



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT

[www.emu.ee](http://www.emu.ee)



**Eesti Maaülikool**  
Estonian University of Life Sciences

# **Viljandi maakonna põllumajandusliku biomassi ressursi bioenergeetiline potentsiaal**

**Hajaenergeetika õppekava**

**Magistritöö**

Juhendaja

Allar Padari

Alar Astover

Lõpetaja

Hans Müllerson

**Tallinn 2016**

## **Autorideklaratsioon**

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituudile magistriastme lõpudiplomi taotlemiseks hajaenergetika erialal. Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Lõpetaja (allkiri ja kuupäev) \_\_\_\_\_

## Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Hans Müllerson	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Viljandi maakonna põllumajandusliku biomassi bioenergeetiline potentsiaal	
<i>Kuupäev:</i> 27.05.2016	61 lk
<i>Ülikool:</i> Eesti Maaülikool	
<i>Instituut:</i> Põllumajandus- ja keskkonnainstituut	
<i>Osakond:</i> Mullateaduse ja agrokeemia osakond	
<i>Töö juhendaja(d):</i> Alar Astover, Allar Padari	
<i>Töö konsultant (konsultandid):</i>	
<i>Sisu kirjeldus:</i> Käesolevas lõputöös tutvustab autor Eesti ja Euroopa taastuvenergia eesmärgi ja biomassi energeetilist ressursi nende eesmärkide täitmisel.	
<p>Töö eesmärk on hinnata Viljandi maakonna põllumajandusliku biomassi bioenergeetilist ressursi. Hinnatakse põllumajandusmaadelt tekkiva põhu, loomakasvatuses tekkiva sõnniku ja kasutusest väljas oleva põllumajandusmaa biomassi teoreetilist energeetilist ressursi.</p>	
<p>Töös on kasutatud PRIA pindalatoetuse andmeid, Eesti põhikaarti ning erinevaid uuringuid biomassi saagikuse kohta ja nende andmete töötlemisel on saadud Viljandimaa biomassi aastane teoreetiline tootlikkus. Erinevate kirjandusallikate põhjal on hinnatud põhu, sõnniku ja biomassi kütteväärtusi ning nende põhjal arvutatud teoreetiline energeetiline potentsiaal.</p>	
<p>Tööst selgub, et biomassi potentsiaalset energiat täielikult ära kasutades on võimalik ära katta peaaegu kogu Viljandimaa aastane energiavajadus.</p>	
<i>Märksõnad:</i> biomass, bioenergia, põllumajandusmaa, teoreetiline energeetiline potentsiaal	

## Summmary of the Diploma Work

<i>Author:</i> Hans Müllerson	<i>Kind of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> Viljandi county agricultural biomass resources and it's bioenergy potential	
<i>Date:</i> 27.05.2016	<i>61 pages</i>
<i>University:</i> Estonian University of Life Sciences	
<i>Department:</i> Institute of Agricultural and Environmental Sciences	
<i>Chair:</i> DEpartment Of Soil Science And Agrochemistry	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Alar Astover, Allar Padari	
<i>Consultant(s):</i>	
<p><i>Abstract:</i> In the following thesis, author will explain the renewable energy targets of Estonia and European Union and biomasses energy potential in fulfilling them.</p> <p>The aim of this thesis is to evaluate Viljandi counties biomass potential energy from agricultural lands. Potential energy of straw from agricultural land, manure from agricultural farming and biomass from unused agricultural lands.</p> <p>In the thesis, there is used PRIA subsidies data, Estonia's base map and different research projects regarding biomass yield. Viljandi counties biomass yield per annum is calculated by comparing that data. Based on different sources, the calorific value of straw, biogas and biomass is evaluated and using that data, theoretical energy potential of biomass is calculated.</p> <p>As a result of this thesis, it is evaluated, that using biomass potential energy it is possible to provide almost all of energy needed in Viljandi County annually.</p>	
<i>Key words:</i> biomass, bioenergy, agricultural land, theoretical potential energy	

# Sisukord

<b>Sisukord</b> .....	<b>5</b>
<b>Lõputöö ülesanne</b> .....	<b>6</b>
<b>Eessõna</b> .....	<b>8</b>
<b>Lühendite ja sümbolite loetelu</b> .....	<b>9</b>
<b>Sissejuhatus</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Teooria</b> .....	<b>12</b>
1.1. Taastuvenergia Euroopa Liidus .....	12
1.2. Bioenergia, arengusuunad ja potentsiaal Eestis .....	17
1.2.1. Bioenergia kasutamine Eestis.....	18
1.2.2. Biogaas .....	19
1.2.3. Bioenergia potentsiaal Eestis .....	22
1.3. Biomass .....	23
1.3.1. Rohtne biomass .....	24
1.3.1.1. Põhk.....	24
1.3.1.2. Pilliroog.....	26
1.3.1.3 Biomass rohumaadelt ja pool-looduslikelt kooslustelt.....	26
1.3.2. Loomne biomass .....	28
1.4. Viljandimaa valdade energeetiline olukord.....	30
2. Materjalid ja meetodika.....	34
<b>3. Tulemused ja arutelu</b> .....	<b>37</b>
3.1. Viljandimaa maakasutuse kategooriad.....	37
3.2. Viljandimaal tekkiv põhu kogus .....	41
3.3. Viljandimaa tekkiv sõnnik .....	44
3.4. Kasutusest väljas olevad põllumajandusmaad: .....	47
3.5. Bioressursi energeetiline potentsiaal .....	50
<b>Lõputöö kokkuvõte</b> .....	<b>57</b>
<b>Kirjandus</b> .....	<b>58</b>

# Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema: **Viljandi maakonna  
põllumajandusliku biomassi  
bioenergeetiline potentsiaal**

Üliõpilane: **Hans Müllerson, 132807  
AAHMM**

Lõputöö juhendaja: **Alar Astover, Allar Padari**

Lõputöö esitamise tähtaeg: **27.05.2016**

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

## **Teema põhjendus:**

Põllumajandusmaad võib lugeda suurimaks biomassi tootmise potentsiaaliga alaks, kuid enamasti kasutatakse seda muudel eesmärkidel, peamiselt toidu tootmiseks. Kuid põllumaad võiks kasutada ka energeetilise ressursina, samuti ka rohumaad. Kasutamata põllumaad ja rohumaad saab kasutada bioenergia tootmiseks kas rohtse massi või puittaimede kaudu. Samuti on suur energeetiline potentsiaal sõnnikul, mida saab kasutada biogaasi tootmiseks.

## **Töö eesmärk:**

Töö eesmärgiks on leida Viljandi maakonna loomse ja rohtse biomassi potentsiaalne bioenergia tootlikkus.

## **Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:**

Uurimisülesanded:

Põllu- ja rohumaade pindalade kindlakstegemine GIS-tarkvara ja digitaalse Eesti Põhikaardi abil;

Eesti Põhikaardi ja PRIA põllumajandustoetuse andmebaasi koosanalüüs GIS-tarkvaraga; põllu- ja rohumaade paiknemine erinevates Viljandimaa valdades.

Kasutusest väljas olevate põllumajandusmaade paiknemine Viljandimaa valdade kaupa ja nende pindalade leidmine.

Põllumajandusmaade potentsiaalse aastase keskmise saagikuse leidmine ja selle energeetiline ressurss.

Kasutusest väljas olevate põllumajandusmaade ja rohumaade keskmise saagikuse leidmine ja selle energeetiline potentsiaal.

Viljandimaal asuvate loomakasvatushoonete paiknemine valdade kaupa ja loomakasvatuses tekkiva sõnniku energeetiline potentsiaal.

## **Lähteandmed:**

Lähteandmetena kasutatakse Eesti Põhikaarti, digitaalset mullakaarti, PRIA põllumassiivide kohti ja toetuste andmebaasi. Andmed on antud Eesti Maaülikoolile õppetöö eesmärgil kasutamiseks ja koopiad andmetest asuvad Eesti Maaülikoolis.

# Eessõna

Tulenevalt direktiivist 2009/28/EÜ on Eesti võtnud endale siduvaks eesmärgiks suurendada taastuenergia osakaalu lõpptarbimises. Lähtuvalt seatud eesmärkidele on antud töö eesmärk uurida biomassi energeetilist potentsiaali selle eesmärgi saavutamisel.

Autor soovib tänada lõputöö valmimise juhendamise eest Eesti Maatülikooli teadurit Allar Padarit ja professor Alar Astoveri.



# Lühendite ja sümbolite loetelu

mln – miljon

PJ – peta-džaul,  $10^{15}$  džauli

ha – hektar

oKA – orgaaniline kuivaine

Mtoe – miljonit tonni õli ekvivalenti

# Sissejuhatus

Bioenergia on taastuva energia liik, mis pärineb organismidest saadaval orgaanilisel ainel ehk biomassil. Bioenergiat saadakse puidu, metsa, energiakultuuride, põllumajandusjääkide ja orgaaniliste jäätmete muundamisel. Võrreldes fossiilsete kütustega vähendab bioenergia CO<sub>2</sub> emissiooni ja kuna biomass on kohalik kütus, mida kasutatakse biomassi tekkimiskoha läheduses, suurendab biomassi kasutamine energeetikas kohaliku energiamajanduse varustuskindlust. Sotsiaalse poole pealt loob biomassi kasutamine maapiirkondadesse uusi töökohti. Bioenergia valdkonna arengutest arusaamiseks on vaja teada üleilmseid suundumusi ja rahvusvahelisi kokkuleppeid, ent põllumajandusliku biomassi energeetilise potentsiaali hindamine saab teadlikult toimuda lokaalseid tingumusi arvestavalt. Käesoleva töö eesmärk ongi analüüsida asukohapõhiselt põllumajandusliku biomassi energeetilist potentsiaali Viljandi maakonna näitel.

Antud töö esimeses pooles kirjeldatakse hetkel Euroopa Liidus valitsevatest taastuvenergia suundadest ja eesmärkidest, võimalikust potentsiaalst ja hetke taastuvenergia osakaalust. Lisaks tuuakse välja täpsemalt bioenergia arengukava, kasutamine ja selle teoreetiline potentsiaal. Olulisel kohal on bioenergia tootmiseks kasutatavad energiaallikad, erinevad kütused ja selle muundamise tehnoloogiad, sealhulgas olulisel määral biogaasi tootmine ja kasutamine. Välja on toodud Viljandimaa valdade hetkeolukord ja seal olevad katlamajad, nende tootlikkus ja valdade energeetiline üldisloomustus. Kirjeldatud on antud töö seisukohast tähtsa biomassi kasutamine ja selle erinevad liigid rohtne ja loomne biomass. Detailsemalt on kirjeldatud olulisi rohtseid biomasse ja nende kasutamise eripärasid ning loomse biomassi ehk põhiliselt sõnniku tekkimist ja selle erinevaid omadusi ja koostist.

Materjalide ja meetodika osas on välja toodud kasutatud algandmed, kasutatud kaardid ja andmebaasid ja erinevad programmid nende andmete töötlemiseks, samuti arvutustes kasutatud algandmeid ja energeetilise potentsiaali määramiseks kasutatud suurusi.

Tulemuste osas tuuakse välja Eesti põhikaardi töötlemisel leitud Viljandimaa maakasutus ja erinevalt kasutuses olevate maade pindala, põhikaardi ja PRIA andmebaasi koostöötlemisel leitud erinevate põllumajanduslike kultuuride pindalad Viljandimaal, lisaks loomkasvatushoonete paiknemine valdade kaupa ja nendes olevate erinevate loomade arvud. Algandmeid kasutades on leitud tekkinud põhu ja sõnniku kogused, lisaks ka kasutusest väljas oleval põllumaal tekkiva rohtse biomassi kogus. Saadud tulemuste põhjal on erinevate uurimuste põhjal leitud Viljandimaal tekkiva rohtse biomassi potentsiaal.

# 1. Teooria

## 1.1. Taastuenergia Euroopa Liidus

Euroopa Liit on olnud pikka aega maailmas taastuenergia arendamise juhtpositsioonil, kuid hetkel aga ollakse oma juhtpositsiooni kaotamas, sest Hiina ja Ameerika Ühendriigid on taastuenergiasse viimastel aastatel investeerinud järjest rohkem vahendeid võrreldes Euroopa Liiduga. Üks olulisemaid aspekte investeringute tegemisel on stabiilselt reguleeritud keskkond, mis on viimastel aastatel nii liikmesriikides kui ka Euroopa Liidus tervikuna olnud problemaatiline. Põhiliseks probleemiks on olnud riiklike poliitikate muutustest tingitud ebakindlus investeerimiskeskkonnas, mis on toonud kaasa tagasilöögid ka investeringutes taastuenergiasse. Hoolimata investeringute vähenemisest moodustasid taastuenergiat põhinevad elektrijaamad juba seitsmendat aastat järjest EL-i uutest tootmisvõimsustest enamiku. 2013. aastal põhinesid koguni 79,1% (21,3 GW) uutest võimsustest taastuenergiat. Alates aastast 2000 on kõikidest uutest elektrijaamadest taastuenergiat põhinevad võimsused moodustanud 56,2%. Euroopa Liidu elektritootmine liigub järjepidevalt taastuenergia poole ning nafta ja kivisöe kasutamine väheneb. [1]

Bioenergia on juhtiv taastuenergia allikas Euroopas, kogu tarbitud taastuenergiast moodustab bioenergia 61,2%. Mitmed Euroopa Liidu riigid toetuvad bioenergiale saavutamaks 2020. aastaks seatud taastuenergia eesmärgi. Bioenergia osakaal taastuenergiast moodustab näiteks Eestis 91,4%, Poolas 89,2% ning Ungaris ja Leedus 86,9%. 2013. aastal oli suurim osakaal biomassil lõplikus riigi energiatarbimises Lätis 31,9%, Soomes 31,8% ja Rootsis 31,6%. Lõplik bioenergia tarbimine Euroopa Liidus 2013. aastal oli 105,1 Mtoe, mida on peaaegu 2 korda rohkem kui aastal 2000. 74,6% biomassist kasutatakse ära soojuse tootmiseks (78,4 Mtoe), sellele järgneb elektri tootmine (13,5 Mtoe). Suurim osa biomassist toodetud soojusest kasutatakse ära elumajade kütmisel, mis moodustab 53 % kogu toodetud soojusest, tööstus tarbib 25% soojusest. [2]

Euroopa Liit on seadnud aastaks 2020 järgmised eesmärgid:

- Euroopa Liidu eesmärk 2020. aastaks on saavutada 20% taastuvenergia osakaal energia lõpptarbimises. Selle saavutamiseks on üleeuroopaline eesmärk jagatud liikmesriikide vahel. Eesmärgid on erinevad ning need arvestavad nii riikide suhtelist rikkust kui ka varasemaid edusamme taastuvenergia juurutamisel.
- Vähendada süsihappegaasi heitmeid 20% võrra võrreldes 1990. aastaga.
- Vähendada energia lõpptarbimist vähemalt 20% võrra prognoositud tasemest.
- Transpordisektoris kasutada vähemalt 10% ulatuses kütuseid taastuvatest energiaallikatest [1]

Oktoobris 2014. aastal leppis Ülemkogu kokku Euroopa Liidu kliima- ja energiapoliitika raamistiku aastani 2030.

- Euroopa Liit on seadnud peamiseks eesmärgiks vähendada süsihappegaasi heitmeid 40% võrra võrreldes 1990. aastaga.
- Taastuvenergia osakaal 2030. aastaks peab olema 27%, kuid eesmärk on Euroopa Liidu-ülene.
- EL seadis ka 27% energiasäästu eesmärgi, mis tähendab vähendada energiatarbimist võrreldes praeguste energiatarbimise baasstsenaariumitega.
- Eraldi on seatud eesmärgiks ETSi (*emissions trading scheme*) reformimine, et tagada süsihappegaasi turul kõrgem süsihappegaasi hind, mis motiveeriks ettevõtteid investeerima madala süsihappegaasi-sisaldusega tehnoloogiatesse. [1]

2012 aasta seisuga moodustas taastuvenergia tarbitud energiast 19%. Taastuvenergia allikad on teinud läbi suure tõusu energeetika osakaalus, seejuures päikeseenergia kasutamine 42% kasvu viimase kümnendi jooksul ja tuuleenergia osakaal on suurenenud keskmiselt 27% aastas. Taastuvatel energiaallikatel põhinev tootmisvõimsus on maailmas 1440 GW, millest 312 GW asub Euroopa Liidus. Biokütuste tarbimine maailmas on suurenenud 106 miljardi liitriini, millest 82,6 miljardit liitrit moodustab bioetanool ja 23,6 miljardit liitrit biodiisel. Euroopa Liidus tarbiti 2012. aastal 3,7 miljardit liitrit bioetanooli ja 13,7 miljardit liitrit biodiislit, mis teeb Euroopa Liidust maailma suurima biokütuste kasutaja. [3]

Taastuenergia direktiiv paneb paika nõuded bioenergia jätkusuutlikkusele. Direktiivi järgi välistab mitmed maa kategooriad, mida ei tohiks kasutada bioenergia tootmisel, nagu näiteks bioloogiliselt mitmekesised maad (põhiliselt metsad, looduskaitsealad, mitmekesised looduslikud rohumaad), kõrge süsiniku kogusega maad (soised ja metsastunud alad) ja turbarabad. Jätkusuutlikuse programm sisaldab biokütuste tootmise jälgimist ja aruannete esitamist, iga liikmesriik peab raporteerima biokütuste mõjust bioloogilisele mitmekesisusele, veeressursile ning vee- ja pinnase kvaliteedile. Biokütused peavad fossiilsete kütusega võrreldes vähendama kasvuhoonegaaside hulka 35% võrra. Olemasolevate tootmisjaamade puhul suureneb see number 50%-ni 2017. aastaks ja loodavate jaamade jaoks 60%-ni 2018 aastaks. Samuti on direktiivis paika pandud biomassi kasutamise jätkusuutlikuse eesmärgid.

[3]

Taastuvatest energiaallikatest elektrit tootvate jaamade installeeritud võimsus suurenes 170 GW-lt 2005. aastal 2012. aastaks 312 GW-ni, mis ületas oodatavat kasvu 7% võrra. Kõikide taastuenergia liikide tootmisvõimsused kasvasid, kõige rohkem päikese- ja tuuleenergia ning biomassist toodetud elekter. Selle perioodi hulka jääb ka läbi aegade kõige suurem kasv nii päikese- kui ka tuuleenergial, vastavalt 41 GW (28%) ja 22 GW (26%). Nende kahe suure kasvu põhiliseks kaasa aitajaks on kulude vähenemine. Biomassist toodetud elektrienergia osakaal peaaegu kahekordistus 2005. kuni 2012. aastani, suurenedes 16 GW-lt 29 GW-ni.

[3]

Eesti kütuse- ja energiamajanduse strateegilised eesmärgid on:

- tagada nõuetekohase kvaliteediga ning optimaalsete hindadega kütuse- ja energiavarustus;
- kindlustada sisemaise elektrilise tarbimiskoormuse katmiseks vajalik kohaliku genereeriva võimsuse olemasolu ning seadusele vastav vedelkütuse varu;
- saavutada aastaks 2010 taastuvelektri osakaaluks 5,1% brutotarbimisest;
- saavutada aastaks 2020 elektri- ja soojuse koostootmisjaamades toodetud elektri osakaaluks 20% brutotarbimisest;
- kindlustada riiklikult kehtestatud keskkonnanõuete täitmine;
- tõhustada energiakasutust soojus-, elektri- ja kütusemajanduses;

- töötada välja meetmed võimaldamaks taastuvate vedelkütuste, eeskätt biodiisli, kasutamist transpordisektoris;
- tagada pidev kaasaegse oskusteabe ning spetsialistide olemasolu kütuse- ja energiamajanduse kõigis valdkondades, et soodustada siseriiklikku tehnoloogiaarendust ning võimaldada kaasaegse energiatehnoloogia siiret. [4]

Taastuenergia osakaal 2013. aastal energia lõpptarbimises vähenes Eurostati andmetel 0,2% võrreldes 2012. aastaga (25,8%-lt 25,6%-ni). Kõige suurem on taastuenergia osakaal soojussektoris (43%). Elektrisektoris on taastuenergia osakaal 13,2 % ning transpordisektoris 0,2%. [1]

Biomassi energeetilist potentsiaali nii Euroopas kui ka maailmas on püütud hinnata 2001 aasta uuringus „*Global bioenergy potential through 2050*“, kus hinnatakse maakasutuse muutust, põllumajanduslike jääkide, rohumaa ja metsa energeetilist potentsiaali aastal 1990 ja 2050. Uuringu aluseks on võetud primaarenergia potentsiaal, jättes arvesse võtmata milliseks kütuseks biomass muundatakse. Maa on jaotatud nelja suurde kategooriasse: haritav maa, rohumaa, metsad ja muu maa. Kogu maa pind jääb aastate lõikes samaks, ei nähta ette suurte maamassiivide lisandumist või kaotusi. Neljale suurele maakategooriale vastab viis biomassi kategooriat: põllumajanduses tekkiv biomass, energiakultuurid, puit ja puidujäägid metsadest, loomsed jäätmed ja inimtegevusest tekkivad jäätmed, kusjuures muule maale ei vasta ükski biomassi kategooria ja kahele viimasele biomassi kategoorial puudub maakasutuse liigitus. [5]. Maakategooriad ja biomassi liigitus on kokku võetud järgmises tabelis 1.1.

**Tabel 1.1. Maa kategooriad ja biomassi kategooriad [5]**

<b>Maa kategooria</b>	<b>Biomassi kategooria</b>
Haritav maa	Põllumajanduses tekkiv biomass
Rohumaad	Energiakultuurid
Metsad	Puit ja puidujäätmed
Muu maa	-
-	Loomsed jäätmed
	Inimtegevuse jäätmed

Maa kasutuse muutusel on arvesse võetud nii elanike arvu kasvu ja sellest johtuvalt ka suurenenud toidu nõudlust, mis suurendab haritava maa pinda. Selle stsenaariumi alusel kasvab toidu kasvatamiseks vajaliku maa pindala 2050. aastaks 12,5% ja vajalik juurdekasv toidu kasvatamisel tuleb 1,1 %-se saagi kasvuga igalt hektarilt. Saadud maakasutuse muutused on toodud tabelis 1.2.

**Tabel 1.2. Maa kategooriate muutused Euroopas 2050 aastaks. [5]**

<b>Maa kategooria</b>	<b>Aasta</b>	<b>Kesk- ja Ida-Euroopa, mld ha</b>	<b>Endine Nõukogude Liit, mld ha</b>	<b>Lääne-Euroopa, mld ha</b>
Haritav maa	1990	0,05	0,23	0,11
	2050	0,05	0,24	0,10
Metsad	1990	0,04	0,82	0,12
	2050	0,04	0,82	0,12
Rohumaad	1990	0,02	0,33	0,09
	2050	0,02	0,32	0,11
Muu maa	1990	0,01	0,81	0,13
	2050			
Kokku maad:	1990	0,12	2,19	0,45
	2050			

Saadud uuringu tulemused on kokkuvõtvalt toodud tabelis 1.3.



**Tabel 1.3. Bioenergia potentsiaal vastavalt maa kategooriale Euroopas. [5]**

<b>Maa kategooria</b>	<b>Aasta</b>	<b>Kesk- ja Ida-Euroopa, GJ/ha</b>	<b>Endine Nõukogude Liit, GJ/ha</b>	<b>Lääne-Euroopa, GJ/ha</b>
Haritav maa	1990	14,9	9,1	14,4
	2050	18,4	11,2	21,5
Rohumaa	1990	128	31	67
	2050	194-248	47-59	101-128
Mets	1990	19	11	15
	2050	29-37	16-20	22-28

## **1.2. Bioenergia, arengusuunad ja potentsiaal Eestis**

Bioenergia on osa taastuvenergiast, mis omakorda on osa koguenergiast. Bioenergia all mõistetakse biomassist toodetud energiat – soojust, elektrit ja biokütuseid. Biomass on põllumajanduslikust tootmisest (nii taimsed kui loomsed), metsatööstusest ja sellega seotud tootmisest pärit toodete, jäätmete ja jääkide bioloogiliselt lagunev fraktsioon ning tööstus- ja olmejäätmete bioloogiliselt lagunev osa. [4]

Põllumajandustootmisest tulenev põhiline biomass bioenergia tootmiseks on põhk, teravili, sõnnik, looduslikelt rohumaadelt ning niitudelt koristatav rohtne biomass. Spetsiaalselt transpordikütuse või soojus- ja elektrienergia tootmise eesmärgil kasvatatavaid kultuure nimetatakse energiakultuurideks. Energiakultuuridena kasvatatakse peamiselt järgmisi kultuure:

- õlikultuurid (raps, rüps);
- etanoolikultuurid (teravili, kartul, peet);
- biomassikultuurid – puittaimed ja energiaheinad [6]

Biomassi muundamiseks soojuseks, elektriks või biokütuseks on mitmeid erinevaid võimalusi, põhilised on:

- anaeroobne kääritamine (biogaas);

- põletamine (soojus);
- põletamine (soojus ja elektri koostootmine);
- esterdamine (biodiisel) – õli ümbertöötlemine biokütuseks;
- fermentatsioon (bioetanol) – hüdrolüüsi produktide muutmine alkoholiks;
- pürolüüs (bioõli, söegaas) – tahke kütuse muundamine gaasiks, kondenseeritavateks aurudeks ja tahmaks, st puhta süsiniku osakesteks. [7]

### 1.2.1. Bioenergia kasutamine Eestis

2014. aastal oli biomass Eesti suurim taastuvenergia allikas elektri tootmises. Biomassist toodeti Eleringi andmetel 2014. aastal 710 GWh elektrienergiat, mis moodustas 52% taastuvenergia toodangust ning oli 146 GWh võrra suurem, kui 2013. aastal biomassist toodetud elektrienergia kogus. Eleringi poolt antud andmed ei võta arvesse elektrijaamade omatarvet, mis koostootmisjaamade korral võib ulatuda kuni 10%-ni. Seetõttu suureneb biomassist toodetava elektrienergia kogus veelgi. Elektrijaamade omatarve puudutab eelkõige koostootmisjaamasid, mille kütusteks on hakkepuit, biogaas ning jäätmed. Tuulikutel ning hüdrojaamadel omatarve praktiliselt puudub. Seetõttu erinevad Statistikaameti ja Eleringi andmed, kus Statistikaameti andmete alusel moodustab koostootmisjaamade toodang suurema osakaalu taastuvenergiast kui Eleringi andmetel. Elektrienergia omatarve arvestus on oluline, sest see võetakse arvesse EL taastuvenergia kohustuse täitmisel [1]

Pea 99% Eestis kasutusel olevast ja tarbitud biomassi ressursist moodustab metsade ehk puidu biomass. Eesti kogu metsaresurss on 2,1 mln hektarit metsamaad ning aastane juurdekasv on keskmiselt 12 mln tihumeetrit puitu. 2007. aastal energiaks ehk kütusena kasutatud puidu biomassi osakaal kasutusse võetust oli 98% ning kokku toodeti Eestis ligi 30 PJ bioenergiat, millest kohapeal tarbiti 81% ehk pea 24 PJ. Biomassist toodetud soojusenergia kogus oli 14 360 TJ ehk 39 % kogu Eesti soojuse toodangust 2007. aastal ning elektrienergia toodang oli 146 TJ ehk 0,3 % Eesti elektritoodangust. Transpordi biokütuste osakaal bensiini ja diislikütuste kogutarbimises oli 0,06%. Energia lõpptarbimisest moodustas taastuvatest allikatest ehk biomassist, biogaasist, biokütustest, veest ja tuulest saadud energia 18,8% ehk 24 227 TJ. [8]

### 1.2.2. Biogaas

Biogaas on anaeroobse kääritamise teel saadud gaasiline kütus, mis koosneb 50 – 70% metaanist ( $\text{CH}_4$ ), 30 – 40% süsinikdioksiidist ( $\text{CO}_2$ ) ja teistest komponentidest nagu  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ . Biogaasi on võimalik saada loomuliku protsessi käigus soodest, rabadest ja prügilatest ning spetsiaalseid kääriteid kasutades sõnnikust, reoveest, rohtsest biomassist ja teistest biolagunevatest jäätmetest. Saadud biogaasi metaani sisaldus jääb vahemikku 50 – 65 % ning kütteväärtus jääb enamasti vahemikku 5-7 kWh/m<sup>3</sup>, sõltuvalt metaani sisaldusest antud biogaasis, mis omakorda sõltub kääritatava materjali toitainete sisaldusest, niiskusest ja jäätme tüübist. Eesti toodetakse biogaasist soojus-ja/või elektrienergiat. [9]

Biogaas tekib bioloogilises protsessis, kus hapniku puudumisel tekib orgaanilisest ainest gaaside segu. Orgaaniline aine muundub peaaegu täielikult biogaasiks ning tekib ainult väike osa soojust ja uut biomassi. Tekkivas gaaside segus ehk biogaasis umbes 2/3 metaani ja 1/3 süsihappegaasi, lisaks veeauru ning teisi gaasilisi komponente. Nendest väärub ära märkimist väävelvesinik, mis on toksiline gaas. Väävelvesiniku kokkupuutel biogaasis oleva veeauruga tekib divesiniksulfiidhape, mis võib kahjustada torustikku, põletusseadmeid ja heitgaasi torustikke. Suurem väävelvesiniku sisaldus on biogaasis juhul, kui kasutatakse kõrge valgusisaldusega substraate. Samuti on veeaur üks korrosiooni põhjustajaid tootmisseadmetes. Biogaasis sisaldub süsihappegaasi, mis ei ole mürgine ning ei põhjusta korrosiooni, kuid on ballastaine ning vähendab biogaasi kütteväärtust. [9] [10]

Lisaks neile kolmele suurima osakaaluga ebasoovitavatele ainetele tuleb biogaasist eemaldada ka tolm, vaht, muud tahked osised, ammoniaak, lämmastik, hapnik või õhk, vingugaas, silooksaanid ja halogeenühendid. Biogaasi puhastamise eesmärgiks on saavutada metaani sisaldus vähemalt 98% gaasisegus, mõningates riikides võib ka see sisaldus olla väiksem. See kui palju on vaja biogaasi puhastada sõltub antud riigis maagaasivõrgus kasutatava gaasi metaanisaldusest. Biogaasi puhastamine on defineeritud kui  $\text{CO}_2$  eraldamine biogaasist või prügilagaasist. Pärast puhastamist suureneb biogaasi energiatihedus ja ka kütteväärtus. [9]

Biogaasijaamade sisendina kasutatavat biomassi saab jagada põllumaadest kasvatatavaks biomassiks nagu näiteks hein, teraviljad ja õlikultuurid ning põllumajandustootmises tekkivaks biomassiks ehk jäätmeteks - sõnnik ja orgaaniliselt jäägid ja jäätmed. Lisaks on biogaasi võimalik saada tööstuslikes protsessides kasutatavatest biolagunevatest jäätmetest ja olme valdkonnast nagu näiteks reoveemuda ja koduses majapidamises tekkivad biojäätmel. Samuti saab ka biogaasi niinimetatud iseenesliku anaeroobse käärimise protsessi käigus prügilatest ehk tekib prügilagaas. [9] Sõnnikust ja rohtsest biomassist tekkiva gaasi kogus ja metaani kogus on välja toodud tabelites 1.4. ja 1.5.

**Tabel 1.4. Sõnnikust tekkiva gaasi kogus ja metaani sisaldus [10]**

<b>Substraat</b>	<b>Orgaanilise kuivaine oKA, %</b>	<b>Biogaasi kogus, m<sup>3</sup>/t oKA</b>	<b>CH<sub>4</sub> sisaldus, mahu%</b>
Veise vedelsõnnik	75-82	200-500	60
Sea vedelsõnnik	75-86	300-700	60-70
Veise tahesõnnik	68-76	210-300	60
Sea tahesõnnik	75-80	270-450	60

**Tabel 1.5. Rohtsest biomassist tekkiva gaasi kogus ja metaani sisaldus. [10]**

	<b>Kuivaine KA, %</b>	<b>Orgaaniline kuivaine oKA, %</b>	<b>Biogaasi kogus, m<sup>3</sup>/t oKA</b>	<b>CH<sub>4</sub> sisaldus, mahu%</b>
Maisisilo	20-35	85-95	450-700	50-55
Rukkisilo	30-35	92-98	550-580	55
Suhkrupeet	23	90-95	800-860	53-54
Söödapeet	12	75-85	620-850	53-54
Peedileht	16	75-80	550-600	54-55
Rohusilo	25-50	70-95	550-620	54-55
Õlleraba	25-50	70-80	580-750	59-60

Vaatamata Eestis tegutsevatele üksikutele biogaasi tootmisüksustele tuleb tõdeda, et biogaasi valdkonna areng Eestis on algusjärgus nii oskusteabe omandamise, praktiliste lahenduste kasutusele võtmise kui poliitilise toetuse ja tugimeetmete pakkumise osas. Valdonna arengutakistuste ületamiseks tuleb Eestis tegeleda nii ettevõtete ja arendajate sisemiste

arengutakistuste ületamisega mikrotasandil kui ka luua biogaasi tootmist ja kasutamist soodustavad välised tingimused makromajanduslikult ja riigi tasemel. [11]

Biometaan on aga puhastatud biogaas, mis sisaldab 96-99% metaani ja on maagaasiga võrdse kütteväärtusega, olles kasutatav kõikjal, kus täna kasutatakse maagaasi. Eesti kohaliku taastuvkütuse biometaani potentsiaali on hinnatud 450 miljoni normaalkuupmeetriini, see on rohkem kui pool viimaste aastate maagaasi tarbimisest Eestis. Biometaani Eestis 2015 aasta II kvartali seisuga ei toodetud. Samas on Euroopa Liidus ja Eestis võetud eesmärgiks 2020. aastaks saavutada 10% taastuenergia lõpptarbimine transpordisektoris. Eestis on see taastuenergia osakaal transpordis praegu 0,1%. [12]

Oluliselt suurendab biogaasi kasutusvõimalusi ja potentsiaali selle puhastamine ja vääristamine biometaaniks ning selle sisestamine maagaasivõrku. Tänu sellele on võimalus biogaasi kasutada kõigil gaasivõrku ühendatud tarbijatel. Biometaani maagaasivõrku andmise eelduseks on, et kõik kvaliteedinõuded ja omadustele kehtestatud nõuded on täidetud. [9]

PRIA loomregistri andmetele tuginedes saab väita, et Eesti rohusööjad loomad tarbivad otsese rohusöödana u 750 000 tonni kuivainet aastas, lisades sellele juurde võimalikud kaod, on tõenäoline, et rohusööda tarbimine kokku on rohkem kui 800 000 t kuivainet aastas. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi teadlaste Rein Viiralti ja Are Selge koostatud hinnang Eesti rohumaaade saagile on 2,2 mln tonni rohtse biomassi kuivainet aastas. Seega jääb kogu rohtsest biomassist loomasöödana kasutamata 1,4 mln tonni kuivainet aastas. Selle kaotsi mineva rohumassi kasutamine biometaani tootmiseks on üks võimalus, kuidas paremini ära kasutatada rohumaaade ressursi Eestis. [13]

Teise suurema võimalusena saab biogaasi kasutada otseselt mootorikütusena. Surugaasi kasutatakse Euroopas ligikaudu 1,85 mln sõidukis (sh. 1,1 mln sõidukit neist asuvad EL28-s). Mootorikütusena kasutamise võimaluse võib kombineerida võrku andmisega või kasutada maagaasivõrgust sõltumatut tarnimist. [9]

### 1.2.3. Bioenergia potentsiaal Eestis

Rohtse biomassi potentsiaal Eestis on välja arvatud Eesti energiamajanduse arengukavas aastani 2030 eeldustel, et pool looduslike rohumaade pindala on 100 000 hektarit ja tulevikus see ei muutu. Sellest 100 000 hektarist kasutatakse energeetilisel eesmärgil 2010. aastal 23 503 hektarit ja 2050. aastaks suureneb see 50 000 hektarini. Sellelt 50 000 hektarilt saadud biomassi kasutatakse pooles ulatuses biogaasi tootmiseks ja ülejäänut otsesel põletamisel.

Põhu kogu saak oli 2004-2006 aastatel keskmiselt 673 945 tonni, mis annab aastaseks energia toodanguks hinnanguliselt 3201 GWh. Kogu põhku ei saa energeetikas kasutada, kuna see on oluline osa põllumaa toitainete taastamisel ja tuleks tagasi põllule viia. Antud arvutustes eeldati, et 10% põhust kasutatakse energeetikas ja ülejäänud 90% läheb tagasi põllumajandusse. Roo potentsiaali hindamisel eeldame, et kütteväärtus on 4,93 MWh/t ja aastane kasv on 4,5 tonni hektari kohta. Hinnangu andmisel eeldame, et pool roost on kas raskesti kättesaadav või kasutatakse mujal valdkondades. [14] Saadud tulemused on kokku võetud tabelis 1.6.

**Tabel 1.6. Rohtse biomassi energeetiline potentsiaal Eestis. [14]**

Tooraine	2010	2020	2030	2040	2050
Rohtne biomass pool-looduslikelt rohumaadelt, GWh/a	35	74	150	300	469
Põhk, GW/a	30	110	157	224	320
Roog, GWh/a	10	64	80	100	125
Kokku, GWh/a	75	248	387	624	914
Kokku, PJ/a	0,27	0,89	1,39	2,25	3,29

Biogaasi potentsiaali arvutamisel on eeldatud, et kasutamata põllumaad on 162 769 hektarit, 2020 aastal oli sellest kasutamata põllumaast 20% haritud energiakultuuridega biogaasi tootmiseks ja see suurenes 50%-ni 2050 aastaks. Rohumaid on 192 000 hektarit ning eeldati, et nendel ei karjatata vaid niidetakse ja kogu hein jääb põllule. 2020. aastal kasutatakse ära sellest 20% ja see suureneb 2050 aastaks 50%-ni. Kasutusel olevaid põllumaid on 1 078 330 hektarit ja biogaasi tootmiseks kasutatakse sellest 5%. Biogaasi potentsiaali leidmiseks biojätmetest, sõnnikust ja reoveemudast on eeldatud, et reoveemudast kasutatakse biogaasi

tootmiseks 50%, loomapidamisel tekkinud jäätmetest kasutatakse 60% tekkinud väljaheidetest ja 10% biojäätmetest. Saadud tulemused on toodud tabelis 1.7.

**Tabel 1.7. Biogaasi potentsiaal Eestis [14]**

<b>Tooraine</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>	<b>PJ</b>
Rohtne biomass pool-looduslikelt rohumaadelt, GWh/a	0	87	70	80	145	0,52
Kasutamata põllumaadelt, GWh/a	0	891	1500	2000	2227	8,02
Põllumaadelt, GWh/a	0	338	400	500	677	2,44
Läga ja sõnnik, GWh/a	15	150	441	441	441	1,59
Biojäätmed, GWh/a	0	40	109	109	109	0,39
Reoveesete, GWh/a	17	11	30	30	30	0,11
<b>KOKKU, GWh/a</b>	<b>32</b>	<b>1517</b>	<b>2550</b>	<b>3160</b>	<b>3629</b>	

Kasutamata põllumajandusmaa energeetilist potentsiaali on hinnatud ka regiooniti. Saare maakonnas oli PRIA registrisse deklareeritud 68 700 hektarit põllumajandusmaad, millest pindalatoetustega oli kaetud 64%, seega kasutusest väljas on 25 000 hektarit põllumajandusmaad. Täielikult kasutusest väljas on 22% põllumassiivide kogupindalast. PRIA massiividest välja jäävat ala oli 2007. aastal 7 800 hektarit, millest 7 200 hektarit moodustab rohumaad. [15]

Tartu maakonnas oli kasutusest väljas 26351 hektarit, millest 20741 hektarit on täielikult kasutusest väljas ning 5610 osaliselt kasutusest väljas. Kasutusest väljas olevad põllumassiivid paiknevad enamjaolt ühtlaselt, kontsentratsioon on suurem Tartu linna lähistel ning Emajõe kallastel. [16]

### **1.3. Biomass**

Biomass on põllumajanduslikust tootmisest (kaasa arvatud taimsed ja loomsed ained), metsatööstusest ja sellega seotud tootmisest pärit toodete, jäätmete ja jääkide bioloogiliselt lagunev fraktsioon ning tööstus- ja olmejäätmete bioloogiliselt lagunev fraktsioon [17]

### **1.3.1. Rohtne biomass**

Energia tootmisel rohtsest biomassist on enim levinud järgmised sisendeid: põhk, pilliroog ja biomass rohumaadelt ja pool-looduslikelt kooslustelt.

#### **1.3.1.1. Põhk**

Põhk on taimevartest, teradeta viljapeadest, lehtedest ja aganatest koosnev tera- ja kaunvilja- ning seemneheinakasvatuse kõrvalsaadus. [18].

Põhku kasutatakse põllumajanduses enamasti väetiseks, vähemal määral loomadele allapanuks. Sügisel sisseküntud põhujäägid parandavad mulla struktuuri, aitavad säilitada mullas huumust ning viivad osalt mulda uuesti tagasi taime poolt omastatud mineraalaineid. Põhu äraviimine põllult suurendab vajadust täiendava orgaanilise ja mineraalväetise järele. [8]

Põhu tagastamine mulda on tähtis huumuse taastamiseks, Roostalu jt. arvutuste alusel jääks Eestis kogu põhu põllu pealt eemaldamisel ja kütteks kasutamisel 112 tuhat tonni huumust tekkimata. [19]

21. sajandil on hoogustunud põhu kasutamine soojusenergia tootmisel kuna põhk on keskkonnasõbralik küttematerjal, lisaks on ka põhu hind võrreldes teiste kütustega väga madal. Palju põhuküttega katlamaju on rajatud Põhjamaades ning Eestis töötab mitu sellist kompleksi, näiteks Lihulas ja Tamsalus. Lisaks on võimalik põhust toota põhubriketti. [18]

Põhku on võimalik kasutada tahke kütusena, kuid selle suur maht muudab nii transpordi kui ka ladustamise kalliks. Seetõttu peaks tooraine paiknema võimalikult lähedal kasutuskohale. Samuti on põhu negatiivseks küljeks kütusena põhu suitsugaasides sisalduvad kloor ja leelis, millede tõttu võivad tekkida naatrium- ja kaaliumkloriid, mis põhjustavad kateldes korrosiooni. [8]



Põhu suurimaks plussiks kütusena on see, et tegemist on CO<sub>2</sub> neutraalse kütusega, mis ei põhjusta kasvuhoonegaaside sisalduse suurenemist atmosfääris. Põhu kasutamisel kütusena ei tohi selle niiskusesisaldus ületada 20%, kuna suure veesisalduse korral muutuvad põhupallid raskeks, kütteväärtus väheneb, põhk säilib halvemini ning tõuseb korrosiooni moodustumise risk. Kuiva põhu ehk niiskusesisaldusega alla 15% kütteväärtus on peaaegu võrdne puiduga. 2010. aasta andmete põhjal selgus, et 6 TJ põhu kütmisel saab toota umbes 4 TJ soojusenergiat. Kuivatatud põhku saab kasutada biokütusena, kuid selleks on tarvis materjal enne eeltöödelda. Eeltöötlemise all peetakse silmas põhu pallimist, pressimist brikettideks või graanuliteks. Samuti on vaja põhu põletamiseks spetsiaalseid kütteseadmeid, mis nõuavad lisainvesteeringuid. Põhk on peamiselt kasutusel kütusena üksikute farmide ja tootmishoonete kateldes, kuhu ta sobib kütusena hästi, sest produkti saadakse kohalikust teraviljakasvatusest. Samuti kasutatakse põhku kütusena kaugkütte katlamajades ja suurtes elektrijaamades, aga tulevikus võib antud toorainet tõenäoliselt kasutada ka gaasi ja bioetanooli tootmisel. [8]

Põhu kasutamine biokütusena eeldab üldjuhul põhu pallimist, seejärel briketeerimist ning spetsiaalseid kütteseadmeid ja seega investeeringuid seadmetesse. Kuni 15% niiskusesisaldusega põhu kütteväärtus on 16,5 – 17,5 MJ/kg, mis ei jää palju alla puidu kütteväärtusele. Põhul on puidust väiksem energiatihedus. Põhu briketeerimisel on võimalik saada aga isegi küttepuidust suurema energiatihedusega toode (põhubriketil 12,7 MJ/dm<sup>3</sup>, puidul 7 MJ/dm<sup>3</sup>). [8] [20]

Põhku kütusena kasutatav katel on seade, mille põlemiskambrit täidetakse perioodiliselt põhupalliga või pakiga. Väiksemad süsteemid töötavad väiksemate pallidega ja neid saab sööta käsitsi, kuid suuremad süsteemid vajavad ümmargusi või kandilisi palle või pakke ja seega nende valmistamiseks on vaja suuri pallimispresse ja katlamajas laadurit etteandmiseks. Olemas on ka katlad, kus töötab automaatne laadimissüsteem, kus kütus asetatakse etteande konveierile ning enne katlasse sisenemist põhupall tükeldatakse või harutatakse lahti. Selliste süsteemide kasutegur on kasvanud 1970-ndate aastate keskpaiga 30-40%st kuni tänase 80%-ni või enamgi. Automaatse etteandega süsteemid on reeglina ka tõhusamad kui käsitsi etteandmisega süsteemid. [20] [21]

### **1.3.1.2. Pilliroog**

Harilik pilliroog *Phragmites Australis* kasvab kogu maailmas paljude mererannikute ja siseveekogude ääres, kaasa arvatud Eestis, vee- ja maismaa piiril, kus kasvutingimused on nende taimede jaoks eriti sobivad. Pilliroo kogu kasvupinna suurust on raske hinnata, sest mitte kõik riigid ei tee roostike ja rooväljadel kasvava biomassi koguse aastainventuuri. Rooväljade pindala võib aga aastati üsna palju erineda, sõltudes roostike laienemise või kahanemise kiirusest. Olemas on mitmeid erinevaid pilliroo liike, kuid ehituslikust või energeetilisest seisukohast ei ole neil erilist tähtsust. Ehituses kasutades on oluliseks pilliroo kõrre pikkus, jämedus ja kõverus, kuid energeetikas pakub huvi saagikus ja taimeosade keemiline koostis. [22]

Kütteväärtus sõltub põlevaine hulgast ja keemilisest koostisest. Eestis arvatakse olevat kõrge produktiivsusega märgalaid umbes 24 000 ha, kust on võimalik saada aastas biomassi 5–6 t/ha. [23]

### **1.3.1.3 Biomass rohumaadelt ja pool-looduslikelt kooslustelt**

Poollooduslikeks kooslusteks ehk pärandkooslusteks nimetatakse loodusliku elustikuga kooslusi, mida on kestvalt niidetud või karjatatud. Need on rohttaimkattega alad, kus on säilinud looduslik rohukamar ja taimestik ning inimtegevus piirdub peamiselt saagi niitmise ja karjatamisega. [24]

Biomassi saagikus looduslikelt rohumaadelt Eestis varieerub 0,6 tonnilt kuivaines hektari kohta 3,4 tonnini kuivaines hektari kohta, sõltuvalt pool-loodusliku rohumaa tüübist ja mitmekesisusest. 2007 aasta suvel läbi viidud katsetele vastavalt hinnati biomassi saagikus suurimaks lamminiitudel saagikusega 5,7 t/ha kuivaines, aruniitudel saagikusega 2,7 t/ha kuivaines ja puisniitudel, kus saagikus on 1,6 t/ha kuivaines. Kuid katsed näitasid ka kuni neljakordset erinevust samat tüüpi pool-looduslikel rohumaadelt, seetõttu on oluline hinnata iga rohumaa kohta biomassi potentsiaali eraldi. [25]

Saksamaal tehtud katsetele vastavalt võib saagikus olla vahemikes 2,6 tonni kuivaines hektarilt kuni 6,7 tonni kuivaines hektarilt [26]

Biomassi rohumaadelt saab bioenergia tootmiseks kasutada kahel viisil: biogaasi tootmiseks või põletamiseks soojuse või elektri tootmiseks. Hetkel on Euroopas levinuim looduslike rohumaadel tekkiva biomassi kasutamine biogaasi tootmiseks. Kõige olulisem looduslike rohumaade kasutamisel biokütusena biogaasi tootmiseks on saavutada suurim võimalik metaani saagikus hektari kohta ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ). Looduslikelt rohumaadelt saadav potentsiaalne bioenergia sõltub biomassi saagikusest orgaanilises kuivaines hektari kohta kui ka metaani sisaldusest orgaanilises kuivaines. Mõlemid parameetreid mõjutavad mitmed tegurid, ühelt poolt biomassi kvaliteet ja teisalt biogaasi tootmise tehnoloogiad. Biomassi kvaliteeti saab parandada rohumaade majandamise ja säilitamisega. [27]

Biomassi põletamise korral on olulisemad eesmärgid suurim energiasisaldus hektari kohta ( $\text{GJ}/\text{ha}$ ) ja biomassi kvaliteet. Võimaliku saadava bioenergia potentsiaal sõltub potentsiaalsest saagist kuivainest hektari kohta ja saadava biomassi energiasisaldusest kuivaine kohta. Biokütuse kvaliteedi ja kütteväärtuse määravad kütuse põhiliste koostisosade süsiniku, lämmastiku ja hapniku sisaldus kütuses. [28]

Looduslikelt rohumaadelt saadava biomassi energeetiline potentsiaal 2007. aastal läbi viidud katsete käigus oli vastavalt 29  $\text{GJ}/\text{ha}$ , 47  $\text{GJ}/\text{ha}$  ja 104  $\text{GJ}/\text{ha}$  lamminiitudel, aruniitudel ja puisniitudel. [25] Enamjaolt vastab see Saksamaal tehtud katsetele, kus tulemused jäid vahemikku 37 – 128  $\text{GJ}/\text{ha}$ . [26] Samuti on sarnased ka kütteväärtused, mis Eestis tehtud katsetel jäid vahemikku 18,1 – 18,6  $\text{MJ}/\text{kg}$  ja Saksamaal 18,2 – 19,1  $\text{MJ}/\text{kg}$ . Suurim kütteväärtus oli Eestis tehtud katsetel aruniitudel ja väikseim puisniitudel.

### 1.3.2. Loomne biomass

Hetketingimustes kus ettevõtted suurenevad ja keskkonnaohutuse nõuded sõnniku käitlemisele kasvavad, on suur potentsiaal biogaasi tootmisel loomakasvatustes tekkival sõnnikul. Suurima potentsiaaliga on veisekasvatus, mis on suurimat majanduslikku tähtsust omav loomkasvatusharu. Iga loomühiku poolt tekkiv sõnnikukogused on välja toodud Põllumajandusministri 14.07.2014 määrusest nr 71 „Eri tüüpi sõnniku toitainete sisalduse arvestuslikud väärtused, sõnnikuhoidlate mahu arvutamise meetodika ja põllumajandusloomade loomühikuteks ümberarvutamise koefitsiendid” Lisa 3 ja Lisa 4-st. Antud töös vajalikud koefitsiendid on toodud alljärgnevas tabelis 1.11.

**Tabel 1.8. Tekkiva sõnniku kogus vastavalt looma liigile, sõnniku tüübile ja karjatamisele.**

Looma liik	Sõnniku tüüp	Aastaringne laudas pidamine		Perioodilise karjatamise korral	
		Sõnniku kogus, t/a	Kuivaine sisaldus, %	Sõnniku kogus, t/a	Kuivaine sisaldus, %
Piimalehmad	Vedelsõnnik	24,7	5,9	20,6	5,9
	Tahesõnnik	21,8	20,3	18,2	20,3
Lehmvasikad	Vedelsõnnik	2,7	7,6	2,2	7,6
	Tahesõnnik	2,8	24,3	2,4	24,3
Pullvasikad	Vedelsõnnik	2,5	7,6	2,1	7,6
	Tahesõnnik	2,6	24,6	2,2	24,6
Lehmmullikad	Vedelsõnnik	11,1	7,6	7,4	7,6
	Tahesõnnik	11,6	22,2	7,8	22,2
Pullmullikad	Vedelsõnnik	6,9	7,6	4,6	7,6
	Tahesõnnik	7,0	24,0	4,7	24,0
Nuumsead	Vedelsõnnik	0,5	7,3	-	-
	Tahesõnnik	0,5	20,5	-	-
Lammas	Sügavallapanusõnnik	3,2	41,6	1,4	41,6
Kits	Sügavallapanusõnnik	3,1	42,0	2,1	42,0

Veise vedelsõnnikust tekib 20-30 m<sup>3</sup> iga tonni kohta vähem biogaasi kui sea vedelsõnnikust. Veise vedelsõnnik näitab ka tunduvalt väiksemat keskmist metaanisaldust, võrreldes sea vedelsõnnikuga. See on sellepärast, et veiste magu töötab kui biogaasi tehas ja vedelsõnnik on

osaliselt juba käärinud. Veise ja sea vedelsõnnikut saab väga edukalt ka segada teiste lisasubstraatidega, kuna neil on väike kuivaine sisaldus. Vastupidi on tahkesõnnikuga ja selle kuivaine sisaldusega. Seetõttu tuleb seda enne lahjendada ja homogeniseerida, et saavutada pumbatav konsistents. Võimalike lisasubstraatidena saab kasutada suure vee- või energiasisaldusega substraate, nagu näiteks rasvad või praak. Veise- ja seasõnniku käitlemine ja hoiustamine ei ole üldjuhul problemaatiline. Tavaliselt saab vedelsõnnikut kas otse või siis läbi eelmahuti otse kääritisse suunata. Alljärgnevas tabelites 1.12 ja 1.13 on toodud erinevate loomaliikide sõnnikute toitaesisaldused ja raskemetallide sisaldused. [10]

**Tabel 1.9. Sõnniku koostise keskmised näitajad. [10]**

Substraat	KA, %	oKA, %	N	NH <sub>4</sub> -N	P	K
			% KA			
Veise vedelsõnnik	5,9-7,6	75-82	6,0-8,6	1,6-2,1	0,7-2,2	4,9-9,1
Sea vedelsõnnik	4,3	75-86	7,0-12,5	4,7-6,4	1,9-3,3	2,3-6,4
Veise tahesõnnik	22,0-22,8	68-76	2,0-3,1	0,1-0,3	0,3-0,7	1,7-3,7
Sea tahesõnnik	21,7	75-80	3,1-4,1	0,7-0,9	1,6-2,3	1,6-2,3
Linnusõnnik	47,5	63-80	4,7-4,9	1,2	1,5-1,6	2,1-2,2

**Tabel 1.10. Sõnnikus sisalduvad raskemetallid. [10]**

Substraat	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	mg/kgKA						
Veise vedelsõnnik	0,3	7,3	44,5	0,06	5,9	7,7	270
Sea vedelsõnnik	0,4	9,4	309	0,02	10,3	6,2	858
Veise tahesõnnik	0,29	12,9	39	0,03	5,2	30	190
Sea tahesõnnik	0,33	10,3	405	0,04	9,5	5,1	1068
Linnusõnnik	0,25	4,4	52,6	0,02	8,1	7,2	336

## 1.4. Viljandimaa valdade energeetiline olukord

Antud peatükis on tuginedes saada olevatele materjalidele koostatud võrdlev ülevaade Viljandimaa valdade energeetilise olukorra kohta. Paljudel valdadel puudub info ja kirjeldus hetkeolukorra kohta. Kokkuvõttev olukord on toodud välja antud peatüki lõpus tabelis 1.8.

Hetkel töötab Abja vallas 3 kaugkütte katlamaja, mis asuvad Abja-Paluoja linnas. Täiesti modernsed ja probleemivabad on kultuurimaja katlamaja ja Kastani tn keskkatlamaja, mis töötavad keskkonnasäästlikul õlikütteil. Kultuurimaja katlamaja kütab vallamaja, kultuurimaja ja lasteaeda-perearstikeskust. Teostatud on uute soojatrasside ehitus. Heas seisus on Järve tänava katlamaja, mis toodab sooja Abja Haiglale, kolmele elamule ja uuele „Konsum“ toidukauplusele. Katlamajade rekonstrueerimisega on märgatavalt vähenenud õhusaaste asustatud punktides. [29]

Viljandi vallas asub 4 kaugküttepiirkonda: Viiratsi, Ramsi, Vana-Võidu ja Päri. Viiratsi aleviku soojatrassid ja katlamaja müüs Viiratsi vald 1998. aastal eraettevõttele. Täna tegeleb alevikus soojamajandusega Adven Eesti AS (enne Fortum Termest), kes omab asulas katlamaja ja soojatrasse. Soojaenergiat toodetakse maagaasiga, soojus jõuab korterelamuteni kahe katla abiga (1,8 MW ja 1,1 MW), mille valmistusaastad on 2003 ja 2007. Orienteeruv katelde kasutegur on 92-95%. Aastas müüdiv soojusenergia hulk on 4300 MWh ja soojaenergia kadu süsteemis on ca 20%. Kaugkütte võrgu pikkus on 1770 meetrit. [30]

Ramsi kaugküttepiirkonnas toodab soojusenergiat AS Ramsi Turvas, kasutades kütusena hakkepuitu. Aastas toodetav soojusenergia hulk on 3000 MWh. Peamised probleemid on kaugküttetaristu renoveerimise vajadus ja väike tarbimistihedus. [30]

Vana-Võidu katlamaja opereerib N.R. Energy OÜ. Katlamaja on ehitatud täiesti uue ja kaasaegsena, hakkekatla võimsus on 1,5 MW ja varustuskindluse tagamiseks paigaldati lisaks õlikatel võimsusega 2,3 MW. Tehtud investeering suudab tagada kõigi seniste ja planeeritud

uute tarbijate soojuse nõudluse. Õlikatel oli planeeritud uute liitujate ja kogu seniste tarbijate täisvõimsuse katmiseks ilma hakkekatlata. [31]

Päri kaugküttepiirkonnas on õliküttega töötav katlamaja, mida opereerib OÜ SW Energia. Aastas toodetakse 980 MWh soojusenergiat ja peamisteks probleemideks on kaugküttetaristu vananemine ja vajadus renoveerida ning kalli kütuse kasutamine ja seetõttu kallis soojusenergia. [30]

Viiratsi katlamaja töötab gaasiga ning tootis 2015 aastal 4300 MWh soojusenergiat, Ramsi katlamaja kasutab kütusena hakkepuitu ja turvast, ning 2015. aastal toodeti 3000 MWh soojusenergiat. Vana-Võidu katlamaja tootis hakkepuitu kasutades 2015. aastal 1800 MWh soojusenergiat ja Ramsi õlikütusel töötav katlamaja 980 MWh soojusenergiat. [30]

Suure-Jaani vallas on 3 kaugkütte piirkonda: Suure-Jaani linn, Olustvere ja Sürgavere. Olustvere katlamaja on üle viidud hakkepuidule, 2014. a viidi taastuvale küttele üle ka Suure-Jaani ning Sürgavere tsentraalkatlamajad. Kütetrassid vajavad renoveerimist. Soojavarustusega seotud probleemiks on kütte kõrge hind. Korrusmajade küttesüsteemide osas on suurim probleem, et süsteem on tasakaalustamata ning mõnes majas puudub ühtne kütmisslahendus: osad korteritest kasutavad kättesaadavaid kütteviise, teised on liitunud tsentraalküttega. Korrusmajades on suured energiakulud, sest majad on väljast soojustamata. Kaugkütte areng kavandatakse täpsemalt kaugkütte arengukavaga. [32]

Tarvastu vallas asub Mustla kaugküttepiirkond, seal asuv tsentraalkatlamaja ja trassid vajavad renoveerimist. Soojavarustusega seotud probleemiks on kütte kõrge hind. Korrusmajades on suured energiakulud, sest majad on väljast soojustamata. Mustla aleviku õhus kulgevad kaugkütetrassid on 2011.a jooksul saanud täies ulatuses uue soojusisolatsiooni ja plekk-katte. Lisaks paigaldas soojusenergia tootja OÜ SW Energia 2011.a Mustla tsentraalkatlamajja põlevkiviõli tarbiva katla kõrvale uue hakkepuidukatla koos eelkoldega ning ehitas ka vastava hakkepuidupunkri. Hakkepuitu varem Mustla aleviku kaugküttesüsteemis energiaallikana ei kasutatud, kogu soojusenergia toodeti seni põlevkiviõli tarbeks ehitatud süsteemidega. [33]

Karksi, Halliste ja Kolga-Jaani valla kohta täpne info hetkel puudub, kuid üldised numbrid on toodud tabelis 1.8. Kõo ja Kõpu vallas kaugkütte piirkonnad puuduvad.



**Tabel 1.11. Viljandimaa energeetilise olukorra hetkeülevaade. [34]**

Vald	Piirkond	Leibkondade arv	Aastane tootlikkus, MWh	Soojuse piirhind, eur/MWh	Kütteliik	Avalikud teenused
-	Viljandi linn		85000	55,38	hakkepuit, gaas	Kõik Viljandi linnas asuvad avalike teenuste asutused
-	Võhma	506	7000	53,42	hakkepuit	Kool, spordihoone, lasteaed, päevakeskus, raamatukogu, kultuurikeskus, kauplus
Abja	Mõisaküla	67	1200	43,92	õli	Koolimaja, spordihoone
	Abja	152	3000	70,82	hakkepuit, õli	Kultuurimaja, kool, vallamaja, õpilaskodu, spordihoone, haigla
Halliste	Õisu	70	930	68	hakkepuit	Korrumajas: lasteaed, raamatukogu
Karksi	Karksi-Nuia	272	5100	54,43	hakkepuit	Gümnaasium, kultuurikeskus, lasteaed, noortekeskus, rendipinnad, kauplus, puidu ettevõtja hooned.
Kolga-Jaani	Kolga-Jaani	110	2700	53,69	halupuu	Vallamaja, sotsiaalmaja, lasteaed, hooldekodu, kool
Suure-Jaani	Suure-Jaani	62	1400	64,1	hakkepuit	Kool, vallamaja, lasteaed, raamatukogu, kauplus
	Sürgavere	84	1622	55,83	hakkepuit	Võimla, kool-lasteaed
	Olustvere	144	3144	67,11	hakkepuit	Lasteaed, kool, raamatukogu, kauplus
Tarvastu	Mustla	60	2200	59,63	hakkepuit	Perearstikeskus, kool, vallamaja, rahvamaja, raamatukogu, kauplus
Viljandi vald	Päri	76	980	60,58	õli	Lasteaed-raamatukogu, spordihoone, sotsiaalkorter
	Ramsi	218	3000	56,56	hakkepuit, turvas	Lasteaed, vabaaja keskus. kauplus
	Vana-Võidu	64	1800	64,41	hakkepuit	Lasteaed (korterelamus), spordihoone, mõisahooned, kauplus
	Viiratsi	307	4300	60,24	gaas	Lasteaed, kauplus, koolimaja, vallamaja, päevakeskus, 2 vanadekodu, rahvamaja

## 2. Materjalid ja metoodika

Viljandimaa maakasutuse, kasutuses ja kasutusest väljas olevate põllumaade määramiseks kasutati erinevaid kaardikihte, milleks olid:

- Eesti põhikaarti 1:10 000
- PRIA põllumassiivide kaart 2015. aasta seisuga

Lisaks on kasutatud põllumaade määramisel PRIA pindalatoetuste andmebaasi (2015. aasta seisuga) ja saagikuse arvutamisel PRIA poolt antud valdade boniteedid. Loomühikute arvude leidmisel on kasutatud PRIA andmebaasi loomühikute arvu ja loomakasvatushoonete paiknemise kohta.

Maakasutuse jagunemiseks lõigati põhikaardilt välja erinevate joonelementide järgi arvatud puhvrid ehk teatud kaugus joonelemendi telgjoonest, mis sõltus joonelemendist endast.

PRIA põllumassiivide kaart seostati PRIA pindalatoetuste andmebaasiga, pindalatoetust saavate põllumassiivide põhjal arvutati välja erinevate kultuuride poolt haritud põllumassiivid. Eeldati, et põllumassiivid, mis puuduvad PRIA pindalatoetuse andmebaasist, on kasutusest väljas. Kasutusel olevad põllumaad liigitati erinevate kultuuride kaupa, energeetilisest seisukohast on enim huvipakkuvad erinevad teraviljad: kaer, rukkis, nisu, oder, tritikale ja raps. Igale teraviljale on Eesti Statistikaameti andmebaasist leitud viimase kolme aasta saagikuse põhjal keskmine saagikus hektari kohta. Maakonna keskmise põllumajandusmaa boniteedi ja valdade keskmise boniteedi põhjal on leitud mulla viljakuse kvaliteeti hindav koefitsient, millega on saadud aastane saagikus läbi korrutatud. Saadud iga valla teoreetilise saagikuse alusel on leitud igas vallas kasvava teravilja teoreetiline kogus. Saadud teravilja aastase saagikuse põhjal on leitud igale teraviljale vastavalt tekkiva põhu kogus.

Viljandimaal tekkiva sõnniku koguse arvutamiseks on leitud loomade arv erinevates valdades, kõrvutades põhikaarti PRIA poolt antud loomakasvatushoonete asukohtadega. Leitud on loomade arvud valdade kaupa, loomad on jaotatud nelja rühma: veised, lambad, kitsed ja sead. Leitud on igas vallas paiknevate loomade koguarv. Kasutades loomade arvu on võimalik hinnata tekkiva sõnniku kogust eri loomaliikide kaupa. Sõnniku koguse hindamisel võtame arvesse tekkiva sõnniku kogust, vastavas loomakasvatushoones kasutatavat loomapidamisviisi, sõnnikuliiki (vedelsõnnik, tahkesõnnik). Sõnniku koguste arvutamisel ja sellest saadava biogaasi ja metaani koguste arvutamisel on kasutatud kõikide koefitsientide keskmisi suurusid. Veiste sõnniku arvutamisel arvutati eraldi piimalehmade, lehm- ja pullmullikade ja lehm- ja pullvasikate poolt tekkiv sõnniku kogus, arvesse võeti kas veiseid peetakse laudas või karjas. Üle 400 veisega loomapidamisasutustes on veised ainult laudas, alla selle aga karjatatakse. Samuti võeti arvesse kas tekib vedel- või tahesõnnik, seda hinnati taas vastavalt veiste arvule loomapidamisasutuses, üle 200 veise korral tekib vedelsõnnik, alla 200 lehma korral aga tahesõnnik. Sõnniku koguste arvutamisel ei ole kaasatud lihaveiseid. Saadud sõnniku kogusest leiti kuivaine kogus ja selle põhjal määrati orgaanilise kuivaine kogus sõnnikus. Orgaanilise kuivaine ja biogaasi koguse leidmise aluseks võeti keskmised koefitsiendid tabelist 1.4. Seal toodud tekkivate koguste vahemikust on leitud aritmeetiline keskmine, saadud arvutustest kasutatavad koefitsiendid on toodud tabelis 2.1.

**Tabel 2.1. Sõnnikust tekkiva gaasi kogus ja metaani sisaldus.**

<b>Substraat</b>	<b>Orgaanilise kuivaine oKA, %</b>	<b>Biogaasi kogus, m<sup>3</sup>/t oKA</b>	<b>CH<sub>4</sub> sisaldus, mahu%</b>
Veise vedelsõnnik	78,5	350	60
Sea vedelsõnnik	80,5	500	65
Veise tahesõnnik	72	255	60

Biogaasi energiasisalduse arvutamisel lähtuti eeldusest, et biogaasi kütteväärtus on 6,0 – 6,5 kWh/m<sup>3</sup>, meie arvutustes võtame keskmiseks 6 kWh/m<sup>3</sup>. [10]

Kasutusest väljas olevate rohumaade bioenergeetilise potentsiaali arvutamisel on eeldatud, et PRIA pindalatoetuste andmebaasis mitte asuvaid põllumassiive ei kasutata. Kõrvutades

Viljandimaal asuvaid põllumassiive ja PRIA pindalatoetuste andmebaasi võrreldes on leitud kasutusest väljas olevad põllumajandusmaad valdade kaupa. Nende kasutusest väljas olevate rohumaade potentsiaali hindamiseks on leitud Statistikaameti andmebaasist looduslike rohumaade viimase kolme aasta keskmine saagikus hektari kohta. Saadud keskmine saagikus on korrutatud iga valla boniteedi koefitsiendiga, hindamaks antud valla muldade kvaliteeti ja leitud tekkiv rohtne biomass. Saadud kogus on korrutatud rohtse biomassi kütteväärtusega. Lisaks on leitud kasutusest väljas olevate rohumaade potentsiaal eeldusel, et kasutuses olevate rohumaade pindala väheneb järgnevate aastate jooksul maakonna keskmisena 50% võrra. Samuti on arvutatud välja kasutusest väljas olevate põllumajandusmaade energeetiline potentsiaal, kui neid põllumajandusmassiive kasutada energiakultuuride kasvatamisel. Kasutusest väljas olevate põllumaade bioenergeetiline potentsiaal on leitud eeldusel, et põllumaid ei kasutata ja on tekkinud looduslikud rohumaad.

Töös on kasutatud kaardirakendusprogrammi MapInfo 12.5 ja tabelarvutusprogrammi MS Excel.

## 3. Tulemused ja arutelu

### 3.1. Viljandimaa maakasutuse kategooriad

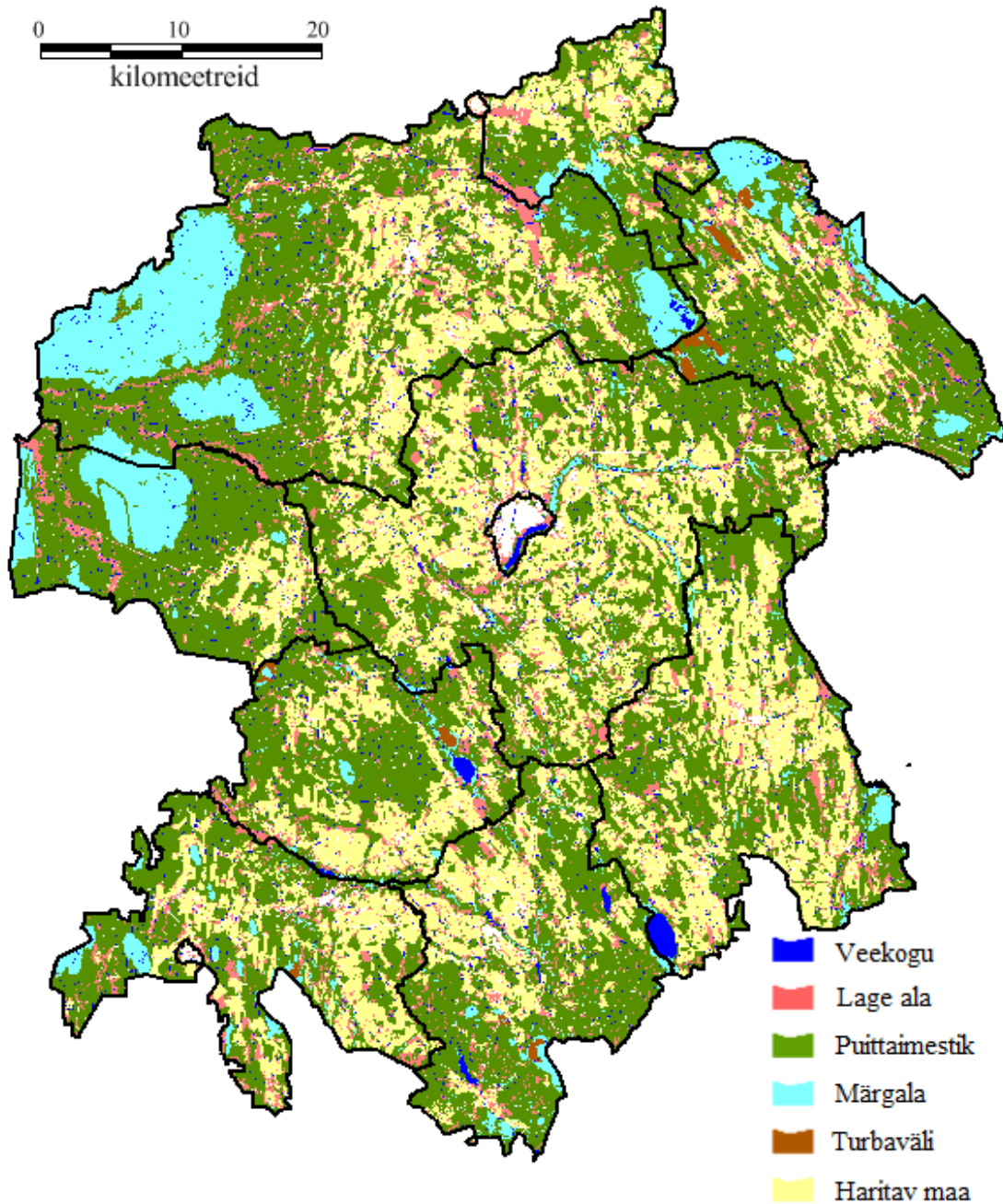
Põhikaardi alusel on leitud Viljandimaa pindala eri liiki ja tüüpi maakasutuse alusel. Viljandimaal on suurima osatähtsusega puittaimestik, mis moodustab üle 53 % kogu maakonna pindalast, kogupindalaga üle 174 tuhande hektari. Suuruselt järgmine maakasutusekategooria on haritav maa, mis moodustab 27 % kogu Viljandimaa pindalast. Ligi 9 % maakonna pindalast moodustavad märgalad, eesotsas Soomaa Rahvuspargiga. Saadud maakasutuse kategooriate pindalad ja osakaale kirjeldab tabel 3.1. Võrreldes terve Eesti maakasutusega 2007. aastal on Viljandimaa maakasutus suhteliselt ligilähedal Eesti keskmisele metsamaa osakaalu poolest, kus mets moodustas Eesti Vabariigi pindalast 55,3 %. Põllumaa osakaal on Viljandi maakonnas suurem kui Eesti keskmine, milleks oli 2007. aastal 23,8 %. [35]

**Tabel 3.1. Viljandimaa pindalad**

Liik	Tüüp	Pindala, ha	Osakaal, %
Haritav maa	Põld	87708	26,81
	Aianduslik maa	609	0,19
Lage	Rohumaa	20014	6,12
	Muu lage	7830	2,39
Märgala		28850	8,82
Muu kõlvik		623	0,19
Õu		5860	1,79
Puittaimestik		174431	53,32
Turbaväli		1222	0,37
KOKKU:		327146	100,00

Graafiliselt illustreerib Viljandimaa maakasutust joonis 3.2. Jooniselt on näha, et haritavat maad on kõige rohkem asustatud punktide, maakonna keskuse Viljandi linna ümber paiknevas Viljandi rõngasvallas, samuti Suure-Jaani ja Tarvastu valla Viljandi poolses küljes. Samuti on haritava maa massiive rohkem Lõuna-Viljandimaal Halliste, Karksi ja Abja valla keskuste

vahelise ala juures. Viljandimaa läänepoolsel alal asuv Soomaa rahvuspark hõlmab suure ala Suure-Jaani ja Kõpu vallast, mistõttu on seal haritava maa osatähtsus väiksem.



**Joonis 3.1. Viljandimaa maakasutus**

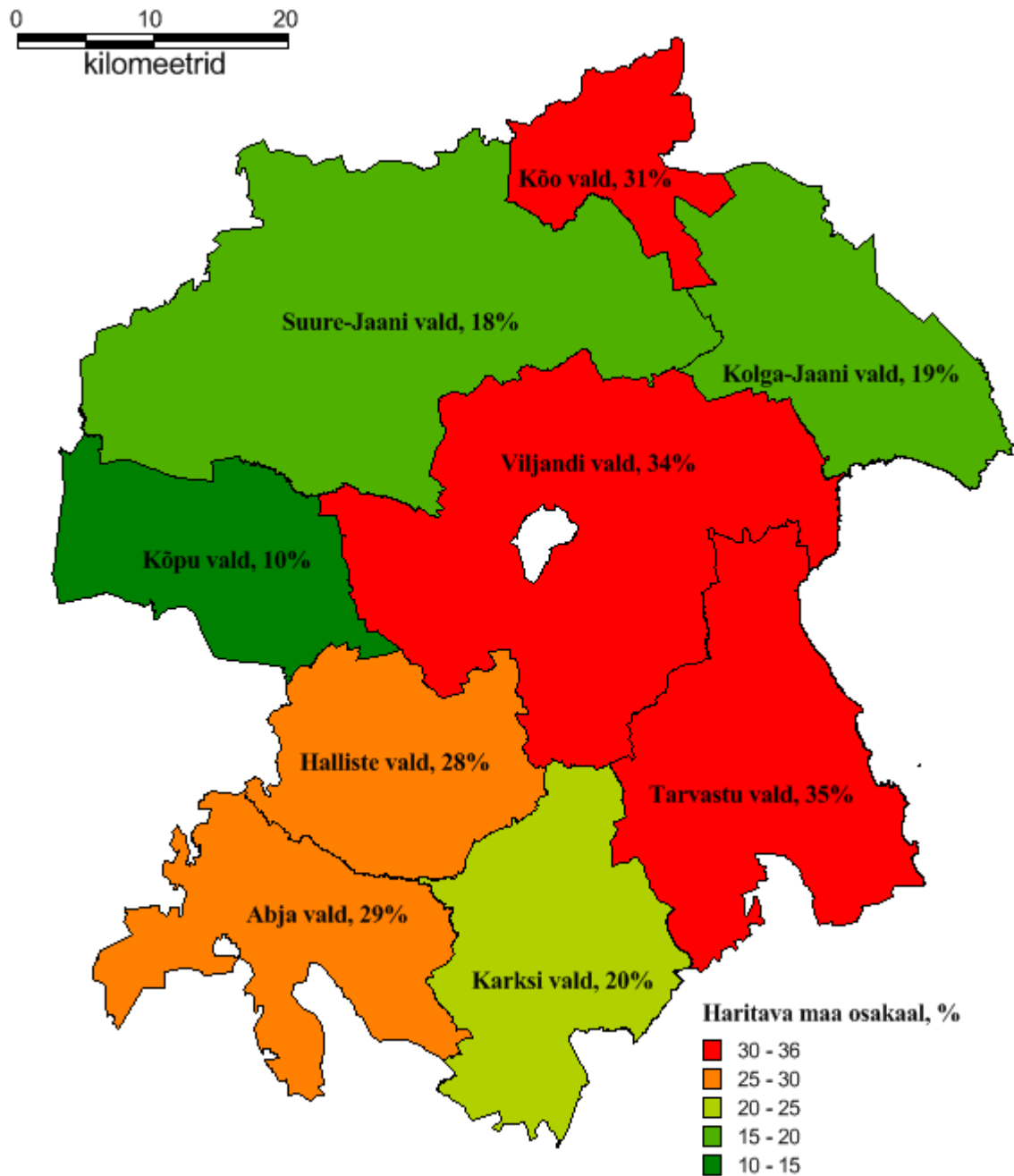
Lisaks kirjeldab tabel 3.2. Viljandimaa erinevate joonobjektide puhvleid ehk joonelemendi telgjoonest teatava kauguseni jääva maa-ala pindala. Antud pindalad kirjeldavad

joonelementide kõrvale jäävate puhvertsoonide ehk kasutusest väljas olevate maa-alade suuruseid.

**Tabel 3.2. Viljandimaa joonelementide puhvrite pindalad.**

<b>Liik</b>	<b>Pindala, ha</b>
Siht	970
Rööbastee	27
Elektriliinide kaitsevöönd	4723
Tee	3557
Seisuveekogu	2234
Vooluveekogu	5034

Kasutuses oleva haritava maa osakaalu kogu valla pindala suhtes kirjeldab joonis 3.3. Sellelt on näha, et suurima osakaaluga on haritav maa Viljandi ja Tarvastu vallas. Väiksemad osakaalud on haritaval maal Kõpu ja Suure-Jaani vallas, see on seletatav nende valdade piirialal asuval Soomaaga, mistõttu domineerib seal märgala ja haritava maa tähtsus on sellepärast väiksem.



Joonis 3.2. Haritava maa osakaal kogu valla pindalast.



### 3.2. Viljandimaal tekkiv põhu kogus

Põhu koguse arvutamisel on arvesse võetud Viljandimaal erinevate teraviljade poolt haritud maade pindalad, mis on leitud võrreldes PRIA pindalatoetuse andmebaasi ja Viljandimaa maakasutuse kaarti. Lähteandmed PRIA pindalatoetuse andmete alusel 2015.a seisuga. Tulemused eri kultuuride pindalade kohta Viljandimaal on toodud tabelis 3.3.

**Tabel 3.3. Eri kultuuride pindala valdade kaupa:**

<b>Vald</b>	<b>Kaer, ha</b>	<b>Rukis, ha</b>	<b>Nisu, ha</b>	<b>Oder, ha</b>	<b>Tritikale, ha</b>	<b>Raps, ha</b>	<b>Kokku, ha</b>
Abja vald	426	486	1900	1033	84	511	4440
Halliste vald	273	152	2023	907	61	1022	4438
Kõo vald	98	157	738	553	0	426	1971
Kõpu vald	13	0	211	330	41	175	770
Karksi vald	284	48	1009	1144	0	255	2740
Kolga-Jaani vald	35	202	1567	990	65	541	3399
Suure-Jaani vald	296	254	2657	2204	208	847	6465
Tarvastu vald	666	532	3207	2585	265	1424	8679
Viljandi vald	395	486	5794	3745	81	2098	12599
Kokku Viljandimaal	2487	2317	19104	13490	804	7298	45501

Kuna eri teraviljade saagikus on Statistikaametis maakondade kaupa, on valdade täpsema saagikuse arvutamiseks arvesse võetud maakonna keskmist põllumajandusmaa boniteeti ja võrreldud seda valla keskmise boniteediga. Boniteedid on välja toodud tabelis 3.4.

**Tabel 3.4. Viljandimaa valdade põllumajandusmaa kaalutud keskmine boniteet hindepunktides**

<b>Maakond</b>	<b>Boniteet</b>
Abja vald	39
Halliste vald	41
Karksi vald	43
Kolga-Jaani vald	43
Kõo vald	47
Kõpu vald	36
Suure-Jaani vald	43
Tarvastu vald	41
Viljandi vald	43
Viljandimaa keskmine	42

Kogu maakonna keskmine saagikus on vastava koefitsiendiga läbi korrutatud ja vastavalt sellele leitud igale vallale keskmine saagikus. Arvesse on võetud viimase kolme aasta keskmist saagikust, andmed on saadud Statistikaametist. Teraviljade saagikused on toodud tabelis 3.5.

**Tabel 3.5. Teravilja saagikused Viljandimaal.**

<b>Aasta</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>KESKMINE</b>
<b>Teravili</b>	<b>t/ha</b>			
Rukis	1,90	3,13	4,57	3,20
Talinisu	2,98	4,38	5,20	3,99
Suvinisu	3,56	3,57	4,30	
Talioder	3,49	3,72	4,15	3,84
Suvioder	-	-	4,00	
Tritik	2,26	3,09	5,20	3,52
Kaer	2,49	2,07	2,71	2,42
Suviraps	1,83	1,70	2,23	2,28
Taliraps	2,61	2,299	3,04	

Arvutuslik teraviljade saagikus valdade kaupa on saadud arvestades vastava teravilja viimase kolme aasta keskmist saagikust Viljandimaal ning mulla kvaliteeti selles vallas. Saadud tulemus on toodud tabelis 3.6.

**Tabel 3.6. Arvutuslik teraviljade saagikus valdade kaupa**

Vald	Kaer	Rukis	Nisu	Oder	Tritikale	Raps
	t/ha					
Abja vald	2,25	2,98	3,72	3,57	3,27	2,12
Halliste vald	2,37	3,13	3,91	3,76	3,44	2,23
Karksi vald	2,48	3,29	4,10	3,94	3,61	2,34
Kolga-Jaani vald	2,48	3,29	4,10	3,94	3,61	2,34
Kõo vald	2,71	3,59	4,48	4,31	3,94	2,56
Kõpu vald	2,08	2,75	3,43	3,30	3,02	1,96
Suure-Jaani vald	2,48	3,29	4,10	3,94	3,61	2,34
Tarvastu vald	2,37	3,13	3,91	3,76	3,44	2,23
Viljandi vald	2,48	3,29	4,10	3,94	3,61	2,34
Viljandimaa Keskmine	2,42	3,20	4,00	3,84	3,52	2,28

Saadud korrigeeritud keskmine saagikus iseloomustab täpsemalt iga valla kohta erinevate teraviljade saagikust. Selle põhjal saab leida valdades aastas koristatud teraviljade kogused, kui saagikust korrutada igas vallas vastava teravilja pindalaga. Saadud teravilja kogused valdade kaupa on toodud tabelis 3.7.

**Tabel 3.7. Teraviljade saagikus tonnides valdade ja teraviljade kaupa**

Vald	Kaer, t	Rukis, t	Nisu, t	Oder, t	Tritikale, t	Raps, t
Abja vald	959,9	1448,8	7067,5	3692,2	274,7	1086,2
Halliste vald	646,9	475,5	7912,5	3406,9	211,1	2282,7
Karksi vald	706,1	157,4	4141,1	4507,1	0,0	596,3
Kolga-Jaani vald	87,3	664,6	6427,0	3901,3	232,8	1266,8
Kõo vald	265,7	562,1	3307,5	2381,5	0,0	1089,8
Kõpu vald	27,5	0,0	723,1	1090,1	122,5	343,1
Suure-Jaani vald	735,5	833,6	10898,6	8685,5	750,9	1983,8
Tarvastu vald	1576,8	1667,5	12543,9	9713,5	911,7	3181,0
Viljandi vald	979,5	1597,9	23767,7	14762,1	293,0	4914,3

Saadud kogu saagikus on korrutatud tekkiva põhu kogusega tonni teravilja kohta ja leitud on vastavale teraviljale tekkiva kogu põhu kogus valdade kaupa. Arvutustes kasutatud põhu koefitsiendid on toodud tabelis 3.8.

**Tabel 3.8. Põhu kogus teravilja terasaagi kohta**

<b>Teravili</b>	<b>Põhku tonni teravilja kohta, t</b>
Kaer	1,1
Rukis	1,3
Nisu	0,9
Oder	0,8
Tritikale	0,9
Raps	2

Kokku tekkiv põhk on alljärgnevas tabelis 3.9.

**Tabel 3.9. Arvutuslik põhu kogus Viljandimaal**

<b>Vald</b>	<b>Põhku kokku, t</b>
Abja vald	14673
Halliste vald	15932
Karksi vald	9506
Kolga-Jaani vald	12609
Kõo vald	8084
Kõpu vald	2350
Suure-Jaani vald	23293
Tarvastu vald	30145
Viljandi vald	46447
Kokku Viljandimaal	163040

### **3.3. Viljandimaa tekkiv sõnnik**

Viljandimaal tekkiva sõnniku koguse arvutamisel on arvesse võetud loomakasvatushoonete paiknemist, nendes asuvate loomade liiki ja arvu ning pidamise viisi. Vastavalt Põllumajandusministri 14.07.2014 määruse nr 71 „Eri tüüpi sõnniku toitainete sisalduse arvestuslikud väärtused, sõnnikuhoidlate mahu arvutamise meetodika ja põllumajandusloomade loomühikuteks ümberarvutamise koefitsiendid” Lisa 3 ja Lisa 4-s kirja pandud sõnniku kogustele on saadud aastas tekkiv sõnniku kogus farmis. Vastavalt loomaliigile on leitud sõnnikus sisalduv kuivaine ning selles sisalduv orgaaniline kuivaine.

Orgaanilise kuivaine põhjal saab arvutada vastava loomaliigi sõnniku biogaasi teoreetilise potentsiaali. Saadud tulemused on toodud tabelis 3.10.

Tulemuste põhjal võib öelda, et nii lammaste kui ka kitsede biogaasi teoreetiline potentsiaal ei ole suure osakaaluga. Samuti ei ole vaja energeetilist potentsiaali arvutades arvesse võtta valdasid, kui on veiste ja sigade arv väike, kuna nii väikesemahulised biogaasijaamad ei ole majanduslikult mõttekad.

**Tabel 3.10. Loomade arv, sõnniku, biogaasi ja metaani kogus ja selle teoreetiline biogaasi ja metaani potentsiaal valdade kaupa Viljandimaal.**

	<b>Abja</b>	<b>Halliste</b>	<b>Karksi</b>	<b>Kolga-Jaani</b>	<b>Kõo</b>	<b>Kõpu</b>	<b>Suure-Jaani</b>	<b>Tarvastu</b>	<b>Viljandi</b>
<b>Veiste arv</b>	1643	257	151	176	123	1228	1857	2211	3881
<b>Veiste sõnnikut, t</b>	25957	3022	1841	120496	1302	20706	26791	31445	60229
<b>Biogaasi, m<sup>3</sup></b>	23543	102	60	71	50	22079	23445	27083	59889
<b>Metaani, m<sup>3</sup></b>	14126	61	36	42	30	13248	14067	16250	35933
<b>Lammaste arv</b>	62	293	598	330	91	161	724	1371	1669
<b>Lammaste sõnnikut, t</b>	87	410	837	462	127	225	1014	1919	2337
<b>Biogaasi, m<sup>3</sup></b>	6770	31996	65302	36036	9937	17581	79061	149713	182255
<b>Metaani, m<sup>3</sup></b>	4062	19197	39181	21622	5962	10549	47437	89828	109353
<b>Kitsede arv</b>	25	0	17	16	7	5	20	26	43
<b>Kitsede sõnnikut, t</b>	53	0	36	34	15	11	42	55	90
<b>Biogaasi, m<sup>3</sup></b>	4134	0	2811	2646	1158	827	3308	4300	7111
<b>Metaani, m<sup>3</sup></b>	2481	0	1687	1588	695	496	1985	2580	4267
<b>Sigade arv</b>	5090	29	3	520	0	10	15	11344	68280
<b>Sigade sõnnikut, t</b>	2545	15	2	260	0	5	8	5672	34140
<b>Biogaasi, m<sup>3</sup></b>	71992	410	42	7355	0	141	212	160447	965735
<b>Metaani, m<sup>3</sup></b>	46795	267	28	4781	0	92	138	104290	627728

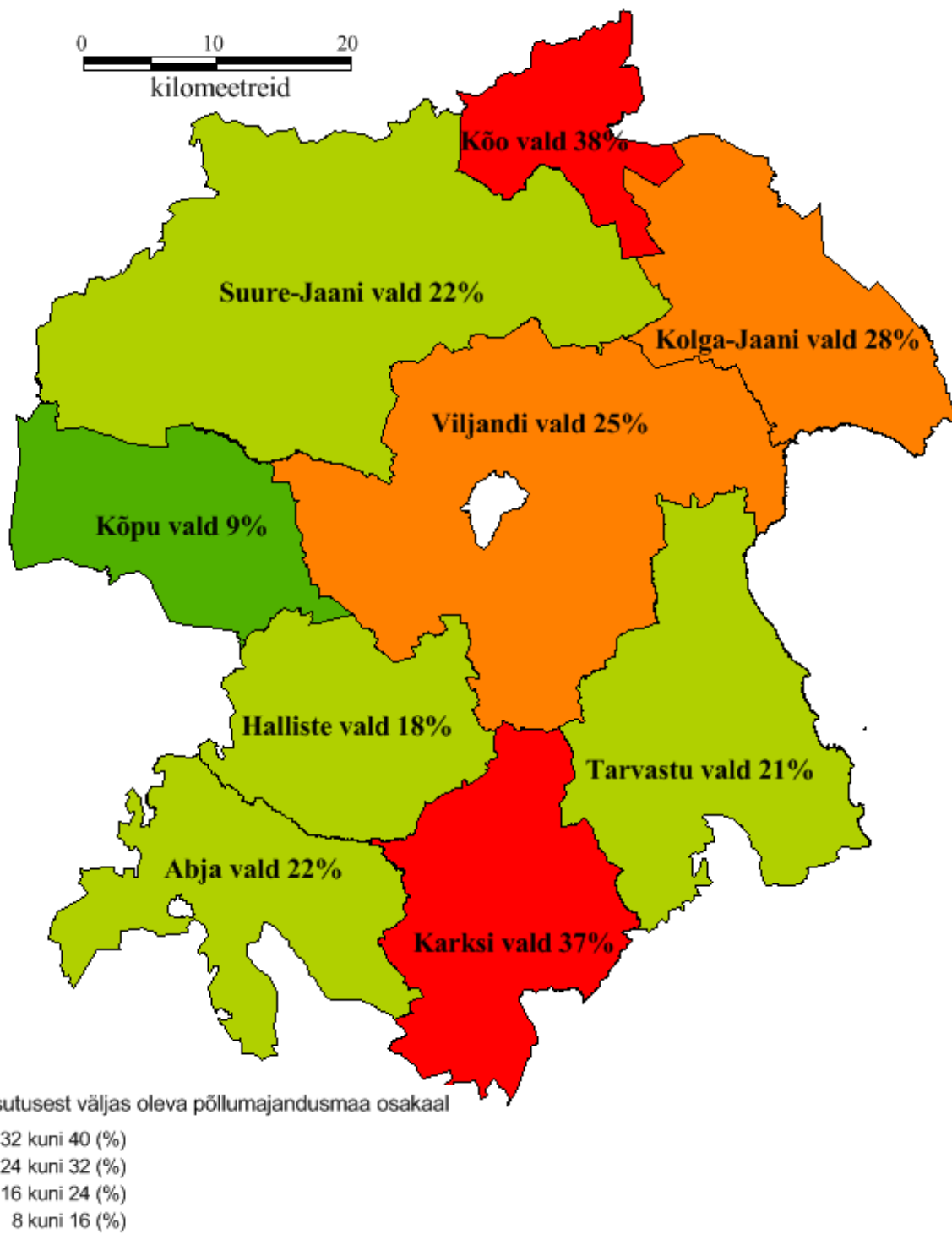
### 3.4. Kasutusest väljas olevad põllumajandusmaad

Kasutusest väljas olevad maad jagunevad kahte suurde kategooriasse: kasutusest väljas olevad põllumaad ja lagedad alad, mis omakorda jagunevad rohumaadeks ja muudeks lagedateks aladeks. Viljandimaa kasutusest väljas olevate maade jagunemine on toodud alljärgnevas tabelis 3.11.

**Tabel 3.11. Kasutusest väljas olevad maad valdade kaupa**

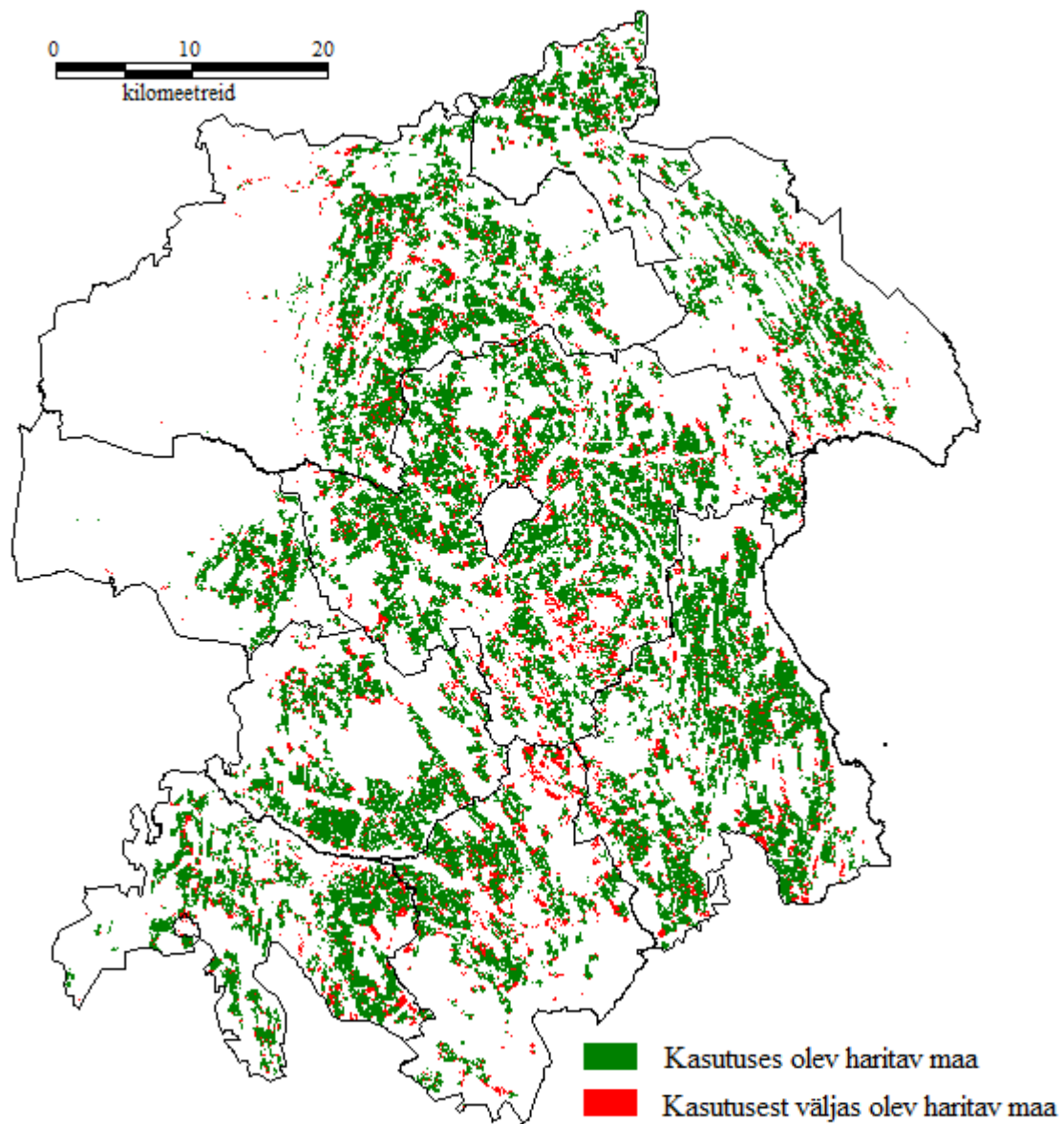
	<b>Haritav maa, ha</b>	<b>Rohumaa, ha</b>	<b>Kokku, ha</b>
Abja vald	1252	1254	2505
Halliste	949	1037	1986
Kolga-Jaani	766	1040	1806
Kõo	476	566	1043
Kõpu	267	807	1074
Karksi	1993	1165	3158
Suure-Jaani	1774	2608	4382
Tarvastu	2326	1608	3934
Viljandi	4195	3246	7441
Kokku (ha)	13999	13332	27331

Viljandimaa pindalade arvutusest (tabel 3.1.) selgub, et põllumaa pindala on kokku maakonnas 88 316,91 hektarit, millest kasutusest on väljas 13 998,79 hektarit, mis moodustab 15,85 % kogu põllumaast. Rohumaid on Viljandimaal kokku 20014 hektarit, kasutamata nendest on 13 332 hektarit, mis moodustab 66,6 % kogu rohumaade pindalast.



Joonis 3.3. Kasutusest väljas oleva põllumajandusmaa maa osakaal.





**Joonis 3.4. Viljandimaal paiknevad kasutuses ja kasutusest väljas olevad põllumassiivid.**

### 3.5. Bioressursi energeetiline potentsiaal

Põhu energeetilise potentsiaali hindamisel kasutatakse energeetikas ära 20% põhu saagist. Põhu potentsiaalse energia tootlikkuse korral hindame kõikide valdade potentsiaali, kuna põhku tekib ka väiksemates põllumajandusega tegelevates majapidamistes ning seda saab ära kasutada ka väikeses mastaabis. Arvutustes kasutame niiske põhu kütteväärtust, milleks on 14,5 MJ/kg. Saadud potentsiaalne toodetav energia on toodud tabelis 3.12.

**Tabel 3.12. Põhust toodetav potentsiaalne energia**

<b>Vald</b>	<b>Põhku kokku, t</b>	<b>Potentsiaalne energia 20% põhust, GWh</b>
Abja vald	14673,43	11,82
Halliste vald	15931,98	12,83
Karksi vald	9506,46	7,66
Kolga-Jaani vald	12608,56	10,16
Kõo vald	8084,46	6,51
Kõpu vald	2349,63	1,89
Suure-Jaani vald	23293,12	18,76
Tarvastu vald	30144,99	24,28
Viljandi vald	46447,48	37,42
Kokku Viljandimaal	163040,10	131,34

Saadud põhu potentsiaalse energia järgi võib järeldada, et 20% põhu energia ära kasutamisel saaks katta 42 % Viljandimaa aastasest soojusenergia vajadusest, mis on Statistikaameti põhjal 310 GWh. Elektrienergia aastane tarbimine Viljandimaal on Statistikaameti andmetel 210 GWh, millest põhu potentsiaalne energia moodustab üle 62%.

Sõnniku potentsiaalse energia tootlikkuse arvutamisel hindasime ainult nende valdade biogaasi potentsiaali, kus on sellel ka majanduslik mõte. Samuti jätame biogaasi potentsiaali hindamisel välja nii lambad kui ka kitsed ja hindame ainult veiste ja sigade sõnniku energeetilist potentsiaali. Biogaasijaama ehitamiseks puudub majanduslik mõte, kui loomühikuid on vähe, seega hindasime eraldi nii veised kui sigu ja vastavalt sellele valisime vallad, mida hinnata. Veiste sõnniku biogaasi potentsiaali hindamisel on arvestatud valdasid,

kus loomühikute arv on üle 1000 veise. Selle põhjal võib järeldada, et kas antud vallas on suurem veisekasvatushoone või paikneb lähestikku palju väiksemaid lautasid, mistõttu on tekib sõnniku kogumisel ja transportimisel energeetiline ja majanduslik eesmärk. Sigade sõnniku potentsiaalile hinnangu andmiseks jääb mõistlikuks hinnata ainult kolme valla potentsiaali: Abja, Tarvastu ja Viljandi. Teistes valdades asub niivõrd vähe sigu, et ei ole majanduslikku otstarvet nii väikeses mahus biogaasi toota. Arvestamata jäävad väiksemad loomkasvatuskohad, mis asuvad valdade piiri läheduses ning millel võiks olla majanduslikult mõttekas transportida sõnnikut naabervallas asuvasse biogaasitehasesse.

Biogaasi kütteväärtuseks arvutustes võtsime  $6 \text{ kWh/m}^3$ . Veiste kasvatamisest tekkinud sõnniku potentsiaalne energia on toodud tabelis 3.13 ja sigade kasvatamisel tekkinud energia potentsiaal 3.14.

**Tabel 3.13. Veiste kasvatamisel tekkinud sõnniku potentsiaalne energia.**

<b>Vald</b>	<b>Veiste arv</b>	<b>Biogaasi kokku, m<sup>3</sup></b>	<b>Potentsiaalne energia sõnnikust, MWh</b>
Abja vald	1643	23543,17	141,26
Kõpu vald	1228	22079,39	132,48
Suure-Jaani vald	1857	23444,61	140,67
Tarvastu vald	2211	27083,02	162,50
Viljandi vald	3881	59889,07	359,33
Kokku	10820	156039,26	936,24

**Tabel 3.14. Sigade kasvatamisel tekkinud sõnniku potentsiaalne energia.**

<b>Vald</b>	<b>Sigade arv</b>	<b>Biogaasi kokku, m<sup>3</sup></b>	<b>Potentsiaalne energia sõnnikust, MWh</b>
Abja vald	5090	71991,7	431,95
Tarvastu vald	11344	160446,7	962,68
Viljandi vald	68280	965735,3	5794,41
Kokku	84714	1198173,64	7189,04

Sõnniku potentsiaalse energia ära kasutamisel biogaasi tootmisel on võimalik toota üle 8 GWh energiat. Selle energia ära kasutamisel oleks võimalik katta ära Viljandi linna aastane soojusenergia vajadus, mis on ligikaudu 8,5 GWh.

Kasutamata rohumaade potentsiaali arvutamisel on kasutatud kolme varianti: esimesel juhul niidetakse ainult kasutusest väljas olevaid rohumaaid ja haritavaid maid. Teise variandi korral niidedakse samuti haritavaid maid ja rohumaaid, kuid eeldatakse, et kasutuses olevate rohumaade hulk väheneb põllumajandusliku olukorra tõttu ning seetõttu kasutusest väljas olevate rohumaade hulk suureneb. Kolmanda variandi korral kasutatakse kogu kasutusest väljas olevat põllumajandusmaa energiavõsa kasvatamiseks.

Kasutamata maade korral eeldame, et rohumaadelt saadakse biomassi viimase kolme aasta keskmiseks tootlikkuseks Statistikaameti andmebaasi alusel 10,4 t/ha, mille kuivaine sisaldus 20%. Saadud keskmist tulemust on korrutatud valdade korrigeeritud keskmise boniteetidega. Looduslike rohumaade aastane biomassi keskmine tootlikkus on toodud tablis 3.15.

**Tabel 3.15. Looduslike rohumaade keskmine biomassi tootlikkus kuivaines**

<b>Vald</b>	<b>Keskmine aastane tootlikkus kuivaines, t/ha</b>
Abja vald	1,94
Halliste vald	2,04
Karksi vald	2,14
Kolga-Jaani vald	2,14
Kõo vald	2,33
Kõpu vald	1,79
Suure-Jaani vald	2,14
Tarvastu vald	2,04
Viljandi vald	2,14

Saadud keskmiseid saagikusi ja kasutusest väljas olevate haritavate maade ja rohumaade pindalasid arvestades on saadud tekkiv rohtne biomass kasutusest väljas olevatel maadel, mis on toodud tabelis 3.16.

**Tabel 3.16. Teoreetiline rohtse biomassi kogus kasutusest väljas olevatelt põllumajandusmaadelt.**

<b>Vald</b>	<b>Rohtset biomassi kasutusest väljas olevalt haritud maalt, t</b>	<b>Rohtset biomassi kasutusest väljas olevalt rohumaalt, t</b>	<b>Kokku rohtset biomassi kasutusest väljas olevatelt maadelt, t</b>
Abja vald	2425	2429	4854
Halliste	1934	2112	4046
Kolga-Jaani	1636	2222	3858
Kõo	1018	1210	2227
Kõpu	624	1884	2508
Karksi	3564	2084	5648
Suure-Jaani	3790	5571	9361
Tarvastu	4738	3275	8013
Viljandi	8961	6935	15896
Kokku (ha)	28689	27722	56411

Saadud rohtse biomassi koguste alusel on arvutatud bioenergia potentsiaal kasutusest väljas olevatelt maadelt, saadud tulemusi kirjeldab tabel 3.17.

**Tabel 3.17. Kasutusest väljas olevate põllumajandusmaade biomassi potentsiaalne energia.**

<b>Vald</b>	<b>Potentsiaalne energia kasutusest väljas olevatelt haritavatelt maadelt, GWh</b>	<b>Potentsiaalne energia kasutusest väljas olevatelt rohumaadelt, GWh</b>	<b>Potentsiaalne energia biomassist, GWh</b>
Abja vald	12,4	12,4	24,7
Halliste vald	9,9	10,8	20,6
Karksi vald	8,3	11,3	19,7
Kolga-Jaani vald	5,2	6,2	11,4
Kõo vald	3,2	9,6	12,8
Kõpu vald	18,2	10,6	28,8
Suure-Jaani vald	19,3	28,4	47,7
Tarvastu vald	24,2	16,7	40,8
Viljandi vald	45,7	35,3	81,0
Kokku (ha)	146,2	141,3	287,5

Hetkel Eestis valitsevate raskete põllumajandusolude tõttu, mida põhjustavad Venemaa impordikeeld, languses olevad turuhinnad ning vähenevad põllumajandustoetused, on oht, et Eestis väheneb veisekarjade hulk ning seetõttu väheneb ka kasutuses olevate rohumaade pindala. Eeldades, et kasutuses olevate rohumaade pindala väheneb 30% võrra, kasvab kasutusest väljas oleva rohumaa pindala kokku 13 332 hektarilt 15 337 hektarile ning sellega seoses kasvab kasutusest väljas oleva rohumaa potentsiaalne bioenergia potentsiaal 146 GWh-lt 163 GWh-ni.

Kultuurrohumaadel, mis on eelnevatel aastatel kasutuses olnud, võib tootlikkuse võtta 5 t/ha kuivaines. Viljandimaal kokku on hetkel kasutuses 6 682 hektarit rohumaad. Seega tekib kasutuses olevatelt rohumaadelt 33 409 tonni rohtset biomassi kuivaines, mille energeetiline väärtus on ligikaudu 170 GWh.

Kui kasvatada kõigil kasutusest väljas olevatel haritava maa ja rohumaade massiividel energiavõsa, näiteks halli leppa, oleks kasutusest väljas olevate põllumajandusmaade aastane tootlikkus üle 85 000 tonni halli leppa kuivaines aastas ja selle energeetiline potentsiaal oleks ligi 455 GWh, eeldusel, et halli lepa aastane juurdekasv on 6,4 t KA/ha [36] ja kütteväärtus on 19,18 MJ/kg. [37]

Selles peatükis esitatud biomassi potentsiaalne energia on teoreetilise iseloomuga ning arvutamisel on kasutatud vaid kirjandusallikatest pärinevaid koefitsiente. Seetõttu ei saa nende andmete põhjal täpselt öelda biogaasijaama ehitamise võimalikkust ja majanduslikku otstarvet. Biogaasijaama ehitamisel tuleks teha teostatavusanalüüs (saadava tooraine, tehniline, majanduslik, keskkonnakaitse, sotsiaalne ja riskianalüüs) ja äriplaan ning arvesse tuleks ka võtta riiklike toetusskeeme. Nende saadud tulemuste põhjal tuleks otsustada, kuhu ja millise võimsusega biogaasijaam ehitada. [38]

Teoreetiliselt andmeid hinnates oleks biogaasijaama ehitamine mõistlik Viljandi valda, kuna see on suurima pindalaga vald ning seal on kõige suurem potentsiaal nii rohtsel kui ka loomsel biomassil. Viljandi vallas tekib kõige rohkem seasõnnikut, eelkõige tänu valla lõunaosas asuvale Ekseko suurfarmile. Lisaks tekib antud vallas kõige rohkem rohtset biomassi, mida on võimalik kasutada biomassi tootmisel lisasubstraadina. Asukoha valikul on

Samuti oluline osa lähedus Viljandi linnale, kus on võimalik ära kasutada tekkivat soojusenergiat. Kuna Viljandi linna aastane soojusarve on küllaltki suur, ei tohiks probleeme valmistada ka suhteliselt võimsa biogaasijaama loomine. Seetõttu oleks biogaasijaama loomine kõige otstarbekam Ekseko suurfarmi lähedusse, mis asub Viljandi linnale küllaltki lähedal.

Sarnase näitena võib tuua Oisu biogaasijaama, mille elektriline võimsus on 1,2 MW ja soojusenergia võimsus samuti 1,2 MW. Hinnanguline aastane elektritoodang on 8,4 GWh ja soojusenergia toodang 8,4 GWh. [39]. 2014. aastal tootis Oisu biogaasijaam 7 639 MWh elektrienergiat ning 2015. aastal 8 790 MWh. [40]

Samuti on biogaasijaam Saaremaal Valjala vallas. Selle jaama tööle hakkamisega lahendati Saare maakonna enamuse sealäga käitlemine. Toore (kääritatav substants) mahus umbes 40 000 t/a kogutakse kaheksast maakonna sigalast ja sellest saadakse keskmiselt 2,4 mln m<sup>3</sup> biogaasi aastas. Soojuse ja elektri koostootmiseseadme elektriline võimsus on 350 kW ja soojuslik võimsus on 420 kW ning aastaseks elektri toodanguks on planeeritud kuni 2,2 GWh aastas ja soojuse toodanguks 3,5 GWh. [41]

Võrreldes Eestis asuvaid biogaasijaamu ja nendes kasutatavat sõnniku hulka, võib öelda, et Viljandi valda oleks võimalik luua biogaasijaam, mis põhineb AS Eksekos tekkival sõnnikul, lisaks kasutada ümberkaudsetelt põllumaadelt rohtset biomassi ressursi substraadina. Samuti võrreldes teiste biogaasijaamade hinnangulisi andmeid, oleks võimalik anda elektri tootmisel üle jääv soojus Viljandi linna keskküttevõrku.

Kogu Viljandi maakonna põllumajandusliku biomassi bioenergeetiline potentsiaal on toodud välja tabelis 3.18.

**Tabel 3.18. Viljandi maakonna biomassi bioenergeetiline potentsiaal.**

<b>Biomass</b>	<b>GWh</b>
Biomass kasutusest väljas olevatelt põllumajandusmaadelt	287,5
Põhk	131,3
Sõnnik	8,12
<b>Kokku</b>	<b>426,9</b>

Sellest selgub, et kogu biomassi potentsiaalne teoreetiline energeetiline potentsiaal on 426,9 GWh. Statistikaameti andmetel tarbiti Viljandimaal 2014. aastal 220 GWh elektrienergiat ning 310 GWh soojusenergiat ehk kokku oli Viljandimaa energiavajadus 530 GWh. Biomassi potentsiaalset energiat ära kasutades oleks võimalik selle abil ära katta 80% aastasest energiavajadusest. Eeldusel, et biomassi potentsiaalse energia ära kasutamisel toodetakse sellest 50% elektrit ja 50% soojust, oleks aastane elektri- ja soojuse toodang aastas üle 213 GWh, mis kataks ära ligi 97 % aastasest elektritarbimisest ning 69% soojuse tarbimisest.

Meeles tuleb pidada, et tegemist on teoreetilise potentsiaaliga. Arvesse on jäetud võtmata biomassi kogumise ja transpordiga tekkivad probleemid ja majanduslik otstarbekus. Looduslikelt rohumaadelt biomassi kogumine võib olla tehnoloogiliselt keeruline, näiteks soiste alade pealt. Lisaks biomassi transport selle kogumise kohast selle töötlemise kohta võib olla majanduslikult ebaotstarbekas.



# Lõputöö kokkuvõte

Taastuvenergia osakaal maailmas üha suureneb, eesmärkideks on seatud fossiilsete kütuste kasutamise vähendamine ja üleminek loodust säästvatele kütustele. Üheks põhiliseks taastuvenergiaallikaks, lisaks päikesele ja tuulele, on biomass mida, leidub pea kõikjal. Siiski on biomassi energeetikas kasutamiseks väga oluline teada selle regionaalset paikenmist ning kvaliteeti ja potentsiaalset kogust. Hetkel kasutatakse kütusena põhiliselt biomassi metsast, kuid oluline bioenergia potentsiaal leidub ka põllumajanduses. Võimalik on ära kasutada nii põllumajanduses tekkivaid jääkprodukte nagu näiteks põhku ja sõnnikut, kui ka kasutada ära maaressurssi, mida hetkel ei kasutata. Käesoleva töö eesmärgid oli välja selgitada Viljandimaa põllumajandusliku biomassi ressursi mahud, ruumiline paiknemine ja selle teoreetiline energeetiline potentsiaal.

Käesolev töö koosneb kolmest põhilisest osast: kirjanduse ülevaatest, materjalist ja meetodikast ning tulemustest ja arutelust. Kirjanduse ülevaates tutvustati Eestis ja Euroopas seatud taastuvenergia eesmarke ning erinevaid võimalusi ja kütuseid nende saavutamiseks. Samuti tutvustati Viljandimaa hetke energeetilist olukorda. Töö teises osas kirjeldati materjale ja meetodikat, mida on kasutatud energeetilise potentsiaali leidmiseks ning töö kolmandas osas esitleti tulemusi.

Tööst selgub, et Viljandimaa põllumajandusliku biomassi teoreetilisest potentsiaalist suurima osa annab kasutusest väljas olevad põllumajandusmaad, sellele järgneb põhk ning väikseima tähtsusega on sõnnik. Rohtse biomassi teoreetiline energeetiline potentsiaal moodustab üle poole kogu biomassi bioenergia potentsiaalist ning selle abil oleks võimalik ära katta terve Viljandimaa aastane elektrienergia vajadus. Tegemist on puhtalt arvutusliku potentsiaaliga, kuna kasutusest väljas olevate rohumaadelt biomassi kogumine on teoreetiliselt võimalik kuid reaalsuses täies mahus ebapraktiline. Kõige reaalsem on ära kasutada sõnniku energeetiline potentsiaal, kuna selle kogumine on kõige lihtsam. Sõnniku energeetiline potentsiaal on ligikaudu sama suur, kui Viljandi linna aastane soojusenergia vajadus.

# Kirjandus

- [1] „Taastuvenergia Aastaraamat 2014,“ 2014.
- [2] „AEBIOM Statistical Report 2015,“ 2015.
- [3] N. Scarlat, J.-F. Dallemand, F. Monforti-Ferrario ja M. Banja, „Renewable energy policy framework and bioenergy contribution in the European Union – An overview from National Renewable Energy Action Plans and Progress Reports,“ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015.
- [4] „Biomassi ja bioenergia kasutamise edendamise arengukavaaastateks 2007-2013“.
- [5] L. Schrattenholzer ja G. Fischer, „Global bioenergy potentials through 2050,“ 2000.
- [6] K. Heinsoo, K. Jürgens, L. Kask, Ü. Kask, A. Koppel, S. Soosaar, T. Tilger ja R. Värnik, „Biokütuste tootmise ja kasutamise riikliku programmi ettevalmistamine,“ Tartu, 2005.
- [7] EMÜ, „Energiakasutuse ja bioenergia osakaalu muutused investeringutoetuse saajate näitel,“ 2015.
- [8] „Ülevaade Eesti bioenergia turust 2010. aastal,“ 2011.
- [9] TTÜ, „Eesti tingimustesse sobivate biogaasi metaaniks puhastamise tehnoloogiate rakendatavus nkng keskkonna ja majanduslikud mõjud,“ 2014.
- [10] A. Normak, E. Vollmer, K. Orupõld, A. Kaasik ja Ü. Kask, Biogaasi tootmine ja kasutamine, Tartu, 2009.
- [11] „Energiatalgud,“ [Võrgumaterjal]. Available:  
<http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Biogaas>.
- [12] Eesti Biogaasi Assotsatsioon, [Võrgumaterjal]. Available:  
<http://eestibiogaas.ee/tootmine-ja-kasutamine/>.
- [13] R. Viiralt ja A. Selge, „Eesti põllumajandusmaade kasutus rohusööda tootmiseks ja rohtse biomassi ressurs,“ Eesti Arengufond, 2014.
- [14] „Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2030,“ Tallinn, 2015.

- [15] E. Suuster, L. Kukk, A. Astover, H. Roostalu, M. Noormets ja P. Muiste, „Kasutamata põllumajandusmaade potentsiaal bioenergia tootmiseks Saare maakonnas,“ *Agronomia*, pp. 176-179, 2008.
- [16] L. Kukk, A. Astover, P. Muiste, M. Noormets, H. Roostalu, K. Sepp ja E. Suuster, „Assessment of abandoned agricultural land resource for bio-energy production in Estonia,“ *Acta Agriculturae Scandinavica*, p. 166–173, 2010.
- [17] „Energiamajanduse riiklik arengukava aastani 2020“.
- [18] „Eesti Entsüklopeedia,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://entsyklopeedia.ee/artikkel/p%C3%B5hk1>.
- [19] H. Roostalu, A. Astover, L. Kukk ja E. Suuster, „Bioenergia tootmise võimalustest põllumajanduses: I osa,“ *Maamajandus*, pp. 32-35, 2008.
- [20] M. Hovi, „Mitmeaastased rohttaimed energeetilise toormena Eesti Vabariigis, Magistritöö,“ Tartu, 1995.
- [21] BISIPLAN, „Omadused, mis mõjutavad taimse biomassi kasutamist energia tootmiseks,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://bisyplan.bioenarea.eu/html-files-es/04-02.html>. [Kasutatud 11 05 2016].
- [22] J. Miljan ja Ü. Kask, *Pilliroog ja selle kasutamise võimalused*, Tartu, 2013.
- [23] Ü. Kask, A. Paist, M. Nuutre, L. Kask ja T. Aavik, „Pilliroo kui kütuse põlemistehnilistest näitajatest,“ *Energeetika*, 2007.
- [24] T. Talvi ja T. Talvi, *Poollooduslikud kooslused*, Tallinn, 2012.
- [25] K. Heinsoo, I. Melts, M. Sammul ja B. Holm, „The potential of Estonian semi-natural grasslands for bioenergy production,“ *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2010.
- [26] B. Tonn, U. Thumm ja W. Claupein, „Semi-natural grassland biomass for combustion: influence of botanical composition, harvest date and site conditions on fuel composition,“ *Grass and Forage Science*, 2010.

- [27] A. Prochnow, M. Heiermann, M. Plöchl, B. Linke, C. Idler, T. Amon ja P. Hobbs, „Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas,“ *Bioresource Technology*, 2009.
- [28] A. Prochnow, M. Heiermann, M. Plöchl, T. Amon ja P. Hobbs, „Bioenergy from permanent grassland – A review: 2. Combustion,“ *Bioresource Technology*, 2009.
- [29] „Abja Valla Arengukava 2009-2018,“ 2014.
- [30] „Viljandi Vald,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.viljandivald.ee/kaugkuttepiirkonnad>.
- [31] A. Vabamägi, „Vana – Võidu kaugkütte audit-analüüs,“ 2014.
- [32] „Suure-Jaani valla arengukava 2012-2020,“ Suure-Jaani, 2014.
- [33] „Tarvastu valla arengukava 2012-2020,“ Mustla, 2011.
- [34] „Viljandi Maavalitsus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://viljandi.maavalitsus.ee/kaugkuttepiirkonnad-viljandi-maakonnas>.
- [35] A. Astover, A. Padar, H. Roostalu, L. Kukk, E. Suuster, A. Ostroukhova ja I. Melts, „MES Maaressurss,“ Tartu, 2007.
- [36] V. Uri, H. Tullus ja K. Lõhmus, „Biomass production and nutrient accumulation in short-rotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land,“ *Forest Ecology and Management*, kd. 161, pp. 169-179, 2002.
- [37] V. Vares, Ü. Kask, P. Muiste, T. Pihu ja S. Soosaar, „Biokütuse kasutaja käsiraamat,“ TTÜ, Tallinn, 2005.
- [38] V. Vares, „Biomassi tehnoloogiaüuringud ja tehnoloogiate rakendamine Eestis,“ Tallinn, 2008.
- [39] „4ENERGIA,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.4energia.ee/projektid/oisu-biogaasijaam>.
- [40] „Tööstusuudised.ee,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.toostusuudised.ee/uudised/2016/01/12/biogaasist-toodetud-elektrienergia-vorku-tootmine-mullu-kasvas>.

[41] Ü. Kask, „Olemasolev olukord biogaasi tootmises. Eesti aruanne.“ TTÜ STI, Tallinn, 2010.