUMAJANDUS KULTUURIDE KASUTAMINE
PÕLETAMISEKS JA BIOGAASIKS; SORTIMENT JA
AGROTEHNOLOOGIA**

LÕPPARUANNE

Projektijuht: PhD Merrit Noormets (2008–2010)
PhD Ruth Lauk (2011–2012),

Vastutavad täitjad: PhD Maarika Alaru
Pm tead dr. Henn Raave

Tartu 2013

Sisukord

Sissejuhatus	3
2. Metoodika	4
2.1.1. Keemilised analüüsid	5
2.1.2. Majanduslik analüüs	6
3. Tulemused ja arutelu	9
3.1.1. Kanepi ja päevalille biomassi saagid	9
3.1.2. Väetiste järelmõju odra terasaagile ja raskmetallide sisaldusele	9
3.1.3. Erinevate energiakultuuride metaanisaak	11
3.1.4. Erinevate energiakultuuride etanolisaak	13
3.1.5. Kanepi ja päevalille briketi kütteväärtus	14
3.1.6. Kanepi ja päevalille briketiks tootmise majanduslik analüüs	15
3.2.1. Mitmeaastaste heintaimede saagikus katseperioodil	17
3.2.2. Reoveesette ja ida-kitseherne sobivusest mineraalväetise asemel N allikaks	19
3.2.3. Saagi koristusaja mõju saagi suurusele	20
3.2.4. Biomassi niiskusesisalduse muutumine põllul sügistalvisel perioodil	23
3.2.5. Biomassi kaaliumi- ja tuhasisalduse vähendamise võimalustest	25
3.2.6. Tuhasisalduse dünaamika sügistalvisel perioodil	28
3.2.7. Heintaimede kütteväärtus ja heintaimede arvel saadav energiasaak	29
3.2.8. Energiaheina tootmise energeetiline efektiivsus	31
3.2.9. Biomassi metaanipotentsiaal	32
3.3.0. Energiaheina tootmise majanduslik analüüs	35
4. Kokkuvõte ja järeldused	38
Lisa 1. Mitmeaastaste heintaimede katse skeem	40
Lisa 2. Taimikute biomassi saak esimesel kolmel katseaastal	41
Lisa 3. Taimikute biomassi saak kahel viimasel katseaastal	42
Lisa 4. Raskmetallide sisaldus mullas katse lõppedes	43
Lisa 5. Looduslike taimede biomassi kütteväärtus	44

Sissejuhatus

Eesti Maaülikoolis alustati antud energiakultuuride projektiga 2008. aastal, selleks et andmebaas oleks täiuslikum kaasati mitmeaastaste kõrreliste heintaimede katsesse ka 2007 aasta andmeid. Uurimise alla võeti suure produktiivsusega ühe- ja mitmeaastased taimed, mis võiksid omada energia tootmisel laialdasemat potentsiaali Eesti tingimustes. Lähemalt uuriti üheaastastest kultuuridest peamiselt kanepit ja päevalille, väiksemat tähelepanu pöörati maisile, hirsile, mitmeaastastest kultuuridest ka veel maapirnile, amuuri siidpöörisele ja energiahein Szarvas-1 (**Katse 1**) ja mitmeaastastest kõrrelistest heintaimedest päideroog, ohtetu luste ja harilik kerahein ning liblikõielistest kultuuridest ida-kitsehernes (**Katse 2**). Uuriti nende kultuuride maapealset biomassi ja viimase sobivust energia tootmiseks.

Energiakultuuride katsetest ja sellealase uurimistööst on osa saanud nii üliõpilased kui ka põllumajandustootjad. Lisaks on antud teema raames kaitstud 4 magistritööd.

Antud uurimistöö põhieesmärkideks on püstitatud:

- selgitada välja põldkatsete põhjal need liigid ja liikide segud, mis sobivad Eesti kliimaatilistes tingimustes energeetilise biomassi tootmiseks,
- anda iga võrreldava liigi kohta eraldi hinnang selle sobivuse kohta otsepõletamiseks (energiaheinaks) ja biogaasi tootmiseks,
- töötada liigiti välja sellest energeetilise biomassi tootmiseks sobiv agrotehnika. Selguvad taimiku optimaalsed koristusajad biomassiks ja energiaheinaks,
- uurida reoveesette, veise- ja sealäga sobivust väetisena energeetilise biomassi tootmiseks,
- uurida mineraalainete liikumise dünaamikat maapealses fütomassis ja võimalusi selle mõjutamiseks, et vähendada põletatava energiaheina tuhasisaldust.
- selgitada välja energia bilansid (sisendid - saadav energia) erinevate taimikute ja väetus- ning kasutusrežiimide korral.

Lähtuvalt eesmärkidest on kogu uurimistöö üles ehitatud kahe iseseisva katse peale.

2. Metoodika

KATSE 1 rajati Eesti Maailikooli Eerika katsepõllule 2008. a. kevadel. Põldkatse oli kahefaktoriline, kus esimeseks faktoriks oli kasvufoon ja teiseks faktoriks taimeliik (tabel 1). Erinevate kasvufoonide loomisel arvestati, et N kogus on kõigil väetatud variantidel 100 kg N ha⁻¹.

Katseskeem: 1. faktor- kasvufoon: 1) kontrollvariant, N0; 2) mineraalne ammoniumnitraat N100; 3) vikiga segukülv; 4) Tartu reoveesete (lämmastiku kogus arvestatud 100 kg N ha⁻¹); 5) sealäga (100 kg N ha⁻¹).

2. faktor- taimeliik: 1) kanep, sordid erinevatel aastatel USO-31, Chameleon, Santhica 27 ja Finola ning 2) aastast 2009 ka energia päevalill, sort Wielkopolski. Esialgu oli katsesse võetud ka energia maisi sordid, kuid lõpparuandes maisi kui energiataime ei käsitleta, sest 3 esimese katseaasta tulemused näitasid, et maisi kasvatamine energiaks ilma keemilise umbrohutõrjeta ei ole otstarbekas Eesti tingimustes.

Tabel 1. Kahefaktorilise katse skeem

Kasvufoonid	Katses olnud taime liigid ja sordid
N0 – kontrollvariant	
N100 - ammooniumnitraat (100 kg N ha ⁻¹)	Kanep Sordid USO-31, Chameleon, Santhica 27, Finola
Tartu linna reoveesete (100 kg N ha ⁻¹)	
Vikk (sort Carolina 60 seemet m ⁻²)	Päevalill Sort Wielkopolski
Sealäga (100 kg N ha ⁻¹)	

2008–2010. aastal kasutati reoveesetet, mida oli eelnevalt aeroobsetes tingimustes komposteeritud 2–3 kuud, 2011. aastal kasutatud reoveesete oli komposteeritud 8 kuud. Kanepi ja päevalille külvisenorm oli vastavalt 200 ja 25 idanevat seemet m⁻² viki 60 idanevat tera m⁻². Viki külvati koos põhikultuuriga. Varasemaid kogemusi arvesse võttes eeldati, et 60 vikiseemet m⁻² peaks võrduma 100 kg mineraallämmastikuga ha⁻¹. Seemned külvati katsekülvikuga Wintersteiger 20., 19., 22. ja 19. mail vastavalt 2008., 2009., 2010. ja 2011. aastal 3–5 cm sügavusele 15 cm reavahega. Katselapid olid paigutatud randomiseeritult neljas korduses, katselapi suurus oli 13 m². Väetisi anti üks kord: Tartu linna reoveesete ja veise läga viidi mulda igal aastal umbes 10 päeva enne taimede külvi, mineraallämmastikväetis NH₄NO₃ külvaati käsitsi peale taimede tärkamist 6., 2., 9. ja 6. juunil vastavalt 2008., 2009., 2010. ja 2011.a. Taimede kasvuperioodil pestitsiide ei kasutatud. Katseala muld on Stagnic Luvisol WRB 1998. a. klassifikatsiooni järgi, lõimise on liivsavi, pH_{KCl} 5,6, C 1,2%, ja N 0,12%.

Lisaks erinevate lämmastikväetiste otsemõju uurivale katsele külvati 2009–2011.a. samal ajal energiakultuuridega väetiste järelmõju uurimiseks eelmisel aastal väetisi saanud alale oder Leeni (Jõgeva SAI) külvisenormiga 350 idanevat seemet m⁻².

Meteoroloogilised näitajad saadi meteoroloogijaamast, mis asus umbes 2 km kaugusel katsealast. Temperatuuri näitajad aastatel 2008 ja 2009 olid sarnased pikaajalise keskmisega, aga 2010. ja 2011. a. olid need keskmised kõrgemad (juulis oli keskmine õhutemperatuur 4.7 ja 2.4 °C kõrgem kui pika-ajaline keskmine). Sademete summa oli taimede kasvuperioodil

(mai–september) 2008–2010. aastal sarnane pika-ajalisele keskmisele (351 mm), kuid 2011.a. oli see 75 mm väiksem kui tavaliselt. Eriti väike oli sademete summa perioodil juuni–august, kui sademete summa oli vaid 138 mm, st 98.2 mm väiksem kui pika-ajaline keskmine.

Maapealse biomassi proovid võeti käsitsi 1 m² proovilapilt enne koristust igalt variandilt neljas korduses ja määrati biomassi saak pinnühiku kohta (11. ja 18. september, 23. augustil ja 15. septembril vastavalt 2008., 2009., 2010. ja 2011. aastal). Biomassi proovidest määrati kuivainesaak. Eraldi võeti ka proovid keemiliste analüüside jaoks. Proovid briketi tegemiseks, biogaasi ja bioetanooli määramiseks võeti kanepi ja päevalille proovidest 2009. ja 2010. aastal.

Lisaks üheaastaste energiataimede katsele rajati 2008. a. Rõhule ühe- ja mitmeaastaste energiataimede kollektsioon, kus kasvatati: maapirn (*Helianthus tuberosus* L.), kiukanep (*Cannabis sativa* L.) sort USO-31, energia päevalill (*Helianthus annuus* L.) sort Wielkopolski, amuuri siidpöörise (*Miscanthus sacchariflorus* L.), Ungaris aretatud energia hein Szarvasi-1 ja hirss (*Setaria italica* L.). Maaapirni, siidpöörise ja energia heina seemned külvati 2008. aastal maikuu lõpus, üheaastaste kultuuride seemned külvati samal ajal energiataimede katses olnud taimedega. Kollektsioonilapid olid ilma kordusteta suurusega 5 m². Mineraalne lämmastikväetis (NH₄NO₃) külvati igal aastal sama-aegselt energiataimede katsega (100 kg N ha⁻¹). 2009. ja 2010. a. sügisel võeti energiaktaimede kollektsiooni taimede proovid bioetanooli ja biogaasi määramiseks; briketti prooviti teha energia heina proovidest. Kuna energia hein Szarvasi-1 briketi tegemiseks ei sobinud, siis seda lõpparuandes ka ei käsitle.

2.1.1. Keemilised analüüsid.

Reoveesetest, veise lägast, mullast ja taimede maapealsest biomassist on määratud üldN, üldP ja üldK sisaldused, lisaks C sisaldus (Tabelid 2 ja 3). Ligniinisaldus, NDF ja ADF kuivaines määrati Eesti Maaülikooli Taime Biokeemia Laboratooriumis (Tecator ASN 3430; AOAC, 1990; Van Soest et al., 1991). Proovid olid keemiliste analüüside jaoks eelnevalt jahvatatud veskiga SM 100 (Retsch GmbH) ja seejärel veskiga ZM 200 (Retsch GmbH).

Raskmetallide (Cd, Cr, Ni, Pb, Cu and Zn) sisaldused on määratud OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskuse Tartu filiaalis (Tabel 4). Kanepi ja päevalille biomassist valmistati brikett EMÜ Tehnikainstituudis. Briketi valmistamiseks kasutati pressi BS06. Briketi pikkus ja diameeter oli 70 mm.

Tabel 2. Tartu reoveesette keemiline koostis 2008–2011

Year	pH _{KCl}	DM*, %	P _{tot} , %	K _{tot} , %	N _{tot} , %	C, %
2008	6.8	18.2	1.9	0.4	5.2	31.8
2009	5.8	22.4	1.2	0.6	4.2	31.4
2010	6.4	18.6	0.5	0.4	4.9	33.1
2011	6.9	17.5	1.5	0.7	2.8	26.1

* DM – dry matter

Tabel 3. Veiseläga keemiline koostis 2008–2011

Year	pH _{KCl}	DM*, %	P _{tot} , %	K _{tot} , %	N _{tot} , %	C, %
2008	7.0	6.6	0.9	3.2	4.5	35.8
2009	7.2	6.6	0.8	1.3	3.7	37.1
2010	6.8	9.1	0.7	2.9	2.8	34.1
2011	5.7	8.4	0.7	4.1	5.7	36.4

*DM – dry matter

Tabel 4. Tartu reoveesete raskmetallide sisaldus 2008–2011

Element	Reoveesete, mg kg ⁻¹				Lubatud piirnorm, mg kg ^{-1*}
	2008	2009	2010	2011	
Cd	0,38	0,57	1,3	1,5	20
Cr	51	46	49	80	1000
Cu	99	150	220	260	1000
Ni	19	13	27	36	300
Pb	18	21	24	34	750
Zn	360	510	620	920	2500

* riiklik määrus RTL 2003

Metaanisaagi määramisel kasutati BMP testi modifitseeritud versiooni (Owen et al., 1979) ja selle määramine toimus EMÜ Biogaasi Laboratooriumis (A.Normak, M. Luna-delRisco). Katse viidi läbi plastiktopsid, mille efektiivmahutavus oli 575 ml ja kolmes korduses. Igas kordustopsis oli 150 ml inoculumi (saadud Tallinna reoveesete puhastusjaamast) ja 0.3 g substraati kuivaines ning 50 ml destilleeritud vett. Kogu maht oli seega 200 ml.

Test-topsides olnud hapnik loputati välja enne topside sulgemist kasutades N₂/CO₂ õhu juurdevoolu 8 minuti jooksul. Topsisid suleti kummikorgiga ja asetati 77 päevaks inkubaatorisse, kus temperatuur oli 36°C. Topsisidesse kogunenud gaas suunati nõela ja plastiktoru abil gaaskromatograafi. Gaasiproduktiooni analüüsiti topsides tekkinud gaasirõhu kaudu, mida mõõdeti rõhumõõtjaga (0–4 bar, SIEMENS). Biogaasi koostist analüüsiti kromatograafiliselt gaaskromatograafiga (Varian Inc., Model CP-4900. Lahustunud tahked ained (total solids; TS) ja orgaaniline kuivaine (volatile solids; VS) määrati meetodi 1684 järgi (U.S. Environmental Protection Agency - EPA). Tahked ained kokku (TS) määrati pärast provide ööpäevast kuumutamist 105°C juures. Orgaaniline kuivaine (VS) saadi lahutades kogu tahkest ainest tuhk, mis saadi pärast proovi kuumutamist 550°C juures.

Etanooli analüüs. Jahvatatud ja kuivatatud materjalist võeti bioetanooli määramiseks proov kolmes korduses suurusega 75 grammi (niiskusesisaldus alla 5 %), millele lisati 750 ml 1 % H₂SO₄ lahust. Kõik proovid kuumutati 30 minuti jooksul temperatuuril 150° C (± 3°C) ning 5 bar-ise rõhu juures. Seejärel proovid jahutati alla 50° C. Segu pH neutraliseeriti kasutades Ca(OH)₂, et saavutada pH vahemikus 4,5 – 5, kuna hüdroolüüsis kasutatavad ensüümid ei toimi, kui pH on väiksem 4 ja suurem 6. Eeltötlusele järgnes ensümaatiline hüdroolüüs kasutades ensüümide kompleksi Accellerase 1500. Lisatud ensüümide kogus oli 0,2 ml 1 g biomassi kohta. Hüdroolüüs kestis 48 tundi pidevalt segades ja temperatuuril 50 °C. Selle tulemusena enamus biomassist oli lahustunud ning segu muutunud pruuniks vedelikuks. Peale hüdroolüüsi mõõdeti kõigis proovides reflektomeetriliselt (kasutades Rqflex 10 reflektomeetrit, Reflectoquant glucose & fructose test) glükoosi kontsentratsiooni.

2.1.2. Majanduslik analüüs

Kanepi ja päevalille biomassi tootmise ja brikettimise hinnad on toodud tabelis 5. Masintööde, põllutööde ja brikettimise hinnad on saadud aadressil www.eria.ee ja brikettimise hinnad on määratud Eesti Maaülikooli Sotsiaal- ja majandusinstituudis 2011.a. seisuga;

masintööde hinna juures on arvestatud, et tööd on tehtud traktoriga, mille võimsus on 102 kW.

Tabel 5. Kanepi ja päevalille biomassi tootmise ja brikettimise hinnad aastal 2011

Komponent	Ühik	Väärtus
Masintööde hinnad	€ ha ⁻¹	154.30
Transport	€ Mg ⁻¹	4.80
Mineraalväetis NH ₄ NO ₃	€ Mg ⁻¹	325.00
Reoveesete	€ Mg ⁻¹	6.00
Veiseläga	€ Mg ⁻¹	5.75
Kanepi seeme	€ kg ⁻¹	3.83
Päevalille seeme	€ kg ⁻¹	2.25
Brikettimine	€ Mg ⁻¹	80.50

Töörežiimi hinna kujunemisel on arvestatud materjali kulu (energia, kütus), tööjõukulu, amortisatsiooni, kindlustuskulu ja aega, mis kulus 1 t kuivaine tootmiseks. Masintööd sisaldavad järgmisi töid: künd, kultiveerimine (kaks korda), külv ja koristus (niitmine). Erinevad väetised ja väetamine on arvestatud igale variandile eraldi. Arvestatud on, et kõigi väetiste puhul N kogus oli 100 kg ha⁻¹; transpordi hinna puhul on arvestatud töö kauguseks 10 km. Brikettimise hinna sees on biomassi kuivatamine-õhustamine, jahvatamine ja briketiks pressimine. Kanepi ja päevalille briketi müügihinnaks võeti 2011. a. puidubriketi hind Eestis - 133 € Mg⁻¹. Briketi tootmise rentaablus (%) arvestati järgmise valemi alusel:

$$\text{Rentaablus} = \frac{\text{Variandi kasum/kahjum}}{\text{Variandi kogukulu}} \times 100$$

KATSE 2

Uurimistöö eesmärkide täitmiseks viidi aastatel 2007-2012 EMÜ Rõhu katsejaamas läbi põldkatse. Katse rajati 2007. aasta juunis kerge liivsavi lõimisega leetjale mullale. Katses oli kokku seitse erinevat taimikut: päideroog s. 'Pedja', ohtetu luste s. 'Lehis', harilik kerahein s. 'Jõgeva 220' ja ida-kitsehernes s. 'Gale' puhaskülv ja eelpool nimetatud kõrrelise segukülv ida-kitsehernega. Katsesse valiti liigid, mis varasemate kogemuste põhjal võiksid sobida kasvatamiseks tootmisest väljas olevatel väheviljakatel aladel.

Heintaimede saagikust võrreldi N₀P₀K₀, N₀P₃₀K₆₀, N₆₀P₃₀K₆₀ ja reoveesete foonil. Reoveesete laotati lappidele vegetatsiooniperioodi alguses ja seda anti koguses, mis vastas lämmastiku normile 60 kg ha⁻¹. Reoveesete norm arvutati ammooniumlämmastiku (NH₄⁺ - N) sisalduse alusel. Normi arvutamisel võeti arvesse, et reoveesete orgaanilises aines sisalduv N vabaneb mitme aasta jooksul. Seetõttu oli tegelikult antud kogus teisel aastal 25% ja sealt edasi 50% väiksem võrreldes NH₄-N sisalduse põhjal arvatud normiga. Lämmastik-, fosfor- ja kaaliumväetis anti kevadel rohukasvuperioodi alguses. Katse skeem on esitatud aruande lisas (Lisa 1).

Katses oli kolm erineva niiteaja varianti: (i) suvi (juuniku lõpp/juuliku algus), (ii) hilissügis (oktoobri lõpp /novembri algus) ja (iii) varakevad (aprilli III dekaad). Juuniku lõpus/juuliku alguses niidetud taimikut niideti teist korda hilissügisel (novembrikuu alguses).

Pärast kolmandat aastat muudeti katsetoodikat. Varakevadine ja hilissügisene saagikoristus asendati saagikoristusega augustikuu alguses ja augustikuu keskpaigas.

Taimiku saaki määrati katses niitemetodil. Niitmiseks kasutatakse mootorniidukit MF 70. Niidetud rohi riisuti käsitsi kokku ja kaaluti.

Kuivainesisalduse määramiseks võeti igal niitmiskorral ühe variandi nelja korduse kohta üks 1 kg raskune rohuproov, mis kuivatati õhukuivaks ja seejärel jahvatati. Absoluutkuivaine sisalduse leidmiseks kuumutati materjali pärast jahvatamist termostaadis kuus tundi 105°C juures ja seejärel kaaluti.

Biomassis niiskuse, tuha ja K sisalduse dünaamikat uuriti 2007. aasta oktoobrist kuni 2008. aasta aprilli keskpaigani. Selleks võeti kord nädalas kõigilt kõrreliste taimikutelt rohuproov, mida analüüsiti laboratooriumis. 2009.aasta aprillis määrati biomassi niiskusesisaldust kord nädalas märtsis ja aprillis. Biomassi tuha ja K sisaldust määrati veel 2008 aasta oktoobris ja 2009 aasta aprillis.

Teine analoogne uurimistöö toimus 2012. aasta vegetatsiooniperioodil. Siis selgitati biomassi N, K ja Na sisaldust sõltuvalt niiteajast ja perioodi pikkusest, mil biomass oli pärast niitmist põllul vaalus. Biomassi proovid võeti saagi koristamise ajal ja 7 ning 14 päeva pärast seda.

Taimede K ja Na üldsisaldus määrati kontsentreeritud väävelhappega märgtuhastamisel saadud lahusest leekfotomeetriliselt (Methods of Soil..., 1986) EMÜ Taimebiokeemia laboratooriumis. N määramine toimus samas laboris Kjeldahli meetodil

Materjali kütteväärtused määrati kalorimeetril C5000 Eesti Maaülikooli Metsandus- ja maaehitusinstituudi laboris.

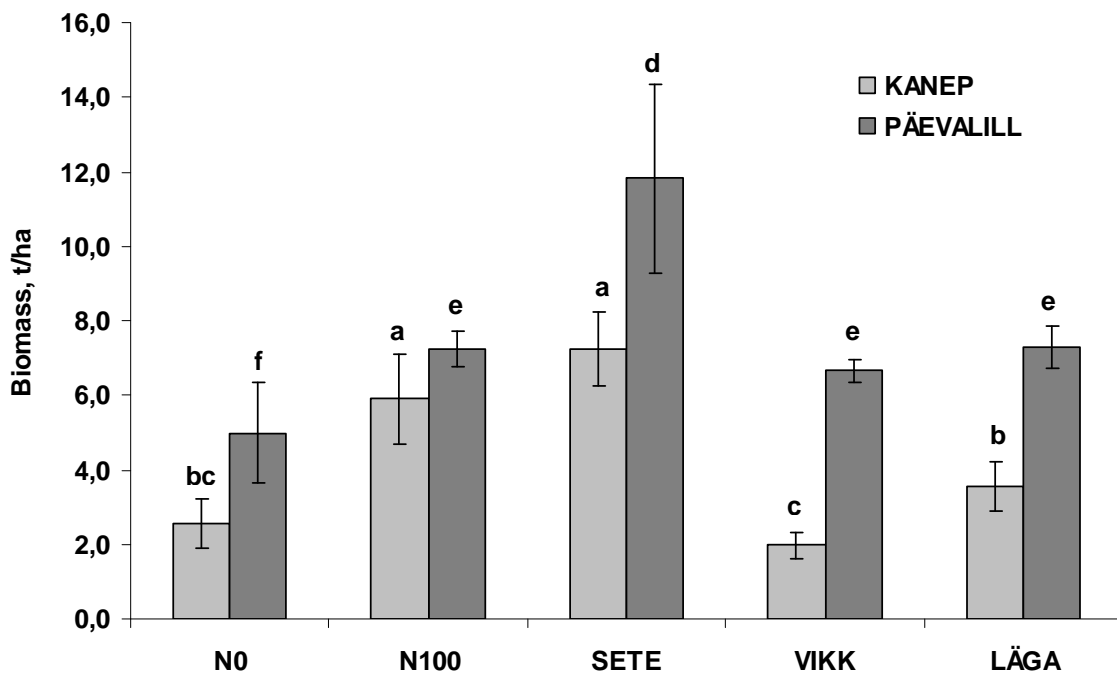
Selgitamaks, milline on II niite saagi metaanipotentsiaal, võeti 2010 aasta sügisel kõigilt taimikutelt rohuproov, mida analüüsiti EMÜ biogaasilaboris.

3. Tulemused ja arutelu

3.1.1. Kanepi ja päevalille biomassi saagid

Nelja katseaasta keskmisena saadi kõige suurem maapealne biomass nii kanepi kui ka päevalille puhul reoveesetega väetatud alalt (Joonis 1), sest komposteeritud reoveesettes olnud N mineraliseerus mullas aeglasemalt ja oli kanepi ning päevalille kiire kasvuperioodi ajaks taimedele kättesaadav. Sealäga N oli selleks ajaks (juuni lõpp – juuli esimene pool) juba leostunud või lendunud ja taimede jaoks kaduma läinud. Viki variandis tekkis viki ja kanepi taimede vahel tihe konkurents, mistõttu kanepi taimede maapealne biomass oli statistiliselt võrdne kontrollvariandiga (st N mitte saanud variandiga). Päevalille puhul oli maapealne biomass N100, viki ja läga variantidel statistiliselt võrdne.

Päevalille ja eriti kanepi biomassi kujunemist mõjutas olulisel määral ka ilmastik. Sademete vähesus 2011. a. juuni lõpus põhjustas kanepi biomassi saagi märgatava vähenemise (vastavalt kasvufoonile 1,9–3,8 korda võrreldes eelnevate aastate keskmisega), sest selleks ajaks oli kanep jõudnud kiire kasvu perioodi, aga sademete vähesus takistas toitainete kättesaadavust. Päevalille biomass oli kõige väiksem 2010. a., sest sademete hulk juulis 2010. a. oli vaid 12 mm, kuid päevalille biomassi kujunemise seisukohalt on juuli sademed olulised. Kanepi ja päevalille biomassi saagi variatsioonikoefitsient aastate lõikes oli vastavalt 27,8 (reoveesete)–52,1 (N0) ja 11,7 (N100)–47,1 (N0).



Joonis 1. Kanepi ja päevalille maapealse biomassi kuivainesaad (t ha⁻¹) aastate 2008–2011 keskmisena;

*erinevad tähed joonisel tähistavad usutavat erinevust variantide vahel (P<0,05).

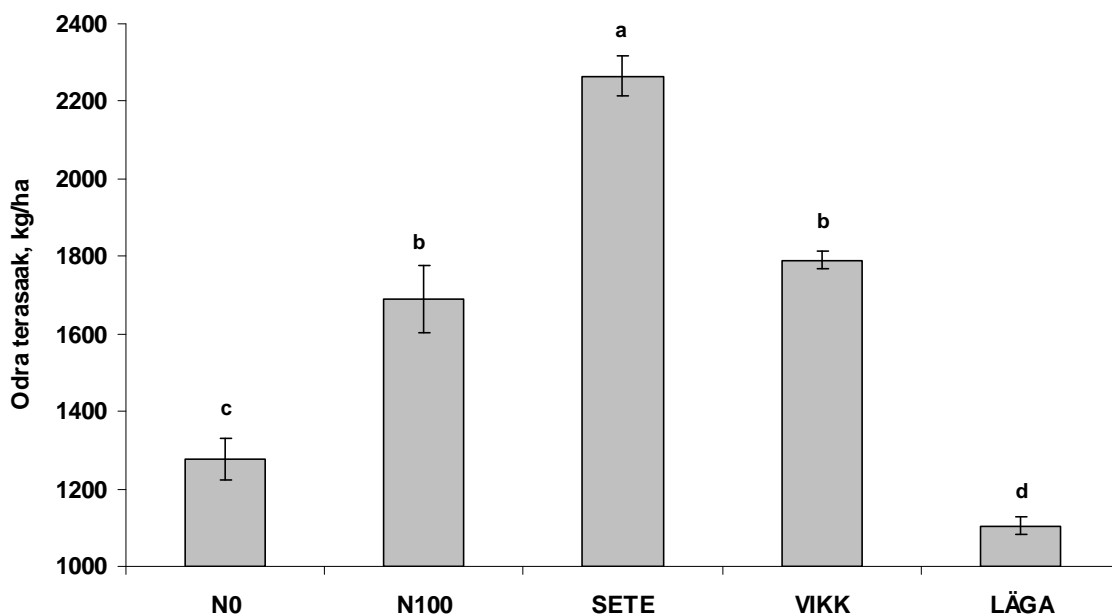
3.1.2. Väetiste järelmõju odra terasaagile ja raskmetallide sisaldusele

Statistiliselt usutavalt suuremad odra terasaagid saadi reovee sette järelmõju foonilt (joonis 2). Üldine odra saagikus jäi väikseks, mis ilmselt oli osaliselt tingitud väiksest külvisenormist kui ka hilisest külvist.

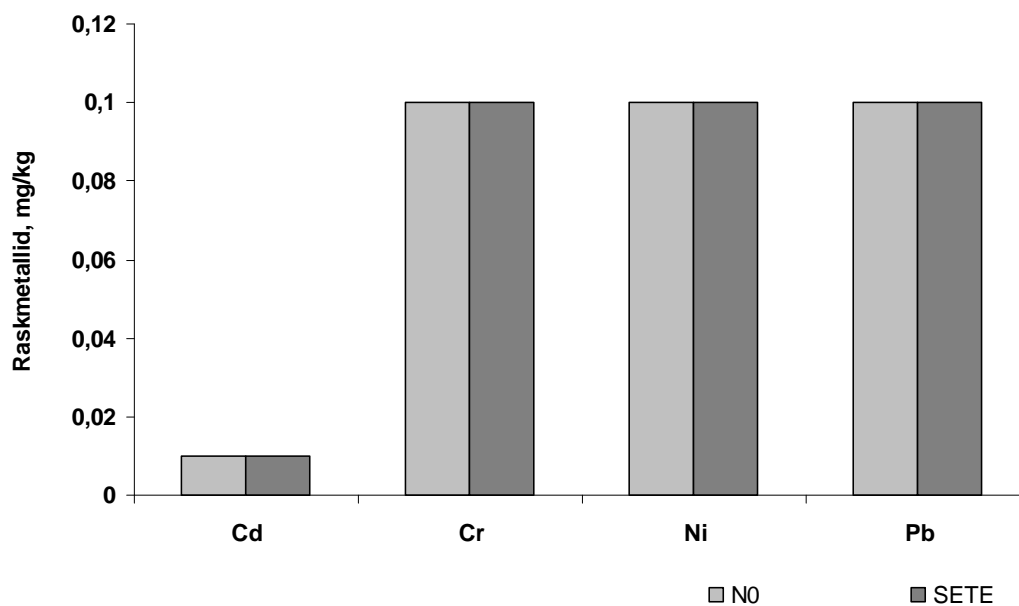
Katses kasutatud reoveesette raskmetallide kogused ei ületanud mitte ühegi määratud raskmetalli osas lubatud piirväärtusi. Odra kõrre raskmetalli kogused reoveesette järelmõju tõttu võrreldes väetamata variandiga muutusid vähe. Üldtendentsina odra kõrre raskmetallide kogused reoveesette ja energiakultuuride (maisi, kanepi ja päevalille) järelmõju keskmisena vähenesid (raskmetallide kogused kontrollvariandil olid vastavalt Cd 0.02, Cr 11.4, Ni 3.8, Pb 1.1, Zn 17.0 ja Cu 3.47 mg kg⁻¹ ning settega väetatud variandil Cd 0.02, Cr 9.3, Ni 3.0, Pb 0.8, Zn 14.7 ja Cu 3.5 mg kg⁻¹).

Odra terade raskmetallide kogused reoveesette 1. aasta järelmõjul jäid võrdseks kontrollvariandiga Cd, Cr, ja Ni osas, kuid päevalille foonil reoveesetega väetamine suurendas Pb, Zn ja Cu koguseid vastavalt 0,3, 5 ja 11 mg kg⁻¹ võrra ning kanepi foonil Zn ja Cu kogused suurenesid vastavalt 12 ja 1,5 mg kg⁻¹ võrra.

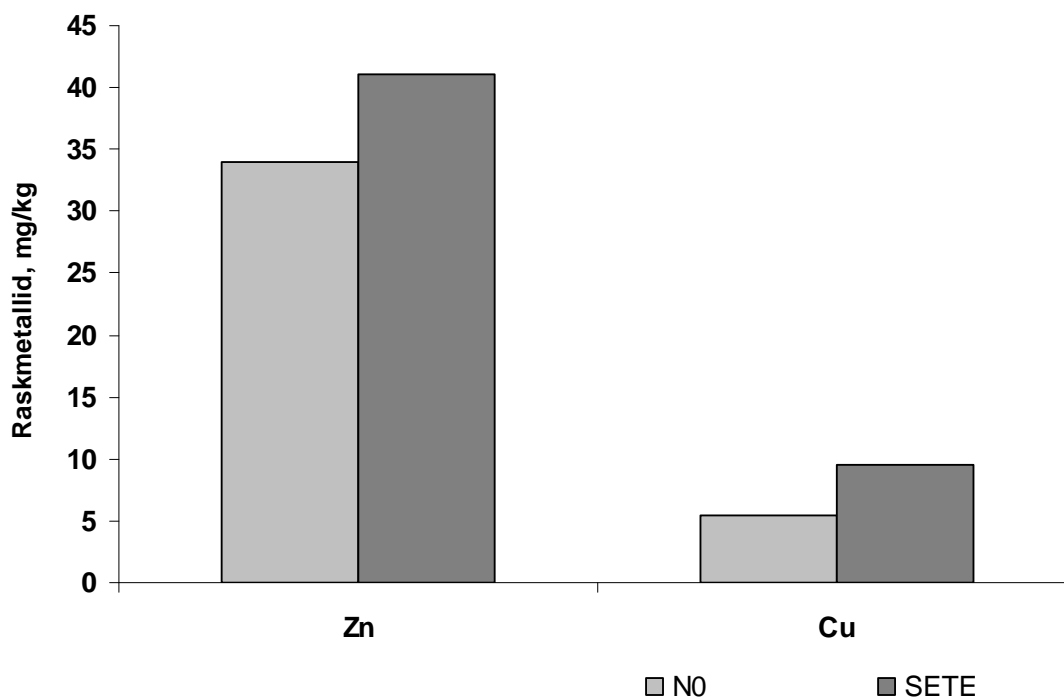
Toiduseaduses² (RTL 1999) toodud piinormidest jäid valdav osa raskmetallide kogustest odra terades väiksemaks. Normi ületas ainult päevalille foonil ja reoveesetega väetatud alal kasvanud odra terade Cu sisaldus, mis oli 17,0 mg kg⁻¹, aga piinorm on 10,0 mg kg⁻¹ (joonised 3 ja 4).



Joonis 2. Väetiste järelmõju odra terasaagile 2009–2011 keskmisena (kg ha⁻¹);
*erinevad tähed joonisel tähistavad usutavat erinevust variantide vahel (P<0,05).



Joonis 3. Raskmetallide sisaldus odra terades kontrollvariandi ja reoveesette järelmõju foonil 2010. aastal kultuuride keskmisena.



Joonis 4. Raskmetallide sisaldus kontrollvariandi ja reoveesette järelmõju foonil 2010. aastal kultuuride keskmisena

3.1.3. Erinevate energiakultuuride metaanisaak

Erinevate energiakultuuride süsivesikute hulk ja metaanisaak on esitatud tabelis 6.

Tabel 6. Energiakultuuride tselluloosi-, hemitselluloosi- ja ligniinisaldus (%) ning metaanisaak (LCH₄/kg VS, kogunenud 77 päeva jooksul)

Energiataimed	Tselluloos %	Hemi- tselluloos %	Ligniin %	Metaanisaak LCH ₄ /kg VS
Maapirn	20,95	5,48	5,05	341 ± 11 ab
Amuuri siidpööris	42,00	30,15	7,00	350 ± 18 ab
Energiאהין				
Szarvasi-1	37,85	27,33	9,65	322 ± 10 b
Päevalill	27,39	7,29	8,28	335 ± 6 b
Kanep	53,86	10,60	8,76	326 ± 21 ab
Hirss	33,02	31,61	5,34	350 ± 3 a

Metaanisaaki mõjutab usutaval määral taimede ligniinisaldus: metaani saak oli negatiivses korrelatsioonis ligniinisaldusega ($r = -0,70$; $P < 0,05$). Maapealse biomassi ligniinisaldus oli mõjutatud taimede arengufaasist koristusajal. Madalam ligniinisaldus oli taimedel, mille arengukiirus oli aeglasem. Taimed, mis pärinevad lõunapoolsest piirkonnast, arenevad Eesti tingimustest aeglasemalt, sest koristusajaks kogunenud efektiivsete temperatuuride summa on tunduvalt väiksem kui nende päritolumaal. Taimede hemitselluloosi- ja tselluloosisaldused metaanisaaki usutaval määral ei mõjutanud, tendentsina võib märkida, et hemitselluloosi/ligniini suhe oli positiivses korrelatsioonis metaanisaagiga ($r = 0,61$). Kõige madalam hemitselluloosi/ligniini suhe oli päevalillel.

Tabel 7. 6 nädala jooksul akumulerev metaani kogus (LCH₄ /kg orgaanilise kuivaine kohta) mitmeaastastel energiataimedel

Päevade arv	Maapirn	Energiאהין Szarvasi-1	Amuuri siidpööris
7	257	110	110
14	287	184	209
21	305	221	255
28	314	248	279
35	327	273	307
42	331	287	323

Tabel 8. 6 nädala jooksul akumulerev metaani kogus (LCH₄ /kg orgaanilise kuivaine kohta) üheaastastel energiakultuuridel

Päevade arv	Kanep	Päevalill	Hirss
7	169	144	70
14	238	235	257
21	261	291	289
28	274	304	304
35	292	315	321
42	304	320	333

Meie katses ei kasutatud biomassi eeltötlust ja eeltötluseta biomassist eraldub biogaas suhteliselt aeglaselt. Kui näiteks kasutada tehnoloogiat, kus leotatud biomass eraldatakse

tigupressiga tahkeks kiudaineterikkaks osaks (presskook) ja biokeemiliselt hästi lagunevaks mineraalaineterikkaks vedelikuks (pressmahl), siis pressvedelikust saadi üle 300 LCH₄/kg VS juba 14 päeva jooksul (Melts, jt 2011). Meie katses kogunes metaani eeltöötlemata biomassist üle 300 LCH₄/kg VS 21–52 päeva jooksul (tabelid 7, 8)

Biogaasi kogunemise kiirus oli negatiivses korrelatsioonis biomassi ligniinisaldusega ($r = -0,80$; $P < 0,05$). Kõige aeglasemalt kogunes metaani energiaheina Szarvasi-1 biomassist. Ilmselt oli põhjuseks see, et energiaheina koristus oktoobris oli liiga hilja, taimed olid selleks ajaks tugevasti ligniinstunud. Maapirn aga ei olnud oktoobris 2010. a. veel õitsema hakanud, amuuri siidpööris oli õitsemisfaasis ja hirss hilises vahaküpsuses, nende ligniinisaldused olid tunduvalt madalamad ja seetõttu metaani eraldumine kiirem.

3.1.4. Erinevate energiakultuuride etanoolisaak

Tulemustest selgus, et etanooli saak sõltus biomassi tselluloosi sisaldusest (tabel 9). Mida suurem oli tselluloosi sisaldus, seda suurem oli glükoosi saak, erandiks olid vaid päevalill ja pilliroog. Parim etanoolisaak 83.40 g kg⁻¹ saadi kanepi proovidest, mille tselluloosi sisaldus oli kõrgeim 53.86%. Oktoobris koristatud maapirni etanooli saak oli väiksem 36.55 g kg⁻¹.

Tabel 9. Erinevate energiakultuuride potentsiaalne etanoolisaak (g m⁻²)

Energiakultuur	Biomassi saak g m ⁻²	Etanooli saak g kg ⁻¹	Etanooli saak g m ⁻²
En. hein Szarvasi-1	750 ± 250 ab	61.19 b	46 ± 15.3 ab
Amuuri siidpööris	1050 ± 350 a	76.67 a	81 ± 26.8 a
Päevalill	1275 ± 725 ab	38.13 c	49 ± 27.6 ab
Maapirn (sept)	1050 ± 250 a	36.55 c	38 ± 9.1 b
Maapirn (okt)	1050 ± 250 a	37.76 c	40 ± 9.4 b
Kanep	660 ± 65 b	83.40 a	55 ± 5.4 ab
Pilliroog	800 ± 200 ab	60.21 b	48 ± 12.0 ab

Ühe- ja mitmeaastaste energiataimede etanoolisaak pinnaühiku kohta oli usutaval määral kõige suurem amuuri siidpöörisel ja kõige väiksem maapirnil. Kuigi kanepi proovidest saadi etanooli 1 kg kohta kõige enam, siis madal saagikus aastate ja väetisvariantide keskmisena põhjustas ka väikse etanoolisaagi pinnaühiku kohta. Energiataimede maapealse biomassi saagikus Eesti muutlikes ilmaoludes oli erinevatel aastatel väga ebastabiilne, seetõttu edaspidised uuringud eelkõige amuuri siidpöörisega ja energiaheinaga Szarvasi-1 oleksid otstarbekad.

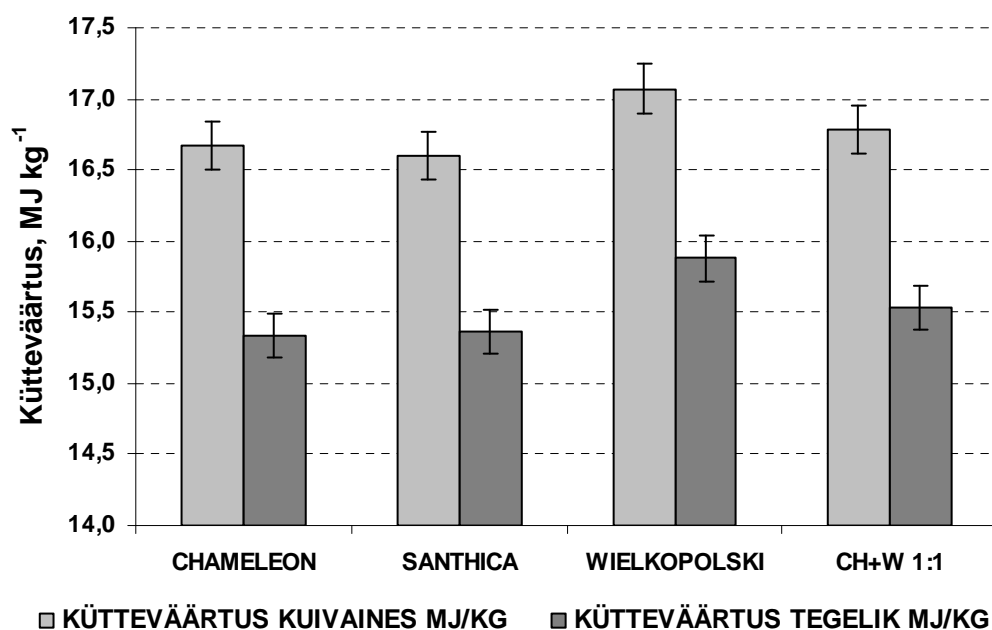
Etanooli protsentuaalne saagikus sõltuvalt proovi glükoosi sisaldusest on toodud tabelis 10. Erinevate kultuuride fermentatsiooni efektiivsus oli positiivses korrelatsioonis hemitselluloosi hulgaga ja tselluloosi/ligniini suhtega ($r = 0,91$; $P < 0,01$). Kuigi päevalille glükoosisisaldus oli madal, oli tema etanooli protsentuaalne saagikus kõige kõrgem 66.36%. Statistiliselt usutavalt madalam fermentatsiooni efektiivsus oli oktoobris koristatud maapirnil. Keskmise fermentatsiooni efektiivsus oli 51.29%. Etanooli saagi suured kaod olid põhjustatud inhibeerivatest ühenditest, mis moodustasid eeltöötlemise ja hüdrolyüüsi protsessides. Selle tagajärjel oli fermentatsiooni protsess mittetäielik ja tekkisid kõrvalproduktid.

Tabel 10. Fermentatsiooni efektiivsus sõltuvalt glükoosi sisaldusest

Energia kultuur	Fermentatsiooni efektiivsus %
Energia hein Szarvasi-1	44.11
Amuuri siidpööris	59.86
Päevalill	66.36
Maapirn (okt)	38.14
Maapirn (sept.)	44.19
Kanep	52.30
Silo	52.71
Pilliroog	52.66

Tulevikus peab rohkem tähelepanu pöörama fermentatsiooni efektiivsuse suurendamisele. Seda saab teha kasutades paremaid eeltöötlemise meetodeid ja teisi pärmiseente tüvesid või inhibeerivate ühendite elimineerimisega.

3.1.5 Kanepi ja päevalille briketi kütteväärtus



Joonis 5. Kanepi ja päevalille ning nende sortide Chameleon ja Wielkopolski segu (vahekorras 1:1) tegelik ja kuivaine kütteväärtus 2009.a. proovidest

Kõrgeim kuivaine kütteväärtus saadi briketist, mis oli valmistatud päevalille maapealsest (17.07 MJ kg^{-1}); sellel oli ühtlasi ka madalaim niiskussisaldus 6.1% (joonis 5). Kanepisortidest Chameleon ja Santhica tehtud briketidel oli pisut väiksem kütteväärtus – vastavalt 16.67 MJ kg^{-1} ja 16.60 MJ kg^{-1} . Kõigi briketiproovide väävlisisaldus oli alla 0.05%. Üldiselt oli erinevatest materjalidest pressitud briketiproovide keemiline koostis ja kütteväärtus statistiliselt võrdne.

Brikk, mis oli valmistatud kahekojalisest kanepisordist Chameleon, oli korraliku kujuga ja püsis tihedalt koos; suuri pragusid ei olnud (joonis 6). Briketid, mis olid valmistatud ühekojalisest kanepisordist Santhica, olid suurte pragudega briketi pinnal ja olid rabedad ning

lagunesid kergesti (joonis 7). Päevalillest valmistatud briketid olid tugevad ja tihedad, korralliku kuju ja fraktuuriga (joonis 8). Päevalille ja kanepisordi Chameleon segust vahekorras 1:1 valmistatud briketid püsisid koos paremini kui kiukanepi Santhica briketiproovid, aga nad olid rabedad ja neil oli palju mōrasid (joonis 9).



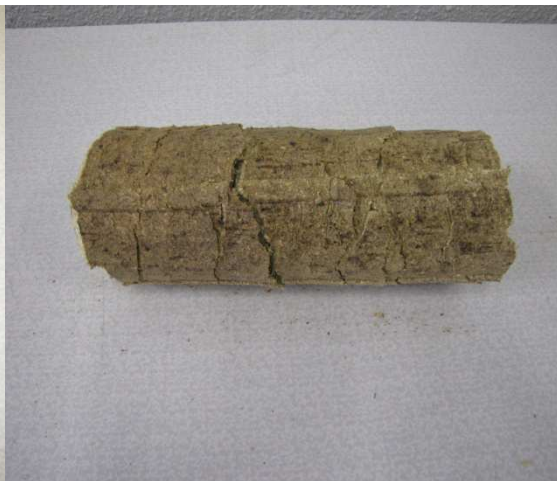
Joonis 6. Brikett kanepi sordist Chameleon



Joonis 7. Brikett kanepi sordis Santhica



Joonis 8. Brikett päevalille sordist Wielkopolski



Joonis 9. Brikett kanepi sordi Chameleon ja päevalille sordi Wielkopolski segust vahekorras 1:1

3.1.6. Kanepi ja päevalille briketiks tootmise majanduslik analüüs

Põllutööde, seemne, väetiste jms hinnad on järgmised:

Põllutööde hinnad on saadud
 Kanepi seemne hind on 3,83 €/kg
 Min.Nväetis NH₄NO₃ , 325 €/t
 Läga, 5,75 €/t; transport, 4,80 €/t
 Reoveesete, 6 €/t, transport 4,80 €/t
 Briketamise kulu, 80,50 €/t
 Briketi hind, 133 €/t

www.eria.ee Masinakulude algoritmid
 www.perfecplant.ee, 2008.a. hind
 www.pikk.ee2011
 HaageAgro hinnad (2009)
 www.pikk.ee2011
 EMÜ, Agraarökonomika ja turundus
 www.diislikeskus.ee/puit1

Põllutööde hinnad on saadud www.eria.ee koduleheküljelt, kusjuures masintööde läbiviimiseks on valitud traktor võimsusega 102 kW. Ühtne pindala toetuse suurus on saadud www.pria.ee koduleheküljelt aastal 2011. Kanepi biomassist valmistatud briketi hind kujunes antud tehnoloogia järgi: biomassi niitmine, selle vedu kuivatisse, kuivatamine, seejärel jahvatamine ja briketiks kokkupressimine.

Lämmastikväetiste laotamisel oli arvestatud lämmastiku koguseks 100 kg N /ha. Kanepi briketiks tootmise majanduslik analüüs on esitatud tabelis 11.

Tabel 11. Kanepi briketiks tootmise majanduslik analüüs sõltuvalt erinevatelt väetisfoonidelt saadud maapealsest biomassist (2008–2011 aasta keskmisena)

Tegevus	Mineraalne N 100 kg N/ha	SETE 100 kg N/ha	LÄGA 100 kg N/ha
Toodang, t/ha	5,9	5,8	3,6
Briketist saadud tulu, €/ha	784,70	771,40	478,80
Ühtne pindala toetus, €/ha	91,10	91,10	91,10
Tulud kokku	875,80	862,50	569,90
Kulud:			
Künd, €/ha	57,70	57,70	57,70
Kultiveerimine, 2 x, €/ha	43,80	43,80	43,80
Väetis + väetamine + transport, €/ha	95,65	135,00	376,35
Seeme, €/ha	170,50	170,50	170,50
Külv, €/ha	43,00	43,00	43,00
Koristus + transport, €/ha	20,70	19,60	16,60
Briketamise kulu, €/ha	474,95	466,90	289,80
Kulud kokku	906,30	936,50	997,75
Kasum/kahjum, €/ha	- 30,50	- 74,00	- 427,85

Lägaga väetatud variandi suur negatiivne eelarve oli tingitud eelkõige madalast saagikusest ja suhteliselt suurest väetamiskulust. Lägaga ja reoveesetega väetamine toimus külvieelselt. Reoveesettes olnud lämmastik eraldub taimede kasvuperioodil pikema aja vältel, mistõttu taimedele kättesaadavaks sai ta kanepi kiirel kasvuperioodil (juuni-juuli). Lägas olnud lämmastik aga vabanes ilmselt juba mai lõpus, kui kanep alles tärkas ja kanepi kiireks kasvuperioodiks oli lägas olnud lämmastik kas leostunud, lendunud või seotud mulla osakestega. Mulla osakestega seotud lämmastik sai taimedele kättesaadavaks järgmisel aastal, mida näitavad odra terasaigid väetiste järelmõju uuringust (joonis 2).

Kanepist valmistatud briketi minimaalne hind, mille puhul kasumit veel ei saada, aga kulud saab kaetud, on N100, SETE ja LÄGA puhul vastavalt 138.20, 145.80 ja 254.85 €/t.

Päevalille briketiks tootmise majanduslik analüüs on tabelis 12. Kuna päevalille maapealne biomass oli kanepi biomassiga võrreldes 1.2–2.0 korda suurem (vastavalt väetusvariandile), siis majanduslikult ebaotstarbekaks osutus ainult lägaga väetatud variant.

Tabel 12. Päevalille briketiks tootmise majanduslik analüüs sõltuvalt erinevatelt väetisfoonidelt saadud maapealsest biomassist (2009–2011 aasta keskmisena)

Tegevus	N 100 kg/ha	SETE 100 kg N/ha	LÄGA 100 kg N/ha
Toodang, t/ha	7,2	9,5	7,3
Briketist saadud tulu, €/ha	957.60	1263.50	970.90
Ühtne pindala toetus, €/ha	91,10	91,10	91,10
Tulud kokku	1048.70	1354.60	1062.00
Kulud:			
Küünd, €/ha	57,70	57,70	57,70
Kultiveerimine, 2 x, €/ha	43,80	43,80	43,80
Väetis + väetamine + transport, €/ha	95,65	135,00	376,35
Seeme, €/ha	110,15	110,15	110,15
Külv, €/ha	43,00	43,00	43,00
Koristus + transport, €/ha	44,30	55,31	44,77
Brikettimise kulu, €/ha	579.60	764.75	587.65
Kulud kokku	929.90	1209.71	1263.42
Kasum/kahjum	118.80	144.89	- 201.42

KATSE 2

3.2.1. Mitmeaastaste heintaimede saagikus katseperioodil

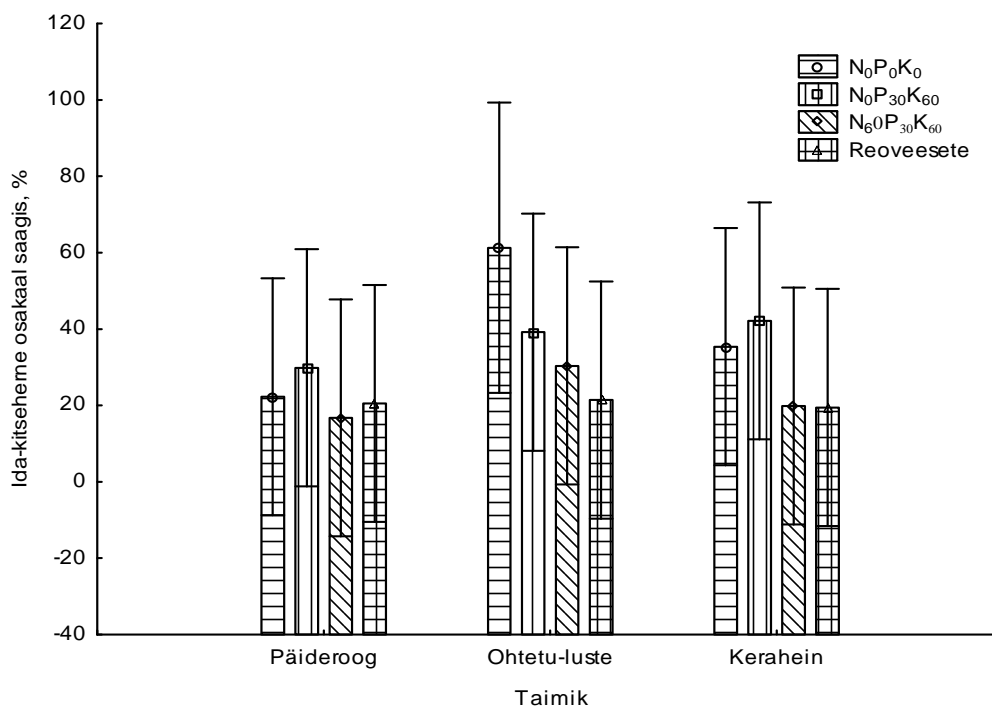
Andmed taimikute saagikuse kohta kõigil katseaastatel on esitatud aruande lisa (Lisa 2 ja 3). Katses võrreldud kolmest kõrrelisest saadi suurim saak päideroo taimikult (tabel 13). Talle järgnes ohtetu-luste ja kerahein. Kõige madalama saagikusega liigiks oli ida-kitseherne. Eriti väike oli see esimesel kolmel aastal, kui ida-kitseherne osakaal oli puhaskülvi taimikus väga madal (2-3 taime lapi kohta). Valdavalt moodustasid taimiku siis mitmesugused rohundid. Ida-kitseherne osakaal hakkas suurenema alates kolmandast aastast ja see avaldus kohe ka taimiku saagi kasvus, mis oli 4 ja 5 aastal võrreldes katse algusega ligikaudu 2 korda suurem. Kahel viimasel aastal ületas ida-kitseherne saagikus keraheina puhaskülvi taimiku saagikust, kuid võrreldes ohtetu luste ja päiderooga oli see jätkuvalt väiksem.

Ida-kitseherne areng kulges segus kõrrelistega aeglasemalt, võrreldes sellega, mis see oli puhaskülvi taimikus. Märkatav ida-kitseherne osakaalu kasv algas seal alles neljandal katseaastal, mis oli üks aasta hiljem kui puhaskülvis. Meie tulemused näitasid, et ida-kitseherne levik oli mõjutatud temaga koos külvatud kõrrelisest. Paremini sobis talle kooskülv keraheina ja ohtetu lustega, kus kitseherne osakaal oli katse lõpus veidi suurem kui segus päiderooga (joonis 10). Ilmselt avaldas negatiivset mõju päideroo suur biomass, mis võis ida-kitsehernest lämmatada ja nii selle levikut pärssida. Ohtetu luste ja keraheina taimiku saagid olid väiksemad, mistõttu olid tingimused seal ida-kitseherne levimiseks paremad. Ida-kitseherne mõju saagile avaldus alles kahel viimasel aastal. Siis olid ohtetu luste ja keraheina saagid segus ida-kitsehernega suuremad kui puhaskülvis ($P < 0,05$). Ida-kitseherne mõju saagile oli viimasel kahel aastal neis taimikutes nii suur, et ka viie aasta kokkuvõttes oli ohtetu luste ja keraheina saak segus ida-kitsehernega usutavalt suurem ($P < 0,05$) kui puhaskülvis. Päideroo saak oli läbi katseperioodi suurem puhaskülvis.

Tabel 13. Taimikute keskmised saagid 1.- 3. ja 4. – 5. katseaastal ja kogu katseperioodil

Taimik	Väetusfoon	Saak, t KA ha ⁻¹		
		1 - 3 katseaasta	4 - 5 katseaasta	Katseperioodi keskmine
Päideroog	N ₀ P ₀ K ₀	5,1±0,14	4,6±0,50	4,9±0,24
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	5,5±0,23	5,4±0,32	5,4±0,23
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	6,6±0,24	8,7±0,50	7,4±0,26
	Reoveesete	6,7±0,26	10,6±0,79	8,3±0,31
	Keskmine	6,0±0,15	7,3±0,45	6,5±0,24
Päideroog + ida- kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	4,2±0,11	5,6±0,29	4,8±0,16
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	4,9±0,16	5,9±0,20	5,3±0,14
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	6,3±0,33	8,1±0,30	7,0±0,21
	Reoveesete	5,7±0,28	8,1±0,15	6,7±0,16
	Keskmine	5,3±0,16	6,9±0,21	5,9±0,16
Ohtetu luste	N ₀ P ₀ K ₀	4,3±0,26	4,5±0,31	4,4±0,21
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	4,2±0,27	4,9±0,32	4,5±0,18
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	5,8±0,49	7,1±0,34	6,3±0,31
	Reoveesete	4,9±0,32	7,5±0,47	6,0±0,29
	Keskmine	4,8±0,19	6,0±0,26	5,3±0,17
Ohtetu luste + ida- kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	3,9±0,21	5,8±0,21	4,7±0,17
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	4,6±0,20	6,4±0,21	5,3±0,16
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	5,8±0,4	7,8±0,23	6,6±0,25
	Reoveesete	4,9±0,24	7,8±0,27	6,0±0,18
	Keskmine	4,8±0,17	6,9±0,17	5,6±0,14
Kerahein	N ₀ P ₀ K ₀	3,0±0,26	4,4±0,42	3,6±0,23
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	3,6±0,27	4,2±0,37	3,9±0,29
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	5,3±0,49	6,6±0,23	5,8±0,19
	Reoveesete	4,1±0,32	7,4±0,29	5,4±0,13
	Keskmine	4,0±0,18	5,7±0,26	4,7±0,18
Kerahein + ida- kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	3,1±0,22	5,2±0,23	4,0±0,15
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	3,9±0,18	6,5±0,28	4,9±0,17
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	5,4±0,43	6,9±0,22	6,0±0,32
	Reoveesete	4,5±0,30	7,3±0,22	5,6±0,20
	Keskmine	4,2±0,19	6,5±0,16	5,1±0,16
Ida- kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	2,4±0,10	6,0±0,23	3,8±0,12
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	2,7±0,12	5,7±0,24	3,9±0,14
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,3±0,14	6,2±0,19	4,4±0,14
	Reoveesete	3,3±0,17	6,5±0,16	4,6±0,14
	Keskmine	2,9±0,09	6,1±0,11	4,2±0,08

¹Standardviga



Joonis 10. Ida-kitseherne osakaal saagis 2011 aastal

Järeldused:

- Kolmest võrreldud kõrrelisest omab suurimat potentsiaali põletamiseks sobiva biomassi ehk energiaheina tootmisel päideroog. Ohtetu luste ja keraheina saagikus on sellega võrreldes väiksem.
- Ida-kitseherne võtmine seemnesegusse ennast ei õigusta. Aeglase algarengu tõttu, on selle mõju saagile esimesel kolmel aastal väike. Paremini sobib ida - kitseherne segusse ohtetu luste ja keraheinaga.
- Edaspidi oleks vaja uurida seemnesegusid, kus ida-kitseherne kõrval on segus veel mõni teine liblikõieline, mis oleks konkurentsivõimeline kohe külvi järel ja täidaks esimesel kolmel aastal taimikus ida-kitseherne kohta.

3.2.2. Reoveesette ja ida-kitseherne sobivusest mineraalväetise asemel N allikaks

Kolme võrreldud kõrrelise kuivainesaak sõltus oluliselt kasutatud N allikast. Päideroo ja ohtetu luste saak mineraalväetise ja reoveesetega väetatud variandis usutavalt ei erinenud (tabel 14). Kõige väiksem ($P < 0.05$) oli see segus ida-kitsehernega N₀P₀K₀ foonil. Keraheina saak oli suurim ($P < 0.05$) mineraalväetisega väetatud variandis ja kõige väiksem samuti segus ida-kitsehernega.

Reoveesette mõju sõltus kasvuperioodi ilmast. Kuival kasvuperioodil oli see väike. Taimiku pinnale laotatud reoveesette tükkid kuivasid kiiresti, mistõttu toimus nende lagunemine aeglaselt. Suurima efekti väetisena andis reoveesete vihmase kasvuperioodiga aastal. Ilmselt ei lasknud vihm reoveesette tükkidel kuivada, aitas kaasa nende kiiremale lagunemisele (murendas) ning pesi mineraliseerunud toitained mulda, kust said taimed neid omastada.

Tabel 14. Biomassi saagid mõjutatuna N allikast

Kõrreline	Saak (t KA ha ⁻¹) ¹			
	Mineraalväetis N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	Reoveesete N ₆₀	Mineraalväetis + ida- kitsehernes N ₀ P ₃₀ K ₆₀	Kõrreline + ida- kitsehernes N ₀ K ₀ P ₀
Päideroog	7,4 ± 0,26	8,3 ± 0,31	5,3 ± 0,14	4,8 ± 0,16
Ohtetu luste	6,3 ± 0,31	6,0 ± 0,29	5,3 ± 0,16	4,7 ± 0,17
Kerahein	5,8 ± 0,19	5,4 ± 0,13	4,9 ± 0,17	4,0 ± 0,15

¹ Kuivaine saak + standardviga.

Meie katse tulemused näitasid, et reoveesete sobivus erinevate kõrreliste väetiseks on erinev. Kõige suurema efekti andis reoveesete päideroo puhul ja kõige väiksem oli mõju keraheinale. Üks võimalik selgitus sellele võib olla katses võrreldud heintaimede erinev arengu kiirus kevadel. Kerahein alustab kasvu kevadel teistega võrreldes varem ja kasvab kiiremini. Seetõttu ei jõudnud aprillikuu lõpus taimikule laotatud reoveesete selle saagile mõju avaldada. Teine võimalik põhjus võib peituda maapinnal olevates niiskustingimustes. Tihedama ja laiema lehega päideroo taimiku puhul võib oletada, et niiskust oli maapinnal seal rohkem, mistõttu reoveesete ei kuivanud seal nii ruttu kui ohtetu –luste ja keraheina taimiku pinnal.

Reoveesete puhul võis märgata ka katseaastatega kumuleeruvat mõju saagile. Efekt avaldus rohkem just viimastel aastatel. Ilmselt oli see tingitud orgaaniliste väetiste eripärast, kus toitained vabanevad mulda pikema perioodi kestel kui üks kasvuaasta. Antud tulemus on siiski tähelepanuväärne, sest reoveesete normi arvutamisel võeti arvesse, et N vabanemine toimub orgaanilisest ainest mitme aasta jooksul. Reoveesete puhul märgitakse sageli, selle suurt raskemetallide sisaldust. Meie tulemused seda ei kinnitanud. Võrreldes kontrolli ja mineraalväetist saanud variandi mullaga, ei olnud raskemetallide sisaldus viimasel katseaastal reoveesetega väetatud variandi mullas suurem (Lisa 4).

Meie tulemustest selgus, et ida-kitseherne võtmine kõrrelise kõrval segusse ei taga mineraalse lämmastikväetisega sarnast saaki. Üheks põhjuseks on siin ida-kitseherne väga aeglane areng külvi järel. Samas näitasid meie tulemused, et ka kahel viimasel aastal, kui ida-kitseherne osakaal taimikus oli juba tõusnud, oli kõrrelise ja ida-kitseherne väetamata taimiku saak väiksem, võrreldes sama taimiku väetist saanud variantide omaga. Ohtetu luste ja keraheina ida-kitsehernega segukülvide saagid olid võrreldes puhaskülviga suuremad üksnes neis variantides, kus kasutati N sisaldavat väetist. Kuigi usutav mõju saagile oli ka ainult P ja K väetisel, oli selle variandi saak samuti väiksem kui N sisaldavat väetist saanud variantide oma.

Järeldused:

- Reoveesete sobib hästi väetiseks päideroole. Vähem sobiv on see ohtetu lustele ja keraheinale.
- Reoveesetega väetamine ei suurenda mullas raskemetallide sisaldust
- Ida-kitseherne võtmine kõrrelise kõrvale taimikusse ei asenda lämmastikväetist

3.2.3. Saagi koristusaja mõju saagi suurusle

Uurimistöõ üheks oluliseks eesmärgiks oli selgitada, kas Eesti kliimas saab rakendada Soomes ja Rootsis kasutusel olevat energiaheina tootmise tehnoloogiat (ingl. k. delayed

harvest), mille eripäraks on, et saak koristatakse heintaimede kasvuaastale järgneval varakevadel.

Meie tulemused näitasid, et kõigi taimikute saak oli suurim kui niitmine tehti vegetatsiooniperioodi lõpus ja kõige väiksem varakevadel (tabel 15). Katse keskmine saagikadu oli talveperioodil 25%. Suurim oli see variantides kus väetisena kasutati

Tabel 15. Biomassi saak koristatuna varakevadel, suve alguses ja sügisel

Taimik	Väetusfoon	Saak, t KA ha ⁻¹		
		Aprill	Juuni lõpp/juuli algus	Oktoobri lõpp
Päideroog	N ₀ P ₀ K ₀	5,2±0,18	5,0±0,26	5,0±0,33
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	6,0±0,15	4,7±0,18	5,6±0,48
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	5,9±0,23	6,4±0,18	7,5±0,21
	Reoveesete	6,2±0,35	6,7±0,47	7,3±0,44
	Keskmine	5,8±0,14	5,7±0,26	6,4±0,33
Päideroog + ida-kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	4,2±0,18	4,2±0,15	4,1±0,28
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	4,8±0,15	5,1±0,25	4,9±0,40
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	5,0±0,24	6,5±0,17	7,4±0,33
	Reoveesete	4,9±0,28	5,9±0,36	6,4±0,5
	Keskmine	4,7±0,12	5,4±0,24	5,7±0,38
Ohtetu luste	N ₀ P ₀ K ₀	3,7±0,17	4,3±0,69	4,7±0,27
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	3,7±0,26	3,8±0,30	5,3±0,38
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	4,1±0,30	5,6±0,37	7,6±0,58
	Reoveesete	4,0±0,35	4,8±0,45	6,0±0,35
	Keskmine	3,9±0,13	4,6±0,28	5,9±0,33
Ohtetu luste + ida-kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	3,4±0,33	4,0±0,37	4,2±0,34
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	3,9±0,10	4,9±0,30	4,8±0,39
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	4,2±0,10	5,9±0,23	7,3±0,15
	Reoveesete	4,0±0,07	4,9±0,23	5,8±0,15
	Keskmine	3,9±0,11	4,9±0,22	5,5±0,33
Kerahein	N ₀ P ₀ K ₀	3,1±0,13	2,5±0,37	3,9±0,39
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	3,7±0,10	2,9±0,52	4,3±0,79
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	4,4±0,24	4,9±0,26	6,6±0,29
	Reoveesete	3,7±0,10	4,0±0,25	4,8±0,31
	Keskmine	3,7±0,14	3,6±0,29	4,7±0,37
Kerahein + ida-kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	2,5±0,05	3,0±0,17	4,0±0,35
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	3,2±0,13	3,9±0,14	4,6±0,14
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,8±0,14	5,2±0,12	7,2±0,17
	Reoveesete	3,4±0,10	4,4±0,15	5,7±0,18
	Keskmine	3,2±0,13	4,1±0,22	5,4±0,33
Ida-kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	2,2±0,08	2,2±0,13	2,7±0,20
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	2,5±0,16	3,0±0,24	2,8±0,21
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	2,8±0,10	3,4±0,25	3,5±0,18
	Reoveesete	2,7±0,28	3,3±0,20	3,8±0,10
	Keskmine	2,6±0,10	3,0±0,16	3,2±0,15

¹Standardviga

Tabel 16. Biomassi saagid koristatuna kolmel erineval ajal suvel (2011 ja 2012 keskmine)

Taimik	Väetusfoon	Saak, t KA ha ⁻¹		
		Juulikuu algus	Juuli lõpp/augustkuu algus	Augustikuu keskpaik
Päideroog	N ₀ P ₀ K ₀	2,4±0,21	5,1±0,30	6,3±0,24
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	4,3±0,17	5,2±0,25	6,7±0,19
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	6,4±0,18	9,7±0,18	9,9±0,29
	Reoveesete	7,8±0,23	10,0±0,37	10,1±0,18
	Keskmine	5,2±0,54	7,5±0,62	9,2±0,81
Päideroog + ida-kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	4,9±0,21	5,2±0,33	6,7±0,36
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	5,8±0,30	5,5±0,25	6,3±0,46
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	6,8±0,21	8,7±0,30	8,7±0,20
	Reoveesete	7,5±0,16	8,2±0,13	8,6±0,11
	Keskmine	6,3±0,27	6,9±0,42	7,6±0,32
Ohtetu luste	N ₀ P ₀ K ₀	4,6±0,52	3,7±0,45	5,4±0,32
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	4,4±0,10	4,1±0,21	6,3±0,34
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	6,1±0,15	7,1±0,52	8,3±0,42
	Reoveesete	5,8±0,44	7,9±0,46	8,9±0,53
	Keskmine	5,2±0,25	5,7±0,51	7,2±0,41
Ohtetu luste + ida- kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	5,4±0,35	5,9±0,34	6,2±0,42
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	6,8±0,32	6,6±0,20	5,7±0,37
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	7,0±0,12	8,0±0,39	8,3±0,40
	Reoveesete	6,7±0,25	8,5±0,27	8,2±0,26
	Keskmine	6,5±0,20	7,2±0,30	7,1±0,34
Kerahein	N ₀ P ₀ K ₀	4,8±0,51	3,1±0,48	5,3±0,77
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	4,5±0,38	3,4±0,64	4,9±0,74
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	6,3±0,31	6,1±0,39	7,3±0,23
	Reoveesete	7,4±0,21	6,5±0,36	8,2±0,50
	Keskmine	5,7±0,35	4,8±0,45	6,4±0,44
Kerahein + ida- kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	4,7±0,38	5,0±0,35	5,9±0,21
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	5,7±0,73	7,0±0,16	6,7±0,17
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	6,7±0,15	7,6±0,35	6,3±0,31
	Reoveesete	6,6±0,17	7,5±0,38	7,6±0,38
	Keskmine	6,0±0,29	6,8±0,31	6,6±0,20
Ida- kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	5,6±0,31	6,1±0,47	6,3±0,44
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	6,0±0,43	5,0±0,29	6,2±0,29
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	6,3±0,10	6,6±0,32	5,6±0,29
	Reoveesete	6,3±0,35	6,6±0,31	6,5±0,18
	Keskmine	6,0±0,16	6,1±0,23	6,1±0,17

¹Standardviga

mineraalväetist või reoveesetet. Väetamata variandi saak erines sügisel ja kevadel vähem. Võrreldud korrelistest oli suurim saagikadu ohtetul lustel (keskmiselt 34%).

Kõigil kolmel aastal oli kõigi taimikute saak kevadel tugevasti lamandunud. Eriti paistsid selles osas silma kerahein ja ohtetu luste, mille kõrred olid kevadel tihedalt vastu maapinda. Seetõttu ei oleks olnud ühegi tootmises kasutatava niidukiga nende niitmine võimalik. Et lapol olevat biomassi kätte saada, tuli ühte lappi niita MF-70 tüüpi väikeniidukiga mitu korda. Tänu sellele, olid ka saagikaod katses oluliselt väiksemad, kui need oleksid olnud siis, kui

niitmiseks oleks kasutatud suuremaid niidukeid. Saagikadu aitas vähendada ka käsitsi biomassi kokkuriisumine lappidelt.

Kõigil kolmel kevadel oli maapind biomassi saagi optimaalsel koristusajal (aprillikuu kolmas dekaad) mehhanismide kandmiseks liiga pehme. Seetõttu oli saagi koristamine siis võimalik ainult käsitsi. Koristusaja toomine varasemaks s.o. ajale kui maapind on veel külmunud, ei olnud võimalk, sest biomassi niiskusesisaldus oli siis ülemäära kõrge.

Meie tulemused näitasid, et saagi koristamiseks ei sobi ka hilissügis. Kõrge õhuniiskuse tõttu ei ole võimalik saaki sellel perioodil põllul kuivatada ja sarnaselt varakevadega on ka siis maapind mehhanismide kandmiseks liiga pehme. Saadud tulemustest me järeldasime, et Eesti kliimas on energiaheina saagi koristamine võimalik üksnes suvel. Seetõttu me muutsime pärast kolmandat aastat katse metoodikat ja tõime kõik saagi koristusajad suveperioodile, milleks oli juunikuu lõpp juulikuu algus, juulikuu lõpp augustikuu algus ja augustikuu keskpaik. Koristusaegade valikul me lähtusime teadmistest, et pärast augustikuu keskpaika võib biomassi kuivatamine muutuda põllul keeruliseks.

Kolme koristusaja võrdlus näitas, et hilisema saagi koristuse korral on saadav saak suurem (tabel 16). Juulikuu alguses koristades oli katse keskmine saak oli 5,8 t KA ha⁻¹, juulikuu lõpus/augustikuu alguses 6,4 t KA ha⁻¹ ja augustikuu keskel 7,2 t KA ha⁻¹. Võrreldud taimikute osas olid tulemused veidi erinevad. Augustikuu keskpaigas saadi suurim saak kõrreliste puhaskülvi taimikutelt. Kõrrelise ja ida-kitseherne taimiku saak pärast augustikuu algust enam oluliselt ei suurenenud. Niiteaja mõju kolme kõrreliste saagile oli ligilähedane.

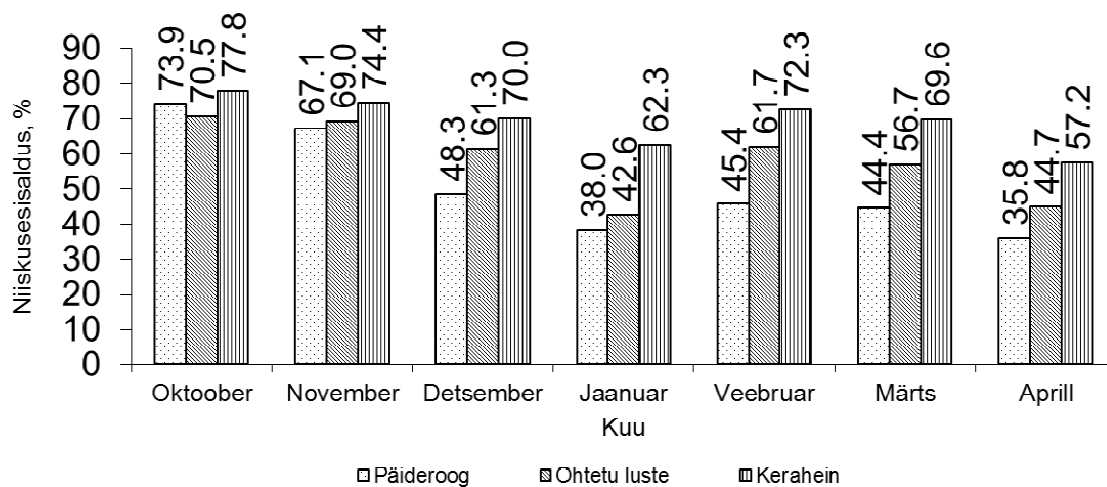
Järeldused:

- Soomes ja Rootsis kasutatav varakevadine saagikoristamine (ingl.k. delayed harvest) Eesti tingimustes kasutamiseks ei sobi
- Eestis on biomassi saagi koristamine energiaheinaks võimalik ainult suvel
- Kõrreliste puhaskülvi biomassi saaki on sobivaim aeg korista augustikuu keskpaigas. Kõrrelise ja ida-kitseherne saagi koristamiseks on optimaalne aeg augustikuu alguses.

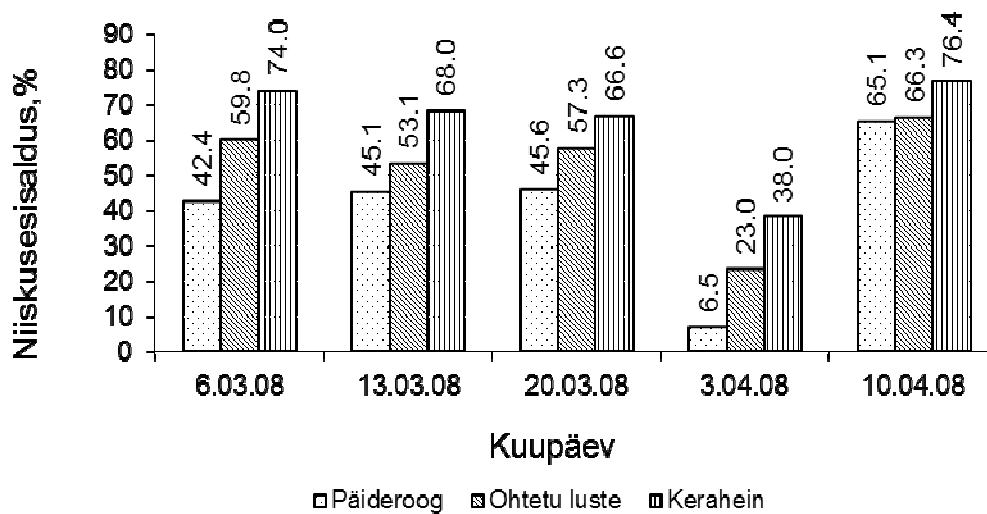
3.2.4. Biomassi niiskusesisalduse muutumine põllul sügistalvisel perioodil

Uurimistöö üheks eesmärgiks oli selgitada niiskusesisalduse muutumist biomassis, et saada teada, kas hilissügisel ja talvel esineb perioode, kui on võimalik koristada põllult saaki ilma täiendava kuivatamiseta. Uurimistöö viidi läbi 2007/2008. aasta sügistalvel ja 2009 aasta aprillis. Mõlemad katseaastad näitasid, et niiskusesisaldus hakkas heintaimede maapealses biomassis vähenema alles aprillis (joonis 11 ja 12). Kuivamise kiirus oli liigiti erinev. 2008. aasta aprillis langes niiskusesisaldus alla 14% üksnes päideroo biomassis (joonis 11). Ohtu lustel ja keraheinal püsis see lubatust kõrgemal kuni saagi koristamiseni aprillikuu kolmandal dekaadil. Sama tulemus oli ka 2009 aprillis, kui päideroo biomass kuivas samuti kõige kiiremini (Joonis 13). Ohtetu luste ja keraheina biomassis langes niiskusesisaldus alla 14% vastavalt 1 ja 2 nädalat päideroost hiljem.

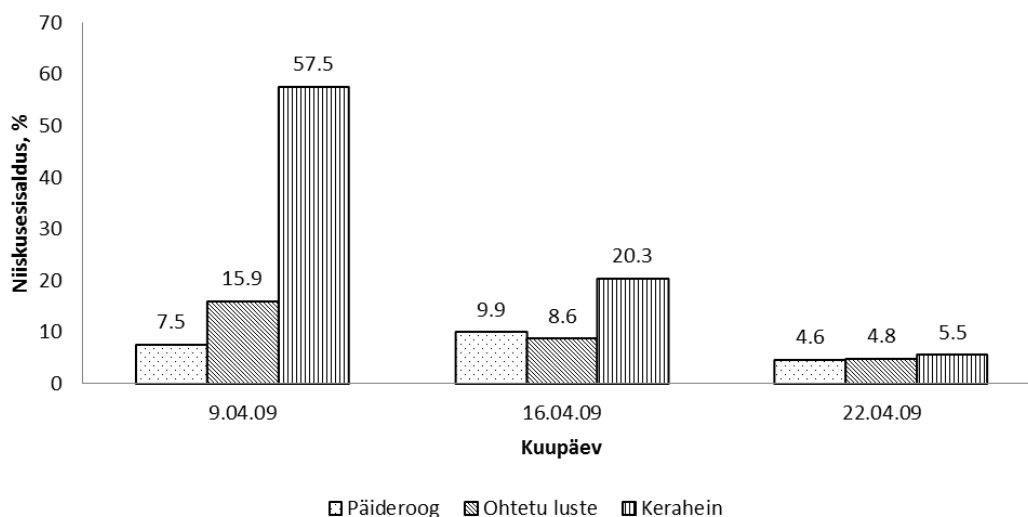
Üheks oluliseks faktoriks, mis mõjutas kevadel biomassi kuivamist, oli taimiku lamandumine. Ohtetu luste ja keraheina taimik olid rohkem lamandunud kui päideroo oma, mis võis olla peamiseks põhjuseks, miks nende biomass kuivas kevadel aeglasemalt.



Joonis 11. Heintaimede maapealse biomassi niiskusesisaldus ajavahemiku 2007. aasta oktoober - 2008 aasta aprill



Joonis 12. Heintaimede maapealse biomassi niiskusesisaldus 2008. aasta märtsis ja aprilli alguses



Joonis 13. Heintaimede maapealse biomassi niiskusesisaldus 2009. aasta aprillis

Meie tulemused näitasid ka seda, et biomassi niiskusesisaldus muutub kevadel väga kiiresti. Kui 2008 aasta märtsi viimasel nädalal oli päideroo biomassis niiskust 45%, siis kaks nädalat hiljem oli see langenud juba alla 10%. Tegelik kuivamine toimus veelgi kiiremini, sest aprilli alguses tehtud mõõtmisele eelnes ainult kolm vihmavaba päeva. Keskmise õhutemperatuur oli neil kolmel päeval 6.8 °C ja suhteline õhuniiskus 63%.

Järeldused:

- Eesti kliimas biomass ei kuiva sügistalvisel perioodil sellisel määral, et seda oleks võimalik ilma täiendava kuivatamiseta koristada.
- Koristamiseks sobiva niiskusesisalduse saavutab biomass alles aprilli teises pooles, kui maapind on koristustehnika kandmiseks liiga pehme. Erandiks on päideroog, mille koristamine võib soodsa ilmastiku korral olla võimalik ka aprilli alguses.

3.2.5. Biomassi kaaliumi- ja tuhasisalduse vähendamise võimalustest

Energiaheina kvaliteedi puhul on olulisteks näitajateks selle tuha- ja kaaliumisisaldus.

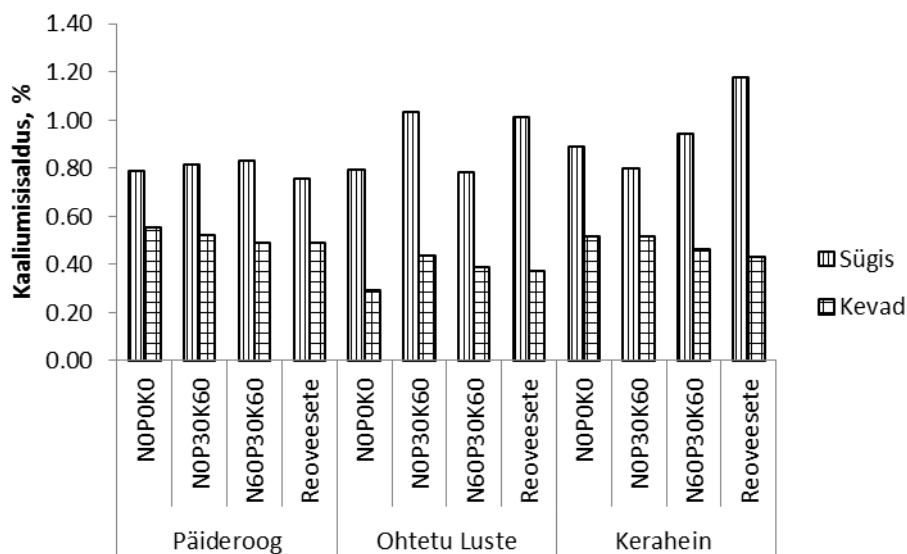
Käesoleva projekti raames uuriti kaaliumisisalduse dünaamikat heintaimede maapealses biomassis talvisel perioodil ja vegetatsiooniperioodil.

Talvised mõõtmised toimusid 2007/2008 ja 2008/2009 aasta talvel (tabel 17). Tulemused näitasid, et talve jooksul vähenes kaaliumisisaldus kõigis taimeosades märgatavalt. Suuremad muutused toimusid oktoobris ja novembris ning jaanuaris ja veebruaris. Pärast seda biomassi kaaliumisisaldus stabiliseerus.

2008/2009 aasta sügistalvisel perioodil määrati kaaliumisisaldust maapealses biomassis tervikuna (joonis 14). Tulemused näitasid, et kaaliumisisaldus muutub biomassis kõrrelisel heintaimel erinevalt. Kõige rohkem vähenes see ohtetu luste biomassis, kus kevadel oli

Tabel 17. Kaaliumisisaldus päideroo lehtedes ja kõrtes

Taimeosa	Mõõtmise kõrgus kõrrel, cm	Kaaliumisisaldus, %		Kaaliumisisalduse muutus oktoobrist-aprillini
		Oktoober	Aprill	
Leht	0...10	2,07	0,49	1,58
Leht	10...20	2,53	0,46	2,07
Kõrs	0...10	1,43	0,28	1,15
Kõrs	10...20	2,33	0,44	1,89



Joonis 14. Biomassi kaaliumisisaldus katses võrreldud väetusfoonidel 2008 novembris ja 2009 aprillis

kaaliumisisaldus sügisega võrreldes 0,53% võrra väiksem. Talle järgnes kerahein (0,47%). Kõige väiksem oli muutus päideroo biomassis, kus sügisega võrreldes vähenes see ainult 0,28%. Väetamine K sisalduse dünaamikat ei mõjutanud.

Kuna meie uurimistöös esimese kolme aasta tulemused näitasid, et varakevadine saagi koristamine ennast Eesti kliimas ei õigusta siis uurisime kahel viimasel aastal, millised võimalused on vähendada kaaliumisisaldust biomassis kasvuperioodil. Kaaliumi kõrval olid siis vaatluse all veel ka lämmastiku- ja naatriumisisaldus. Katsefaktoriteks, mille mõju me eelpool nimetatud elementide sisaldusele biomassis uurisime, olid niiteaeg ja perioodi pikkus, mille kestel oli biomass pärast niitmist kasvukohal.

Ilmastiku tingimused katse toimumise ajal on esitatud tabelis 18.

Tabel 18. Ilmastiku tingimused kolmel niitemisjärgsel perioodil 2012 aasta suvel

Niiteaeg	Sademete summa (mm)		Keskmise õhutemperatuur (°C)	
	1...7 päeva pärast niitmist	8...14 päeva pärast niitmist	1...7 päeva pärast niitmist	8...14 päeva pärast niitmist
4. juuli	0.1	61.8	19.8	15.3
2. august	4.2	15.4	18.1	13.4
14. august	21.6	28.0	15.7	13.9

Meie tulemused näitasid, et biomassi kaaliumisisaldus sõltus niitmise ajast ja see oli kõige väiksem, kui niitmine viidi läbi augustikuu keskpaigas (tabel 19). Niiteaja mõju biomassis lämmastikusisaldusele oli kaaliumiga võrreldes väiksem ja naatriumisisaldus oli biomassis sarnane kõigil niitmiskordadel. Võrreldud kõrrelistest mõjutas niiteaeg kõige rohkem kaaliumisisaldust päideroo ja ohtetu-luste biomassis. Keraheina biomassis oli see sarnane kõigil niitmiskordadel. Võrreldes päideroo ja ohtetu-lustega oli kaaliumisisaldus kõigil

niitmiskordadel kõrgem veel ka ida-kitseherne biomassis, kuid erinevalt keraheinast, see vähenes niiteaja viimisel hilisemaks.

Biomassi lämmastikuisaldus oli kõigil kolmel kõrrelisel sarnane. Kõrrelistega võrreldes oli lämmastikuisaldus märgatavalt kõrgem ida-kitseherne biomassis. Kõige rohkem vähenes biomassi lämmastikuisaldus juulikuu algusest kuni augusti alguseni. Augustikuu keskpaigas niidetud biomassis oli see võrreldes augustikuu alguses niidetud biomassiga sarnane või isegi kõrgem. Kõrgemat biomassi lämmastikuisaldust võisid põhjustada suve teises pooles kasvama hakanud kõrreliste vegetatiivvõrsed.

Pärast niitmist 7.-14. päevaks põllule jäetud biomassis vähenes kaaliumisisaldus oluliselt

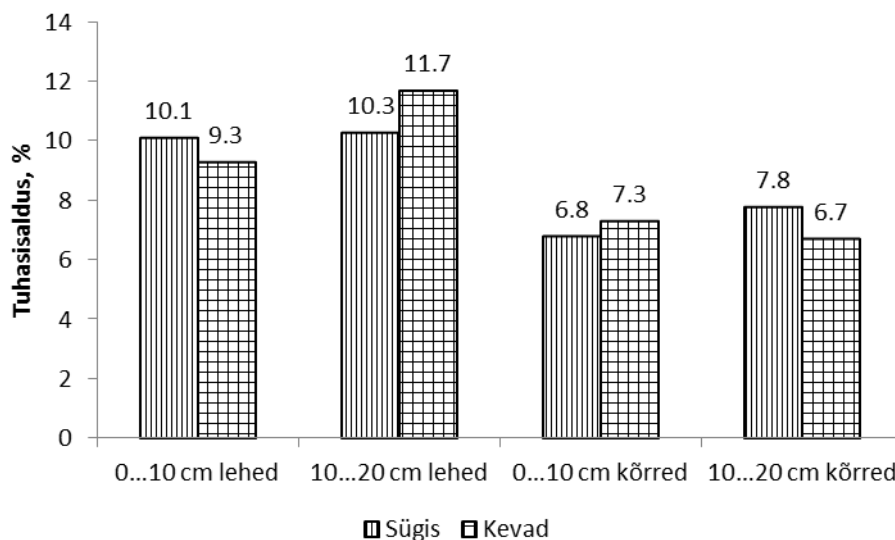
Tabel 19. Niitmisaaja ja põllul niitmisejärgse perioodi pikkuse mõju biomassi K, Na ja N sisaldusele

Taimik	Mõõtmise aeg	Niitmisaeg								
		4. juuli			2. august			14. august		
		K, %	Na, %	N, %	K, %	Na, %	N, %	K, %	Na, %	N, %
Päideroog	Niitmise ajal	1,7	0,02	1,3	1,18	0,034	0,64	1,11	0,02	1,0
	7 päeva	1,5	0,02	1,1	1,03	0,030	0,81	0,67	0,02	0,5
	14 päeva	0,7	0,02	0,9	0,84	0,030	0,75	0,44	0,02	0,4
Ohtetu luste	Niitmise ajal	1,6	0,02	0,7	1,00	0,029	0,63	1,15	0,02	0,6
	7 päeva	1,6	0,03	1,0	1,12	0,028	0,73	0,81	0,02	0,5
	14 päeva	0,9	0,02	0,8	0,68	0,029	0,51	0,69	0,02	0,7
Kerahein	Niitmise ajal	2,0	0,02	1,0	1,67	0,031	0,79	1,89	0,02	0,9
	7 päeva	1,7	0,03	0,8	1,31	0,031	0,54	1,31	0,02	0,8
	14 päeva	1,1	0,02	0,6	1,02	0,029	0,93	0,57	0,02	0,6
Ida-kitsehernes	Niitmise ajal	2,0	0,03	2,3	1,84	0,029	2,30	1,43	0,02	2,3
	7 päeva	1,9	0,03	2,1	1,68	0,029	2,35	0,89	0,02	1,9
	14 päeva	1,1	0,03	1,6	1,19	0,028	1,85	0,59	0,02	1,6
Päideroog + ida-kitsehernes	Niitmise ajal	1,9	0,03	1,7	1,62	0,029	1,95	1,32	0,02	1,0
	7 päeva	1,7	0,03	1,4	1,41	0,028	2,12	0,78	0,02	1,4
	14 päeva	1,0	0,03	1,3	1,19	0,027	1,56	0,50	0,02	1,1
Ohtetu luste + ida-kitsehernes	Niitmise ajal	1,6	0,02	0,7	1,82	0,029	2,03	1,01	0,02	1,2
	7 päeva	1,6	0,03	0,9	1,52	0,028	1,83	0,88	0,02	1,2
	14 päeva	0,9	0,02	0,8	1,22	0,029	1,96	0,57	0,02	0,9
Kerahein + Ida-kitsehernes	Niitmise ajal	2,0	0,03	0,9	1,67	0,028	1,09	1,95	0,02	1,3
	7 päeva	2,0	0,03	0,9	1,54	0,029	1,35	0,94	0,03	1,6
	14 päeva	1,1	0,02	0,9	1,28	0,028	1,79	0,70	0,03	1,4
Taimikute keskmine	Niitmise ajal	1,8	0,03	1,2	1,54	0,030	1,35	1,41	0,02	1,2
	7 päeva	1,3	0,03	1,2	1,37	0,029	1,39	0,90	0,02	1,1
	14 päeva	1,0	0,02	1,0	1,06	0,029	1,34	0,58	0,02	1,0

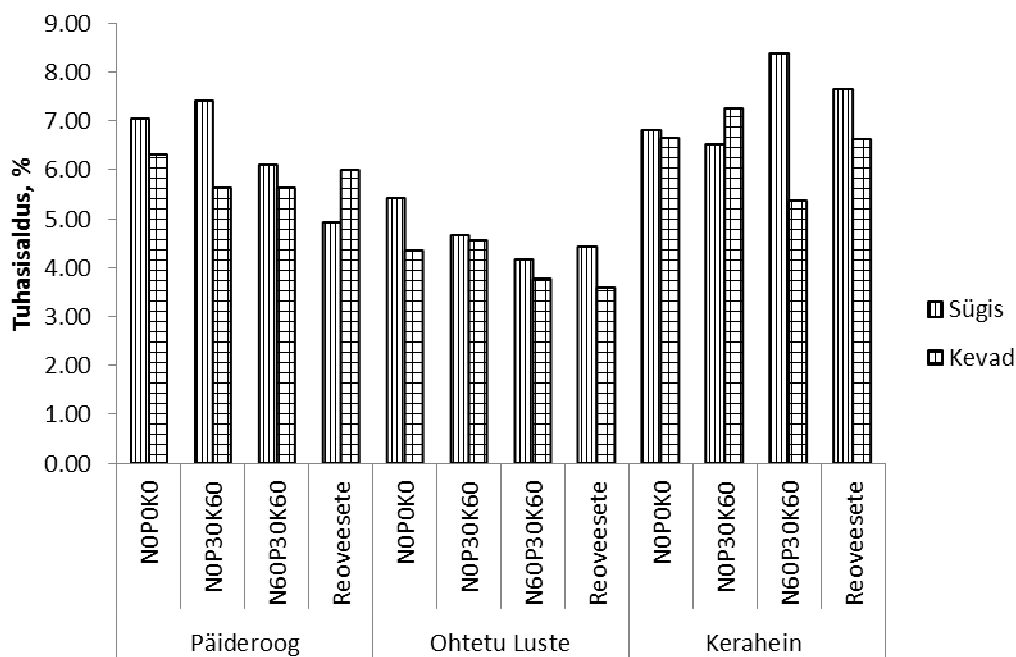
kõigil niitmiskordadel. Eriti suur kaaliumisisalduse muutus toimus augustikuu keskel niidetud biomassis, kus see vähenes 14 päevaga ligikaudu 2,5 korda. Lämmastikuisaldus muutus põllule jäetud biomassis kaaliumiga võrreldes vähem ja naatriumisisaldus seal ei muutunud. Biomassi kaaliumisisaldus vähenes niitmisejärgsel perioodil põllul kõigil katses olnud heintaimedel, samas kui lämmastikuisaldus muutus rohkem kõrrelistel. Ida-kitseherne biomassi lämmastikuisaldus põllul olles oluliselt ei vähenenud ja see oli veel ka 14 päeva pärast kõrrelistega võrreldes märgatavalt kõrgem.

3.2.6. Tuhasisalduse dünaamika sügistalvisel perioodil

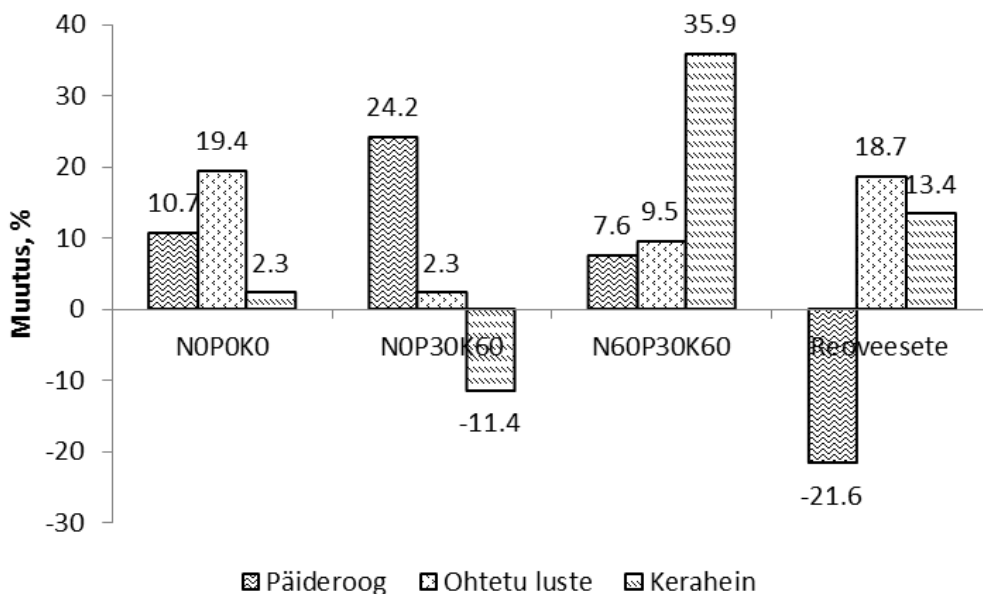
Tuhasisalduse muutust heinataimede maapealses biomassis uuriti 2007/2008 ja 2008/2009 sügistalvisel perioodil. Meie tulemused näitasid, et biomassi tuhasisaldus talve jooksul oluliselt ei vähene. 2008 aprillis oli maapinnast 10...20 cm kõrgusel asuvates lehtedes ja



Joonis 15. Tuhasisaldus päideroo lehtedes ja kõrtes 2007. aasta sügisel ja 2008. aasta kevadel.



Joonis 16. Kõrreliste biomassi tuhasisaldused 2008 sügisel ja 2009 aasta kevadel



Joonis 17. Tuhasisalduse muutus (%) heintaimede maapealses biomassis 2009 kevadel

0...10 cm kõrgusel asuvates kõrtes tuhasisaldus võrreldes oktoobriga isegi veidi suurenenud, kuid see muutus ei olnud statistiliselt oluline ($P < 0,05$).

2008 oktoobris oli biomassi keskmine tuhasisaldus 6,1% siis 2009 aasta aprillis oli see 5,5%. (joonis 15). See erinevus ei ole statistiliselt oluline. Kõige rohkem vähenes tuhasisaldus keraheina (vähenes 0,86% võrra) ja kõige vähem päideroos biomassis (0,49%). Võrreldud väetusfoonidest vähenes tuhasisaldus kõige rohkem N₆₀P₃₀K₆₀ foonil (1,28%) ja kõige vähem reoveesete foonil (0,26%) (joonis 17).

Järeldused:

- Varakevadel koristatava biomassi kaaliumisisaldus on sügisega võrreldes oluliselt väiksem
- Tuhasisaldus muutub heintaimede biomassis talve jooksul vähe
- Biomassi kaaliumisisaldust on võimalik vähendada heintaimede kasvuperioodil, kui kõrrelisi niita augustikuu keskel ja biomass jätta pärast seda 7-14 päevaks kasvukohale. Nii on võimalik toota ligikaudu sama madala kaaliumisisaldusega biomassi, kui nn. delayed harvest tehnoloogiat kasutades
- Niiteaja mõju biomassi lämmastiksisaldusele on kaaliumiga võrreldes väiksem. Samuti ei vähene see nii palju niitmisjärgsel perioodil põllul.
- Naatriumisisaldus on heintaimede biomassis väike. See ei sõltu heintaimede niitmise ajast ja vähene ka niitmisjärgsel perioodil põllul

3.2.7. Heintaimede kütteväärtus ja heintaimede arvel saadav energiasaak

Võrreldud heintaimede biomassi kütteväärtus ei erinenud. Keskmiselt vabanes 1 kg absoluutkuiva biomassi põlemisel 18,4 MJ¹ energiat, mis vastab 5,1kWh. Me määrasime biomassi kütteväärtust ka looduslikult kasvavatel suuremakasvulistel rohtsetel taimedel,

millest selgus, et see on sarnane katses uuritud heintaimede omale (Lisa 5). Sellest järeldub, et rohtsete kultuuride kasvatamisest saadav energia sõltub peamiselt kultuuri saagist.

Aruandes on toodud kahe viimase aasta saakide põhjal arvutatud brutoenergia saagid, mis näitavad kõige täpsemini seda energiakogust, mida on võimalik Eestis heintaimi kasvatades saada (tabel 20).

Tabel 20. Taimikute energiasaagid koristatuna kasvuaasta suvel (2011 ja 2012 keskmine)

Taimik	Väetusfoon	Energiat, MWh ha ⁻¹		
		Juulikuu algus	Juuli lõpp/augustkuu algus	Augustikuu keskpaik
Päideroog	N ₀ P ₀ K ₀	12,0±1,06	25,3±1,52	31,3±1,19
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	21,3±0,85	25,9±1,24	33,3±0,93
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	32,0±0,89	48,4±0,88	49,7±1,43
	Reoveesete	39,1±1,13	49,9±1,85	50,41±0,91
	Keskmine	26,1±2,7	37,4±3,11	46,1±4,06
Päideroog + ida-kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	24,5±1,05	26,2±1,65	33,7±1,81
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	29,2±1,48	27,7±1,26	31,3±2,32
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	33,9±1,06	43,6±1,50	43,6±0,98
	Reoveesete	37,5±0,79	40,9±0,67	43±0,53
	Keskmine	31,3±1,36	34,6±2,08	37,9±1,58
Ohtetu luste	N ₀ P ₀ K ₀	22,8±2,61	18,4±2,24	26,9±1,58
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	21,9±0,49	20,5±1,04	31,4±1,71
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	30,5±0,76	35,3±2,61	41,4±2,11
	Reoveesete	29,0±2,19	39,6±2,32	44,6±2,64
	Keskmine	26,0±1,25	28,4±2,55	36,1±2,07
Ohtetu luste + ida- kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	27,2±1,74	29,4±1,68	30,8±2,10
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	34,0±1,61	33,1±1,02	28,7±1,84
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	35,2±0,59	39,9±1,96	41,4±2,00
	Reoveesete	33,5±1,27	42,3±1,35	41,1±1,32
	Keskmine	32,5±1,01	36,2±1,50	35,5±1,71
Kerahein	N ₀ P ₀ K ₀	23,9±2,57	15,7±2,42	26,7±3,87
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	22,3±1,89	16,8±3,22	24,6±3,69
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	31,4±1,56	30,7±1,94	36,4±1,17
	Reoveesete	36,9±1,07	32,5±1,82	41,0±2,52
	Keskmine	28,6±1,73	23,9±2,27	32,2±2,21
Kerahein + ida-kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	23,5±1,89	24,9±1,76	29,5±1,05
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	28,7±3,67	35,2±0,82	33,4±0,85
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	33,7±0,73	38,2±1,76	31,7±1,53
	Reoveesete	33,2±0,85	37,7±1,92	37,9±1,92
	Keskmine	29,8±1,43	34,0±1,57	33,1±1,01
Ida- kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	28,0±1,53	30,6±2,37	32,3±2,18
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	29,8±2,17	24,9±1,47	30,8±1,47
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	31,6±0,52	33,0±1,61	27,9±1,45
	Reoveesete	31,6±1,77	33,2±1,56	32,6±0,92
	Keskmine	30,2±0,82	30,4±1,17	30,6±0,83

¹Standardviga

Meie uurimistööst selgus, et kõige rohkem saab energiat päideroogu kasvatades. Kui saak koristati augustikuu keskel, siis oli sõltuvalt väetamisest 1 ha saadav brutoenergia kogus 31-50 MWh ha⁻¹. Brutoenergiasaagi suuruse poolest järgnesid päideroole ohtetu luste (27-45 MWh ha⁻¹) ja kerahein (27-41 MWh ha⁻¹). Ida-kitseherne energiasaak oli kõrreliste omaga võrreldes väiksem (33 MWh ha⁻¹).

Järeldused:

- Rohtsete taimede kütteväärtus on sarnane. Ühe kilogrammi absoluutkuiva biomassi põlemisel vabaneb keskmiselt 18,4 MJ energiat, mis vastab 5,1 kWh.
- Brutoenergiasaagi alusel järjestuvad katses võrreldud heintaimed: päideroog > ohtetu luste > kerahein > ida – kitseherne

3.2.8. Energiaheina tootmise energeetiline efektiivsus

Teadusartiklitest võib põllutööde energiasisendite kohta leida väga mitmesuguseid andmeid, mis mõnel juhul võivad erineda oma suuruse poolest mitu korda. Käesolevas uurimistöös me kasutamise energeetiliste arvestuste tegemisel L. Kuke (2012) doktoritöös toodud energeetilisi sisendeid. Tööoperatsioonid, mille energiakulu arvutuste tegemisel arvesse võeti olid taimiku rajamisel kündmine, kultiveerimine, rullimine ja seemnete ning väetise külv. Saagiaastal kulus energiat väetise külvile, niitmisele ja saagi koristamisele. Lisaks nimetatule võeti arvesse ka seda energiat, mis kulub masinate, väetiste ja seemne tootmiseks. Taimiku rajamiseks kulunud kütuse- ja nn masinaenergia jagati 14-ga, mis oli antud arvestuste tegemisel taimiku kasutuskestus ja saadud tulemus liideti saagi aastal kulunud energiale. Sama tehti ka seemneenergiaga, millest 1/14 liideti saagiaasta energiasisendile. Sellest tulenevalt olid ühe saagiaasta energiasisendid järgmised: traktori ja agregaatide valmistamiseks kulunud energia (kaudne energiasisend) 76,9 kWh, kütuse energia 120 kWh (ei hõlma ruloonimist) ja seemneenergia 7,13 kWh. Ruloonimisel arvestati, et ühe 250 kg raskuse rulooni valmistamiseks kulub energiat 4,96 kWh. Neile lisandus veel mineraalväetise tootmiseks kulunud energia, mis on sõltuvalt elemendist järgmine: N 9,8 kWh kg⁻¹ (Kaltschmitt, Reinhardt, 1997), P 10,0 kWh kg⁻¹ (Edwards et al., 2006) ja K 3,1 kWh kg⁻¹ (Edwards et al., 2006). Väetise energia lisandus vastavalt väetise külvinormile. Reoveesette puhul arvestati, et tegemist on jäätmega, mistõttu võeti selle materjali puhul arvesse ainult seda energiat, mis kulub reoveesette transportimiseks veepuhastusjaamast põllule. Meie poolt tehtud arvestustes oli vahemaaks veepuhastusjaamast põllule 10 km, reoveesette normiks 8 tha⁻¹, koorma raskuseks 4 tonni ning veoki kütusekuluks 0,35 l km⁻¹ (3,4 kwh), mis on transporttööl keskmine kütuse kulu (Ahokas, 2012). Arvutuste tegemisel ei ole võetud arvesse seda energiat, mis kulub saagi transportimiseks põllult hoidlasse.

Heintaimede biomassist saadud netoenergia kogus oli katses vahemikus 30,1-40,4 MWh ha⁻¹ (Tabel 21). Kõige väiksem on see näitaja ida-kitsehernel ja suurem päiderool. Kõige efektiivsem oli energiakasutus päideroo kasvatamisel, kus 1 MWh biomassi tootmiseks kulunud energia kohta saadi keskmiselt tagasi 61,2 MWh. Kõige väiksem oli see näit keraheinal (52,1 MWhMWh⁻¹). Ohtetu luste puhul oli energiakasutus efektiivsus 55,7 MWhMWh⁻¹. Nii ohtetul lustel kui keraheinal oli energiakasutus veidi parem segus ida-kitsehernega. Ida-kitseherne kasvatamisel oli energiakasutus efektiivsus 52,5 MWhMWh⁻¹. Väetusvariantidest oli energiakasutuse efektiivsus kõige suurem väetamata variandis (keskmiselt 86,6 MWhMWh⁻¹). Seejuures päideroo ja ida-kitseherne taimiku puhul oli see isegi 92,6 MWhMWh⁻¹. Väga kõrge (75,5 MWhMWh⁻¹) oli energiakasutuse efektiivsus ka reoveesetega väetatud variandis. Seevastu mineraalväetist saanud variantides oli see näitaja oluliselt väiksem. 1MWh kohta saadi tagasi vastavalt 35,4 M WhMWh⁻¹ (N₀P₃₀K₆₀) ja 25,5 MWhMWh⁻¹(N₆₀P₃₀K₆₀) energiat.

Tabel 21. Energiaheina tootmise energeetilised näitajad

Taimik	Väetusfoon	Energiasisend, MWh ha ⁻¹ a ⁻¹	Brutoenergia ¹ , MWh ha ⁻¹ a ⁻¹	Netoenergia ¹ , MWh ha ⁻¹ a ⁻¹	Energiakasutus efektiivsus, MWh MWh ⁻¹
Päideroog	N ₀ P ₀ K ₀	0,35	31,5	31,15	89,0
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	0,85	33,3	32,45	38,2
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,51	49,7	48,19	31,9
	Reoveesete	0,58	50,4	49,82	85,89
Päideroog + ida-kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	0,36	33,7	33,34	92,6
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	0,84	31,3	30,46	36,26
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,48	43,6	42,12	28,46
	Reoveesete	0,55	43,5	42,95	78,0
Ohtetu luste	N ₀ P ₀ K ₀	0,33	26,9	26,57	80,52
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	0,84	31,4	30,56	36,38
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,47	41,4	39,93	27,16
	Reoveesete	0,56	44,6	44,04	78,64
Ohtetu luste + ida-kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	0,35	30,8	30,45	87,00
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	0,82	28,7	27,88	34,0
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,47	41,4	39,93	27,2
	Reoveesete	0,54	41,1	40,46	75,1
Kerahein	N ₀ P ₀ K ₀	0,33	26,7	26,37	79,9
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	0,81	24,6	23,79	29,4
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,45	36,4	34,95	24,1
	Reoveesete	0,54	41,0	40,46	74,9
Kerahein + ida-kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	0,34	29,5	29,16	85,8
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	0,85	33,4	32,55	38,3
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,43	31,7	30,27	21,2
	Reoveesete	0,52	37,9	37,38	71,9
Ida-kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	0,35	32,3	31,95	91,3
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	0,84	30,8	29,96	35,7
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,41	27,9	26,49	18,8
	Reoveesete	0,50	32,6	32,1	64,2

¹arvutatud 2011 ja 2012 aasta augustikuu keskmise saagi põhjal

Järeldused:

- Energeetiliselt on kõige tasuvam kõrrelistest päideroo kasvatamine.
- Kõige parem on energiakasutuse efektiivsus väetamata variandis. Energiaheina tootmisel mineraalväetise asendamine reoveesetega suurendab oluliselt energiakasutuse efektiivsust

3.2.9. Biomassi metaanipotentsiaal

Katse üheks eesmärgiks oli uurida, milliseks kujuneb energiasaak siis, kui heintaimi niita suve jooksul kaks kord. Esimese niite saaki kasutatakse sellisel juhul põletamiseks ja teist biogaasi tootmiseks. Selleks võeti 2010. aasta sügisel teise niite saagist rohuproovid, mis seejärel

sileeriti. 2011. aasta kevadel analüüsiti EMÜ Biogaasilaboris nende metaanipotentsiaali (kui palju eraldub neist metaani).

Tabel 22. Kõrreliste ja ida-kitseherne taimikute 2 niite kuivaine, metaani ja energia saagid 2011 aasta oktoobris

I niite aeg	Väetusfoon	Biomassi saak, t KA ha ⁻¹	Metaani saak, m ³ ha ⁻¹	Energia saak, MWh t ha ⁻¹
Päideroog				
05. 07. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	1,7±0,09	455±22,74	4,5±0,23
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	2,52±0,13	662,1±32,96	6,6±0,33
	Reoveesete	3,9±0,17	1024,2±44,73	10,2±0,45
26. 07. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	1,3±0,04	331,8±9,39	3,3±0,09
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,83±0,06	372,3±16,9	3,7±0,17
	Reoveesete	3,0±0,04	777,0±11,24	7,8±0,11
17. 08. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	1,0±0,03	258,1±7,74	2,6±0,08
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,83±0,04	218,2±10,8	2,2±0,11
	Reoveesete	1,4±0,26	368,0±68,58	3,7±0,69
Ohtetu luste				
05. 07. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	1,2±0,06	308±16,93	3,1±0,17
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,6±0,10	422,3±27	4,2±0,27
	Reoveesete	2,0±0,02	534,9±5,18	5,3±0,05
26. 07. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	1,3±0,05	350,6±13,31	3,5±0,13
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,3±0,5	342,0±13,5	3,4±0,14
	Reoveesete	2,4±0,09	641,3±22,93	6,4±0,23
17. 08. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	0,8±0,03	222,8±7,43	2,2±0,07
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,1±0,08	282,3±21,4	2,8±0,21
	Reoveesete	1,3±0,05	339,3±13,01	3,4±0,13
Kerahein				
05. 07. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	1,4±0,08	374,9±21,21	3,8±0,21
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	2,2±0,06	581,4±15,2	5,8±0,15
	Reoveesete	2,6±0,17	693,2±45,20	6,9±0,45
26. 07. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	1,3±0,09	335,0±23,12	3,35±0,23
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,6±0,19	429,0±49,23	4,3±0,49
	Reoveesete	2,0±0,19	533,6±51,13	5,3±0,51
17. 08. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	1,0±0,09	266±22,73	2,66±0,23
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,1±0,06	297,4±15,1	3,0±0,15
	Reoveesete	2,3±0,09	593,4±22,92	5,9±0,23
Ida - kitsheernes				
05. 07. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	3,4±0,28	882,5±73,5	8,8±0,73
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	4,45±0,13	1166,1±35,39	11,7±0,35
	Reoveesete	4,3±0,32	1123,8±84,9	11,2±0,85
26. 07. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	2,6±0,24	668,9±63,4	6,7±0,63
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,87±0,37	1014,32±97,9	10,1±0,98
	Reoveesete	3,6±0,54	944,0±140,47	9,4±1,4
17. 08. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	0,8±0,14	221,6±37,75	2,2±0,38
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,78±0,06	204,4±15,83	2,0±0,16
	Reoveesete	1,0±0,11	264,1±28,38	2,6±0,28

Metaani eraldus rohuproovidest 286-332 L kg⁻¹ OA₁. Võrreldud kõrrelistest oli metaani väljatulek veidi suurem keraheinal, kuid kõrreliste vaheline erinevus ei olnud statistiliselt oluline. Ida-kitseherne metaanipotentsiaal oli sarnane kõrreliste omale. Taimiku väetamisest metaani väljatulek ei sõltunud.

Metaani saak (m³ ha⁻¹) olenes peamiselt taimiku saagist ja oli 2010 aasta oktoobris teise niite saakide põhjal arvatuna vahemikus 273-1040 m³ ha⁻¹, mis energiaks ümberarvatuna on 2,7 -10,4 MWh ha⁻¹ (Tabel 22 ja 23). Kui kasutada esimese niite saak põletamiseks ja teise

Tabel 23. Kõrrelise ja ida-kitseherne segukülvi taimikute 2 niite kuivaine, metaani, ja energia saagid 2011 aasta oktoobris

I niite aeg	Väetusfoon	Biomassi saak, t KA ha ⁻¹	Metaani saak, m ³ ha ⁻¹	Energia saak, MWh t ha ⁻¹
Päideroog+ ida-kitsehernes				
05. 07. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	2,9±0,25	756,8±66,65	7,6±0,67±
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	4,1±0,25	1079,3±65,64	10,8±0,66
	Reoveesete	4,4±0,19	1152,6±49,92	11,5±0,50
26. 07. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	1,5±0,1	391,4±26,77	3,9±0,27
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,7±0,11	437,3±29,17	4,4±0,29
	Reoveesete	2,8±0,17	733,7±44,68	7,3±0,45
17. 08. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	0,8±0,06	219,6±15,4	2,2±0,15
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,91±0,03	239,0±8,08	2,4±0,08
	Reoveesete	1,8±0,05	479,5±13,5	4,8±0,14
Ohtetu luste + ida-kitsehernes				
05. 07. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	2,5±0,24	668,0±63,02	6,7±0,63
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,6±0,23	957,4±61,41	9,6±0,61
	Reoveesete	4,0±0,27	1061,8±71,68	10,6±0,72
26. 07. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	1,6±0,16	408,6±41,8	4,09±0,42
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,8±0,16	479,1±43,24	4,8±0,43
	Reoveesete	3,2±0,29	837,9±76,93	8,4±0,77
17. 08. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	1,0±0,08	260,3±20,73	2,6±0,21
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,0±0,04	270,6±10,7	2,7±0,11
	Reoveesete	1,2±0,07	308,4±19,39	3,1±0,19
Kerahein+ ida - kitsehernes				
05. 07. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	2,3±0,21	592,8±55,59	5,9±0,56
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	2,4±0,07	624,7±17,67	6,3±0,18
	Reoveesete	3,8±0,16	1001,5±41,50	10,0±0,41
26. 07. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	1,7±0,19	433,8±49,43	4,3±0,49
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	2,6±0,37	679,7±97,86	6,8±0,98
	Reoveesete	3,2±0,31	843,2±82,21	8,4±0,82
17. 08. 2011	N ₀ P ₀ K ₀	1,0±0,05	254,3±13,9	2,54±0,14
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,3±0,07	352,6±19,5	3,5±0,19
	Reoveesete	1,5±0,12	398,7±30,67	4,0±0,31

niite saak biogaasi tootmiseks, siis 2011 ja 2012 aasta keskmise esimese niite ja 2011 teise niite (ädala) saagi põhjal arvatuna oli saadav brutoenergiasaak suurim (38,8 MWh ha⁻¹) juhul, kui esimene niite tehti augustikuu keskpaigas. Esimese ja teise niite energiasaagid olid siis vastavalt 35,9 ja 2,9 MWh ha⁻¹. Kui esimene niite tehti juulikuu alguses, oli brutoenergiasaak 36,8 MWh (29,2 ja 7,9 MWh) ja kui saak koristati juulikuu lõpus, siis 37,7

MWh (32,1 ja 5,6 MWh). Saadud tulemustest järeldub, et mida hiljem teha esimene niide, seda rohkem on võimalik biomassist energiat saada. Varase esimese niite korral on teise niite saak küll suurem, kuid sellest saadav energia ei kompenseeri seda energiat, mis jääb saamata esimesest niitest.

Järeldused:

- Taimiku liigiline koosseis ja väetamine ei mõjuta oluliselt teise niite saagi metaanipotentsiaali. Teise niite saagist saadav metaani kogus sõltub seetõttu peamiselt biomassi saagi suurusest.
- Rohumaa kaheniiteline kasutamine bioenergia tootmisel ennast ei õigusta, sest teise niite saagist saadav energia on väiksem võrreldes sellega, mis saadakse esimesest niitest.

3.3.0. Energiaheina tootmise majanduslik analüüs

Energiaheina tootmise majanduslik analüüs päideroo põhjal tehti Epp Espenbergi poolt tema 2011 aastal kaitstud magistritöö raames. Analüüsi tegemist juhendas EMÜ Majandus ja sotsiaalinstituudi lektor Liis Oper.

Kuluanalüüsi tegemisel kasutati järgmiste väetusfoonide saake: $N_0P_0K_0$, $N_{60}P_{30}K_{60}$ ja reoveesete. Arvesse võeti ainult suvel juuni lõpus koristatud saak.

Kõigi sisendite (seeme, väetised, taimekaitsevahendid) hinnad võeti müügifirmade 2010. aasta hinnakirjadest (ilma käibemaksuta). Päideroo katses anti kõik toiteelemendid eraldi väetistega, milleks kasutati ammooniumnitraati (N), superfosfaati (P) ja KCl (K). Kuna P ja K väetist eraldi ei müüda ja nende hind ei ole teada, siis tehti arvutused kompleksväetise YaraMila 18-8-16 põhjal. Arvutuste tegemisel oli aluseks väetise kogus (333 kg), mis vastab 60 kg N ha^{-1} . Fosfori ja K kogus tuli siit vastavalt 11 ja 44 kg, mida on katses kasutatuga võrreldes veidi vähem. Ühe tonni kompleksväetise maksumus oli 338,22 EUR ja kuna see sisaldas 348 kg põhitoiteelemente, nii kujunes ühe toiteelemendi hinnaks $0,97 \text{ EUR kg}^{-1}$.

Reoveesette antav kogus sõltus reoveesette ammooniumlämmastiku sisaldusest. 2008. ja 2009. aastal oli kasutatud reoveesette normid vastavalt 9 t ha^{-1} ja 5 t ha^{-1} . Arvutuste tegemisel võeti aluseks kahe aasta aritmeetiline keskmine. Komposteeritud reoveesette veo hind kuni 5 km kaugusele (koorem 4 t) on 3,71 EUR, veokaugusel üle 5 km lisandub iga täiendava kilomeetri kohta 0,64 EUR.

Biomassi pakendamise puhul arvestati, et see toimub võrguga, mille kulu sõltub hektarilt koristatava biomassi kogusest ja pallide suurusest. Võrgu rulli (3600 m) maksumus on 180,36 EUR, millest saab keskmiselt 300 rulli. Arvestades rulli keskmiseks kaaluks 250 kg, siis ühest võrgurullist piisab 75 t heintaimede biomassi pakkimiseks ja võrgu kuluks võib arvestada $2,4 \text{ EUR t}^{-1}$. Rohumaa kasutuskestuseks võeti arvestuste tegemisel 14 aastat, mis on varasemate katsete põhjal päideroo taimiku keskmine kasutusaeg.

Masintööde kulude arvestamisel võeti kõigi jõu- ja töömasinate hinnaks lääne päritolu uute masinate hinnad. Ka on võetud arvesse masina tööressurssi ja aastast töömahtu ettevõttes ja masina kasutusega aastates. Diislikütuse hinnaks võeti $0,61 \text{ EUR l}^{-1}$. Töötasuks masinatöödel on arvestatud $3,83 \text{ EUR h}^{-1}$ koos maksudega. Arvutuste tegemisel lähtuti olukorrast, kus kõik tööd tehakse palgatöölise poolt. Masinatööde kulud sisaldavad 7% tootmise üldkulusid. Kuludesse ei ole arvestatud riski, kasumit ja käibemaksu. Arvestuste aluseks on võetud masinate keskmine tunnitootlikkus 5 ha suurustel põllutükkidel väikese kivisusega pinnasel.

Kuna päiderool turuhind puudub, siis päideroo kasvatamisel energiaheinaks arvestati toodangu koguväärtuse kalkuleerimisel põhu turuhinnaga 2010. aastal, mis ettevõtete (JK Otsa talu, OÜ Lihula Soojus) küsitluste andmetel jäi vahemikku 42,18...54,32 EUR t^{-1} , mille põhjal arvutati aritmeetiline keskmine.

Päideroo kasvatamise kulude hulka arvestati:

(1) kulutused rajamisele, sh mullaharimine, külvamine, väetamine;

(2) kulutused hooldamisele (väetamine) jmt;

(3) kulutused koristamisele, sh niitmine, pallimine, jmt;

(4) kulutused viljeluse lõpetamisele, sh taimiku hävitamine, mullaharimine jmt.

Päideroo toodangu väärtus reoveesete foonilt oli 410,04 EUR ha⁻¹, NPK väetisega variandis 395,87 EUR ha⁻¹ ja väetamata foonilt 328,73 EUR ha⁻¹.

Materjali kulu päideroo kasvatamisele juhul, kui ei kasutata väetisi ja ka siis kui väetisena kasutatakse reoveesetet on vastavalt 24,15 EUR ha⁻¹ ja 45,96 EUR ha⁻¹. Päideroo NPK variandis on materjali kulu 139,30 EUR ha⁻¹.

Kattetulu 1. taseme arvutamisel arvestati kulutusi seemnele, väetistele, taimekaitsevahenditele jm materjalidele (tabel 24). Tööoperatsioonidega kaasnevaid kulusid siin arvesse ei võetud. Meie tulemuste põhjal on päideroo kattetulu 1. tase kõige suurem reoveesete foonil 364,08 EUR ha⁻¹ ja väikseim mineraalse väetisega väetatud variandis (N₆₀P₃₀K₆₀).

Tabel 24. Päideroo biomassi tootmise kattetulu 2010. aasta hinnatasemetel, EUR ha⁻¹

	Päideroog (N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀)	Päideroog (N ₀ P ₀ K ₀)	Päideroog (reoveesete)
Toodangu väärtus	395,87	328,73	410,04
Keskmsed muutuvkulud	139,30	24,15	45,96
KATTETULU 1. tase	256,57	304,58	364,08
Keskmsed masintööde kulud	128,32	119,62	124,99
KATTETULU 2. tase	128,25	184,96	239,08

Tabel 25. Päideroo biomassi tootmise omahind 2010. aasta hinnatasemetel

Kultuur	Tootmise omahind
Päideroog (N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀), EUR KA t ⁻¹	40,74
Päideroog (N ₀ P ₀ K ₀), EUR KA t ⁻¹	33,92
Päideroog (reoveesete), EUR KA t ⁻¹	24,91

Kattetulu 2. taseme arvutamisel arvestati toodangu väärtusest maha lisaks kattetulu 1. tasemel toodud kuludele ka konkreetsete tööoperatsioonidega kaasnevad masintööde kulud. Kattetulu 2. tase on kõrgeim taaskord päideroo reoveesete foonil

Tootmisomahinna arvutamisel võeti arvesse keskmised muutuv- ja masintööde kulud ning keskmine saagi suurus (tabel 25).

Päideroo erinevatest variantidest ilmnes, et kõige vähem kulutusi nõuab reoveesete foonil kasvatatav taimik. Sellisel juhul kujunes päideroo tootmisomahinnaks 24,91 EUR KA t⁻¹ ja osutus ühtlasi kõige kasumlikumaks. Kõige kallimaks kujunes saagi omahind põllul mineraalväetise kasutamisel.

Võttes aluseks 2010 aasta keskmise turuhinna 48,25 EUR KA t⁻¹ oleks põllul hinnatuna päideroost energiaheina tootmisest saadav tulus sõltuvalt kasutatud agrotehnikast 7,51-23,34 EUR KA t⁻¹

Lisaks otseselt kasvatamisega seotud kulutustele arvestatakse kulude hulka ka kulutused biomassi transpordile põllult hoiu- või laoruumi või lõpptarbijale, kulutused biomassi ladustamisele, hoiustamisele ning kulutused energiaheina töötlemisele. Kulud 1 tonni kuivaine massi transportimisel arvestatakse 1 kilomeetri kohta. Transpordikulud on lineaarses seoses kaugusega, st keskmised veokulud suurenevad 0,105 EUR t⁻¹ distantisi suurenemisel 1 kilomeetri võrra (Kukk *et al.*, 2010).

4. Kokkuvõte ja järeldused

KATSE 1

- Kirjanduse andmetel on võimalik saada juba väikeste lämmastikväetise normide (60 kg/ha) puhul suuri maapealse biomassi saake. Katsest lähtuvalt võib väita, et kanepi briketiks tootmise puhul on lämmastikväetise norm 100 kg N/ ha Eesti väheviljakatel muldadel ebapiisav kogus;
- Läga lämmastikväetisena ei taga vajaliku suurusega maapealset biomassi ei kanepi ega päevalille puhul;
- Majanduslikult tasuv on briketiks tootmine, kui maapealse biomassi suurus kuivaines on vähemalt 10 t/ha;
- Reoveesete energiataimede väetisena tagab kontrollitud tingimustes (raskmetallide sisaldus settes) vajaliku maapealse biomassi suuruse;
- Reoveesete järelmõjul oli odra terasaak antud variantidest suurim, kusjuures odra terade raskmetallide sisaldus 2009–2011 aastatel ei ületanud lubatud piirnormati. Samas peab märkima, et Zn sisaldus odra terades lähenes lubatud piirnormati lähedale (oli 49 ppm, lubatud on 50 ppm);
- Reoveesete kasutamisel tuleb eelnevalt raskmetallide sisaldus määrata ja jälgida igal erineval juhtumil konkreetse reoveesete raskmetallide kogust;
- Kuna raskmetallid mullas aja jooksul akumulereuvad, siis lõplike järelduste tegemiseks oleks vaja pikema-ajalisi katseid.

KATSE 2

- Kolmest võrreldud kõrrelisest omab suurimat potentsiaali biomassi tootmisel päideroog. Ohtetu luste ja keraheina saagikus on sellega võrreldes väiksem. Ida-kitseherne kasvatamine energiatootmise eesmärgil ennast ei õigusta. Aeglase algarengu tõttu on selle saagikus esimesel kolmel aastal väike. Samal põhjusel ei sobi ida - kitsehernes kasvatamiseks segus kõrrelisega. Meie poolt uurimistöo alguses püstitatud hüpotees, et ida-kitsehernega kasvatamisega on võimalik loobuda lämmastikväetist ei leidnud katse kinnitust. Edaspidi oleks vaja uurida seemneseid, kus ida-kitseherne kõrval on veel mõni liblikõieline, mis oleks konkurentsivõimeline kohe külvi järel ja täidaks esimesel kolmel aastal taimikus ida-kitseherne kohta.
- Reoveesete sobib kasutamiseks väetisena biomassi tootmisel. Kõige suurema efekti annab see päideroo puhul, kus reoveesetega väetatud variandi saak oli võrdne või isegi suurem võrreldes mineraalväetist saanud variandiga. Ohtetu luste ja keraheina puhul oli reoveesete efektiivsus väiksem ja nende saak on suurem mineraalväetisega väetades. Reoveesete annab suurima efekti niiskema kasvuperioodiga aastatel. Kuivamatel aastatel on selle mõju saagile väiksem. Reoveesetega väetamine ei suurendanud meie katse raskmetallide sisaldust mullas.
- Eestis on võimalik koristada biomassi saaki ainult suvel. Koristusaja valikul tuleks lähtuda biomassi saagist ja võimalusest seda põllul kuivatada. Meie katse tulemuste põhjal on optimaalne saagikoristusaeg ajavahemikus augustikuu algus – augustikuu keskpaik. Varasema saagikoristuse korral on saak väiksem ja hiljem koristades võib olla probleemiks saagi kuivatamine põllul. Eelistada tuleb üheniitelist saagikoristamist kaheniitelisele, sest ädalast saadav energia on väiksem võrreldes biomassi põletamisel saadava energiaga. Augustikuu keskel tehtava saagikoristuse puhul on positiivne, et biomassi kaaliumisisaldus on siis väiksem kui heina traditsioonilisel koristamise ajal juulis. Kaaliumisisaldust on biomassis võimalik veelgi vähendada, kui jätta saak pärast niitmist 7 päevaks kasvukohale. Nii on

võimalik suvel koristada ligilähedaselt sama madala K sisaldusega biomassi, kui see on üle talve põllul olnud biomassis.

- Kõige suurema netoenergiaaagi (hinnatuna põllul) annab päideroo kasvatamine 31-50,0 MWh. Samuti on selle liigi kasvatamisel energiakasutus efektiivsus kõige suurem 61,2 MWhMWh⁻¹.

Kõige efektiivsem on biomassi tootmine siis, kui väetisi ei kasutata (86,6 MWh MWh⁻¹). Väga kõrge oli energiakasutus efektiivsus ka juhul, kui kasutada väetisena ainult reoveeset (75,5 MWh MWh⁻¹). Mineraalväetiste kasutamisel alaneb energiakasutuse efektiivsus oluliselt.

- Võttes aluseks 2010 aasta keskmise turuhinna 48,25 EUR KA t⁻¹, oleks põllul hinnatuna päideroost energiaheina tootmisest saadav tulu sõltuvalt kasutatud agrotehnikast 7,51-23,34 EUR KA t⁻¹.

Lisa 1. Mitmeaastaste heintaimede katse skeem

Katse skeem

1 niide kevadel	2 niidet (suvel ja sügisel)	1 niide sügisel	1 niide kevadel	2 niidet (suvel ja sügisel)	1 niide sügisel
Tühi ala	Tühi ala	Tühi ala	Ida - kitsehernes	Ida - kitsehernes	Ida - kitsehernes
Päideroog	Päideroog	Päideroog	Päideroog+ ida - kitsehernes	Päideroog+ ida - kitsehernes	Päideroog+ ida - kitsehernes
Ohtetu luste	Ohtetu luste	Ohtetu luste	Ohtetu luste+ ida - kitsehernes	Ohtetu luste+ ida - kitsehernes	Ohtetu luste+ ida - kitsehernes
Kerahein	Kerahein	Kerahein	Kerahein + ida - kitsehernes	Kerahein+ ida - kitsehernes	Kerahein+ ida - kitsehernes

Lisa 2. Taimikute biomassi saak esimesel kolmel katseaastal

Taimik	Väetamine	2008				2009				2010			
		aprill	juuli	november	2 niidet ¹	aprill	juuli	november	2 niite	aprill	juuli	28.10	2 niidet
Päideroog	N ₀ P ₀ K ₀	3,6	4,2	5,1	6,5	7,4	7,0	5,4	8,2	4,7	3,7	4,4	5,3
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	5,4	4,0	6,2	6,8	7,4	6,7	5,6	8,0	5,4	3,4	5,1	5,2
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	4,6	4,9	6,7	7,5	8,0	8,8	8,7	11,9	5,0	5,6	7,2	8,5
	Reoveesete	5,3	6,0	7,9	9,6	7,6	9,5	7,3	11,7	5,7	4,6	6,6	7,3
Ohtetu luste	N ₀ P ₀ K ₀	2,7	5,1	5,6	7,4	5,3	5,6	5,1	6,2	3,1	2,3	3,4	2,9
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	3,0	4,8	6,1	7,1	5,1	4,6	7,3	5,2	3,0	2,0	4,6	2,6
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,6	5,7	10,8	7,9	4,9	7,1	7,0	8,6	3,7	4,1	4,7	5,1
	Reoveesete	3,6	6,0	6,8	8,3	4,6	5,7	3,2	6,7	3,7	2,8	4,1	4,3
Kerahein	N ₀ P ₀ K ₀	2,3	2,5	3,7	3,9	3,6	2,6	3,3	3,4	3,3	2,5	3,2	3,3
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	2,9	2,7	5,6	4,1	4,1	3,4	5,3	4,1	4,2	2,6	3,9	3,5
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,0	3,7	7,8	6,4	6,2	6,0	4,2	7,5	3,9	5,0	6,6	7,0
	Reoveesete	3,4	3,4	5,5	5,6	4,2	4,5	2,5	5,4	3,9	4,0	4,6	5,4
Ida- kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	2,6	0	1,9	1,3 ²	2,0	3,6	2,5	4,7	2,0	3,0	3,6	4,3
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	2,7	0	2,3	1,1 ²	2,3	3,9	3,2	5,9	2,3	4,9	3,0	7,2
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,5	0	3,6	1,8 ²	3,0	5,0	3,8	7,1	1,9	5,4	3,8	8,1
	Reoveesete	3,2	0	3,0	1,9 ²	2,5	4,6	4,5	6,2	2,5	5,5	3,3	7,6
Päideroog + ida- kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	3,1	4,0	3,4	6,3	4,7	5,0	5,7	6,2	4,8	3,7	3,2	5,2
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	3,6	4,3	4,0	6,7	6,2	6,3	5,8	7,9	4,6	4,8	4,8	7,4
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,2	5,4	6,3	9,5	6,4	8,2	9,3	11,1	5,3	5,8	6,8	9,3
	Reoveesete	3,4	4,7	7,0	8,5	6,2	8,0	7,1	10,0	5,1	4,9	5,1	8,1
Ohtetu luste + ida- kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	2,8	4,6	4,2	6,8	4,8	4,2	4,4	5,2	2,6	3,1	4,1	4,4
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	2,6	5,3	5,0	7,1	6,0	4,3	4,9	5,4	3,2	5,2	4,6	7,2
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,3	5,7	7,3	9,6	5,6	6,6	9,0	8,7	3,5	5,4	5,6	6,8
	Reoveesete	3,2	5,1	5,5	7,8	5,8	5,2	6,2	7,0	2,9	4,3	5,6	6,3
Kerahein+ ida- kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	3,1	3,0	4,3	4,5	2,2	2,9	4,0	4,1	2,2	3,0	3,7	4,4
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	3,6	3,7	4,3	5,3	3,0	3,8	4,8	5,1	3,1	4,2	4,7	5,8
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,2	3,9	6,5	6,6	4,6	5,9	7,8	8,0	3,7	5,8	7,4	8,7
	Reoveesete	3,4	3,6	5,5	5,9	3,5	4,8	6,4	6,5	3,2	4,7	5,3	6,7

¹Liidetud on juulikuu saak + sama taimiku ädala saak ;

Lisa 3. Taimikute biomassi saak kahel viimasel katseaastal

Taimik	Väetamine	2011					2012 ²		
		20.04	05.07	26.07	17.08	2 niidet ¹	04.07	02.08	14.08
Päideroog	N ₀ P ₀ K ₀	4,7	0,3	5,5	7,7	1,6	4,5	4,6	4,8
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	5,4	2,9	5,36	8,3	4,3	5,7	5,0	5,0
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	5,0	5,0	10,0	11,0	6,6	7,8	9,4	8,9
	Reoveesete	5,7	6,4	9,1	10,2	9,2	9,3	10,9	10,0
Ohtetu luste	N ₀ P ₀ K ₀	3,1	1,8	4,7	6,5	2,9	7,3	2,7	4,3
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	3,0	1,5	4,9	7,2	2,7	7,2	3,4	5,4
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,7	3,3	7,9	9,2	4,6	8,9	5,7	7,4
	Reoveesete	3,7	3,1	8,4	9,9	5,0	8,5	8,0	7,9
Kerahein	N ₀ P ₀ K ₀	3,3	2,3	2,9	6,9	4,5	7,2	3,4	3,8
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	4,2	2,1	2,9	6,1	3,5	6,9	3,8	3,7
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,9	4,3	5,6	7,8	6,0	8,2	6,7	6,7
	Reoveesete	3,9	4,9	5,8	8,2	7,2	9,8	7,3	8,2
Ida-kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	2,1	4,6	6	7,6	6,9	6,6	6,2	4,9
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	2,4	6,6	6,3	6,5	6,6	5,3	3,7	5,8
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,9	7,0	7,4	6,4	10,0	5,6	5,7	4,7
	Reoveesete	2,5	6,9	6,5	7,6	9,9	5,7	6,8	5,5
Päideroog + ida-kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	4,8	4,9	4,4	9,3	6,6	4,9	6,1	4,2
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	4,6	6,7	4,5	7,8	8,7	5,0	6,6	4,7
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	5,3	7,3	8,1	9,4	9,5	6,2	9,3	8,1
	Reoveesete	5,1	6,6	6,7	10,3	9,6	8,4	9,7	7,0
Ohtetu luste + ida-kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	2,6	4,3	5,0	7,6	6,0	6,6	6,8	4,7
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	3,2	6,3	7,0	5,6	8,8	7,3	6,2	5,8
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,5	5,9	8,3	8,5	8,1	8,1	7,7	8,0
	Reoveesete	2,4	8,5	8,5	7,8	11,3	8,2	8,4	8,7
Kerahein + ida-kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	2,0	4,2	4,4	9,3	5,8	5,2	5,0	6,2
	N ₀ P ₃₀ K ₆₀	3,1	5,6	4,5	7,8	7,7	5,9	7,4	7,4
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	3,7	5,7	8,1	9,4	7,8	7,8	7,6	6,6
	Reoveesete	3,2	5,1	6,7	10,3	8,0	8,1	8,1	7,8

¹Liidetud on juulikuu saak + sama taimiku ädala saak ; ²Ädala saaki sügisel ei määratud

Lisa 4. Raskemetallide sisaldus mullas katse lõppedes

Taimik	Väetusfoon	Cd, mg kg ⁻¹	Cr, mg kg ⁻¹	Pb, mg kg ⁻¹
Päideroog	N ₀ P ₀ K ₀	0,08	20,8	12,4
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,09	23,2	10,7
	Reoveesete	0,09	20,7	13,5
Ohtetu luste	N ₀ P ₀ K ₀	0,07	21,2	11,5
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,08	20,4	13,0
	Reoveesete	0,07	20,3	13,4
Kerahein	N ₀ P ₀ K ₀	0,07	40,7	14,6
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,09	21,6	13,8
	Reoveesete	0,08	21,6	12,6
Päideroog + ida - kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	0,06	20,6	13,3
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,06	19,6	12,7
	Reoveesete	0,06	20,1	12,4
Ohtetu luste + ida - kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	0,06	18,5	12,9
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,07	20,3	12,4
	Reoveesete	0,07	19,3	11,1
Kerahein + ida - kitsehernes	N ₀ P ₀ K ₀	0,06	20,7	12,9
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	0,06	19,1	11,8
	Reoveesete	0,07	18,6	12,1

Lisa 5. Looduslike taimede biomassi kütteväärtus

Liik	Liigi nimetus ladinakeeles	Kütteväärtus MWh t ⁻¹
Angervaks (harilik)	<i>Filipendula ulmaria (L.) Maxim.</i>	5,3
Arujumikas	<i>Centaurea jacea L.</i>	5,2
Harilik . puju	<i>Artemisia vulgaris L.</i>	5,3
Harilik raudrohi	<i>Achillea millefolium L.</i>	5,1
Harilik soolikarohi	<i>Tanacetum vulgare L.</i>	5,4
Hundinui	<i>Typha L.</i>	5,1
Jäneskastik	<i>Calamagrostis epigejos (L.) Roth</i>	5,2
Villtakjas	<i>Arctium tomentosum Mill.</i>	5,3
Kanada kuldvits	<i>Solidago canadensis L.</i>	5,2
Kanada õnnehein (kanada pujukakar)	<i>Conyza canadensis (L.) ()</i>	5,0
Kirburohi	<i>Polygonum L.,</i>	5,2
Kõrvenõges	<i>Urtica dioica L.</i>	5,0
Kärnoblikas	<i>Rumex crispus L.</i>	5,2
Kanarbik	<i>Calluna Salisb.</i>	4,5
Maapirn (topinambur)	<i>Helianthus tuberosus L.</i>	4,8
Mets- nõianõges	<i>Stachys sylvatica L.</i>	4,7
Pajulill	<i>Epilobium L.</i> <i>Phragmites australis (Cav.) Trin. ex</i>	5,1
Pilliroog (harilik)	<i>Steud.</i>	5,3
Põldmünt	<i>Mentha arvensis L.</i> <i>Epilobium sect. Chamaenerion</i>	5,2
Põdrakanep	<i>Tausch</i>	5,0
Põldohakas	<i>Cirsium arvense (L.)</i>	5,2
Päevalill (harilik)	<i>Helianthus annuus L.</i>	4,8
Siidpööris	<i>Miscanthus Andersson</i>	5,0
Soo-ohakas	<i>Cirsium palustre (L.)</i>	4,8
Valge hanemalts	<i>Chenopodium album L.</i>	5,0
Valge mesikas	<i>Melilotus albus</i>	5,3