TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT

www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Hajutatud energiatootmise potentsiaal Jõgevamaal

Energiasüsteemide õppetool

Hajaenergeetika õppesuund

Magistritöö

Õppetooli juhataja	prof.	Juhan Valtin
Juhendaja	teadur	Ülo Kask
Lõpetaja		Raul Treier

Tallinn 2015

Sisukord

Eessõna **4**

1. Sissejuhatus **5**

2. Hajaenergeetika olemus ja vajadus **7**

2.1 Energiasektori arengusuunad vastavalt EL direktiividele 10

3. Biokütuste kasutamine soojuse tootmiseks **13**

3.1 Biokütuste ressurss Jõgevamaa metsadest 16

3.2 Hetkeolukorda kajastav uuring Jõgevamaal 24

4. Biogaasi tootmise potentsiaal Jõgevamaal **25**

4.1 Põllumajanduslikud substraadid 26

4.2 Biogaasi tootmise tehnoloogia – märgkääritus ja kuivkääritus 29

4.3 Jõgevamaal paiknevate loomakasvatushoonete biogaasi potentsiaal ning soovituslik biogaasijaama asukoht 33

4.3.1 Arvutuskäigu metoodika 33

4.4 Piirkonna valik ning biogaasi toodangu arvutamine 37

4.5 Biogaasi potentsiaal põllumajandusmaadelt 45

4.6 Biometaani potentsiaal asendamaks mootorikütuseid 49

5. Alternatiivsete energiaallikate potentsiaal ning kasutusvõimalused Jõgevamaal **51**

5.1 Päikeseenergia potentsiaal Jõgevamaal 51

5.2 Päikesepaneelid ja nende rakendamise potentsiaal Jõgeva haigla näitel 53

5.3 Päikesekollektorid 57

5.4 Tuuleenergia potentsiaal Jõgevamaal 63

5.4.2 Tuulegeneraatorite tüübid 65

5.4.3 Tuuleenergia ressurss Jõgevamaal 67

5.4.4 10kW väiketuuliku näidistootlikkus 70

5.5 Hüdroenergia potentsiaal Jõgevamaal 72

Kokkuvõte **78**

Kasutatud kirjandus **81**

Lisad **85**

Lisa 1. Jõgevamaa omavalitsuste energiakasutuse ülevaade **86**

Lisa 2. Keskmine piimatoodang lehma kohta maakondades 2013. a, kg **92**

Lisa 3. Loomakasvatushooned veiste arvuga üle 1000 looma ja sigade arvuga üle 4000 looma, seisuga 22.10.2013 ..... **93**

Lisa 4. Üle 400 veise ja üle 1000 seaga loomakasvatushooned Jõgevamaal, seisuga 22.10.2013 95

Lisa 5. Jõgeva haigla 2014. aasta elektritarbe muutus ajas (kollane) ning 60 kW päikesepaneelide süsteemi tootlikkus (punane) 96

Lisa 6. Jõgeva haigla elektritarve ja 60 kW PV-süsteemi elektritootlikkus juulikuisel suvepäeval 97

Lisa 7. Arvutusparameetrid, Hellmanni eksponent ning tuulegeneraatori võimsuskõver tuuleenergia potentsiaali hindamiseks 98

Lisa 8. Aastane tuulekiiruse esinemine ja 10kW tuulegeneraatori toodang vastavalt Tiirikoja mõõteandmetele 99

Eessõna

Taastuvate energiaallikate kasutamine on väga aktuaalne, sest üha enam on liikmesriigid sunnitud Euroopa Liidu (EL) poolt kehtestatud nõuete tõttu kasutama taastuvatel allikatel põhinevaid energiaressursse (direktiiv 2009/28/EC, [6]). Seda kohustust ei tasu vaadata piiranguna, vaid pigem kui ainuõige väljapääsuna. Väide, et üleminek fossiilsetelt kütustelt taastuvatele energiaallikatele tähendab suurte investeeringute tegemist, peab paika. Kahjuks unustatakse tihti, et suur investeering võib tähendada ka suurt kokkuhoidu, sõltuvalt nii tootjast kui ka tehnoloogia valdkonnast, millesse investeeritakse. Eesti näitel võib väita, et põlevkiviõli asendamine katlamajades biokütustega on kindlasti perspektiivikas, kuid päikeseenergia puhul on projekti tasuvusaeg oluliselt pikem. Lisaks potentsiaalsetele suurtele kokkuhoidudele on tulevaste taastuvenergia kasutajate kasuks töötanud ka fakt, et Euroopa Liit on sellesse sektorisse investeerinud aastate jooksul miljardeid eurosid. See tähendab pidevat arendustööd ning uute võimaluste avastamist, mis muudab tehnoloogia hinda odavamaks. Sellist nähtust võiksimegi mõista innovatsiooni all.

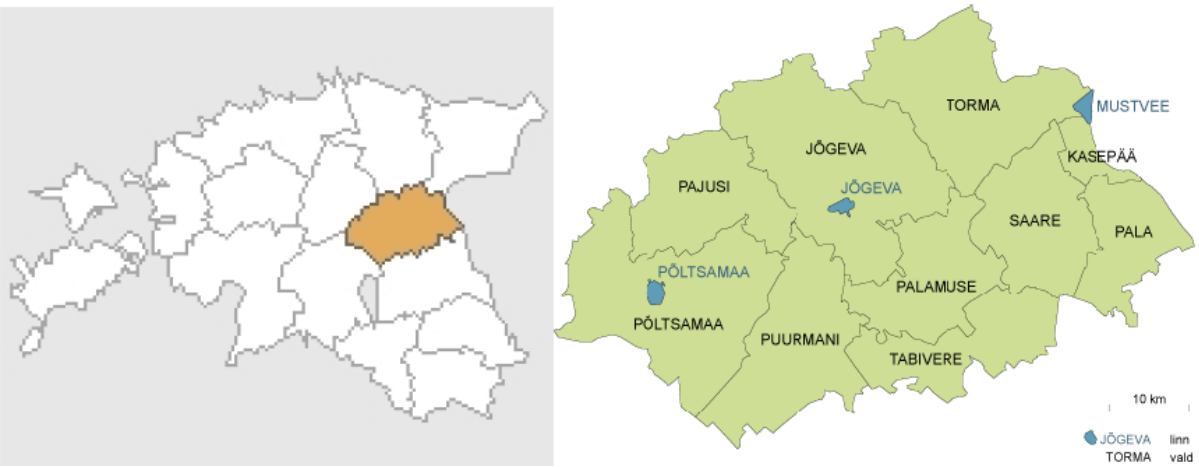
Antud töö eesmärk on uurida ja kaardistada Jõgeva Maakonnas kasutatavaid taastuvaid energiaressursse, nende levikut, määrata nende praegust kasutust ning pakkuda välja tehnoloogiaid ja seadmeid nende ressursside kasutusele võtmise laiendamiseks.

Jõgeva maakonnas on viljakad mullad, väga heal tasemel põllumajandustootmine ning maakonna metsasuse protsent on kõrge. See loob head eeldused biomassi kasutamiseks energia tootmisel. Töös on pööratud tähelepanu nii metsast saadavale biomassi ressursile kui ka põllumajandusmaadelt ja loomafarmidest saadavale biomassi ressursile ja selle energiaks muutmise tehnoloogiatele ning seadmetele. Lisaks on käsitletud ka päikese-, tuule- ja hüdroenergia potentsiaali ning nende kasutusele võtmise võimalusi Jõgevamaal.

1. Sissejuhatus

Jõgeva maakond ehk Jõgevamaa asub Ida-Eestis, Mandri-Eesti keskpunkti ja Peipsi järve vahel. Jõgevamaal on kolm linna (Jõgeva, Mustvee ja Põltsamaa), 11 alevikku ja 225 küla. Halduslikult jaguneb maakond 3 linnaks ja 10 vallaks. Maakonna pindala on 2604 km^2. Praegune maakond loodi 1. jaanuaril 1990. aastal [1].

Metsamaa moodustab maakonna territooriumist natukene üle poole (2005.a. 130,8 tuh. ha ehk 50,2%). Seega on maakonna territooriumi metsasuse määr lähedane Eesti keskmisele metsasusele (52%). Põllumaa pindala oli 2008. aasta seisuga 63 tuhat hektarit ehk 24%. See ületab Eesti keskmist taset (18%). Põllumajandusmaa pindala iseloomustab vähenemistrend, metsamaa pindala kasvutrend [2].



Joonis 1. Jõgeva maakond ja selle paiknemine Eestis [3]

Töö tellijal, Jõgeva Maakonnal, oli kindel visioon, et kajastataks erinevate taastuvate energiaallikate potentsiaale. Lähtudes Jõgevamaa geograafilistest omadustest ning Eestimaal paiknevatest ressurssidest, uuritakse järgnevas töös tahkete biokütuste potentsiaali, biogaasi potentsiaali, päikeseenergia potentsiaali, tuuleenergia potentsiaali ning hüdroenergia potentsiaali. Etterutates võib Jõgevamaad kirjeldada kui väga heade taastuvenergia potentsiaalidega maakonda. Üle poole maakonnast on kaetud metsaga ning tahked biokütused on maakonnas juba laialdaselt kasutusel, näiteks Mustvee linnas, Saare, Pala, Palamuse, Puurmani, Põltsamaa ja Tabivere vallas. Lisaks sellele, on Jõgevamaal väga kõrgel tasemel põllumajandustootmine, mistõttu analüüsitakse ka biogaasi potentsiaali ja selle rakendamise võimalikkust. Kuna maakonna idapoolne külg on avatud Peipsi järvele, võib seal eeldada ka kõrgemat tuulekiirust, kui maakonna südamikus. Lähtudes Peipsi järve olemasolust, on töös

käsitletud ka tuuleressurssi potentsiaali ja kasutamist maakonna idaküljel. Päikeseenergia potentsiaal ei tõuse Eesti mõistes esile ning seda võib pidada esialgsel hinnangul pigem tagasihoidlikuks. Küll aga on päikeseenergia lahenduste eriinvesteeringu hinnad (€/kW) aasta-aastalt langenud, mistõttu on järgnevas töös modelleeritud Jõgeva haigla tarbeks PV-paneelide süsteem. Kuna maakonnas esineb Eesti mõistes kiirevoolulisi jõgesid (Pedja, Põltsamaa), siis on töö lõpus lühidalt käsitletud hüdroenergia potentsiaali. Kahjuks tuleb aga nentida, et hüdroenergia kasutamise laialdane kasutuselevõtmine on Eestis problemaatiline ning antud tegevus on väga rangelt reguleeritud Keskkonnaministeeriumi poolt.

2. Hajutatud energiatootmine ehk hajaenergeetika olemus ja vajadus

Mõiste hajaenergeetika tähendab hajutatud energia tootmist. Kõige lihtsam on hajaenergeetikat käsitleda vastandina tsentraliseeritud tootmisele.

Käesoleval ajal baseerub elektrisüsteem tsentraalsel elektri genereerimisviisil, kus elektrit genereeritakse suurtes elektrijaamades ja edastatakse põhi- ja jaotusvõrgu kaudu tarbijatele. Tsentraalse elektri genereerimise ja sellega integreeritud põhivõrgu olulisteks iseloomujoonteks on järgmised aspektid:

1. võimalus kasutada tarbijatest kaugel asuvaid energiaallikaid nagu näiteks suured hüdroelektrijaamad;
2. suurte elektrijaamade eriinvesteeringud kW kohta on madalamad ja efektiivsus on kõrgem kui väikestes jaamades – nad on majanduslikult otstarbekad;
3. erinevat tüüpi genereerivate võimsuste koostöö annab võimaluse juhtida kogu süsteemi ökonoomsemalt ja väiksemate keskkonnamõjutustega, sest on võimalik paindlikult kombineerida suurte ja madalate käidukuludega baaskoormusjaamade tööd hüdrojaamadega ja hüdroakumulatsioonjaamadega. Veelgi enam, omavahel ühendatud energiasüsteemide töökindlus on suurem ja reservide vajadus väiksem kui omavaheliste ühendusteta energiasüsteemidel.

Eestis võib tsentraalse elektritootmise näiteks tuua Ida-Virumaal paiknevad põlevkivielektrijaamad, kus kasutatakse elektri tootmiseks madala kasuteguriga kondensatsioon elektrijaamasid. Põlevkivi osakaal Eesti elektritoodangus on ligi 90%, mis teeb meie elektritootmise vägagi tsentraalseks. Lisaks sellele, kaasnevad tsentraliseeritud tootmisega suuremad ülekandekulud ning –kaod [4].

Hajutatud energiatootmise puhul toodetakse energiat tarbimiskoha lähedal ning kohalikest energiaallikatest. See tähendab energia tootmist näiteks eramaja, tööstuslinnaku või küla tarbeks. Hajutatud tootmise puhul ei ole ette nähtud, et kogu energiatoodang peab olema toodetud taastuvatest energiaallikatest, vaid võib kasutada ka fossiilseid kütuseid, näiteks maagaasi väikeste soojuse ja elektri koostootmisseadmete käitamiseks. Lihtsaimaks hajutatud tootmise näiteks on suvila või eramaja elektri ja soojuse energiatarbe katmine päikesepaneelide või -kollektoritega. Hajutatud tootmist iseloomustab energia tootmine

väikestes tootmisüksustes (kuni 5MW), millel on kõrge kasutegur ning elektrit genereerivad seadmed on ühendatud jaotusvõrku.

Tänase seisuga on arenenud riigid võtnud kindlaks sihiks arendada hajaenergeetikat kombineerides seda targa võrguga (i.k. *smart grid*-iga). Targa võrgu korral on elektrisüsteemi ühendatud täiendavad andmekogujad ja kontrollerid, mis lubavad kahepoolset andmevahetust. Selle kaudu tehakse kindlaks tarbija ja tootja energiavajadus ning sõltuvalt olukorrast ka võimalus elektrit toota. Mida suuremaks muutub leibkondades tehtud investeering taastuvenergiaallikatesse, seda olulisemaks muutub ka targa võrgu olemasolu. Suureneb väikeseadmete hulk, mis suudavad elektrit toota ning on oluline, et tarbimise puudumise korral edastataks energia elektrivõrku. Selline situatsioon võib esineda näiteks juulikuisel päikselisel päeval, kui leibkonnal on soetatud eramaja tarbeks PV-paneelid. Targa võrgu puhul on antud leibkonnal võimalik liigselt toodetud elekter võrku müüa ning teenida kasumit.

Vaatamata asjaolule, et meil on võimalus igal ajahetkel elektrit müüa võrku, oleks kasulikum siiski võimalikult palju ise tarbida toodetud elektrit. Elektriturule müüja saab teenida börsihinna ja taastuvenergia toetuse arvelt. Kui aga kasutada maksimaalselt enda toodetud energiat, ei pea tarbija maksma võrgu ülekandetasu, taastuvenergia tasu, aktsiisi jm. makse, mis kokku moodustavad ligi 2/3 tänasest elektri lõpptarbija hinnast.

Kogemused näitavad, et hajatootjate liitmisel elektrivõrguga võib olla ka negatiivseid külgi. Mitmete tootjate liitmine elektrivõruga võib tekitada probleeme pinge ja sageduse kvaliteedis ning selle hoidmises.

Kasutades hajutatud energiatootmise lahendusi ja arendades targa võrgu süsteemi, võib saavutada:

1. efektiivsema elektri edastuse;
2. elektrikatkestuste korral kiirema problemaatilise koha leidmise;
3. väiksemad kulud elektrijaotuse reguleerimiseks;
4. väikema tipukoormuse;
5. suurema taastuvate energiaallikate osakaalu võrgus;
6. suurema energiajulgeoleku;
7. soojuse ja elektri koostootmisel tõhusama primaarressursside kasutuse.

Arvestades eelnevalt mainitud punkte, on selge, et hajutatud energiatootmist tuleks Eestis kasutada ja jätkata vastavate uurimis-arendustöödega ning plaaneeringutega. Taastuvatele energiaallikatele üleminek ei ole lihtsalt poliitiline otsus või mõne väikese grupi viis rikastuda. See on suur eesmärk arendada ühiskonna mõtlemist, parandada keskkonnaseisundit ning luua innovaatilisi lahendusi meie igapäevaelu lihtsustamiseks. Näiteks 30 aastat tagasi olid miljonid inimesed hõivatud maavarade kaevandamisega, et seda seejärel katlas põletada ja elektrit toota. Tänaseks on paljudes kohtades sellised elektrijaamad asendatud päikesest saadava elektriga, mille saamiseks ei pea me kasutama põlevaid maavarasid. Ühest küljest on selline üleminek automatiseeritusele negatiivne - kaotatakse töökohti. Teisalt on see ainuõige valik, sest energia tootmine peab olema automatiseeritud tegevus. Energia tootmisesse ei ole vaja suunata ülemäära palju inimjõudu, kui seda suudavad teha loodus- ja füüsikaseadused. Kogu maailmas toodetud ja tarbitud energia pärineb praktiliselt Päikeselt (v.a gravitatsioonienergia (tõus-mõõn) ja geotermaalenergia). Päikeselt tuleb energia, mida kasutavad otseselt PV-paneelid. Päikeselt tuleb energia, mis soojendab veemasse ning tekitab vihmasid ja tuuli. See omakorda annab võimaluse kasutada hüdro- ja tuuleenergiat. Need protsessid toimuvad senikaua, kuni Päikeselt saabub piisavalt energiat elektro-magnetilise kiirgusena (soojus, valgus). Seetõttu olekski ainuõige lahendus kasutada ära piisavalt looduslikke energiaallikaid, automatiseerides energiamuundamise protsesse ning suunata inimressursse üha soodsamate taastuvenergialahenduste väljatöötamiseks. Taastuvenergiale üleminek on hädavajalik inimkonna arengu jaoks, sest varem või hiljem fossiilsed energiaressursid ammenduvad.

Taastuvenergia moodustas eelmisel aastal Eestis elektrienergia kogutarbimisest 12,5%, mis on 2,4 protsendipunkti võrra vähem võrreldes 2012. aastaga. Siiski ületab taastuvenergia osakaal riigikogu menetluses oleva elektrituruseaduse muudatuse seletuskirjas toodud eesmärki. 2013. aastaks oli seadusemuudatuse seletuskirjas toodud taastuvenergia osakaalu eesmärgiks 11,3% ja 2014. aastaks on see 12,0% [5].

2.1 Energiasektori arengusuunad vastavalt EL direktiividele

2009. aastal võeti vastu taastuvenergia direktiivi (2009/28/EC) reeglistik, mis kehtib kõikidele Euroopa Liidu liikmesriikidele. Direktiivil on kolm peamist eesmärki ning need on järgnevad:

1. 2020. aastaks peab Euroopa Liidus keskmiselt 20% energiat olema toodetud taastuvenergia allikatest;
2. 2020. aastaks peab vähenema kasvuhoonegaaside emiteerimise hulk 20% võrra;
3. 2020. aastaks peab hoonete energiatõhusus tõusma 20% võrra.

Järgides praegust poliitikat, on meil väga head võimalused neid eesmärke täita. Võrreldes 1990. aastaga vähenesid kasvuhoonegaasid 2012. aastaks 18% võrra. Prognoositakse, et 2020. aastaks väheneb kasvuhoonegaaside eritumise hulk 24% ning 2030. aastaks 32%, võrreldes 1990. aastaga. Taastuvenergiaallikate osakaal energia kogutoodangus oli 2012. aasta seisuga 14,1% ning 2020. aastaks prognoositakse taastuvenergiaallikatest toodetud energia osakaaluks 21%. 2030. aasta puhul prognoositakse selleks näitajaks 24% [6].

2012. aastal kattis Euroopa Liit 44% maailmas taastuvenergiaallikatest toodetud elektrist (v.a hüdroenergia).

Transpordisektori jaoks kehtestati, et iga liikmesriigi energiakasutus transpordisektoris peab olema 10% ulatuses kaetud taastuvenergiaallikatega. 2014. aastal algasid uued läbirääkimised taastuvenergia osakaalu suhtes 2030. aastaks. Suure tõenäosusega pidurdub protsess Kesk-Euroopa ning Ida-Euroopa riikide majandusliku seisu tõttu.

2012. aastal oli Euroopa Liidu liikmesriikides taastuvenergia osakaal energiatarbimises 14,1%. Euroopa Liidu ja liikmesriikide ühine eesmärk on saavutada aastaks 2020 taastuvenergia osakaaluks energiatarbimises vähemalt 20%. Liikmesriikidele kehtestatud eesmärgid võtavad arvesse iga riigi taastuvenergia potentsiaali ja ka majanduslikku võimekust [6].

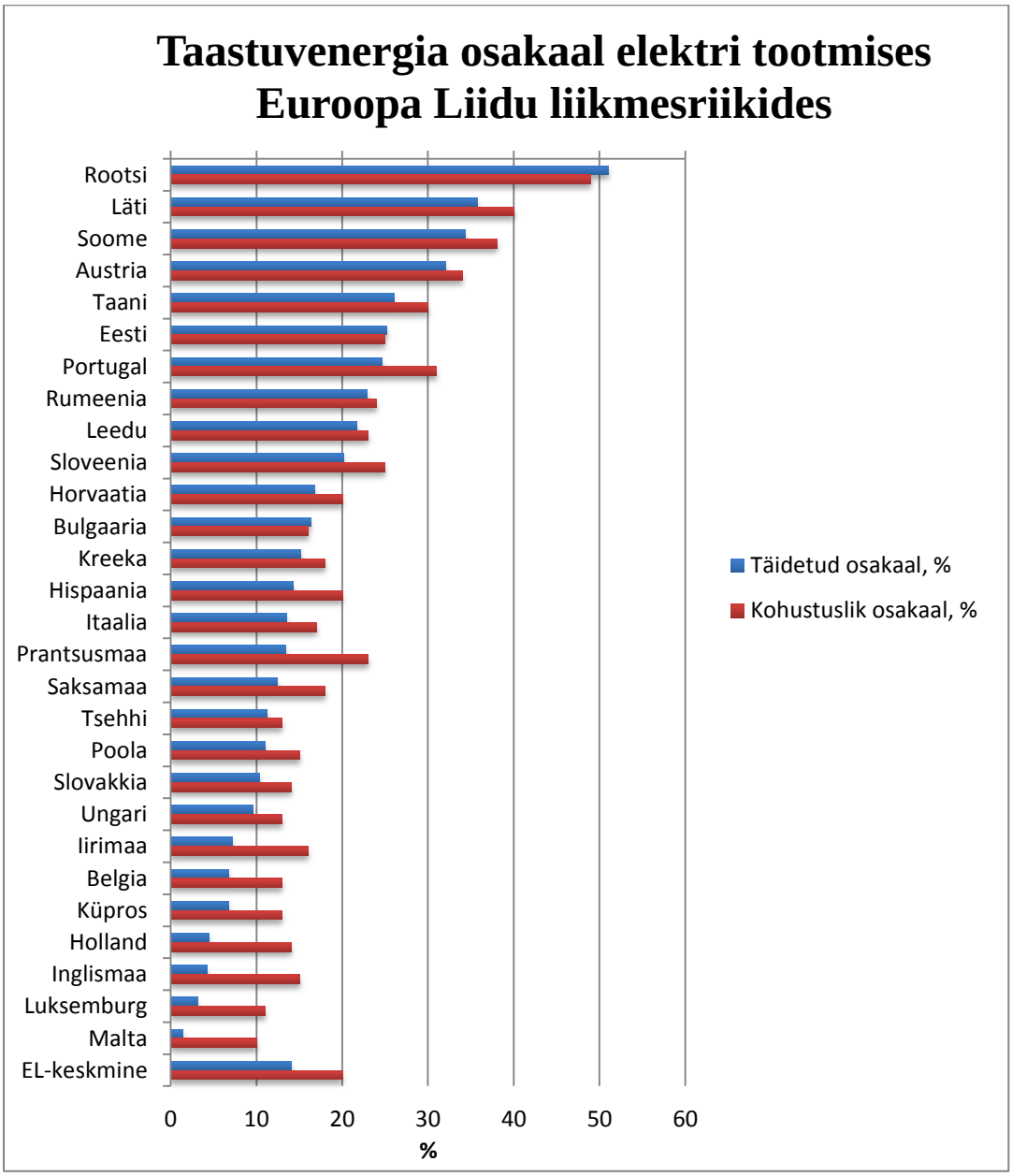
Kõige suurem taastuvenergia osakaalu tõus on 2004.-2012. aastani toimunud Rootsis (38,7%-lt 51,0%-ni), Taanis (14,5%-lt 26,0%-ni) ja Austrias (22,7%-lt 32,1%-ni).

Kõige suurem taastuvenergia osakaal energiatarbimises oli 2012. aastal Rootsis (51,9%), Lätis (35,8%) ja Austrias (32,1%). Kõige madalam taastuvenergia osakaal aga seevastu Maltal (1,4%), Luxembourgis (3,1%) ja Suurbritannias (4,2%).

Eesti oli esimene Euroopa Liidu liikmesriik, kes saavutas 2020ndaks aastaks püstitatud taastuvenergia osakaalu eesmärgi – 25%. 2012. aastal jõudsid 2020. aasta eesmärgini ka Bulgaaria (16%) ja Rootsi (49%) [6].

Tuginedes eelnevalt mainitule, siis nõutav 20%-line osakaal kehtib Euroopa Liidu keskmise näitajana. Iga riigi jaoks individuaalselt arvutatud taastuvenergia allikate osakaal riigi energiatarbes võib erineda ning selle arvutamiseks on arvestatud nii geoloogilist asukohta, ressursse kui ka majanduslikku olukorda.

Järgneval joonisel on kujutatud 2012. aasta seisuga taastuvenergia osakaalu EL-i riikide energia kogutarbes.



Joonis 2.1 2012. aasta seisuga taastuvenergia osakaal Euroopa Liidu riikides [7]

Tuginedes joonisele 2.1, on kõige suurema taastuvenergia osakaaluga riik Euroopas Rootsi. Rootsi on üks vähestest riikidest, kus on suudetud ületada ettenähtud taastuvenergia osakaalu kvooti. Teise riigina võib välja tuua ka Eestit, kus on samuti suudetud ületada 25%-line kohustuslik künnis. Tabeli viimasest otsast leiame riigid, kes on suures osas sõltuvad imporditavatest fossiilsetest kütustest.

3. Biokütuste kasutamine soojuse tootmiseks

Viimastel aastatel on biokütuste kasutamine pidevalt laienenud. Kaasaegsed biokütuste tootmis- ja põletustehnoloogiad võimaldavad efektiivselt ära kasutada praktiliselt kõiki metsa- ja puidutööstuse jäätmeid. Üha laiemat rakendamist kütusena leiab ka rohtne biomass, näiteks õled. Biokütuste kasutamise tehnoloogiate arendamisel ja rakendamisel on oluline roll Balti mere äärsetel maadel [8].

Euroopa Liidu taastuvate energiaressursside kasutamise ühtse strateegia väljatöötamise esimeseks sammuks oli vastav Roheline raamat (COM(96)576). Kogu strateegia koos väljapakutud meetmetega keskendati eesmärgile, et 2010. aastaks moodustaks taastuvate energiaallikate osatähtsus Euroopa Liidus 12 %, mis oleks kaks korda suurem lähteseisust (1995.a.). 12%-lise osatähtsuse saavutamine 2010. aastaks oli ambitsioonikas siht, mida toetasid poliitilised otsused ning tänu millele see ka täideti. Selle saavutamiseks pidid kõik Euroopa Liidu maad välja töötama oma strateegiad. Arvestada tuleb ka seda, et lähteseisu (6%) osatähtsuses moodustasid olulise osa suured hüdroelektrijaamad. Uute suuremastaapsete hüdrojaamade ehitamise võimalused Euroopas on keskkonnahoiust tulenevalt väga piiratud. Seda suurem peab olema teiste taastuvate energiaallikate kasutuse laienemine [8].

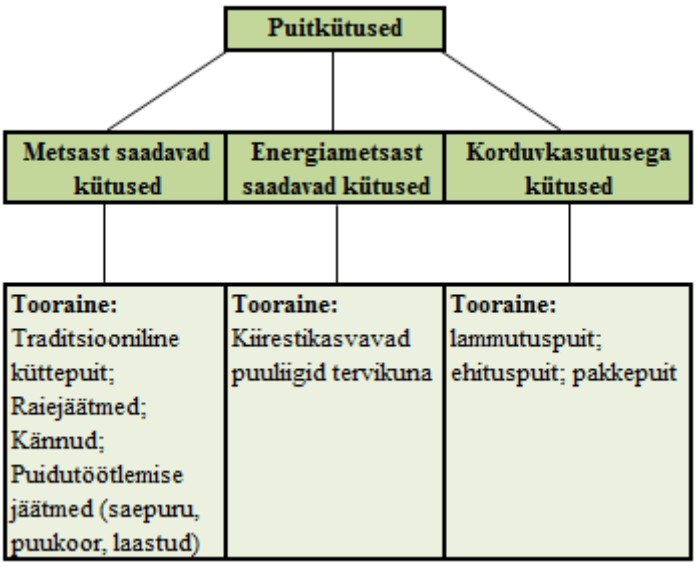
1995. aastal ulatus Euroopa Liidu riikide sõltuvus energiaimpordist juba 50%-ni. Kui ei oleks võetud abiks täiendavaid meetmeid kohalike ressursside ulatuslikuma kasutamise osas, oleks 2020. aastaks Euroopa Liidu sõltuvus imporditavast energiast olnud ligi 70%. Kuna taastuvad energiaallikad on igas riigis kohalikud, siis vähendab nende ulatuslikum kasutamine sõltuvust energiaimpordist ja suurendab varustuskindlust. Lisaks annab taastuvate energiaressursside kasutamine tööd kohalikele väikestele ja keskmistele ettevõtetele, soodustades sellega ka regionaalset arengut [8].

Taastuvate ja alternatiivsete energiaallikate, sealhulgas biomassi tootmise ja kasutamise toetamine, on struktuuri- ja ühtekuuluvusfondide oluline prioriteet, nagu märgitakse Euroopa Komisjoni ettepanekus ühenduse ühtekuuluvuspoliitika strateegiliste suuniste kohta. Kõnealused fondid võivad toetada põllumajandustootjate ümberõpet, seadmete hankimist biomassi tootjatele, investeeringuid biokütuste ja muude materjalide tootmisrajatistesse ning elektri- ja kaugküttetootjate ümberlülitumist biomassile. Eestis on sellisteks fondideks ja struktuurideks näiteks Põllumajandusministeerium ning Keskkonnainvesteeringute keskus [9].

Biomassi kasutusele võtmine energia ja materjalide tootmises [9]:

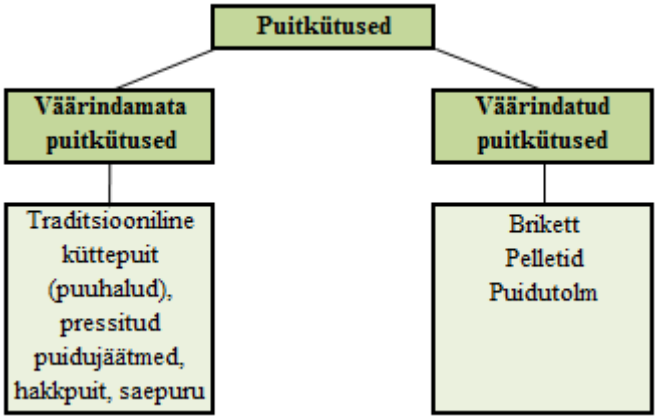
1. aitab tagada energiaga varustuskindlust;
2. vähendab sõltuvust imporditavast energiast ja selle hinnakõikumistest;
3. loob põllumajandustoodangule uued turuväljundid võimaldades otsetoetuste vähenemise kompensatsiooniks teenida asendus- või lisasissetulekut;
4. aitab vähendada reostussurvet keskkonnale, eriti energeetikasektori keskkonnakoormust;
5. aitab tagada sisemajanduse kogutoodangu kasvu või stabiilsust;
6. avaldab positiivset mõju kaubandusbilansile;
7. võimaldab luua uusi töökohti või säilitada olemasolevaid (eriti maapiirkondades);
8. mitmekesistab põllumajandustoodangu ja energiaressursside nomenklatuuri;
9. aitab hajutada energia tootmist;
10. aitab tagada põllumajandus- ja metsamaa hooldatust.

Bioenergia erinevatest rakendusvõimalustest peetakse kõige perspektiivsemaks tahkete biokütuste kasutamist. Tahkeid biokütuseid võib laias laastus liigitada kahe erineva meetodi järgi. Esimeseks liigitamise võimaluseks on näiteks puitkütuste liigitamine tooraine päritolu järgi.



Joonis 3. Puitkütuste liigitus päritolu järgi [8]

Lisaks on meil võimalik puitkütuseid liigitada väärindamise astme järgi:



Joonis 4. Puitkütuste liigitus nende väärindamise järgi [8]

Puitpõhiste kütuste kõrval on katlamajades kasutusel ka sellised tahked kütused nagu õled ja energiahein, mis mõlemad saadakse põllumajanduslikelt maadelt. Põllumajandusest on võimalik saada veel mitut liiki biomassi, mida enamasti kasutatakse vedelateks biokütusteks või gaasiks ümbertöötlemiseks.

Balti mere äärsetes maades kasvatatakse nisu, rukist, otra ja kaera ning kõigi nende viljade õlgi saab kütusena kasutada. Rootsis on põletatud ka nende viljade teri, kuid viimane asjaolu on seotud riigipoolse toetusega põllupidajatele, kelle realiseerimata teravilja ülejäägid sel viisil teatud kasutust leiavad. Kuna teravilja reeglina ei kasvatata selleks, et saak hiljem ära põletada, siis ei ole otstarbekas teravilja põletamist laiemalt propageerida [7].

Õlgede kuivaine elementaarkoostis ja kütteväärtus ei erine oluliselt puidu vastavatest näitajatest, kuid kütteväärtus on siiski veidi madalam (keskmiselt 13,5 MJ/kg). Arvestades õlgede tarbimisaine tüüpilist niiskusesisaldust, mis jääb alla 20%, on õlgede tarbimisaine kütteväärtus isegi pigem kõrgem kui metsahakke kütteväärtus (metsahakke tüüpiline niiskus on 35%-55%). 40%-lise niiskusega hakkpuidu kütteväärtus on ligikaudu 12 MJ/kg.

Õlgede omadused sõltuvad tugevasti nii kasvukohast, kasvuajast ja kasvuaja ilmastikust, kui ka mullastikust ning väetamisest. Näiteks varakult koristatud õlgede kloorisisaldus on kuni 4 korda kõrgem kui hilja koristatud õlgedes (maksimaalne Cl sisaldus võib olla isegi kuni 0,97%). Kloori sisaldus kütuses kiirendab omakorda oluliselt küttepindade korrosiooni.

3.1 Biokütuste ressurss Jõgevamaa metsadest

Järgnevad peatükid, 3.1 ja 3.2, on koostatud materjali põhjal, mis pärineb uurimustööst „Biomassi kasutamine energeetikas Lõuna-Eesti regioonis“ [11]. Vaatamata sellele, et uurimustöö valmis 2013. aastal ning arvutuskäikudes on tihtipeale kasutatud andmeid vahemikust 2008-2010, võib siiski pidada antud numbreid korrektseteks ning arvestatavateks, sest metsaressursi muutumine ei ole hüppeline ning on fikseeritud kindlate regulatsioonidega. Peatüki alguses on antud ülevaade potentsiaalsetest raiemahtudest ning pindaladest, kust võib saada potentsiaalset energiaressurssi.

Järgnevates tabelites on võrdluse mõttes Jõgevamaa kõrvale välja toodud ka Lõuna-Eesti näitajad, et anda paremat ülevaadet ressursi ulatusest. Esimesena antakse ülevaade keskmisest arvestuslikust raiemahust Lõuna-Eestis aastatel 2008-2010.

Raiemahu hindamiseks on kasutatud Statistikaameti andmebaasis kajastatud raiemahtude hinnangut raiedokumentatsiooni järgi, millest lahutati maha 35% erametsas planeeritud raiemahust. Realiseeritavateks raidmeteks loeti RMK hinnangu järgi 12% lageraie mahust.

Tabel 3.2.1 Keskmine arvestuslik raiemaht Lõuna-Eesti regioonis aastatel 2008...2010

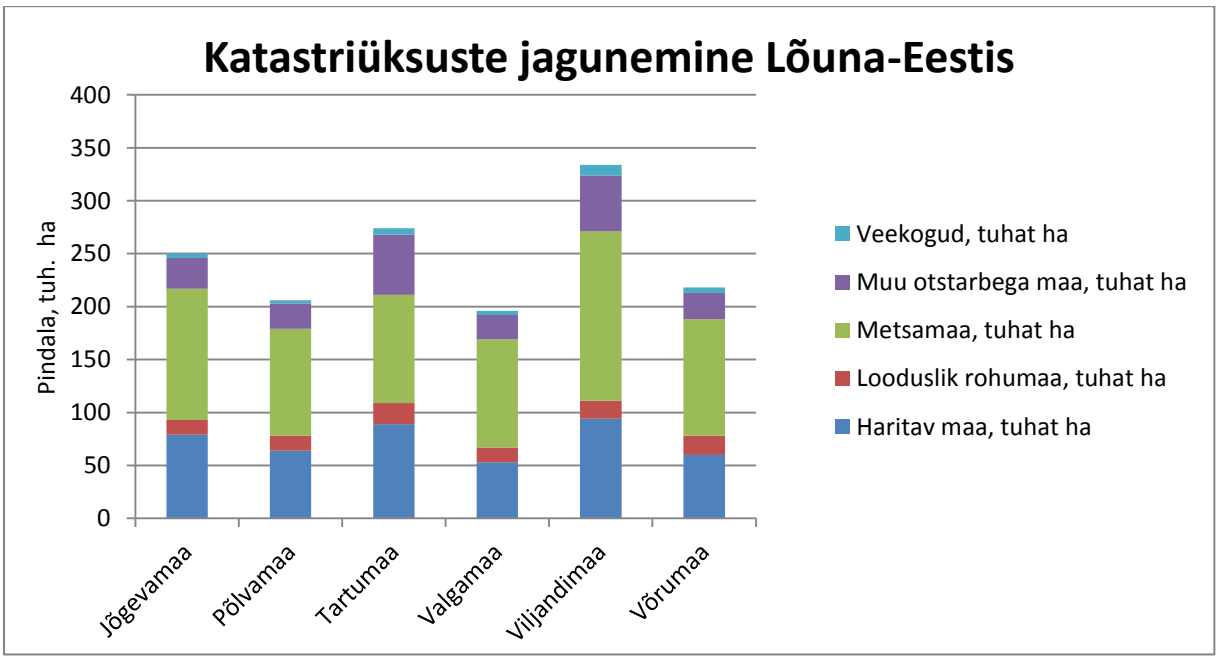
Haldusüksus	Raiemaht kokku, m^3	Küttepuud, m^3	Kogutavad jäätmed, m^3	Energeetikas kasutatav ressurss, TJ
Jõgeva maakond	**435779**	**92968**	**52293**	**965**
Põlva maakond	465769	83510	55892	920
Tartu maakond	387221	76991	46467	818
Valga maakond	386951	76239	46434	812
Viljandi maakond	623625	141551	74835	1440
Võru maakond	463151	87202	55578	944
Kokku	2762496	558459	331500	5898

Tabelist väljendub, et Jõgevamaa koguraiemaht on 435779 m^3, millest küttepuud moodustavad 92968 m^3 ning kogutavad jäätmed 52293 m^3. Energeetikas kasutatav ressurss on 965 TJ.

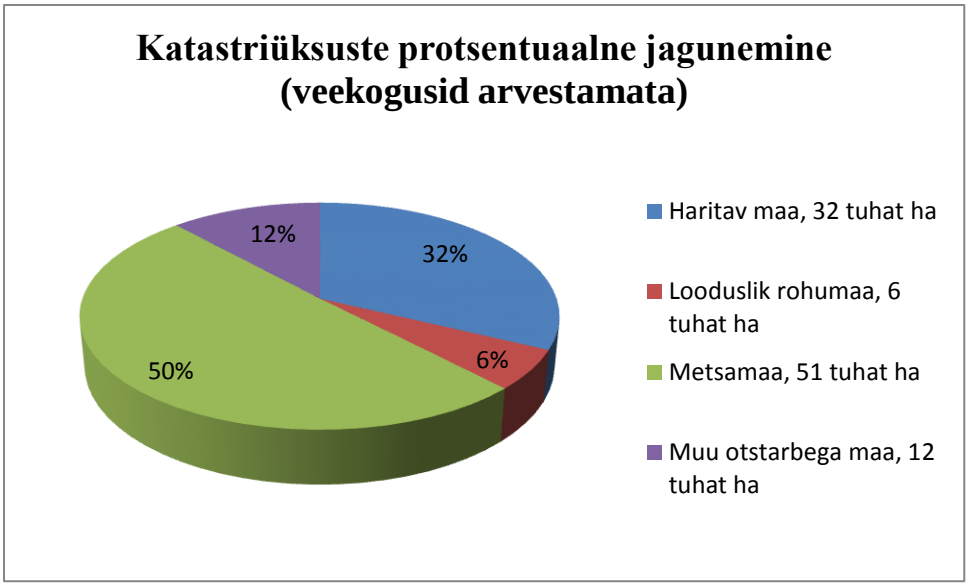
Tabel 3.2.2 Maakatastris registreeritud katastriüksuste koosseis Lõuna-Eesti regioonis

Haldusüksus	Katastriük-suste arv, tk	Katastriüksuste pindala, tuhat ha	Haritav maa, tuhat ha	Looduslik rohumaa, tuhat ha	Metsamaa, tuhat ha	Muu otstarbega maa, tuhat ha	Veekogud, tuhat ha
Jõgevamaa	**27825**	**245**	**79**	**14**	**124**	**29**	**4**
Põlvamaa	26629	203	64	14	101	24	3
Tartumaa	55255	268	89	20	102	57	6
Valgamaa	20860	194	53	14	102	23	4
Viljandimaa	32748	324	94	17	160	53	10
Võrumaa	27123	213	60	18	110	25	5
Kokku	190440	1447	438	98	698	211	31

Ülaltoodud tabelis on näidatud Lõuna-Eesti regiooni katastriüksuste koosseis. Lisaks on allpool välja toodud graafiliselt katastriüksuste jagunemine Lõuna-Eestis. Jõgevamaad kujutab esimene tulp.



Joonis 3.2.1 Katastriüksuste jagunemine Lõuna-Eestis



Joonis 3.2.2 Katastriüksuste protsentuaalne jagunemine (veekogusid arvestamata)

Lõuna-Eesti regiooni haldusüksuste pindala on suhteliselt suures osas koondunud metsamaa (regiooni keskmine 48%) ning haritava maa (regiooni keskmine 30%) alla, kusjuures biomassi tootmiseks potentsiaalselt rakendatav maa (haritav maa, looduslik rohumaa ja metsamaa) moodustab 85% regiooni kogupindalast. Nagu näha jooniselt 3.2.2, siis Jõgevamaa metsasus ning haritava maa pindala on 2% kõrgem kui Lõuna-Eesti keskmine.

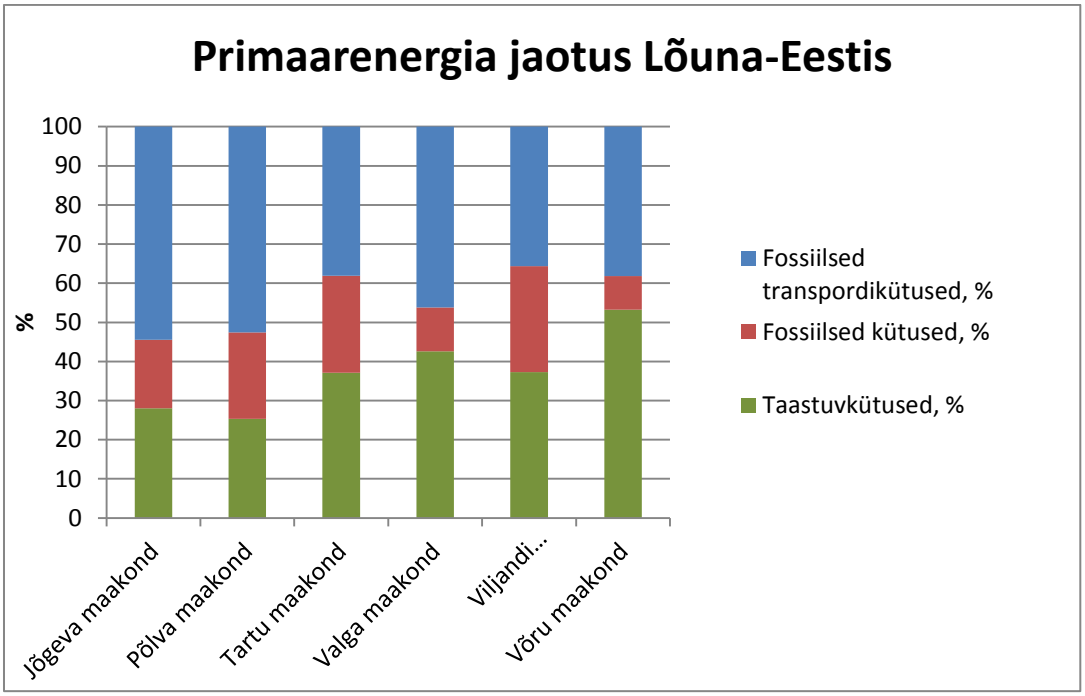
Otsest energiabilanssi maakondade lõikes Eesti Statistikaamet ei avalda, kuid energiatarvet maakondade lõikes on võimalik hinnata, kasutades tarbitud kütuste statistilisi andmeid (mis on avaldatud Statistikaameti kodulehel, tabel KE07 - Kütuse tarbimine kütuse liigi ja maakonna järgi) ning kütuste alumisi küttevääртusi.
Kütuste tarbimise struktuuri Lõuna-Eestis väljendavad järgnev tabel (tabel 3.2.3) ning joonis (joonis 3.2.3), kus taastuvkütuste alla kuuluvaks loeti küttepuud ning puiduhake ja –jäätmed. Turvas, kui väga aeglaselt taastuv biomass, on käesolevas töös klassifitseeritud fossiilsete kütuste alla.

Tabel 3.2.3. Primaarenergia jaotus Lõuna-Eestis

Haldusüksus	Taastuvkütused, TJ	Fossiilsed kütused, TJ	Fossiilsed transpordikütused, TJ	Kokku, TJ	Taastuvkütuste osakaal, %
Jõgeva maakond	**522**	**1342**	**1015**	**1864**	**28,0**
Põlva maakond	387	1140	803	1527	25,3
Tartu maakond	3544	6012	3638	9556	37,1
Valga maakond	625	841	677	1466	42,6
Viljandi maakond	1329	2234	1270	3563	37,3
Võru maakond	1004	881	719	1885	53,3

Ülal näidatud tabelis on välja toodud primaarenergia jaotus Lõuna-Eestis. Fossiilsete kütuste tarbimise poolest on Jõgeva maakond Lõuna-Eestis üks suurimaid. Enamuse fossiilsete kütuste kasutamisest annab transpordisektor. Tabelist 3.2.3 selgub, et taastuvkütuste osakaal Jõgeva maakonnas on tagasihoidlik, vaid 28%. Kui mitte arvestada transpordisektori osakaalu primaarenergia tarbes, siis taastuvate biokütuste osakaal Jõgeva maakonnas on 62%.

Statistikaameti poolt väljastatavad andmed sisaldavad informatsiooni antud haldusüksusesse juriidiliselt registreeritud ettevõtetes tarbitud kütuste ning kodutarbijate hinnangulise tarbimise kohta. Seega võivad vastavas maakonnas energiat tarbivad, kuid teise haldusüksusesse registreeritud ettevõtete andmed üldisest tarbimisbilansist puududa. Lisaks on allpool kujutatud ka primaarenergia jaotus Lõuna-Eestis graafiliselt.



Joonis 3.2.3 Primaarenergia jaotus Lõuna-Eestis

Eelpool koostati ülevaade energiakasutusest, järgnevalt on analüüsitud metsast saadava energiaressursi suurust. Andmeid metsavarude kohta kogutakse metsade inventeerimisega. Eestis on viimasel paarikümnel aastal regulaarselt inventeeritud ainult riigimetsi. Erametsade inventuur on sõltunud nende registreerimisest maakatastris, omanike huvist metsi majandada ja ka vajalike rahaliste vahendite olemasolust. Kõik lausinventeerimisega kogutud metsaandmed kantakse metsaressursi arvestuse riiklikku registrisse (Metsaregistrisse).

Selleks, et arvutada teoreetiliselt kättesaadav ning potentsiaalselt energeetikas kasutatava biomassi kogus, tuleb välja selgitada metsamaa ja metsatagavara suurus, liigiline koosseis, aastane juurdekasv, piiragud, aastased raided. Statistilise metsainverteerimise andmete tõlgendamine ning analüüsimine on suhteliselt keerukas erinevatesse registritesse (Maakataster, Metsaregister) tehtud kannete erinevuse tõttu. Alljärgnevas tabelis (tabel 3.2.4) on esitatud statistilise metsainverteerimise tulemused 2010. aasta kohta.

Tabel 3.2.4 Lõuna-Eesti regiooni korraldatud metsamaa pindala ja kogupindala

	Metsamaa pindala, 1000 ha	**Metsasus**	**Korraldatud metsamaa pindala, 1000 ha**		**Korraldamata metsamaa pindala**	
	1000 ha		**Riigimets**	**Eramets**	**1000 ha**	
Jõgeva maakond	**130,8**	**50,2%**	**52,3**	**43,4**	**35,1**	**26,8%**
Põlva maakond	117,3	54,2%	42,2	35	40,1	34,2%
Tartu maakond	117,5	38%	57,2	29,4	30,9	26,3%
Valga maakond	116,8	57,1%	43,8	40,1	32,9	28,2%
Viljandi maakond	168,1	46,8%	51,2	69,4	47,5	28,3%
Võru maakond	112,9	49%	41,6	45,7	25,6	22,6%
Lõuna-Eesti regioon	763,4	48,3%	288,3	263	212,1	27,8%

Metsatagavara on Lõuna-Eesti regioonis arvestatava suurusega. Jõgeva maakonna metsamaa pindala on Lõuna-Eesti üks suurimaid. Samas ei ole võimalik metsatagavara suurusest otseselt teada saada metsade pikaajalist biomassi toodangut. Metsade pikaajaline toodang on arvutatud EMÜ teadlaste poolt teostatud uuringus „Eestis olemasoleva, praeguse või juba kavandatud tootmise-tarbimise juures tekkiva biomassi ressursi hindamine“. Uuring valmis küll 2007. aastal, kuid arvestades, et metsa tagavara muutus on jäänud stabiilseks, võib eeldada, et nende poolt antud hinnangut on võimalik kasutada ka praeguste potentsiaalsete tootmismahtude kirjeldamiseks. Järgnev tabel, 3.2.5, on koostatud, kasutades metsade pikaajalist toodangut, mida korrigeeriti 2007-2009 keskmiste raiemahtude sortimentide abil.

Tabel 3.2.5 Metsade pikaajaline keskmine toodang (HR – harvendusraie, LR – lageraie)

Maakond	Raieviis	Kokku, 100 tm/a	Tarbepuit, 1000 tm/a	Küttepuit, 1000 tm/a	Jäätmed, 1000 tm/a	Kännud, 1000 tm/a	Energeetikas kasutatav, 1000 tm/a
	HR	**188**	**137**	**51**	**56**		**193**
	LR	**359**	**262**	**97**	**45**	**50**	**357**
Jõgeva maakond	**Kokku**	**547**	**399**	**148**	**101**	**50**	**550**
	HR	191	139	51	48		187
	LR	343	250	93	40	49	340
Põlva maakond	Kokku	534	390	144	89	49	527
	HR	176	129	48	50		178
	LR	328	240	89	40	46	326
Tartu maakond	Kokku	505	368	136	90	46	504
	HR	167	122	45	45		167
	LR	314	229	85	38	44	311
Valga maakond	Kokku	481	351	130	82	44	477
	HR	270	197	73	78		275
	LR	505	369	136	62	70	501
Viljandi maakond	Kokku	775	566	209	140	70	776
	HR	195	143	53	51		193
	LR	361	263	97	43	51	357
Võru maakond	Kokku	556	406	150	93	51	550
	HR	1188	867	321	327	0	1194
	LR	2210	1613	597	268	310	2191
Lõuna-Eesti regioon	Kokku	3398	2480	918	595	310	3384

Tabelist 3.2.5 selgub, et Jõgeva maakonna metsade pikaajaline keskmine toodang on Lõuna-Eesti üks suurimaid, 550 tuhat tm/a. Suurem näitaja on vaid Viljandimaal, kus ressurss on 776 tuhat tm/a.

Järgmisena on analüüsitud biomassi ressurssi, mis jääb elektriliinide alla. Kuivõrd metsi läbivate liinitrasside aluseid maa-alasid ei kasutata (vastavaid maa-alasid puhastatakse võsast 3-5 aasta tagant), on mõistlik mahaniidetavaid puu- ja põõsataimi kasutada energia tootmiseks. Optimaalseks raieringiks on arvestatud 5 aastat.

Tabel 3.2.5 Metsi läbivate elektriliinide alade potentsiaalsed puidutoodangud maakondade kaupa 5-aastase raieringi korral

	Toodang, t/a			
Maakond	**Põhivõrk**	**Jaotusvõrk**	**Madalpinge**	**Kokku**
Jõgeva maakond	**797**	**1354**	**524**	**2675**
Põlva maakond	466	1463	542	2471
Tartu maakond	1222	1659	797	3678
Valga maakond	652	1011	477	2140
Viljandi maakond	220	1940	695	2855
Võru maakond	220	1454	599	2273
Lõuna-Eesti regioon	3578	8880	3634	16092

Tabelist 3.2.5 selgub, et teostades Jõgeva maakonnas iga 5 aasta tagant elektriliinide aluseid puhastusraideid, on meil võimalik saada iga-aastaselt 2675 tonni tahket biokütust. Teades biokütuste potentsiaalseid koguseid, on koostatud tabel 3.2.6, kus on näidatud biokütustest saadava primaarenergia kogus. Puitsest biomassist saadavat potentsiaalset energiakogust on võimalik hinnata, kasutades kütuse alumisi kütteväärtusi. Puitse biomassi ressursi puhul eeldame, et kõik eelnevalt kirjeldatud biomass on kättesaadav. Lisaks on tabelis välja toodud ka põhu ressurss Jõgevamaa põllumaa-aladelt. Põhku biogaasi toormena ei tasu vaadata, sest selle kääritamine nõuab eri ensüüme, mis on kallid. Seetõttu tuleks põhku kasutada kas otsepõletus meetodil või künda seda mulda, et rikastada maad huumusega.

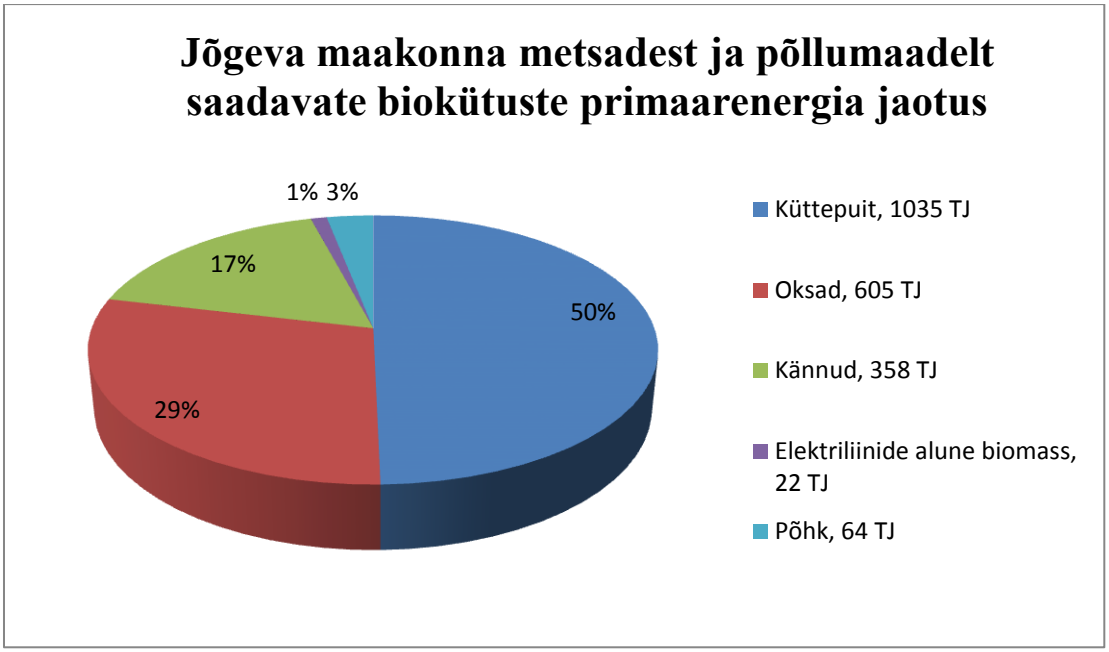
Tabel 3.2.6 Metsast ja põllumaalt saadava biomassi primaarenergia sisaldus

Maakond	**Küttepuit, TJ**	**Oksad, TJ**	**Kännud, TJ**	**Elektriliinide alune biomass, TJ**	**Põhk, TJ**	**Kokku, TJ**
Jõgeva maakond	**1035**	**605**	**358**	**22**	**64**	**2084**
Põlva maakond	1009	532	350	20	45	1956
Tartu maakond	955	539	330	30	77	1931
Valga maakond	909	493	318	18	29	1767
Viljandi maakond	1466	840	507	24	72	2909
Võru maakond	1051	560	367	19	30	2027
Lõuna-Eesti regioon	6426	3568	2231	133	318	12676

Tabelist 3.2.6 selgub, et Jõgevamaa metsadest ja põllumaadelt saadava biomassi primaarenergia suuruseks on 2084 TJ. See katab 111% Jõgevamaa primaarenergia vajadusest, mis oli välja toodud tabelis 3.2.3 (1864 TJ).

Antud arvutuskäigus on eeldatud, et metsast on kättesaadav kogu ressurss. Reaalsete kogemuste põhjal aga võib väita, et ligi 20% okstest jäetakse metsa (metsaveokite ja –töömasinate allapanu), kändude juurimine on majanduslikult ebaratsionaalne ning elektriliinide aluse biomassi ja põhu transport on kallis. Lähtudes realistlikust hinnangust, siis tabelis 3.2.6 kujutatud ressursist võiks majanduslikult atraktiivne olla kasutada 1519 TJ, mis moodustab 81% Jõgevamaa primaarenergia tarbest.

Järgneval joonisel (3.2.4) on kujutatud ka protsentuaalselt, milline on Jõgeva maakonna metsadest ja põllumaadelt saadava biomassi primaarenergia kogus.



Joonis 3.2.4 Jõgeva maakonna metsadest ja põllumaadelt saadavate biomassi primaarenergia jaotus

3.2 Hetkeolukorda kajastav uuring Jõgevamaal

Jõgeva maakonna spetsialistide vahendusel oli kättesaadav ka informatsioon 2014. aastal koostatud ülevaate kohta, kus analüüsiti omavalitsuste energiakasutuse liike. Maksimaalse sisutiheduse ja stiilsuse huvides on ülevaatlik tabel esitatud töö lisades, Lisa 1. Lisades asuvas tabelis oli välja toodud 10 valla (Pajusi, Torma, Saare, Jõgeva, Kasepää, Pala, Palamuse, Puurmani, Põltsamaa, Tabivere) ülevaade energiakasutuse liikidest ning lisaks ka 3 linna (Mustvee, Jõgeva, Põltsamaa) energiakasutuse peamised liigid. Tabelist selgus, et Jõgevamaa inimestel on suur huvi ja tahtmine kasutada taastuvenergiaallikatel põhinevaid tootmisseadmeid. Üsnagi populaarne oli maaküttе lahendus, mis oli kasutusel nii eramajades üle maakonna kui ka ühiskasutatavates hoonetes. Lisaks tavapärastele maaküttе süsteemidele, on arutatud ka Peipsi järvest soojuse ammutamist ning sellega Mustvee linna kütmist.

Kõrgel kohal olid ka biokütused – hakkpuit ning puitpellet. Paljud masuudil või põlevkiviõlil töötanud katlamajad on praeguseks juba üle viidud hakkpuidule või pelletile. Tuleks märkida ka seda, et kaugkütte vastu maakonnas erilist huvi ei tunta. Liitumine kaugküttega ei anna tarbijatele võimalust kasutada täiel rinnal hajaenergeetika soodsaid lahendusi.

Lisas 1 oleva tabeli kokkuvõtvad järeldused:

1. Jõgevamaal ei ole kaugkütte baasil olevad lahendused soositud;
2. fossiilsetel kütustel olid vaid mõned üksikud katlamajad;
3. paljud katlamajad on juba üle viidud hakkpuidule või mõnele muule biokütusele;
4. paljud ühiskasutuses olevad hooned on kasutamas taastuvenergia lahendusi;
5. maaküte on Jõgeva maakonnas väga levinud.

4. Biogaasi tootmise potentsiaal Jõgevamaal

Antud töö neljandas peatükis on antud ülevaade biogaasi tootmisest ning selleks vajalikest seadmetest ja lähteainetest. Peatüki esimeses pooles on antud lugejale lühiülevaade biogaasi olemusest, võimalikest kasutatavatest substraatidest (mis on levinud ja sobivad Jõgevamaal kasutamiseks) ja biogaasi võimalikest tootmismeetoditest. Alapeatükis 4.3 on analüüsitud Jõgevamaa suuremate loomakasvatusfarmide väljaheiteid biogaasi tootmise eesmärgil. Alapeatükis 4.4 on välja pakutud kaks sobivat asukohta biogaasijaama rajamiseks ning alapeatükk 4.5 annab ülevaate põllumajandusmaadelt saadavate energiakultuuride rakendamisest biogaasi tootmisel.

Biogaas on anaeroobse kääritamise teel saadud gaasiline kütus, mis koosneb 50 – 70% metaanist (CH_4), 30 – 40% süsinikdioksiidist (CO_2) ja teistest komponentidest nagu N_2, O_2, NH_4, H_2S. 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 küttevääртus jääb enamasti vahemikku 5-7 kWh/m^3, sõltuvalt metaani sisaldusest antud biogaasis, mis omakorda sõltub kääritatava materjali toitainete sisaldusest, niiskusest ja jäätme tüübist [12].

Biogaasi tootmise lähteaineteks võivad olla mitmesugused väga erineva päritolu ja keemilise koostisega lähteained ehk substraadid. Lähteained peavad sisaldama mingi koguse valke, rasvu ja/või süsivesikuid, millest oleks võimalik biogaasi sünteesida.

Substraatide iseloomustamiseks ja nende omavaheliseks võrdlemiseks kasutatakse kuivaine (KA), orgaanilise kuivaine (oKA), toitainete (lämmastik, fosfor ja kaalium) ja sünteesiprotsessile kahjulike ühendite sisalduse näitajaid.

4.1 Põllumajanduslikud substraadid

Sõnnik

Suur potentsiaal biogaasi tootmiseks on loomakasvatuses tekkival sõnnikul, eriti just majandustingimustes, kus ettevõtted suurenevad ja keskkonnaohutuse nõuded sõnniku käitlemisele karmistuvad. Eestis on perspektiivikas eelkõige veisekasvatus, kui suurimat majanduslikku tähtsust omav loomakasvatusharu. Tabelis 4.1 on esitatud sõnnikust tekkiv orienteeruv biogaasi kogus ning selle metaani sisaldus loomaliikide ja sõnnikutüüpide lõikes (Normak, jt, 2009). Veise vedelsõnniku biogaasipotentsiaal on võrreldes sea vedelsõnnikuga väiksem. Samuti on selle metaanisisaldus mõnevõrra madalam. Selle põhjuseks on sea ja veise seedefüsioloogia erinevused, mille tõttu erinevad ka söödaratsioonid. Kui veiste (mäletsejate) ratsioonid põhinevad kiurikastel söötadel (praegusel ajal peamiselt silo), siis sigade (lihtmaoliste) ratsioonid sisaldavad palju jõusöötasid (teraviljad, õlikoogid jms). Söödaratsioonist tulenevalt sisaldavad sigade väljaheited (sõnnik) rohkem biogaasi sünteesiks sobivaid komponente. Küll aga tuleb märkida, et Eesti ja Jõgevamaa näite puhul on sigalates ülekaalus noorloomad, kelle sõnniku toodang on suhteliselt väike. Täpsem ülevaade Jõgevamaa sigade ja veiste biogaasitoodangust on antud peatükis 4.3 [13].

Tabel 4.1.1 Sõnnikust tekkiv biogaasi kogus ja selle metaani sisaldus

Substraat	Biogaasi kogus		CH_4 sisaldus, mahu %
	m^3/t substraadist	m^3/ t oKA	
Veise vedelsõnnik	20-30	200-500	60
Sea vedelsõnnik	20-35	300-700	60-70
Veise tahesõnnik	40-50	210-300	60
Sea tahesõnnik	55-65	270-450	60
Linnusõnnik	70-90	250-450	60

Vedelsõnnikut saab hästi segada teiste (lisa) substraatidega, kuna see on madala kuivainesisaldusega ja seetõttu suhteliselt homogeenne. Vedelsõnniku käitlemine ja hoiustamine üldjuhul probleeme ei tekita. Tavaliselt suunatakse vedelsõnnik otse või ka läbi eelmahuti kohe kääritisse.

Energiakultuurid

Energiakultuurid on oma keemiliselt koostiselt biogaasi tootmiseks suurepärane substraat. Energiakultuure kasvatatakse tavapäraselt loomasöödaks või ka otseselt toidutootmiseks. Nende kasutamist biogaasi sünteesi substraadina tuleb igal konkreetsel juhul põhjalikult analüüsida, vältimaks konkurentsi teket (biogaasi lähtematerjal *vs.* loomasööt või toidutootmine) ning kaudset toiduhindade survestamist.

Mais sisaldab palju tärklist ja omab seetõttu kõrget energeetilist väärtust. Maailma mastaabis on mais (maisisilo) üheks olulisemaks piimakarja energiasöödaks. Uute sortide aretamise tulemusena (külmakindlus, lühem vegetatsiooniperiood) kasvatatakse ka Eestis söödamaisi üha enam. Saagid erinevad aastate lõikes, jäädes keskmiselt 45 tonni piiresse hektarilt. Maisilo valmistamine on suhteliselt lihtne. Silo säilitatakse tavaliselt silohoidlas (tranšees). Maisisilo võib käärimisel kasutada ka ainsa substraadina. Otstarbekam on maisilo kasutada vedelsõnniku lisasubstraadina, mis tagab stabiilsema käärimise ning mõnel juhul võib suureneda ka metaani saagis. Tabelis 4.2 on toodud maisilo biogaasi saagis ja selle metaani sisaldus [13].

Tabel 4.1.2 Maisisilo keskmine biogaasi saagis ja selle metaani sisaldus

Biogaasi kogus		**CH_4 sisaldus, mahu %**
m^3/t substraadist	**m^3/ t oKA**	
170-200	450-700	50-55

Viliseks (vilisesiloks) nimetatakse tervikkoristatud teraviljast (viljapea koos teradega, varred ja lehed) valmistatud silo. Vilisesilo tehakse tavaliselt siis, kui rohumaa on rajatud allakülvina ning see koristatakse koos katteviljaga. Samuti valmistatakse vilisesilo vihmastel aastatel, kui teravilja koristamine on raskendatud. Vilisesilo toiteväärtus oleneb teravilja kasvufaasist. Uurimused on näidanud, et piimvaha- ja vahaküpsuse faasis tervikkoristatud vilja energiasaagis on pinnaühikult 12...20% kõrgem kui täisküpsuse faasis koristamisel. Piimvahaküpsuses on toitainete ladestumine teradesse praktiliselt lõppenud, kuid taime vegetatiivorganid (lehed, varred) ei ole veel toitainetest vaesunud. Piimvahaküpsena koristatud teraviljas on veel piimhappekäärimiseks vajalikke suhkruid, kuid on langenud toorproteiini- ja tõusnud kuivainesisaldus (eriti lehtedes ja vartes). Sellisest materjalist silo valmistamine on ilma kindlustuslisandeid kasutamata komplitseeritud. Ilma konservanti

kasutamata saab vilisesilo valmistada siis, kui selle kuivainesisaldus on alla 40 %. Tabelis 4.3 on esitatud rukkivilisest valmistatud silo biogaasi saagis ja selle metaani sisaldus [13].

Tabel 4.1.3 Rukkivilisest valmistatud silo keskmine biogaasi saagis ja selle metaani sisaldus

Biogaasi kogus		CH_4 sisaldus mahu %
m^3/t substraadist	m^3/ t oKA	
170-200	550-680	55

Rohusilo

Käesoleval ajal on kvaliteetne ja kõrge toitainete sisaldusega rohusilo üks peamisi piimakarja söötasid. Eestis tuleb biogaasi tootmise lähtematerjalina (lisasubstraadina) arvesse eelkõige kvaliteetne, kuid madala toitainete sisaldusega rohusilo, mida ei ole otstarbekas piimakarjale sööta.

Silo kvaliteeti ehk hügieeni mõjutavad valmistamisprotsessi reeglitest kinnipidamine, kindlustuslisandi kasutamine ja käärimisprotsessi õige kulg. Suhteliselt laialtlevinud arusaam, et biogaasi reaktoris saab kasutada suures koguses ebakvaliteetset s.o riknenud silo on väär. Hallitanud või muul moel riknenud silo võib sisaldada mükotoksiine ja muid biogaasi sünteesiprotsessile pärssivalt mõjuvaid ühendeid. Halvimal juhul võib riknenud substraadi kasutamine bakterite populatsiooni reaktoris üldse hävitada.

Kõrge (madal) toitainete sisaldus rohusilos sõltub eelkõige taimiku koristusaegsest kasvufaasist. Mida nooremat taimikut sileerida, seda kõrgem on üldjuhul ka selle toitainete sisaldus s.t. ülekasvanud rohu toitainete sisaldus on madal.

Rohusilo, mis oma madala toitainete sisalduse tõttu kõrgetoodangulisele piimakarjale ei sobi, pärineb eelkõige looduslikelt ja poollooduslikelt rohumaadelt, milleks on näiteks lammi- ja luhaheinamaad ning puisniidud. Silo valmistamine (niitmine) sellistel rohumaadelt sõltub looduskaitse eeskirjadest, lindude pesitsemise ajal on nimetatud tegevused keelatud. Sellest tulenevalt saab silo valmistamisega alustada alles juuli teisel poolel või veelgi hiljem ning saadava materjali toitainete sisaldus on madal. Optimaalne 1. niite silo valmistamise aeg on sõltuvalt aastast mai lõpp või juuni algus. Tabelis 4.4 on esitatud keskmine biogaasi saagis rohusilost [13].

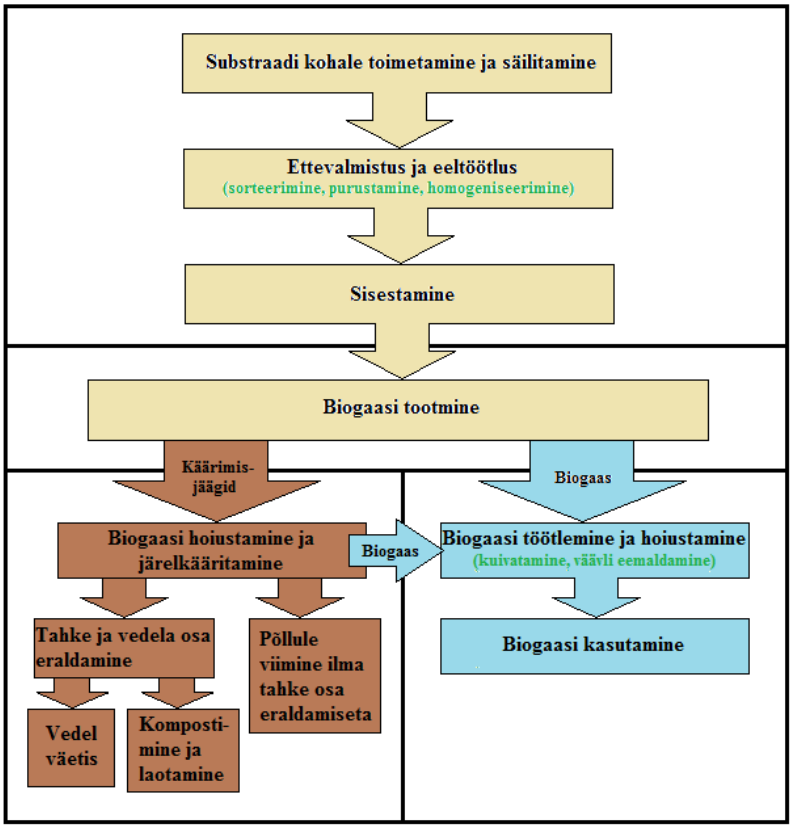
Tabel 4.1.4 Rohusilo keskmine biogaasi saagis ja selle metaani sisaldus

Biogaasi kogus		CH_4 sisaldus mahu %
m^3/t substraadist	m^3/ t oKA	
170-200	550-620	54-55

4.2 Biogaasi tootmise tehnoloogia – märgkääritus ja kuivkääritus

Põllumajanduslikku biogaasi tootmist saab jagada neljaks erinevaks etapiks, olenemata kasutatavatest tehnilistest seadmetest:

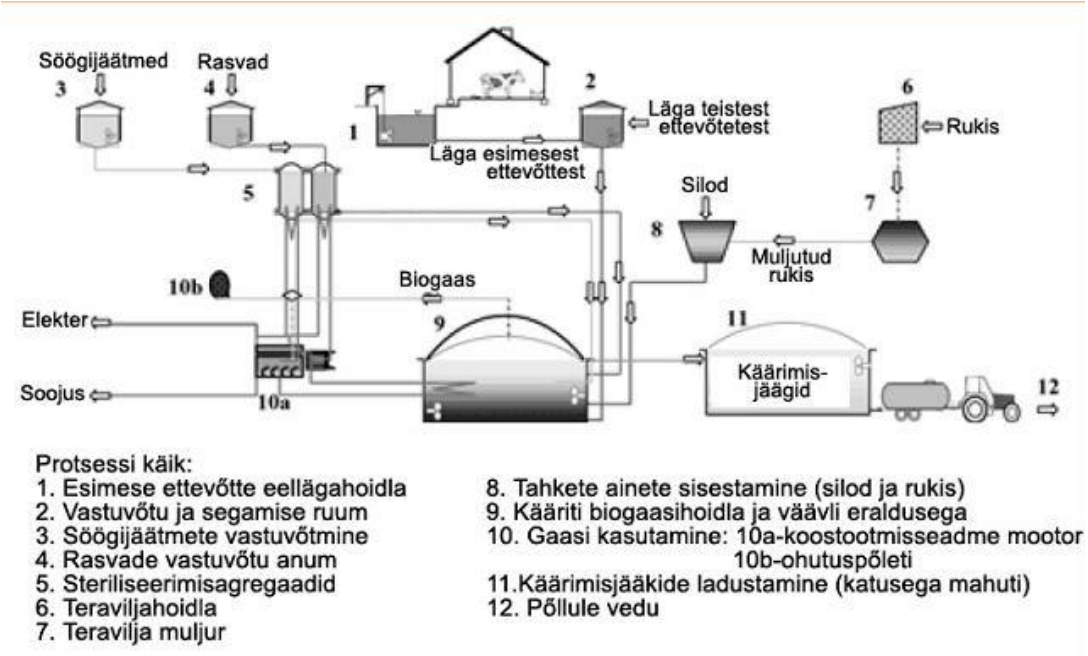
1. substraadi transport, hoiustamine, eeltöötlemine ja sisestamine;
2. biogaasi eraldumine;
3. kääritusjäägi ladustamine ja selle kasutamine;
4. biogaasi ladustamine, puhastamine ja kasutamine.



Joonis 4.2.1 Biogaasi tootmise põhietapid [13]

Sõltuvalt kasutatavatest ja olemasolevatest substraatidest, valitakse ka tehnoloogiline lahendus. Substraadi kogus määrab tehniliste seadmete mõõdud ja kääritustkambri mahulised dimensioonid. Substraadi kvaliteet (kuivaine sisaldus, struktuur ja päritolu) määrab kasutatava tehnoloogia (märgkääritus või kuivkääritus). Substraatide koostisest ja kuivaine sisaldusest sõltub ka see, kas on vaja eraldada mehaanilisi lisandeid või lisada hoopis vett, et saavutada pumbatavus. Kui on substraadid, mida tuleks enne pastöriseerida, siis tuleb seegi etapp planeerida. Eeltöödeldud substraat juhitakse kääritustkambrisse (kääritisse), kus see hakkab käärima ja eraldub biogaas [13].

Märgkääritamisel kasutatakse peamiselt üheastmelisi tehnilisi lahendusi läbivoolu meetodil. Kaheastmelisele meetodile on juurde lisatud üks eelkääritustkamber. Eelkääritustkambris valmistatakse ette tingimused käärimisprotsessi kaheks esimeseks etapiks (hüdrolüüs ja happe teke). Substraat liigub edasi peakääritustkambrisse, kus toimub edasine käärimine. Kääritusjääk ladustatakse tavaliselt kinnisesse järelkääritisse koos gaasi kogumise võimalusega või siis lahtisesse hoidlasse, kust seda võetakse põllumajanduskultuuride väetamiseks.



Joonis 4.2.2 Näide märgkäärituse jaama komponentidest [11]

Märgkääritamine toimub vertikaalsetes mahutites ning on Eestis levinuimaks biogaasi tootmise meetodiks. Enamjaolt on mahutid ümara kujuga, mis ehitatakse valmis kohapeal. Teoreetiliselt on vertikaalsete märgkääritite ruumala piiritlematu, see võib olla isegi kuni

30 000 m^3, aga tavaliselt ei ole need üle 6 000 m^3, kuna suuremates mahutites on segamist raske korraldada. Vertikaalsete märgkääritite puhul võib kasutada kõiki substraate, kuid need peavalt olema eelnevalt vastavalt töödeldud (lisandub substraatide ettevalmistusseadmete kulu). Vertikaalsete märgkääritite puhul võib olla probleemiks kihistumine mahutis, mis oluliselt vähendab biogaasi toodangut [13].

Põllumajandusettevõtetel, kus puudub läga (vedel sõnnik) biogaasi tootmiseks märgkääritusmeetodiga, on kasutada kaks võimalust:

1. vedeldada substraate (suur vee- ja energiavajadus);
2. kasutada kuivkääritusmeetodit.

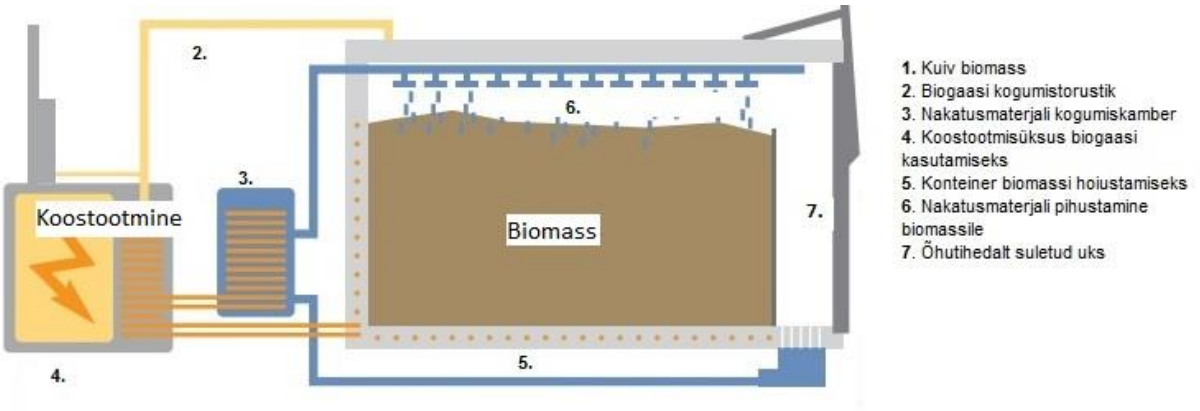
Kuivkäärituse puhul loodava ehitise suurus ei ole otseselt piiratud, see võib olla nii metallist kui betoonist. Kuivkääritid on mõeldud mittevoolavatele ainetele ning on kasutatav kõikide täitmismeetoditega. Kuivkääritite eelisteks on [13]:

1. moodulehitised võimaldavad mitmekülgset lähenemist vastavalt vajadustele;
2. kuivkääritel on väiksem energiavajadus, kui märgkääritel;
3. kuivkääritite hoolduskulud ja kulumine on väiksem, kui märgkääritel;
4. tekkinud biogaasis on vähem väävelvesinikku ja seega on gaasi puhastamine kergem;
5. käärituskambrit on võimalik transportida sinna, kus on toorainet;
6. väiksem energiakulu soojendamiseks, kuna kasutatakse lühiaegset aeroobset protsessi, kus tekib soojus.

Samuti on kuivkääritel ka miinuseid, võrreldes märgkääritamisega ning nendeks on [13]:

1. pideva biogaasi saamiseks on vajalik mitme paralleelselt töötava mooduli olemasolu;
2. kambermeetodi puhul on puuduliku läbisegamise probleem, mis pärsib gaasi teket;
3. kambermeetodi puhul on täitmisel ja tühjendamisel vaja installeerida turvatehnika;
4. maksimaalse gaasisegamise tagamiseks on vajalik suur kogus nakatusmaterjali (varemkäärinud, bakteritega mass).

Üheks levinuimaks ning lihtsaimaks kuivkäärituse meetmeks on konteinerkääritus, mis on kujutatud joonisel 4.2.3.



Joonis 4.2.3 Kuivkäärituskambri näidisskeem [14]

Teisaldatav kääriti täidetakse biomassiga ja suletakse õhutihedalt. Konteineris on värske substraat ja mingi osa käritusjääki, mis tagab vajaliku bakterite koosluse. Esmalt, kui kambrisse lisatakse õhku ning keskkond on aeroobne, toimub kompostimise protsess, mille käigus soojendavad mikroorganismid substraati. Vajaliku temperatuuri saavutamisel õhu juurdepääs suletakse. Hapniku ärakasutamise järel muutuvad anaeroobsed bakterid aktiivseks ning algab gaasitekke protsess. Biogaas koguneb käärituskambrisse, kust see eemaldatakse gaasitorustiku kaudu ning juhitakse gaasimahutisse. Lisaks on toodud ka joonis 4.2.4 veel ühe võimaliku kuivkäärituskambri lahendusega.

Joonis 4.2.4 Kuivkääriti kompleks [15]

4.3 Jõgevamaal paiknevate loomakasvatushoonete biogaasi potentsiaal ning soovituslik biogaasijaama asukoht

Järgnevas peatükis, 4.3, on lähemalt analüüsitud Jõgevamaal asuvaid loomakasvatushooneid ning nende potentsiaali osaleda biogaasi tootmises. Arvutusmetoodika ning joonised 4.4.1-4.4.3 on välja töötatud Tallinna Tehnikaülikooli Soojustehnika instituudi teaduri Ülo Kase poolt. Esimese etapina on peatükis 4.3.1 antud lugejale ülevaade arvutuskäigust ning andmete kogumise põhimõtetest.

4.3.1 Arvutuskäigu metoodika

Potentsiaalse biogaasi tekke arvutamise alustalaks on eeldus, et me teame loomade arvu loomakasvatushoonetes. Seda infot võimaldas saada Põllumajanduse Registrite ja Informatsiooni amet (PRIA). Andmed loomade arvu kohta loomakasvatushoonetes on arvestatud 1. jaanuari seisuga 2014. Teades loomade arvu, saame ka prognoosida loomade poolt toodetud arvutusliku väljaheite või sõnniku koguse, mida omakorda kasutame biogaasi toodangu arvutuses. Biogaasi saagis (took) sõltub oluliselt substraadist ehk sõnniku omadustest. Sõnniku omadusi mõjutavad omakorda aga mitmed faktorid - olemasolev loomapidamisviis, veevärgi kasutamine loomakasvatuskompleksis, sõnnikuliik (tahesõnnik, vedelsõnnik, süvaallapanu, toiduratsioon jne.) [13].

Kuna paljude hoonete kohta ei olnud teada eelnimetatud näitajaid, siis kasutatud arvutuskäigus on kasutatud arvutuslikku väljaheitekogust. Antud töö raames võimaldab arvutuslik väljaheitekogus prognoosida biogaasi saagist piisava täpsusega, et hinnata selle tekke potentsiaali. Juhul kui biogaasi saagis on piisavalt kõrge, tuleb enne biogaasijaama rajamist kindlasti võtta sõnnikuproovid ning seda laboratoorselt uurida. Selle põhjal saame teada täpse biogaasi koguse sõltuvalt sõnniku omadustest ning kogusest. Järgnevates arvutuskäikudes ei ole arvestatud seda biogaasikogust, mida saaksime sõnnikus sisalduva allapanu ja söödajäätmete kääritamisel, mistõttu võib reaalne biogaasi toodang olla suurem. Teisalt võib prognoositav biogaasi toodang olla ka väiksem, sest see sõltub nii loomade toidurotatsioonist, tõust, allapanu liigist, sõnnikueemalduse ja –kogumise viisist ning muudest faktoritest, mida teoreetilistes arvutustes ei saa arvesse võtta.

Biogaasi toodangut mõjutab ka asjaolu, et teoreetiliselt etteantud koefitsendid annavad gaasi toodangule laia võimaliku diapasooni (koefitsente esitletakse mitte fikseeritud väärtusena, vaid vahemikuna).

Loomade väljaheitekoguse ja biogaasi tootlikkuse hindamiseks kasutati Põllumajandusministeeriumi poolt tellitud ja Eesti Maaülikooli poolt teostatud uuringut „Eri tüüpi sõnniku toitainete sisalduse arvestuslike väärtuste, põllumajandusloomade loomühikuteks ümberarvutamise koefitsientide ning sõnnikuhoidlate mahu arvutamise aluste ja miinimummahtude väljatöötamine ning sõnnikuga seotud näitajate arvutamise tarkvara väljatöötamine“ [17].

Allika [17] uurimustöö koosnes Eesti farmide tegeliku olukorra kaardistamisega, mistõttu võib pidada väljaheite koguseid ja väljaheidetes sisalduvaid kuivainete koguseid vägagi täpseks. Veendumaks uurimustöö [17] täpsuses, võime võrrelda sealseid teoreetilisi andmeid reaalsete praktikas tõestatud tulemustega. Näiteks Oisu biogaasijaama esindaja sõnul, on Oisu biogaasijaama toodang ilma lisasubstraatideta 300 m^3/h. Teoreetilised andmed allikast [17] andsid prognoositud biogaasitoodangu vahemikuks 158-431 m^3/h ja keskmiseks tulemuseks 294 m^3/h, mis on väga lähedane tegelikule gaasitoodangule. See kinnitab asjaolu, et järgnevates arvutuskäikudes kasutatavad andmed on kohandatud võimalikult sobivaks Eesti tingimustele.

Veiste väljaheitekoguste arvutamiseks sai kasutada PRIA andmebaasi, kus oli märgitud veiste jaotumine soo järgi vanuserühmadesse (piimalehmad, pullid, lehmik- ja pullmullikad, lehmik- ja pullvasikad). Piimalehmade puhul oli arvestatud, et väljaheidete toodang on korrelatsioonis piimatoodanguga, mistõttu kasutati piimalehmade puhul keskkonnaministri 5. detsembri 2008. aasta määrust nr. 48 „Looma- ja linnukasvatusest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste määramismeetodid“ lisas toodud andmeid ja interpoleerimist. Biogaasi tootlikkuse arvutamiseks kasutatud väljaheidete kogus ning väljaheidetes sisalduva kuivaine kogus on toodud tabelis 4.3.1.1.

Tabel 4.3.1.1 Väljaheidete kogus ning kuivaine sisaldus [17], [18]

Nr	Looma liik, vanuse- või toodangurühm	Väljaheite kogus, t/aastas või t/perioodis	Kuiv-aine osakaal, KA %	Voorude arv aastas looma-kohal
1	Piimalehmad (7 000 kg piima aastas)	21,4	15,3	1
2	Piimalehmad (8 000 kg piima aastas)	23,0		
3	Piimalehmad (9 000 kg piima aastas)	24,6		
4	Piimalehmad (10 000 kg piima aastas)	26,2		
5	Ammlehmad, lihaveised, pullid (üle 24 kuu)	8,3	14,9	1
6	Lehmvasikad (0…6 kuud)	2,6	12,3	2
7	Pullvasikad (0…6 kuud)	2,4	12,5	2
8	Lehmmullikad (6 kuud…poegimine)	11,4	13,9	1
9	Pullmullikad (6 kuud…realiseerimine)	6,7	17,0	1,3
10	Nuumsead (30-110 kg, juurdekasv 80 kg)	0,5	7,2	3,2
11	Võõrdepõrsad (7-30 kg, juurdekasv 22 kg)	0,07	5,0	6,4
12	Põhikarja emised koos põrsastega (vaba- ja tiinusperiood 70%, imetamisperiood 30% aastas, võõrutamine 28 päevaselt)	4,0	9,5	1
12	Kuldid	1,4	9,5	1

Juhul kui ettevõtjad olid oma majandusaasta aruannetes välja toonud keskmise piimatoodangu, siis sai väljaheidete koguse arvutamisel lähtutud sellest. Kui majandusaasta aruannetes puudus info keskmise piimatoodangu kohta, kasutati statistikaameti andmeid maakonna keskmise piimatoodangu kohta (Lisa 2).

Piimalehmade, pullide ja pullmullikate puhul on arvestatud, et loomasid peetakse aastaringselt sees, lehmikmullikate ja vasikate puhul aga on eeldatud, et 6 kuud on nad karjamaal, mistõttu on nende väljaheidete kogus jagatud kahega.

Kahjuks ei olnud PRIA andmebaasis sigade jaotumist soo ja vanusegrupiti, oli antud vaid loomade koguarv. Seetõttu on arvutuskäigus kasutatud sigade vanuseline jaotus hinnanguline. Farmide puhul, kus oli võimalik leida täpsustavaid andmeid ettevõtja majandusaasta aruandest või ajakirjandusest (näiteks, et farm on spetsialiseerunud võõrdepõrsaste tootmisele või ainult nuumikute kasvatamisele), lähtuti sellest teadmisest.

Ülejäänud loomakasvatusettevõtete puhul on eeldatud, et kasutusel on täistsükliga tootmine (karja struktuuris on olemas kõik loomarühmad - emised, kuldid, imik- ja võõrdepõrsad, nuumikud) ning et karja struktuur vastab tabelis 4.3.1.2 toodud protsentuaalsele jaotusele.

Tabel 4.3.1.2 Arvutuslik karja struktuur täistsükliga sigalas [18]

Loomarühm	Arvestuslik osatähtsus, %
Emised	7,7
Imikpõrsad (0-1 k)	14,1
Kuldid	0,3
Võõrdepõrsad (1-3 k)	25,3
Nuumikuid (3-7k)	52,7
Kokku	100,0

Sigade loomarühmade jaotumise hindamisel lähtuti põrsaste arvu leidmisel eeldustest, et aastas on emise kohta 2 pesakonda ja igas neist 11 elusat põrsast. Imikpõrsaste kasvuperioodiks arvestati 1 kuu, võõrdepõrsastel 1,8 kuud ja nuumikutel 3,75 kuud. Kultide arvu leidmisel lähtuti järgmisest valemist:

kultide arv = poegimiste arv x 2 (so. 2 paaritust innaajal) x (100/70) (so. tiinestumiste pöördväärtus) x (2/365) (so. kuldi kasutamine igal teisel päeval, pöördväärtus) x (100/90) (so. avariipesakondade arvu pöördväärtus).

Kui arvestuslik väljaheidete kogus ja kuivaine (KA) kogus oli määratud, leiti järgmisena orgaanilise kuivaine (oKA) sisaldus. Orgaanilise kuivaine ja biogaasi koguse leidmisel võeti aluseks Eesti Maaülikooli dotsendi Allan Kaasik'u (PhD) soovitusel vedelsõnniku vastavad koefitsiendid, mis on kujutatud tabelis 4.3.1.3.

Tabel 4.3.1.3 Orgaanilise kuivaine sisaldus vedelsõnnikus ja biogaasi teke [18]

Loomaliik	Orgaaniline kuivaine, oKA %	Biogaasi teke, m^3/t oKA
Veised	75-82	200-500
Sead	75-86	300-700

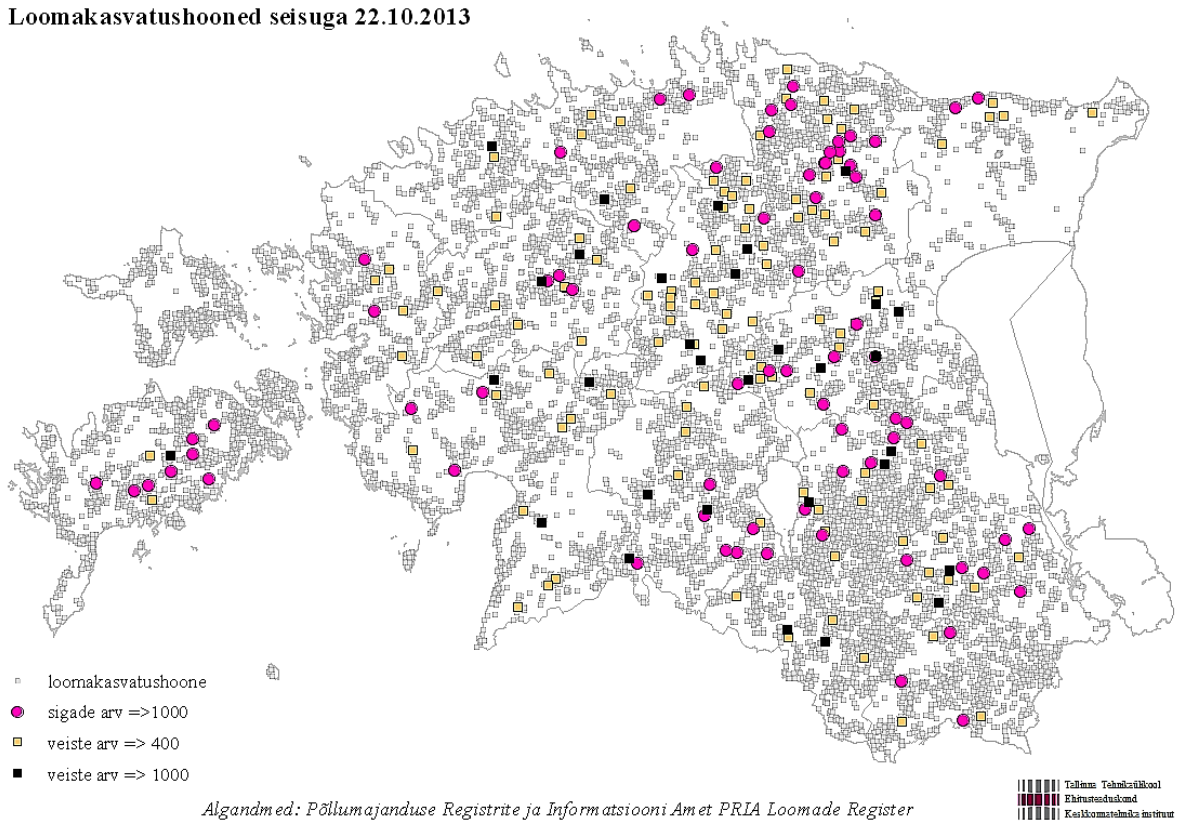
Biometaani mahu osatähtsuseks biogaasis arvestati sea väljaheidete puhul minimaalselt 60% ja maksimaalselt 70%. Veiste väljaheidetest saadud biogaasi puhul on biometaani sisaldus madalam ja seetõttu arvestati vastavad väärtused 10 protsendipunkti madalamad (vastavalt 50% ja 60%). Veiste väljaheidete biogaasi madalam metaani sisaldus tuleneb erinevast söödast ja veiste seedekulgla iseärasustest.

4.4 Piirkonna valik ning biogaasi toodangu arvutamine

Käesolevas peatükis on kasutatud infot ja graafilisi kujutisi, mis pärinevad Tallinna Tehnikaülikooli Soojustehnika instituudi poolt koostatud uurimustööst „Eesti tingimustesse sobivate biogaasi metaaniks puhastamise tehnoloogiate rakendatavus ning keskkonna ja majanduslikud mõjud“ (allikas [20]).

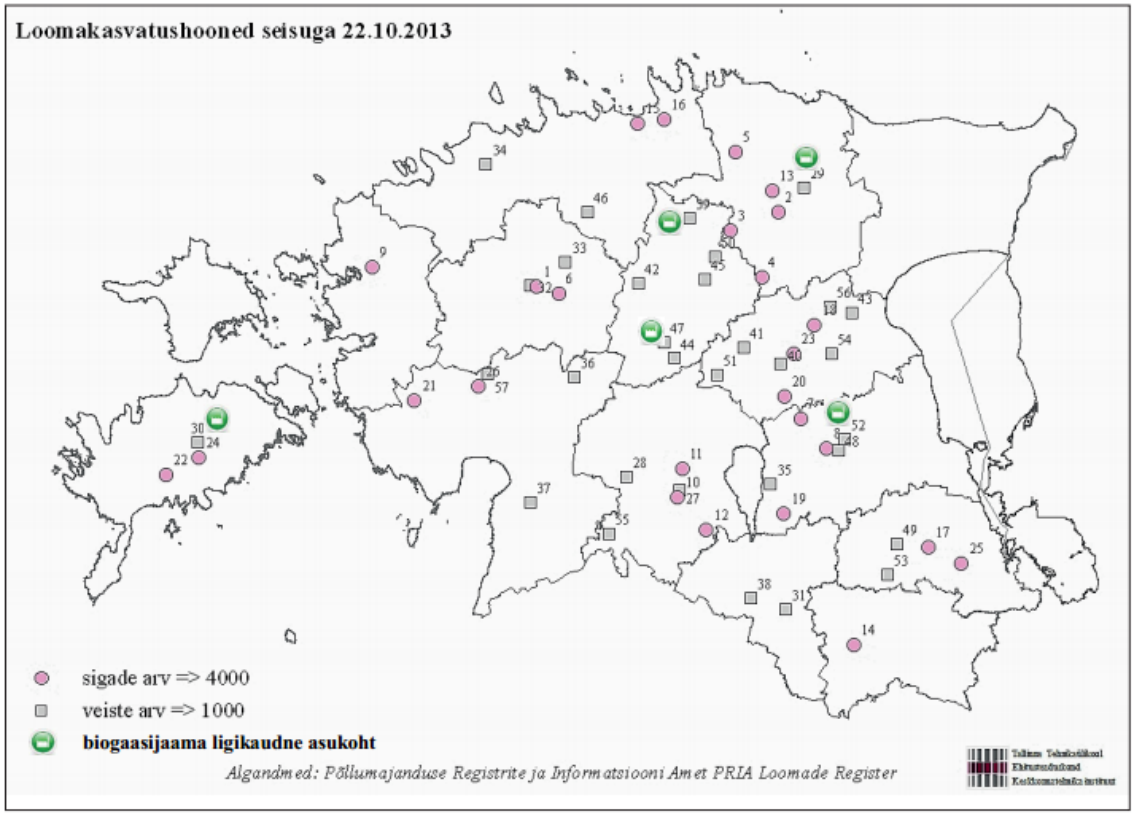
Majanduslikult mõttekas biogaasi tootmine Eesti klimaatilistes tingimustes tuleb kõne alla eelkõige suuremate farmide (või farmide gruppide) juurde rajatavates biogaasijaamades. Biogaasi kääritid vajavad meie laiuskraadil biogaasi tekkeks vajaliku temperatuuri hoidmiseks täiendavat soojendamist praktiliselt aastaringselt, sest mesofiilsed metaani tootvad bakterid eelistavad temperatuurivahemikku 32-42^{0}C. Eriti suur on täiendava soojuse tarve talvekuudel. Suuremate mahutite korral on ühtlase temperatuuri hoidmine lihtsam ja suhteline energiakulu selleks väiksem. Ka on üldreegel, et suuremate tootmisvõimsuste korral on investeeringu suhteline maksumus (eurot/W) soodsam. Piisava tooraine tagamiseks on mõistlik, kui ühte jaama varustab mitte üks konkreetne farm vaid grupp üksteisele piisavalt lähedal paiknevaid farme. Piisav lähedus on vajalik transpordikulude minimeerimiseks.

Farmide suuruse ja paiknemise kaardistamisel lähtusid TTÜ Keskkonnatehnika ja Soojustehnika instituudi teadurid Põllumajanduse Registrite ja Informatsiooni Ameti (PRIA) loomade registri andmetest. Joonisel 4.4.1 on toodud kõik loomakasvatushooned ning esile on tõstetud farmid, kus veiste arv ületas 400 ja 1000 looma või kus sigade arv ületas 1000 looma.



Joonis 4.4.1 Suuremate loomakasvatushoonete paiknemine Eestis seisuga 22.10.2013 [20]

Nagu jooniselt 4.4.1 näha, on loomakasvatushooned jaotunud suhteliselt ühtlaselt. Tihedam loomakasvatushoonete paiknemine on Lääne-Virumaal ja Lõuna-Eestis, kusjuures Lõuna-Eesti paistab silma just väiksemate loomakasvatushoonete suure arvu poolest. Järgnevalt kitsendati vaadeldavate farmide arvu ning otsiti välja loomakasvatushooned, kus sigade arv ületas 4000 looma või veiste arv ületas 1000 looma (joonis 4.4.2). Selliseid loomakasvatushooneid oli 57 (26 sigalat ja 31 veiselauta, Lisa 3).



Joonis 4.4.2 Suuremate loomakasvatushoonete paiknemine Eestis ja sõnnikul töötavad biogaasijaamad, seisuga 22.20.2013 [20]

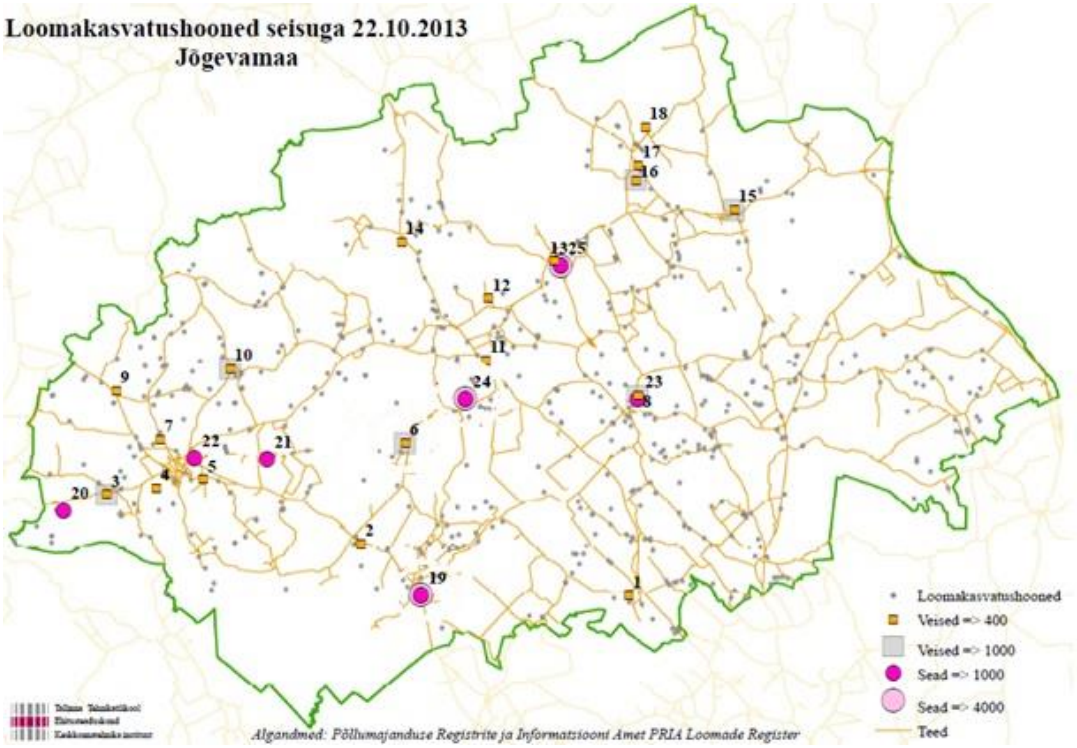
Jooniselt 4.4.2 selgub, et vaid Hiiumaal ja Ida-Virumaal ei ole ühtegi farmi, kus veiste arv ületaks 1000 looma või kus sigade arv ületaks 4000 looma. Enamus suurematest farmidest paikneb aga ootuspäraselt piirkonnas, kus muldade viljakus on kõrgem ja seega on ka soodsamad tingimused põllumajandusega tegelemiseks.

Järgnevalt pöörati tähelepanu eelkõige nendele piirkondadele, kus veel ei ole töötavat biogaasijaama, kuid kus paikneb lähestikku mitmeid suuremaid loomakasvatushooneid. Eestis on hetkel sõnnikul töötavaid biogaasijaamu viis (Saaremaal Valjala vallas Jööri külas, Järvamaal Oisus ja Aravetel, Lääne-Virumaal Vinnis ja Tartumaal Ilmatsalus).

Nagu joonis 4.4.2 näitab, siis võib etteruttavalt ja enne teoreetiliste arvutuste tegemist väita, et Jõgeva maakond on Eestis üks potentsiaalsemaid maakondi biogaasi tootmiseks.

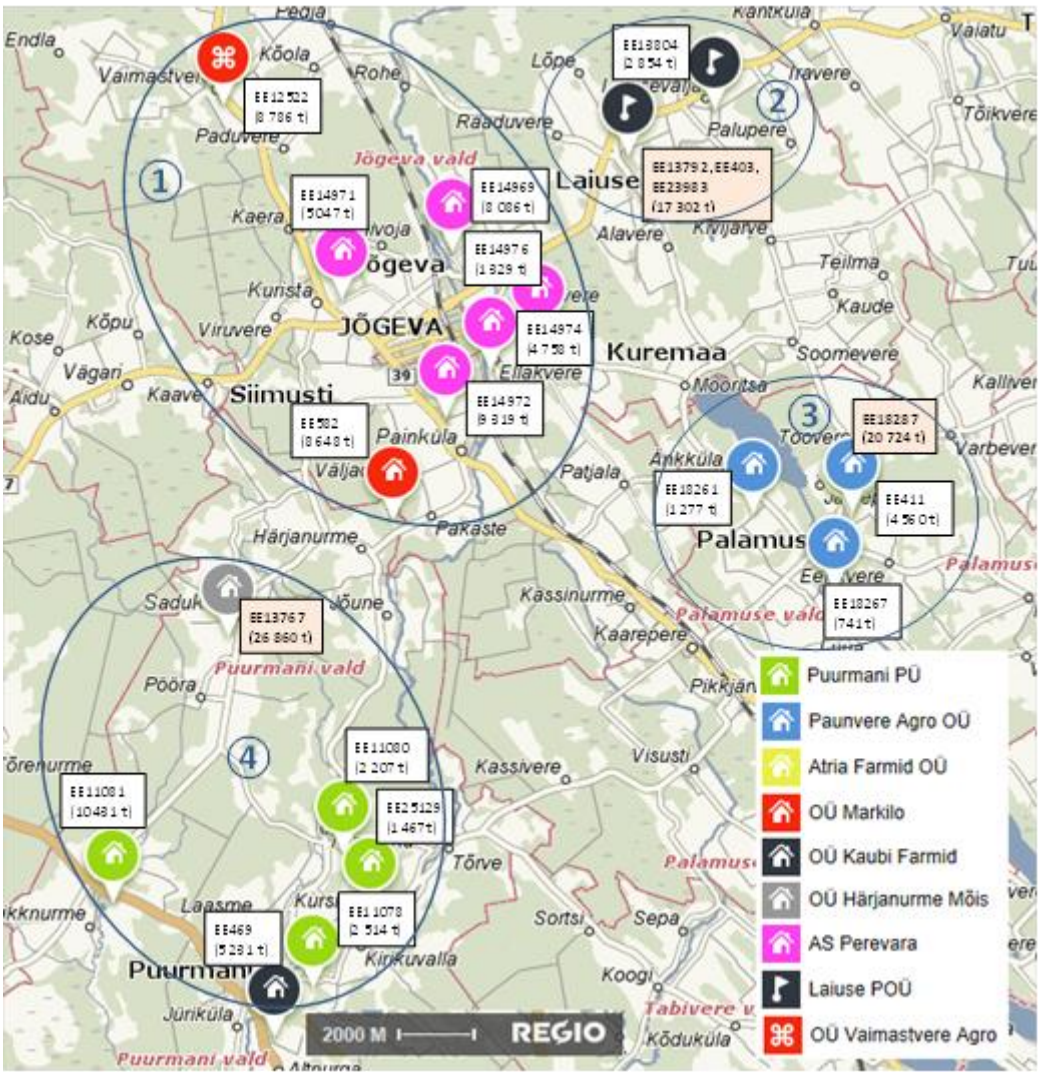
Kitsendades joonise 4.4.2 algandmete tabelit, on koostatud tabel Jõgevamaal asuvate loomakasvatushoonete kohta, kus on üle 400 veise ning üle 1000 sea, seisuga 22.10.2013 (Lisa 4).

Lisas nr. 4 kujutatud tabeli põhjal on koostatatud joonis Jõgevamaal paiknevate loomakasvatushoonete kohta, mis on kujutatud joonisel 4.4.3.



Joonis 4.4.3 Jõgevamaal asuvad loomakasvatushooned [20]

Nagu jooniselt 4.4.3 näha, siis suur hulk loomakasvatushooneid on paiknemas Jõgeva linna ümber, millest lähtuvalt on koostatud esimene arvutuskäik. Joonisel 4.4.4 on välja toodud Jõgeva lähistel paiknevad loomakasvatushooned koos nende aastase väljaheitekogusega. Loomakasvatushoonetest on moodustatud 4 gruppi- Jõgeva, Laiuse, Palamuse ja Puurmani. Arvutusest selgus, et ühegi alagrupi potentsiaalne biogaasitoodang ei ole eraldi piisavalt suur biogaasijaama rajamiseks, kuid nende nelja grupi summaarne biogaasitoodang on arvestatav – keskmiselt 657 m^3/h (5,75 miljonit m^3 aastas).



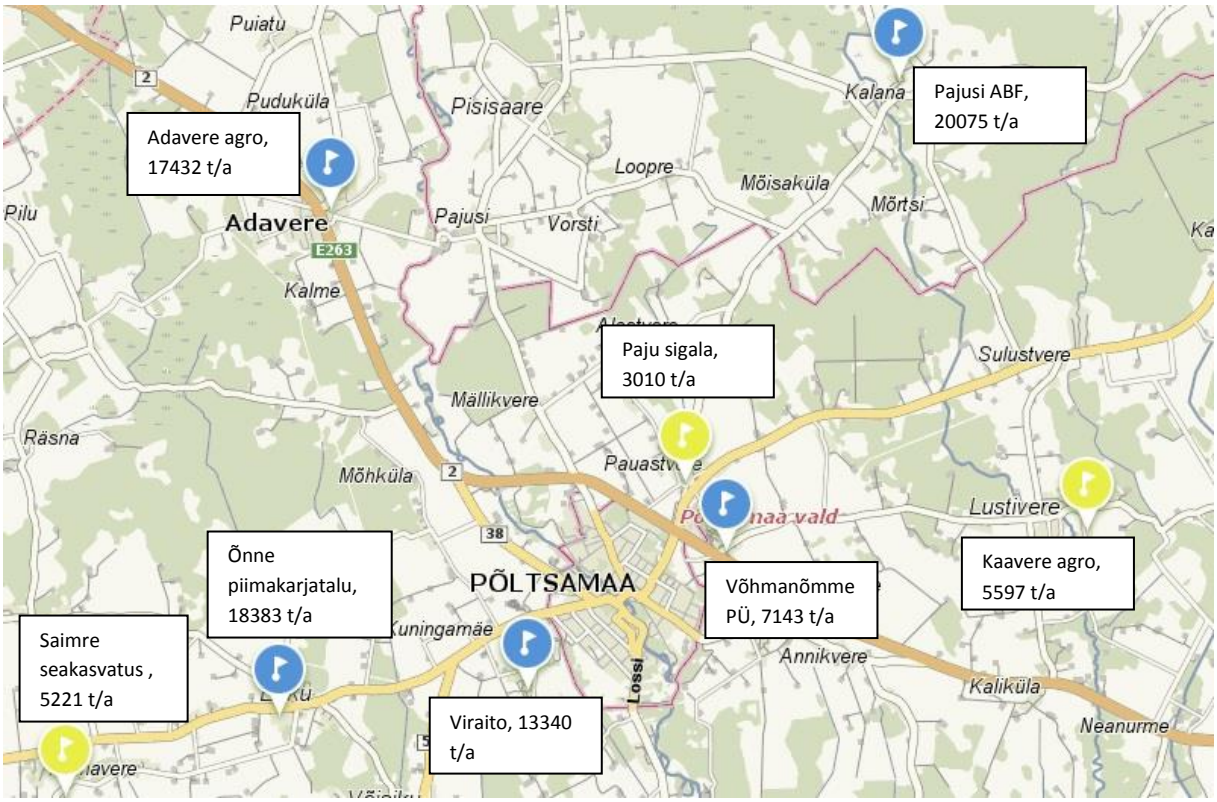
Joonis 4.4.4 Jõgeva lähistel paiknevad loomakasvatushooned koos aastase väljaheidete kogusega

Ühe variandina võib kaaluda biogaasijaama rajamist Jõgevale. Praktikute väitel on majanduslikult efektiivne sõnniku kokkuveo kaugus 10-15 km, gaasirikka substraadi puhul (õlid, rapsikook), on majanduslikult tasuv distants suurem. Kui biogaasijaam ehitada Jõgeva linna äärealale, oleks kõige kaugeim distants 18-19 km (OÜ Kaubi Farmid, Puurmanis). Teiste loomakasvatushoonete kaugused Jõgevast on märgatavalt väiksemad.

Juhul kui planeeritakse biogaasijaamast saadavat biogaasi kasutada elektri ja soojuse koostootmisel, võib määravaks saada soojusenergia tarbijate olemasolu. Ilma soojusenergia müügist saadava tuluta ei ole koostootmine majanduslikult tasuv. 2014. aastal rekonstrueeriti Jõgeva linna baaskoormuse katlamaja, mis viidi üle hakkpuidule. Vahemikus 2008-2011 müüs katlamaja keskmiselt 25 500 MWh soojusenergiat aastas. Siinkohal tekib ka probleem-

kui rajada biogaasijaam, mille tootlikkus on eelpool mainitud 657 m^3/h ning biogaasi kasutatakse koostootmiseks, on rajatava biogaasijaama keskmine soojusenergia toodang 14 825 MWh/aastas, mis on natukene üle poole Jõgeva linna keskmisest soojusenergia tarbest. Arvestades asjaolu, et kaugkütte populaarsus on Eestis näitamas langustendentse, ei pruugi biogaasijaamas toodetava soojusenergia müük Jõgeva kaugküttevõrku olla vastuvõetav. See muudaks kardinaalselt rekonstrueeritud hakkpuidu katlamaja poolt müüdavat soojuse hulka, mis omakorda muudab oluliselt rekonstrueerimise projekti tasuvust.

Teise alagrupina Jõgevamaal käsitleti Põltsamaa ümbruses paiknevaid loomakasvatushooneid, mis on kujutatud joonisel 4.4.5.



Joonis 4.4.5 Põltsamaa ümbruses olevad suuremad loomakasvatushooned

Kaugeim loomakasvatushoone (Saimre seakasvatus), asus Põltsamaalt 10 km kaugusel, Rõstlas. Nagu eelnevalt mainitud, siis praktikas majanduslikult reaalne sõnniku vedamise kaugus on 10-15 km. Joonisel 4.4.5 on siagalad kujutatud kollase värviga ning veisekasvatused sinise värviga. Nende loomaskasvatushoonete minimaalne arvutuslik biogaasi toodang on 239 m^3/h ning maksimaalne 651 m^3/h, keskmiselt 445 m^3/h (3,89 miljonit m^3 biogaasi aastas). Võrdluseks võime tuua juba töötava Vinnis paikneva biogaasijaama, kus biogaasi tootmisvõimsuseks on 300-350 m^3/h ning gaasimootori

maksimaalseks jõudluseks 350 m^3/h [21]. Antud väidete puhul võib järeldada, et biogaasi tootmise potentsiaal on väga hea.

Põltsamaa näite puhul tuleb jällegi analüüsida, et kas on võimalik müüa tekkinud jääksoojust linna kaugküttevõrku, mis võib olla problemaatiline.

Lisaks otsesele biogaasi kohapealsele kasutamisele (põletamine koostootmismootorites), on võimalik ka biogaasi puhastada ning kasutada transpordikütusena. Selleks, et biogaasi kvaliteetseks biometaaniks puhastamine seadmestiku rajamine koos maagaasivõrgu ühendusega või tanklatega oleks majanduslikult mõttekas, peab välismaiste praktikute väitel biogaasi toodang ulatuma vähemalt 500 m^3 tunnis, kuid soovitavalt 4-5 mln m^3 biometaani aastas.

Antud peatükist selgus, et Jõgevamaal on Eesti kontekstis suur potentsiaal toota biogaasi. Maakonnas on kõrgel tasemel põllumajandus ning loomakasvatus, mis loovad head tingimused biogaasi kasutamiseks. Maakonnas oleks antud uurimustöö kohaselt potentsiaali ja ruumi kahele biogaasi jaamale – Jõgeva lähistel ning Põltsamaa lähistel.

Jõgeva lähistele planeeritud biogaasijaama arvutuslik tootlikkus on 657 m^3/h ning Põltsamaa lähistele planeeritud biogaasijaama arvutuslik tootlikkus on 445 m^3/h. Need arvutuslikud tootlikkused ületavad nii Vinni kui ka Oisu biogaasijaamade praegust tootlikkust (mõlemal 300-350 m^3/h).

Biogaasi potentsiaal on piisavalt suur, et planeerida nii koostootmisjaama kui ka biogaasi puhastamist biometaaniks, mida edaspidi transpordikütusena kasutada. Arvestades nii meie riigi kui ka Euroopa Liidu poliitilisi otsuseid, tuleks eelistada biometaani tootmist koostootmisele. Vähenenud on toetused, mida makstakse koostootmise arvelt ning aina suuremat rõhku pannakse taastuvatest allikatest toodetud mootorikütustele. Seda kinnitab ka asjaolu, et Euroopa Liit on meile seadnud kohustuse asendada fossiilsetest kütustest toodetud mootorikütused taastuvatest allikatest toodetud kütustega (biometaaniga) vähemalt 5% ulatuses.

Vaatamata suurele potentsiaalile, on biogaasijaama rajamine äärmiselt keerukas protsess ning järgmise etapina tuleks selgitada:

1. biogaasi põletamisel koostootmismootoris tekkinud jääksoojuse hulk ning võimalused selle müügiks;

2. koostootmise rakendamise puhul sobiva asukoha leidmine elektrivõrguga liitumiseks;
3. põllumeeste huvi antud projektis osalemiseks. Tuleb analüüsida mainitud ettevõtete plaane tulevikuks, kas neil on soov laieneda või hoopiski vähendada tootmist. Tuleb analüüsida, kas loomakasvatusettevõtted kasutavad oma sõnnikut praegu väetiseks või mitte ning millisel juhul on nad nõus sõnnikut müüma;
4. poliitilised otsused seoses maakonna arenguga ning erinevate toetusmehhanismide rakendamine biogaasijaama edasise rajamise jaoks.

4.5 Biogaasi potentsiaal põllumajandusmaadelt

Peatükis 4.4 oli antud ülevaade sõnnikust tekkiva biogaasi potentsiaalist. Lisaks sõnnikule on võimalik ka biogaasi toota erinevatest põllumajanduslikest substraatidest. Käesoleva peatüki statistilised andmed pärinevad uurimustööst „Biomassi kasutamine energeetikas Lõuna-Eesti regioonis“ [11].

Põllumajanduslike substraatide energiakoguse hindamisel on kasutatud eeldust, et biogaasi tootmisel kasutatakse rohtset biomassi. Rohtse biomassi värske massi toodanguks on arvestatud 7,3 t/ha. Toorainete arvestusliku biogaasi toodanguna on kasutatud 135,5 m^3/t. Arvutuskäikudes on arvestatud, et nii pikaajalistelt rohumaadelt kui ka taotlemata põllumaadelt on tehniliselt kättesaadav energiahulk 20% koguressursist.

Kasutusel olevatest põllumaa-aladest on andmeid nii Statistikaametil kui ka Põllumajanduse Registrite ja Informatsiooni Ametil (PRIA). Järgnevas analüüsis on eeldatud, et PRIA, kui toetuste väljaandja, omab kõige täpsemaid ning ajakohasemaid andmeid maa-alade kohta, kus toimub põllumajanduslik tegevus. Alljärgnevas tabelis (4.5.1) on välja toodud PRIA poolt väljastatud andmed 2010. aasta ühtse pindalatoetuse saamiseks esitatud maa-alade suurus. Eeldades, et PRIA register on alates 2007. aastast uuenenud olemasolevate põllupindade suurenemise arvelt, on eraldi välja toodud MES uuringus „Maaressurss“ leitud 100% kasutamata põllumassiivide pindala [22].

Tabel 4.5.1 PRIA poolt väljastatavate pindalatoetuse taotlemine maakondade lõikes

Maakond	Toetusõiguslik pind, 1000 ha	Taodeldud pind 2010 a., 1000 ha	Taotlemata, 1000 ha	Sellest 100% kasutamata, ha
Jõgeva maakond	**88,1**	**70,2**	**17,9**	**7,4**
Põlva maakond	68,7	49,6	19,2	4,1
Tartu maakond	105,7	76,7	28,9	12,8
Valga maakond	62,1	41,6	20,5	5,8
Viljandi maakond	103,6	79,3	24,4	5,7
Võru maakond	73,6	48,6	25	9,6
Lõuna-Eesti regioon	501,8	366	135,8	45,4

Lugedes maa-alasid, millele ühte pindalatoetuse saamiseks avaldust ei esitatud, kasutamata maadeks, saame hinnata nendelt aladelt saadavat potentsiaalset biomassi resurssi. Toetusõigusliku maa kasutamata jätmine võib olla tingitud nii madalast saagikusest kui ka transpordikulutustest. Potentsiaalselt kasutatava maa pindala leidmisel on välja jäetud

uuringus „Maaressurss“ leitud 100% kasutusest väljas oleva maa-ala pindala, eeldades, et antud maa harimine pole majanduslikult otstarbekas. Energeetiliste põllukultuuride kasvatamisotstarbekus on otseselt seotud kokkuostuhindade ning transpordikuludega. Järgnevas tabelis, 4.5.2, on hinnatud potentsiaalselt saadavat energiakogust taotlemata põllumaa kasutamisel nii rohumaa- kui ka energiakultuuri kasvualana.

Tabel 4.5.2 Biomassi potentsiaalne toodang ja primaarenergia taotlemata põllumaadelt

	Maa-ala, 1000 ha	**Biogaasi tootmine**		**Tehniliselt kasutatav ressurss**
Maakond		**1000 m3/a**	**TJ/a**	**TJ**
Jõgeva maakond	**17,9**	**17684**	**350**	**70**
Põlva maakond	19,2	18971	376	75,1
Tartu maakond	28,9	28598	588	113,2
Valga maakond	20,5	20287	402	80,3
Viljandi maakond	24,4	24088	477	95,4
Võru maakond	25	24692	489	97,8
Lõuna-Eesti regioon	135,8	134320	1660	531,9

Nagu tabelist selgub, siis tehniliselt kasutatavaks biomassi ressursiks Jõgevamaa taotlemata põllumaadelt oleks 70 TJ, mis moodustab 3,5% Jõgevamaa primaarenergia tarbest.

Tabelis 4.5.3 on välja toodud pikaajalistelt rohumaadelt potentsiaalselt saadav energia kogus. On arvestatud, et potentsiaalseks kasutatavaks ressursiks on 20%.

Tabel 4.5.3 Pikaajalistelt rohumaadelt saadav primaarenergia hulk

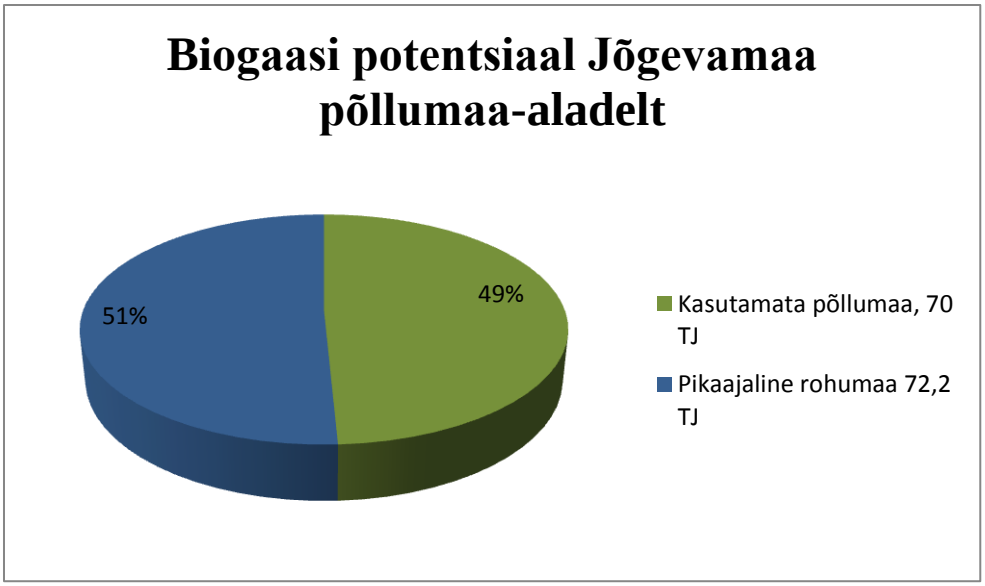
	Kasutatav pind	**Saagikus**	**Biomassi toodang**	**Biogaasi toodang**	**Primaarenergia**	**Kasutatav energia**
Maakond	1000 ha	t/(1000 ha)	1000 t	1000 m3	TJ/a	TJ/a
Jõgeva maakond	**13,4**	**10036**	**135**	**18236**	**361**	**72,2**
Põlva maakond	7	10235	72	9703	192	38,4
Tartu maakond	11,6	10695	124	16852	334	66,7
Valga maakond	12,2	8412	102	13851	274	54,8
Viljandi maakond	13,9	9513	132	17930	355	71
Võru maakond	17,7	9523	168	22819	452	90,4
Lõuna-Eesti regioon	75,8	-	734	99390	1968	393,6

Võttes kokku informatsiooni tabelitest 4.5.2 ja 4.5.3 saame koostada uue tabeli, kus on antud ülevaade Jõgevamaa põllumaa-aladelt saadava biomassi potentsiaalsest primaarenergia sisaldusest. Järgnev tabel, 4.5.4 annab ülevaate Jõgevamaa põllumaa-aladelt saadava tooraine potentsiaalsest primaarenergia kogusest.

Tabel 4.5.4 Jõgevamaa põllumaa-aladelt saadava tooraine potentsiaalne primaarenergia sisaldus

Maakond	Biogaas		Kokku, TJ	Tehniliselt kasutatav ressurss, TJ
	Kasutamata põllumaa, biogaasi tootmine, TJ	Pikaajaline rohumaa, biogaasi tootmine, TJ		
Jõgeva maakond	**350,1**	**361,1**	**711,2**	**142,2**
Põlva maakond	375,6	192,1	567,7	113,5
Tartu maakond	566,2	333,7	899,9	180,0
Valga maakond	401,7	274,2	675,9	135,2
Viljandi maakond	476,9	355	831,9	166,4
Võru maakond	488,9	451,8	940,7	188,1
Lõuna-Eesti regioon	2659,5	1967,9	4627,4	925,5

Nii kasutamata põllumaa potentsiaal kui ka pikaajaliste rohumaade potentsiaal on toodud välja primaarenergia kujul, tehniliselt peetakse reaalseks nendest kätte saada ligikaudu 20%. Lisaks eelnevale tabelile, on allpool kujutatud ka protsentuaalselt Jõgevamaa põllumaa-aladelt saadava tooraine potentsiaalne primaarenergia sisaldus.



Joonis 4.5.1 Jõgevamaa põllumaa-aladelt saadava tooraine potentsiaalne primaarenergia sisaldus

Potentsiaalseks saadavaks primaarenergia koguseks põllumaa-aladelt biogaasi tootmiseks on 711,2 TJ, kuid tehniliselt kasutatav ressurss on 142,2 TJ. See moodustab 7,6% Jõgevamaa primaarenergia tarbest (1864 TJ).

Jooniselt 4.5.6 järeldub, et Jõgevamaa põllumajandusmaadelt võime saada täiendavad 142,2 TJ biogaasi tootmiseks. Sellise jaama biogaasi toodang võiks olla ligikaudu 650 m^3/h. Praktikute väitel on mõistlik silo transpordikaugus kuni 50 km. Kui rohtset biomassi kasutav jaam planeerida maakonna keskele, võib sellest saada atraktiivne lahendus (maakonna keskpunktist kaugeimasse otsa on distants ligikaudu 45 km).

4.6 Biometaani potentsiaal asendamaks mootorikütuseid

Eelnevas peatükis (4.5) on mainitud, et aastal 2015. panustab riik rohkem biometaani tootmisesse, kuivõrd biogaasi kasutamisele koostootmisel. Sellest lähtuvalt on antud järgnevas peatükis lühike ülevaade peatükis 4.4 ning 4.5 arvutatud biogaasi potentsiaalist asendamaks Jõgevamaa mootorikütuseid biometaaniga. Statistikaameti hinnangul kasutati 2013. aastal Jõgevamaal 16 000 tonni diiselkütust ning 6000 tonni bensiini. Järgnevas arvutuskäigus on eeldatud, et biometaaniga asendame bensiinkütust. Tänapäevaseid bensiinimootoreid on lihtne üle viia biometaanile, tuleb paigaldada vaid sobilik autogaasi mahuti. Arvutuskäigust on välja jäetud diiselkütuse asendamine biometaaniga, sest seda kasutavad pea kõik raskemasinad maakonnas. Biometaani raske transporditavuse tõttu ei ole arvestatud, et raskemasinad viiakse üle biometaanile.

Peatükis 4.4 pakutud kahe biogaasi jaama (Jõgeva, Põltsamaa) aastane biometaani toodang on keskmiselt 3,45 mln m^3 ja 2,34 mln m^3.

Antud kahe biogaasi jaama tootlikkuse põhjal on koostatud tabel 4.6.1, kus on näidatud nende jaamade potentsiaal asendada bensiinkütust biometaaniga.

Tabel 4.6.1 Jõgeva ja Põltsamaa biogaasi jaamade potentsiaal asendada bensiinkütust Jõgevamaal

Aastane biometaani toodang, mln. m^3	5,79
Biometaani energiasisaldus, TJ	195,93
Tarbitud bensiini hulk 2013 a., tuhat tonni	6000
Tarbitud mootorikütuse energiasisaldus, TJ	263,7
Biometaani potentsiaalne osakaal mootorikütuses	**74%**

Teise variandina on vaadeldud põllumaa-aladelt saadava biomassi potentsiaali biometaani tootmiseks ning selle kasutamiseks transpordikütusena. Biomassi potentsiaali sisendandmed pärinevad tabelist 4.5.4.

Tabel 4.6.2 Põllumaa-aladelt saadava biomassi potentsiaal biometaani tootmiseks

Tehniliselt kasutatav energiaressurss põllumaa-aladelt, TJ	142,2
Tarbitud bensiini hulk 2013 a, tuhat tonni	6000
Tarbitud bensiinkütuse energiasisaldus, TJ	263,7
Biometaani potentsiaalne osakaal mootorikütuses	**54%**

Tabelist 4.6.1 selgus, et Jõgeva ja Põltsamaa lähistele modelleeritud kahe jaamaga suudaks Jõgeva maakond katta 74% oma bensiinivajadusest biometaaniga. Tuleb mainida, et antud arvutuskäigus ei ole arvestatud mitte kogu maakonna väljaheidete potentsiaali, vaid ainult kahe suurema loomakasvatushoonete grupi väljaheiteid, mis asuvad Jõgeva ja Põltsamaa lähistel.

Tabelist 4.6.2 selgus, et Jõgeva maakonna põllumaa-aladelt saadav biomassi potentsiaal on piisav, et asendada 54% ulatuses bensiinkütus biometaaniga.

Kokkuvõtteks võib öelda, et käesolevas uurimustöös arvutatud biogaasijaamade ning põllumaa-aladelt saadava biomassi biometaani potentsiaal on piisav, et katta 128% ulatuses Jõgeva maakonnas tarbitud bensiinkütuse vajadus.

5. Alternatiivsete energiaallikate potentsiaal ning kasutusvõimalused Jõgevamaal

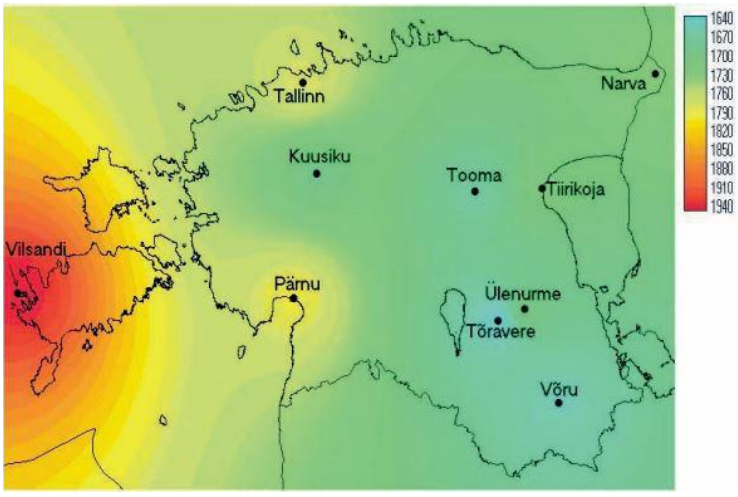
Käesolevas viiendas peatükis on kirjeldatud päikeseenergia, tuuleenergia ja hüdroenergia rakendamise võimalusi Jõgevamaal. Päikeseenergia ja tuuleenergia potentsiaali hindamiseks on kasutatud andmeid, mis pärinevad Riigi Ilmateenistuse Tiirikoja mõõtejaamast. Tiirikoja mõõtejaam on Jõgeva maakonnale lähim andmekeskus, kus salvestatakse tunnipõhiseid ilmastikuandmeid. Päikeseenergia ressursi hindamiseks on leitud mõõteandmete alusel keskmine maapinnale langev energiahulk W/m^2. Samuti on modelleeritud PV-paneelide süsteem Jõgeva haigla elektritarbe katmiseks, nimivõimsusega 60 kW. Tuuleenergia ressursi hindamisel on lähtutud Tiirikoja mõõtejaama mõõtmistulemustest. Leitud on aasta keskmine tuulekiirus m/s.

5.1 Päikeseenergia potentsiaal Jõgevamaal

Päikeseenergia kasutamise all mõeldakse enamasti päikesekiirguse kasutamist:

1. soojusenergia tootmiseks;
2. elektrienergia tootmiseks.

Päikesekiirgust iseloomustab perioodilisus ja juhuslikkus- summaarne päikesekiirgus selgel ning pilvisel suvepäeval võib Eestis kordades erineda, mida iseloomustab joonis 5.1.1.



Joonis 5.1.1 Päikesepaiste kestus Eestis [23]

Kuivõrd Eesti territoorium on väike, siis jaguneb päikese energeetiline ressurss suhteliselt ühtlaselt (suurimaks erinevuseks ~10%) [23].

Sealjuures oleneb reaalselt soojus- või elektrienergiaks muundatav ressurss suuresti [23]:

1. päikesekiirguse olemasolust (W/m^2);
2. varjudest;
3. paneeli kaldenurgast maapinna ja ilmakaarte suhtes;
4. välistemperatuurist;
5. paneeli tehnilistest andmetest;
6. kadudest juhtmetes ja inverteris.

Mõiste kontekstis kasutatakse soojusenergia tootmise puhul definitsiooni *päikesekollektor* ja elektrienergia tootmise puhul mõistet *päikesepaneel*. Päikesepaneele ja -kollektoreid on päikesekiirguse mõttes mõistlikum paigaldada saartele ja rannikualale, sest nendes piirkondades on valdavalt vähem pilvisemat ilma ning päikesekiirguse mõõteandmed on kõrgemad kui sisemaa piirkondades.

Lisaks geograafilistele ja klimaatilistele tingimustele, on päikeseressurss sõltuv paneelide kaldenurgast ja paigutusest ilmakaarte suhtes. Ideaalne suund saavutamaks aastast suurimat tootlikkust Eestis on lõunasuund ja kalle ligikaudu 42°. Kõrvalekalle nendest tingimustest vähendab aastast elektritoodangut, kuid teatud piirides püsides on erinevus mõistlikult väike. Tuleb ka meeles pidada, et lõunasuund ja 42° kaldenurk pole parim igale paigaldisele vaid erineb sõltuvalt paigaldise iseloomust ja otstarbest [24].

Vastavalt Riigi Ilmateenistuse andmetele, oli 2014. aastal Tiirikoja mõõtejaamas summaarseks päikesekiirguseks 995 kWh/m^2.

5.2 Päikesepaneelid ja nende rakendamise potentsiaal Jõgeva haigla näitel

Päikesepaneelid on fotogalvaanilistest elementidest (PV-elementidest) koosnevad paneelid. Tegemist on otse päikesekiirgusest elektrienergiat tootvate seadmetega. Valdav osa päikesepaneeli koostematerjalist on erineval kujul olev räni:

1. amorfne (a-Si) - amorfse kilega päikesepaneelid, mis on odavamad ning väiksema kasuteguriga;
2. kristalliline (c-Si) - mono- ja polükristallilised päikesepaneelid, mis on efektiivsemad, kuid samas ka kallimad [25].

Kasutatava räni tüübist sõltub reeglina ka päikesepaneeli hind ning efektiivsus. Päikesepaneelide puhul iseloomustab efektiivsus protsentuaalselt päikesepaneeli võimet päikeseenergiat ümber muundada elektrienergiaks. Monokristallidest elementide efektiivsus on suurusjärgus 11-17%, polükristalsete päikesepaneelide efektiivsus aga 11-15%. Monokristalliliste päikesepaneelide tootmine on kulukam, sest kasutatakse suurte tahvlitena toodetud räni (lõigatakse päikesepaneelide suuruseks). Polükristallilised päikesepaneelid on odavamad, sest kasutatakse omavahel ühendatud väiksemaid elemente. Kõige enam on levinud mono- ja polükristallpaneelid, mille tootlikkus Eestis on ligilähedane. Amorfse kilega ehk õhukesekileliste päikesepaneelide efektiivsus jääb vahemikku 3-11%. Amorfse kile peamised eelised on madal tootmiskulu ja kasutamise mitmekülgsus, sest neil puudub kristalliline struktuur ning kile kantakse otse erinevatele materjalidele. Järgnevalt on välja toodud päikesepaneelidele iseloomulikud eelised ja puudused, lähtudes energiatarbimise aspektist:

PV-paneelide eelised [25]:

1. energiatootmine põhineb täielikult taastuvenergia allikatel;
2. energia tootmise käigus ei teki keskkonnale kahjulikke emissioone;
3. täielikult automatiseeritud energiatootmine;
4. energia tootmine langeb kokku büroohoonete, turismitalude jm. sarnase tarbimismustriga hoonete tarbimisega;
5. PV-süsteem aitab siluda päevaseid tarbimise tippe;

PV-paneelide puudused [25]:

1. talvel ja suvel on energia tootlikkuses sõltuvalt kaldenurgast ja päikese järgitavusest 20...50 kordne vahe;
2. suvine soojus suurendab ja talvine jahedus vähendab kadusid;
3. väikese kaldenurgaga paneelidel talvine hoolduskulu suurem ja energiatootlikkus väiksem;
4. Eestis hajutatud kiirguse osakaal suur, mistõttu on järgivajamite tasuvus küsitav;
5. madalad kasutegurid - tänasel hetkel 5...20%.

Järgnevalt on antud näitlik ülevaade päikesepaneelide tasuvusest Jõgevamaa haigla põhjal. Arvutuskäigu jaoks on kasutatud 2014. aasta Tiirikoja mõõtejaamast saadud tunnipõhiseid välistemperatuuri ning päikesekiirguse andmeid. Arvutuskäigu viis läbi programm EnergyPRO4.

Paneelide ning süsteemi suuruse valikul lähtuti Jõgeva haigla 2014. aasta tunnipõhisest elektritarbest, mille põhjal koostati graafik, mis on välja toodud lisades (Lisa 5). Kõrgendatud tähelepanu suunati elektritarbimisele perioodil maist juunini. PV-paneelide süsteemi nimivõimsuseks on arvestatud 60 kW.

Paneelide valikul sai tähtsaimaks faktoriks toodetud energiahulga kasutamise või müümise strateegia. Süsteemi suuruseks sai valitud 60 kW, sest võimsama süsteemi puhul oleks toodetud elektrienergiat üle vajaliku omatarbe. Maksimaalse kasumi suudab meile tagada süsteem, mis suudaks katta meie kogu tarbimisvajaduse sel ajaperioodil, kui päikesekiirgus on suurim. Kui valida 70 kW süsteem, oleks päikesepaneelid tootnud suvekuudel piisavalt palju, et katta haigla tarvet ning edastada ka 0,3 MWh elektriturule. Müües elektrit elektriturule, teenib tootja vastavalt börsil olevale elektrihinnale (oletame selleks suuruseks 38€/MWh) ning vastavalt taastuvenergia tasule (53,7€/MWh). Müües elektrit elektriturule saaks antud näite puhul teenida 91,7€/MWh.

Tootjale on tasuvam vähendada oma igakuiseid kulutusi elektriarvele ise elektrit tootes. Kui arvestada elektrihinna suuruseks 38€/MWh, siis kulutused elektriteenusele (koos võrgutasude, käibemaksu, elektriaktsiisi ja taastuvenergia tasudega) on ligikaudu 115€/MWh.

Lähtuvalt eelnevast arvutuskäigust, säästaks tootja enda vajaduse katmise puhul 23,3 €/MWh kohta rohkem, kui müües elektrit börsile.

Lisas nr. 6 on välja toodud juulikuise päeva elektrinõudlus ning PV-paneelide tootlikkus ajal, mil päikesekiirgus on intensiivseim. Antud graafikult on ka näha, et saavutatud on optimaalne süsteemi suurus.

Arvutuskäigus kasutatud paneeliks on valitud Solarworld Sunmodule SW250. Paneeli tehnilised näitajad:

- NOCT 46°C
- TC P_{mpp} -0,41 %/K
- P_{max} 250Wp
- Sobiv kasutuseks temperatuurivahemikus -40°C...85°C

Programmi EnergyPRO4 põhjal on koostatud tabel 5.2.1, mis näitab 60kW PV-paneelide süsteemi aastast tootlikkust Tiirikoja ilmajaama mõõteandmete baasil.

Tabel 5.2.1 60 kW PV-paneelide süsteemi esialgne majanduslik analüüs 2014. aasta andmete põhjal

Periood	Haigla elektritarve, MWh	Keskmine elektrihind 2014, €/MWh	Elektrihind koos aktsiiside jm. tasudega, €/MWh	Haigla kulutused elektrile, €	60 kW PV-süsteemi elektritoodang, MWh	Haigla kulutused elektrile, kui kasutada PV-paneele, €	Igakuine sääst kasutades PV-paneele
Jaanuar	63,16	44,22	110,54	6981,53	2,7	6683,07	298,46
Veebruar	58,77	36,72	91,80	5395,15	2,2	5193,18	201,97
Märts	53,07	33,26	83,15	4412,33	6,9	3838,61	573,72
Aprill	43,47	34,45	86,13	3743,87	8,8	2985,94	757,94
Mai	38,82	40,32	100,79	3912,49	7,4	3166,66	745,83
Juuni	39,39	39,33	98,32	3872,62	7,1	3174,51	698,11
Juuli	36,24	46,88	117,21	4247,79	9,8	3099,14	1148,65
August	36,77	41,61	104,03	3825,35	6,9	3107,55	717,80
September	44,08	45,54	113,85	5018,18	6,8	4244,03	774,15
Oktoober	48,57	42,75	106,88	5190,81	3,2	4848,80	342,01
November	56,68	37,22	93,05	5273,45	1	5180,40	93,05
Detsember	58,54	39,58	98,94	5792,21	0,9	5703,16	89,05
Kokku				57665,78	63,7	51225,04	**6440,73**

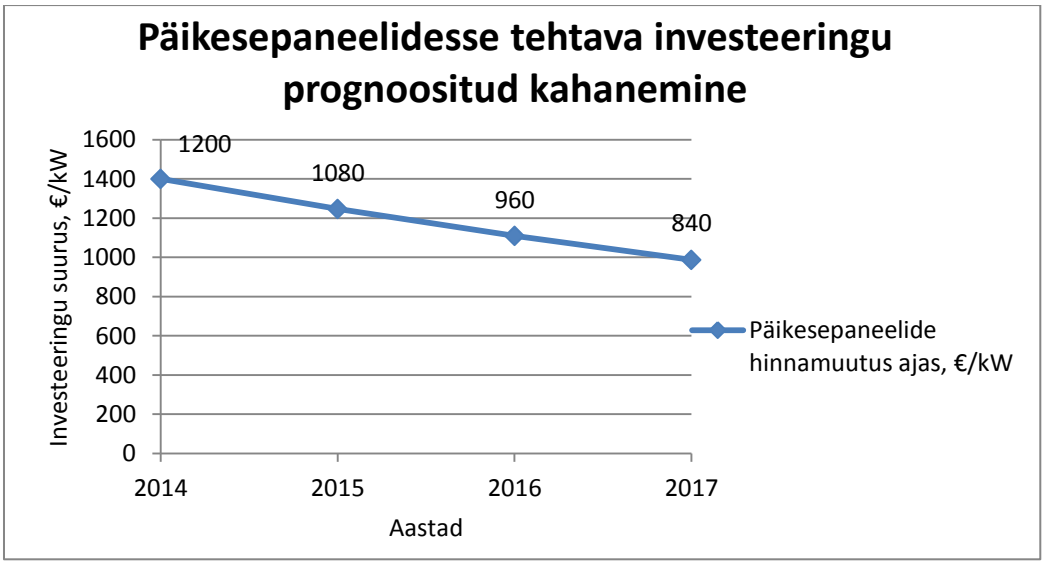
Tabel 5.2.2 60 kW PV-süsteemi lihttasuvusaeg

Investeeringu suurus, €	66000
Iga-aastane sääst, €	6440,73
Lihttasuvusaeg, a	10,2

Tabelist 5.2.1 on näha, et summaarne aastane elektritoodang 60 kW süsteemi puhul on 63,7 MWh. Antud programmi arvutusmudel võtab arvesse nii päikesekiirguse hulka, välistemperatuuri kui ka paneeli tehnilisi andmeid. Arvestati, et elektrienergia kaod juhtmetes ja inverteris olid 10%.

Arvutuskäigu tulemused olid optimistlikud, mis lubavad süsteemi tasuvusajaks 10,2 aastat (tabel 5.2.2). Investeeringu suuruseks oli arvestatud 1100 €/kW. Kui Eestis PV-paneelide müümisega seotud ettevõtted lubavad tasuvusaega alla 15 aasta, siis praktikute sõnul tuleb olla tulemuse suhtes skeptiline. Antud tarbimise ja projekti puhul võib aga pidada tulemust reaalseks, tänu tarbimise iseärasustele. Jõgeva haigla näide on suurepärane näide tarbijast, kus PV-süsteemil on potentsiaali. Elektrienergia tarbimine on suurim ajal, mil päikesekiirgus on intensiivseim. Sellist nähtust ei esine eramajade puhul, kus tarbimine on suurim hommikuti ja õhtuti, sest päevasel ajal (mil päikesekiirgus on intensiivseim) puudub tarbimine.

Peatüki lõpetuseks on välja toodud joonis 5.2.1, mis näitab PV-süsteemi eriinvesteeringu (€/kW) maksumuse muutumise prognoosi aastani 2017.



Joonis 5.2.1 Päikesepaneelide prognoositud investeeringumaksumuse langus

Jooniselt väljendub, et 2014 aastal oli päikesepaneelide investeeringu lahenduse maksumus 1200 €. Prognoositakse, et aastal 2017 on samasuguse süsteemi investeeringu maksumus 840 €. See on ligi 30%-line hinnalangus.

Täislahendusega moodulite hinnad on tänase päevani langenud võrrelduna aastaga 2011 ligi 60%, kuid lähiaastatel hinnalangus pidurdub. Praegune langustrend on tulenenud töötlemiskulude alanemisest ja polükristallilise räni hinna langusest. Kui siiamaani on

maksumuse alanemine tingitud räni hinna langusest siis tuleviku hinnalangust prognoositakse tasakaalusüsteemide arvelt.

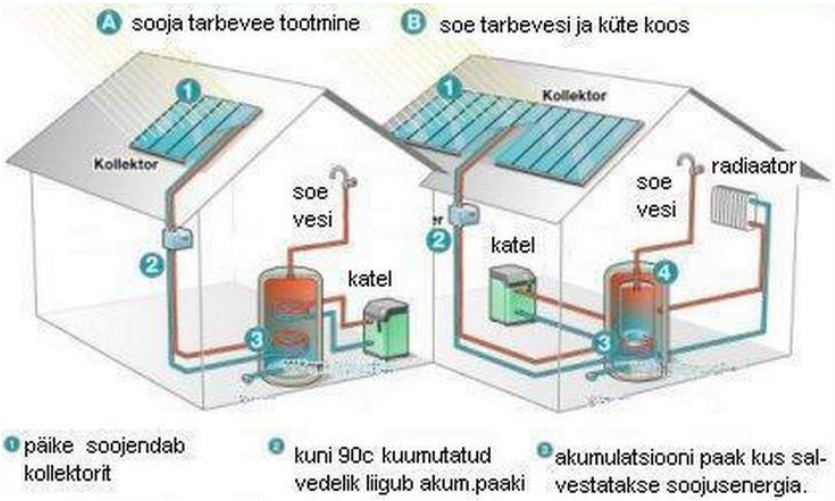
5.3 Päikesekollektorid

Päikesekollektorite tehnoloogia on küllaltki lihtne. Tegemist on soojusvahetitega, mille abil kantakse päikese poolt kiiratav soojus üle kollektorit läbivale soojuskandjale. Päikesekollektor on seade, mis absorbeerib talle langevat päikesekiirgust ning muundab selle soojuseks, mis omakorda kantakse üle soojuskandjale, mis voolab läbi kollektori. Soojuskandjaks kasutatakse tavaliselt külmumisvastaseid vedelikke, nagu nt. glükool [26].

Päikesekollektorid on oluliselt energiaefektiivsemad kui päikesepaneelid, mis muundavad päikeseenergia otse elektrienergiaks. Tavapäraselt liigitatakse päikesekollektorid madalatemperatuurilisteks (nt. tarbevee soojendamine, küttesüsteemi toetamine) ning keskmise- ja kõrgtemperatuuriliseks (tööstuslikud lahendused) [26].

Madalatemperatuurilisi päikesekollektoreid saab Eestis edukalt kasutada nii sooja tarbevee tootmiseks kui ka küttesüsteemi toetava lahendusena, suvisel päikesepaistelisel ajal on võimalik katta kogu tarbimise vajadus. Peamiselt kasutatakse kahte tüüpi päikesekollektoreid: plaatkollektorid (lame/tasapinnaline) ning vaakumtorudega kollektorid [26].

Kaasaegsete päikesekollektorite kasutegur võib ideaalseimatel hetkedel ulatuda 90-95%-ni. Ideaalseks loetakse hetke, mil päikeselt suunduvad kiired ei ole varjatud pilvedega ja on võimalikult risti kollektori tasapinnaga. Alates ligikaudu märtsikuust soojendab päike kollektoris ringlevat vähemürgist madalama külmumistemperatuuriga vedelikku, ehk soojuskandjat (nn. antifriis) ja saadud soojusenergia salvestatakse läbi soojusvaheti soojussalvestisse (akumulatsioonipaaki) või otse vastavat tüüpi soojavee boilerisse. Kasumlikum on akumulatsioonipaagiga süsteemist kütta nii soojavee boilerit kui ka maja küttesüsteemi (5.4.1). Kui päikese mõju on väike, või pilvise ilmaga soojuskiirgus täiesti puudub, köetakse boilerit ja teisi soojatarbijaid soojussalvestisse salvestunud soojusenergiaga. Tehnoloogia suudab mõningal määral päikesekiirgust isegi läbi õhemate pilvede püüda ja üsna olulisel määral soojusenergia kadusid kompenseerida [26].



Joonis 5.3.1 Päikesekollektorite integreerimine tarbevee ja küttevee süsteemiga [26]

Päikesekollektorite puhul eristatakse kahte peamist tehnoloogiat [26]:

1. tasapinnaline kollektor;
2. vaakumtorudega kollektor.

Tasapinnaline päikesekollektor on kollektorite lihtsaim mudel, mis koosneb päikesekiirgust neelavast tasapinnast ja sellele paigutatud soojusvahetist, milleks lihtsaimal juhul on klaastorus liikuv õhk või vesi (joonis 5.4.2). Lihtsama konstruktsiooni korral tsirkuleerib vesi loomulikul teel paaki. Kunstliku tsirkulatsiooni korral tuleb kasutada juhtimissüsteemi koos temperatuurianduritega, mis mõõdavad temperatuuride erinevust kollektori ja paagi vahel. Iga läbijooksuga tõstetakse vee temperatuuri paagis (5...10°C). Kollektorit kattev klaas reguleerib selle soojusvahetust. Mida paremad on katteklaasi isolatsiooniomadused, seda kõrgema temperatuuriga on väljund, kuid seda väiksem on soojusvaheti kasutegur. Madalatemperatuurse vee tootmiseks on kõige efektiivsem kasutada ilma katteklaasita kollektorit, mille juures miinuskraadide korral kasutatakse külmumisohu vältimiseks soojusvahetis vee asemel mõnda madalama külmumistemperatuuriga vedelikku, nt. glükooli [26].

Keerulisema konstruktsiooniga, kuid kõrgema efektiivsusega on vaakumtorusüsteemiga kollektorid, mille soojusvaheti paikneb silindrilises õhutühjas klaastorus (joonis 5.4.3). Õhu puudumine vähendab konvektiivseid soojuskadusid kiirgust püüdvalt pinnalt katteklaasile ja suurendab sellega energia muundumise tõhusust. Erijuhul kasutavad seadmed kaheastmelist soojusvahetit, mille esimeseks astmeks on kondensatsioonitsükliga kergesti aurustuv gaas (nt glükool), mis pumpab soojust kollektori torust kondensaatorile, kus see antakse edasi paaki

voolavale soojuskandjale (samuti glükoolilahus). Selline soojuspump lubab tõsta kollektorist väljuva soojuskandja temperatuuri. Vaakumtorusüsteemiga kollektorid sobivad hästi põhjamaisesse kliimasse, kuna soojuskandjana kasutatav glükoolilahus ei karda madalaid temperatuure ja silindrikujulised moodulid ei lase lumel kollektori pinnale kuhjuda. Tänu keerulisemale konstruktsioonile on nende hind kallim [26].

Joonis 5.3.2 Vaakumtoru kollektorid vasakul ning lamekollektorid paremal [26]

Parema võrdluse jaoks nende kahe eelnevalt mainitud tehnoloogia vahel, on alljärgnevalt välja toodud nii lamekollektori kui ka vaakumtoru kollektori eelised ja puudused [26].

Tasapinnalise päikesekollektori eelised:

1. suveperioodil tootlikum, kuna päikeselisi päevi on rohkem;
2. kiirgust neelava absorberi pindala on kogupindala suhtes suurem (koefitsent 1,08) võrrelduna vaakumtorudega kollektoritega;
3. tehnoloogia tagab suurema töökindluse ja vähemalt 2 korda pikema eeldatava eluea kui vaakumtorudel, kuna tugevad materjalid ja väga lihtne tööpõhimõte vähendab kasutusriske, sealhulgas olulisemad neist on avariiolukordades ületemperatuuride ja sellest tingitud hooldusvajaduse minimiseerimine - puudub vaakumi kadumise risk;
4. kasutatatav on tõhus antifriis, mis on oluliselt odavam ja ka pikema kasutuseaga kui vaakumtehnoloogiate puhul kasutatav antifriis;
5. väga tugevad kestamaterjalid;
6. plaatkollektoritega päikeseküttesüsteemi tehtud investeeringu tasuvus on lühem ja kindlamalt tagatud (kvaliteetsemad vaakumtorukollektorid on alati selgelt kallimad kui sama kvaliteediastmestiku plaatkollektorid);

7. avarad kasutusvõimalused (ka katusesse või fassaadi integreerimisvõimalused).

Tasapinnalise päikesekollektori puudused:

1. talveperioodil või paksema pilvega on võrreldavate kollektoritüüpide tootlikkus kasulikku pinda arvestades plaatkollektoril väiksem- samas kokkuvõttes, aasta lõikes ei tohiks vahe plaatkollektori kahjuks olla väga suur, parimate torukollektoritega võrreldes kõige rohkem -10%.

Vaakumtorudega päikesekollektorite eelised:

1. talveperioodil tootlikum, kuna pilvise ja külma ilmaga suudab paremini hajusat kiirgust kinni püüda ja vaakumtorus on soojuskaod minimaalsed;
2. ebasoodsa katuse suuna korral on lihtne torusid käsitsi keerata päikesekiirguse suhtes optimaalsesse suunda.

Vaakumtorudega päikesekollektorite puudused:

1. suuremad kasutusriskid õrnema klaasi tõttu (vandaal, hanged, rahe, jäätumised - kuna isegi ringlusel tekkiv soojus ei suuda vaakumisolatsiooni tõttu klaasi ümber tekkivat jääd sulatada). Suviti lisandub samuti suur kasutusrisk - kõrged temperatuurid;
2. kiirgust neelava absorberi pindala on kogupindala suhtes väike (koefitsent 1,6 -1,9);
3. vaakumtorudel on kõrgendatud risk ringleva vedeliku keemiseks, kuna seisutemperatuur võib vaakumtoru sees olevas torus, kui ka ülemises kollektertorustikus tõusta isegi üle 200°C kõrgemaks kui tasapinnalise päikesekollektori torudes. Puudub antifriis, talumaks selliseid temperatuure, mis muudab antifriisi pastalaadseks materjaliks, mille tulemuseks on soojusvahetuse mittetoimimine;
4. vaakumtorukollektor on hinnaklassilt alati kallim võrrelduna samasse kvaliteediastmestikku kuuluva plaatkollektoriga.

Saamaks aru päikesekollektorite majanduslikust mõttekusest, on järgnevalt koostatud lühianalüüs Jõgeva haigla näitel.

2014. aastal ehitati Jõgeva linna uus hakkpuidul töötav katlamaja, mille suurkliendiks on ka Jõgeva haigla. Konkurentsiameti väitel on Jõgeva linnas kehtestatud kaugkütte piirhinnaks 52,55 €/MWh. Probleem seisneb selles, et baaskoormuse katmise jaoks loodud hakkpuidu katlamaja lülitatakse suvel välja ning haigla esindajate väitel on suvise soojavee vajaduse katmiseks paigaldatud elektriboilerid. Sellest lähtuvalt on õhus küsimus, kas elektriboilerite kasutamine on majanduslikult õigustatud. Järgnevalt on koosatud tabel 5.3.1, kus on välja toodud Jõgeva haigla soojuskoormus. Kuna suvise tarbimise kohta info puudub, on suvised koormused oletuslikud, lähtudes välistemperatuurist.

Tabel 5.3.1 Jõgeva haigla poolt tarbitud soojusenergia hulk ning vajaminevate kollektorite hulk

	Tarbitud soojusenergia hulk, MWh	**1 m2 päikesekollektorite toodang, MWh**	**Vajaminev kollektorite pindala, m2**	**Kollektoritega toodetud energiahulk, MWh**
Jaanuar	224,86	0,01		4,3
Veebruar	175,46	0,023		9,9
Märts	160,82	0,052		22,4
Aprill	111,2	0,062		26,7
Mai	62,6	0,07		30,2
Juuni	30	0,07	429	30,2
Juuli	20	0,065	308	28,0
August	25	0,058	**431**	25,0
September	35,6	0,045		19,4
Oktoober	135,5	0,025		10,8
November	152,6	0,005		2,2
Detsember	192,5	0,004		1,7

Tulbas nr. 2 on välja toodud 1 m^2 päikesekollektorite toodang kuude lõikes Eesti tingimustes [27]. Kollektorite süsteemi valikul sai lähtutud vaid suvekuude vajaduse katmisest. Tabelist 5.3.1 on näha, et arvestades augustikuist päikesekollektorite poolt toodetud soojusenergia hulka ja soojusenergia vajadust, on vajalik installeerida 431 m^2 kollektoreid. Arvestades 1 m^2 kollektorite süsteemi täislahenduse hinnaks 550 €, läheks selline süsteem maksma 237050 €.

Antud investeeringu suurus kinnitab jällegi, et ratsionaalsem oleks paigaldada PV-paneelid ning kasutada päikesest toodetud elektrit boilerite kütmisel.

Praktikute sõnul on päikesekollektorite paigaldus mõttekas uusehitistele ning ehitistele, kus on suured kulutused soojusenergiale. Sigmasystems OÜ esindaja sõnul oli kollektorite paigaldamine hoonetele aktuaalne 5 aastat tagasi, kuid tänasel päeval eelistatakse majanduslikel põhjustel PV-paneelide paigaldamist ning nende integreerimist kas soojuspumpade või elektriboileritega. Üldiselt on reegel, et mida keerulisem ja integreeritum on küttesüsteem, seda lühem on tasuvusaeg.

Kuna Jõgeva haigla on ühendatud kaugküttevõrguga, mis suudab pakkuda Eesti mõistes odavat soojusenergia hinda (52,55 €/MWh), ei oleks ratsionaalne eraldi investeerida päikesekollektorite paigaldamisesse või nende integreerimisesse nt. pelletikatlaga. Tõstes süsteemi keerukust, suurenevad nii algsed kulutused kui ka võimalused tõrgeteks. PV-paneelide integreerimine elektriboileritega on lihtne ja hooldusvaba süsteem.

Tuleb ka arvestada, et juhul kui toota soojusenergiat mitte elektriboileritega (mille toiteks sai modelleeritud PV-süsteem peatükis 5.2), vaid päikesekollektoritega, väheneb suvine elektritarve. Sellest lähtuvalt tuleb aga vähendada ka PV-süsteemi suurust ning see võib omakorda pikendada PV-süsteemi tasuvusaega. PV-paneelid ei ole aga niivõrd tundlikud aastaaegadade muutumisele kui päikesekollektorid, mistõttu on nendest rohkem kasu suvevälisel perioodil kui päikesekollektoritest.

Kokkuvõtteks võib öelda, et päikesekollektorite paigaldamine ei ole ratsionaalne järgnevatel põhjustel:

1. kollektorsüsteemi investeeringu hind on kõrgem kui PV-süsteemi puhul;
2. kollektorite panus küttesüsteemis sügis- ja talvekuudel on minimaalne, mis tõstatab endiselt vajaduse muude energiaallikate järgi;
3. haigla on ühendatud kaugküttevõrguga, mis tagab soodsa küttehinna sügise algusest kevade lõpuni;
4. suvise sooja tarbevee ja küttevee vajaduse suudavad edukalt katta ka PV-paneelid koos elektriboileriga, mille rajamise hind on tunduvalt väiksem kui kollektorite puhul.

5.4 Tuuleenergia potentsiaal Jõgevamaal

Tuul on atmosfäärigaaside liikumine, mis tekib rõhu ebaühtlustest Maa atmosfääris. Rõhu ebaühtlust tekitab õhumasside ebaühtlane soojenemine päikesekiirguse mõjul Maa erinevates regioonides, mis tekitab õhu liikumise ekvaatorilt põhja poole. Seega võib öelda, et tuuleenergia alusallikaks on lõpuks ikkagi päikeseenergia. Maale langevast päikeseenergiast läheb tuulte tekitamisse 1-2% [28].

Tuul on rikkalik energiaallikas ning tuuleenergiast on saanud tänaseks tõsiseltvõetav alternatiiv heitmeid tekitavatele fossiilkütustele. Tuuleenergia kasutuselevõtuga saab vähendada õhku paiskuvate kasvuhoonegaaside hulka ning seetõttu aitab tuulest toodetud energia võidelda kliimamuutusega. Euroopa Tuuleenergia Assotsiatsiooni põhinevale hinnangule toetudes aitas tuuleenergia Euroopa Liidus 2011. aastal vältida ligikaudu 140 miljonit tonni CO_2-heitmeid (aastal 2008 oli see arv 91 miljonit tonni), mis on võrdeline eemaldamaks tänavatelt 33% Euroopa Liidu autodest (ligikaudu 71 miljonit sõidukit) [29].

Tuulepargi ehitamine ja opereerimine on hea näide energiatootmisest, mille poole püüelda. Elektri tarbimiseks on vaja elektrijaama ning kõikide elektrijaamade ehitamise käigus tekib CO_2. Elektrijaama elutsükli heitmed hõlmavad jaama ehitamist, kütuse kaevandamist ja transporti, käitamist ning hooldamist. Tuuleenergial on elutsükli heitmed kõikidest energiatootmistehnoloogiatest aga kõige väiksemad. Elektrituulik hüvitab ehitamiseks kulunud energia ja süsihappegaasi kolme kuni kuue kuuga. Kui soojuselektrijaamades on inimressurss pidevalt töötamas energiaressursi olemasolu nimel, siis tuuleenergia puhul seda ei ole. Kasutades tuuleenergiat (või ka päikeseenergiat), saab inimkond samal ajal keskenduda kasvõi põllumajandusele ning võidelda süvenevate toiduainekriisidega.

Lisaks eelnevale lõigule, on tuuleenergia kasutamisel veel mitmeid eeliseid [29]:

1. puuduvad NO_x-heitmeid (troposfääriosooni lähteained, mis mõjuvad tervisele ja põhjustavad kasvuhoonegaasidest tingitud soojenemist);
2. puuduvad teised õhu saasteaineid, nagu vääveldioksiid (happevihma põhjustaja), ning osakesed, millel on vähki põhjustav toime ning kahjulik mõju inimeste tervisele;
3. käitamise ajal ei kasutata vett – tuuleenergia aitab kokku hoida umbes 1,2 miljardit m^3 vett aastas (rahaline kokkuhoid seejuures 2,4 miljardit eurot);
4. kütuse kaevandamine elektrienergia saamiseks puudub.

Tuulegeneraatoritega kaasnevad ka negatiivsed aspektid [29]:

1. oht seadmetest nende läheduses viibivaile inimestele;
2. visuaalne reostus
3. tegevusega kaasnev müra;
4. valguse vilkumine ja peegeldus labadelt;
5. elektrimagneetilised häired;
6. mõju looduskeskkonnale, bioloogilisele mitmekesisusele ja eriti lindudele.

Oht lähikonnas inimeste tervisele tuleneb seadmete võimalikest riketest, sealhulgas masinaosade või jäätükkide langemisest. Sellised riskid on kõige tõsisemad kuni selleni, et nende mõju võib olla surmav. Peamisteks ohuallikateks on [29]:

1. tuuliku masti avarii ja tuuliku/tiiviku kukkumine;
2. tiiviku labade või laba osade pudenemine;
3. jäätükkide teke talvel ja nende heitmine/langemine.

Avariidest tuleneva mõju vältimiseks on minimaalne ohutuskaugus mastist selline, mille puhul pikali langev mast koos tuulikuga ei kahjusta lähedal asuvaid inimesi. Selleks loetakse 10% enam tuuliku paiknemiskõrgusest, s.o masti kõrgus ja laba pikkus kokku [30].

Tuulegeneraatoritel, eriti nn. horisontaalse paigutusega mudelitel on avalikkuse ees välja kujunenud äratuntav visuaalne identiteet. Kui avamaa ja avamere tuulikud paiknevad väiksema asustustihedusega aladel, siis linnas ja linnalähedal paiknevate tuulegeneraatorite puhul on nende nähtavus oluline ja võib põhjustada teravaid vaidlusi. Selleks, et tuuliku töö oleks efektiivne, pole soovitatav tuuliku kõrgust esteetilistel kaalutlustel vähendada. Siiani on tuulegeneraatorid pälvinud suurt kriitikat elanikkonnalt, kelle vahetusse lähedusse generaatorid püstitatakse. Kui vaadelda asulate ja linnade konteksti, siis hästi läbimõeldud paigutusega tuulikud võiksid hoopis juurde luua ruumilist väärtust ning väljendades visuaalselt kogukonna hoiakuid ja pühendumust taastuvenergia kasutamisel [30].

5.4.2 Tuulegeneraatorite tüübid

Kaasaegseid tuulegeneraatoreid võib jagada nelja gruppi [30]:

1. rootori asendi järgi maapinna suhtes – horisontaalsed ja vertikaalsed;
2. tiiviku asendi järgi rootori suhtes – üles- ja allatuult;
3. paigutusviisi järgi – eraldi masti otsas paiknevad ja hoonele paigutatud;
4. võrguühenduse järgi – võrku ühendatud või autonoomsed.

Lisaks eeltoodule, võib tuulikuid eristada ka generaatori võimsuse järgi, mis on sätestatud Elektrilevi OÜ poolt:

1. mikrotuulik, kuni 1,5 kW võimsuse ja tüüpilise masti kõrgusega 10...18 m;
2. väiketuulik, kuni 15 kW võimsuse ja tüüpilise masti kõrgusega 12...25 m;
3. keskmine tuulik, kuni 100 kW võimsuse ja tüüpilise masti kõrgusega 15...50m.

Horisontaalsed kolme tiivaga tuulegeneraatorid on tänapäeval kõige enam levinud ja kujutavad endast paljude jaoks klassikalist tuulegeneraatorit. Need on kiire käiguga ja nende efektiivsus võib küündida 45%-ni. Kaasaegsed tiivikud võimaldavad labade pöördenurga reguleerimist, millega saab vajadusel tiiviku efektiivsust kunstlikult vähendada ülekoormuse kaitseks või ka näiteks müra vähendamiseks. Horisontaalse paigutusega tuulegeneraatorid on turul olevatest tehnoloogiatest kõige efektiivsemad ja ökonoomsemad (sobivate ilmastikutingimuste korral) [30].

Joonis 5.3.1 Horisontaalne Eestis valmistatud tuulegeneraator TUGE-10 (10kW, masti kõrgus 16 m) [31]

Vertikaalse paigutusega tuulikud on vähem levinud ning pole oma massturgu veel välja kujundanud. Nende tasuvusaeg on oluliselt pikem võrreldes sama võimsusega horisontaaltuulikutega, kuid neil on ka mõningaid eeliseid [30]:

1. vertikaalse paigutusega tuulegeneraatorid nõuavad vähem hooldust, kuna neil on vähem kiiresti liikuvaid osi;
2. pinge tiivikule on ühtlane, mis võimaldab kergemat ja odavamat konstruktsiooni;
3. tekitavad vähem müra;
4. ei vaja tuulde pööramist;
5. suudavad efektiivsemalt ära kasutada erinevaid tuulepuhanguid ja turbulentset tuult;
6. võivad olla vähem silmatorkavad ja esteetiliselt rahuldavamad.

Vertikaalse paigutusega tuulegeneraatori levinuimaks alaliigiks on nn. Darrieuse tuulik, mis kasutab hea efektiivsusega tuule tõstejõudu kasutavat tiivikut, mis võib olla nii kahe (originaalis) kui ka kolme labga (H-Darrieus). Kasutust leiab ka tõukejõudu kasutav tiivik, mille efektiivsus on madalam, kuid mis on lihtsama ehitusega ja robustsem ning ei vaja tugeva tuule puhul kaitset (töödiapasoon muljetavaldava kiiruseni- kuni 60 m/s). Ühtlasi vajavad need vähem hooldust, on vaiksemad ja püüavad ka madala kiirusega tuult. Tõukejõudu kasutava tiiviku puuduseks on efektiivsuse langus tugevamate tuulte korral [30].

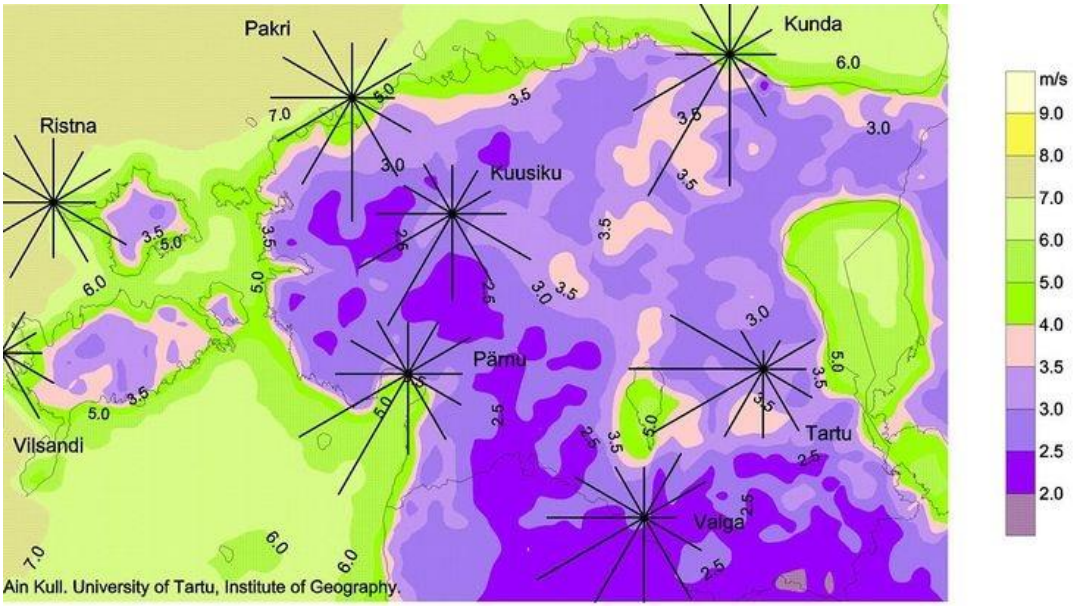
Joonis 5.3.2 Erinevad vertikaalse teljega tuulegeneraatorid [32]

5.4.3 Tuuleenergia ressurss Jõgevamaal

Tuuleenergia ressursi hindamiseks on tellitud mõõteandmed Riigi Ilmateenistutest, Tiirikoja mõõtejaamast. Tuule kiirust on mõõdetud 10 m. kõrguselt ning aastane keskmine tuulekiirus on 1,9 m/s. Antud madal tulemus oli üllatav, sest Tiirikoja mõõtejaam paikneb vahetult Peipsi järve ääres, mistõttu mõõtejaam on täielikult avatud idakaare tuultele. Teisalt võib madala keskmise tuulekiiruse põhjusteks pidada järgnevaid asjaolusid:

1. kõige levinuimad on tuuled, mis puhuvad läänest-itta;
2. mõõtepunkt oli madalal, mistõttu oli tuulekiirus väiksem;
3. mõõtepunkti ümbritsevad objektid tekitavad turbulentsi, mis vähedab oluliselt tulekiirust.

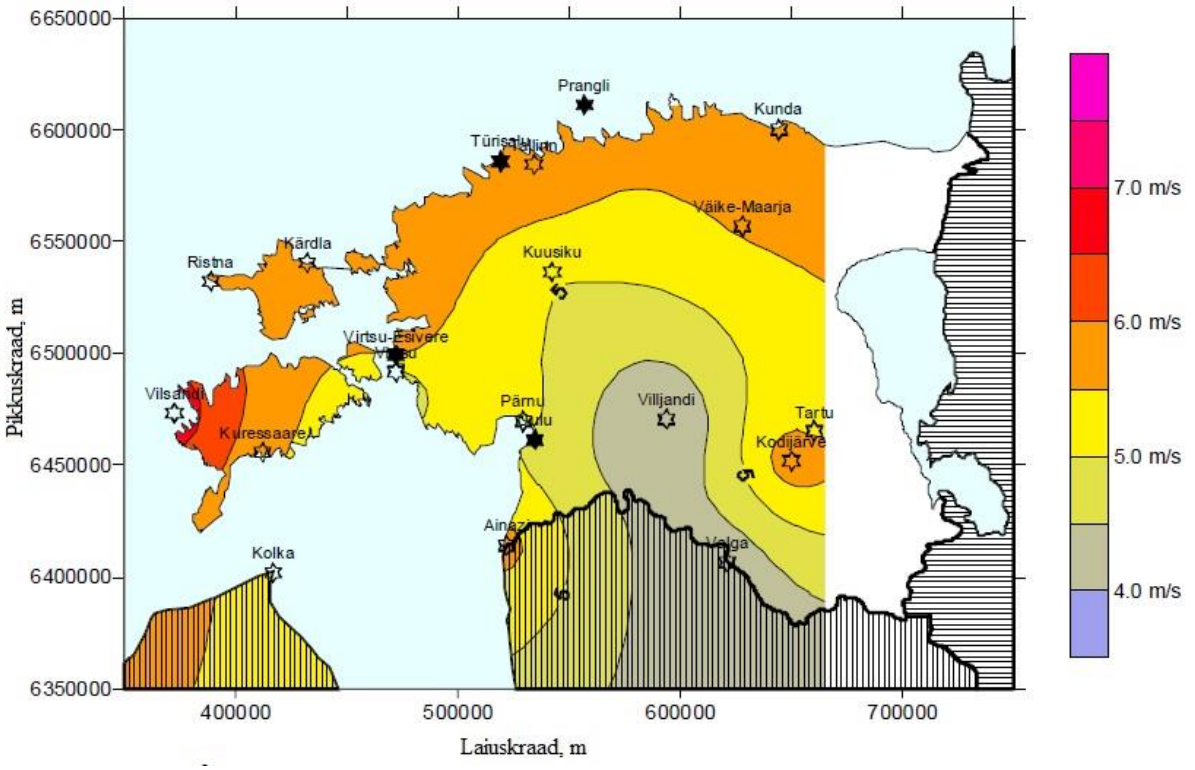
Järgnevalt on toodud kaks tuuleenergia ressursi iseloomustavat teemakaarti, mis näitavad aastast keskmist tuulekiirust vastavalt 10 m ning 50 m kõrgusel.



Joonis 5.3.4 Aastane keskmine tuulekiirus 10 m kõrgusel [29]

Võrreldes joonist 5.3.4 ning Tiirikoja mõõtejaama keskmist tuulekiirust (1,9 m/s), on tulemused erinevad. Joonisel 5.3.4 kujutatud aastane keskmine tuulekiirus Tiirikoja lähistel on 3-3,5 m/s. Antud erinevus võis olla tingitud asjaolust, et joonise 5.3.4 puhul ei olnud lähtutud mitte konkreetsetest mõõteandmetest, vaid tegemist võis olla üldistusega. Samuti võisid Tiirikoja mõõtejaama andmed olla mõjutatud läheduses olevatest turbulentsi tekitavatest objektidest, mis ei kajastu joonisel 5.3.4.

2003. aastal koostas Taani uurimusgrupp Baltikumi kohta regionaalse tuuleatlase ning selle tulemus on kujutatud joonisel 5.3.5.



Joonis 5.3.5 Tuuleressurss Eestis 50 m kõrgusel [33]

Mõõteandmed, mille põhjal antud joonist koostati, pärinevad erinevatest ilmajaamadest ning vaatluspunktidest üle Eesti. Joonisel on arvestatud tuulekiirust 50 m kõrgusel. Nagu jooniselt näha, siis idapoolseimaks mõõtejaamaks valiti Tartus olev ilmajaam, millest on tingitud ka andmete puudumine Tartu laiuskraadilt ida poole. Vaatamata andmete puudumisele Jõgevamaa idapoolses osas, võib prognoosida, et sealsed tuulekiirused 50 m kõrgusel on vahemikus 5,0-5,5 m/s.

Kuna tuulekiirus ja kvaliteet paranevad kõrgemale tõustes oluliselt, tuleb väiketuulikule alati valida maksimaalselt kõrge mast. Oluline on panna tuulik kõrgemale läheduses olevatest takistustest. Kui tuulikut tahetakse püstitada metsasele alale, võib minimaalselt vajalik mast kujuneda kõrgeks, kuna peab ulatuma kõrgemale ka puulatvadest. Ümbruse maapinna iseloomustamiseks kasutatakse kareduse tegurit, mille abil saab eeldada tuule erinevust vertikaalses tasapinnas [34].

Tabel 5.3.1 Kardeusaste ning selle roll tuule kiirusel [33]

Karedusaste	2		
Karedusastme pikkus, m	0,1		
Kõrgust maapinnast, m	**50**	10	100
Tuule keskmine kiirus, m/s	**4,0**	2,8	4,8
	5,0	3,5	5,9
	5,5	3,9	6,5
	6,0	4,2	7,1

Tabelis 5.3.1 on näidatud tuulekiiruste arvutuslikku erinevust erinevatel mõõtmiskõrgustel, sõltuvalt karedusastmest. Tuginedes joonisele 5.3.4, võime öelda, et 50 m kõrgusel on Jõgeva maakonnas keskmine tuulekiirus 5,0-5,5 m/s. Kasutades numbrit 5 m/s tabelis 5.3.1, näeme, et arvutusmetoodika järgi peaks olema keskmine tuulekiirus 10 m kõrgusel 3,5 m/s. See on vastuolus reaalselt mõõdetud tulemustega Tiirikojas, kus aastaseks keskmiseks tuulekiiruseks oli 1,9 m/s. Selline erinevus võib olla tingitud ebakõlast matemaatilise valemi ning reaalsete tingimuste vahel. Antud mõõtetulemuste põhjal võime teha järelduse, et on äärmiselt oluline läheneda igale projektile individuaalselt ning et ühest lahendust tasuvale tuuleenergia projektile ei eksisteeri. Adekvaatsete mõõtetulemuste jaoks tuleks koguda andmeid vähemalt üks aasta.

Autonoomse süsteemi puhul võiks tuuliku paigaldamisele mõelda alates tuulekiirusest 3,5 m/s ja võrguühendusega süsteemi puhul alates 4,5 m/s. Tuulekiirused üle 5 m/s ja 6 m/s loovad eeldused kasumlikeks projektideks nii väiketuulikute kui ka suuremate tuuleparkide puhul.

5.4.4 TUGE-10 väiketuuliku näidistootlikkus

Käesolevas töös sai simuleeritud 10 kW-se kodumaise TUGE-10 tuulegeneraatori toodang vastavalt Tiirikoja ilmajaama mõõteandmetele. Nagu ka eelnevas peatükis mainitud, siis aastane keskmine tuulekiirus 10 m kõrgusel oli vaid 1,9 m/s. Antud simulatsiooni jaoks kasutatud sisendandmed on toodud Lisas nr. 7.

Tuulegeneraatori TUGE-10 andmed [35]:

1. nimivõimsus 10 kW;
2. töötab maksimaalsel tuulekiirusel kuni 16 m/s;
3. käivitub minimaalsel tuule kiirusel 2,5-3,0 m/s;
4. toodab maksimaalselt tuule kiirusel 11 m/s;
5. kavandatud eluiga 20 aastat;
6. masti kõrgus 18 m;
7. keskmine toodang aastas tuulekiirusel 5 m/s 14 001 kWh.

Programmiga EnergyPRO4 simuleeritud tulemus kajastub järgnevas tabelis, 5.3.2.

Tabel 5.3.2 Modelleeritud keskmine igakuine elektritoodang 10kW tuulegeneraatoriga

Periood	**Toodetud elekter, MWh**	**Töötundide arv**
Jaanuar	0,2	162
Veebruar	0,1	219
Märts	0,1	260
Aprill	0,1	172
Mai	0,1	127
Juuni	0,1	78
Juuli	0	86
August	0,1	129
September	0	120
Oktoober	0,3	294
November	0,1	174
Detsember	0,1	281
Kokku	**1,3**	**2102**

Tabelist on näha, et elektritoodang on kõigest 1,3 MWh aastas. See on tingitud madalast mastist ning vähesest tuuleenergia ressursist antud kõrgusel. Lisas nr. 8 on välja toodud graafiline kujutis aastase tuulekiiruse muutumise kohta. Jooniselt on näha, et suure osa ajast

püsib tuulekiirus alla tuulegeneraatori minimaalse käivituskiiruse ning isegi kui ületatakse käivituskiirust, jääb aastane keskmine tuulekiirus endiselt kasinaks.

Arvestades, et tuulegeneraatori TUGE-10 maksumus võtmed kätte projekti puhul on ligikaudu 35000€, siis arvutusliku tuulekiiruse puhul ei oleks sellisel investeeringul kindlasti potentsiaali. Siit võime ka kahtluse alla seada väiketuulikute paigaldamise mõttekuse Jõgeva maakonnas, lähtudes tuuleenergia vähesest potentsiaalist (aasta keskmine tuulekiirus vaid 1,9 m/s 10 m kõrgusel).

Küll aga võib potentsiaali olla suuremate tuulegeneraatorite puhul, kus masti kõrguseks on 100-120 m. Jooniselt 5.3.4 on näha, et 50 m kõrgusel on aastane keskmine tuulekiirus oletuslikult ligikaudu 5 m/s ning 100 m kõrgusel ligikaudu 5,9 m/s (tabel 5.3.1). Probleemiks suuremate tuulegeneraatorite installeerimisel Jõgevamaal võib saada kohalike inimeste ebasoosiv suhtumine ning riigikaitseliste objektide töö häirimine. Lisaks sellele, on praegusel hetkel suuremate tuuleparkide rajamise investeeringud küsimärgi all, sest ei ole selge toetusmehhanismide poliitilised tagamaad. Eestis on kehtestatud tuuleenergia toetamiseks ülempiir- 600 GWh. Selle mahu täitudes lõpetatakse toetuste maksmine iga toodetud energiaühiku eest, mis on seadnud kõhkluse alla mitmete rannikualadele planeeritavate tuuleparkide tasuvuse, rääkimata sisemaale rajatavate tuuleparkide tasuvusest.

Soovitused tulevasele tuuleenergiasse investeerijale:

1. tuuleressursi hindamiseks tuleb teostada mõõtmisi vähemalt 1 aasta;
2. väiketuuliku asukoha valikul on väga olulised ümbruskonnas olevad tuuleenergia liikumist takistavad objektid (majad, metsad, mäed jm. kõrgemad objektid mis põhjustavad turbulentsi);
3. juhul kui soovitakse müüa elektrit elektrivõrku, tuleb alustada liitumistingimuste ja lepingute analüüsimisega paralleelselt tuuleressursi hindamisega, sest bürokraatia selle taga on väga aeganõudev.

5.5 Hüdroenergia potentsiaal Jõgevamaal

Hüdroenergia on kõige rohkem ja kõige kauem kasutatud taastuvenergia allikas. 22% maailma elektritoodangust toodetakse hüdroelektrijaamades, millest paljud on väikehüdrojaamad võimsusega alla 10 MW [36].

Vaatamata sellele, et Eesti 7308-st vooluveekogust on enamik pikkusega alla 10 km, vähem kui 50 jõe vooluhulk ületab 2 m^3 sekundis ja ainult 14 jõel on see üle 10 m^3 sekundis, pinnavormide suhtelised kõrgused ei ületa enamasti 20 m, ulatudes harva 50 m-ni, leidub siiski mitusada vee-energia kasutamiseks kõlblikku koondatud langusega jõeosa, millest suur osa on ka varem kasutusel olnud. Eesti jõgede hüdroenergeetiliseks potentsiaaliks on hinnanguliselt 25...35 MW (seda ilma Narva piirijõeta), aastase kogutoodanguga 0,2...0,4 TWh [36].

Kirjalikud andmed vesiveskitest Eestis pärinevad juba 13. sajandist. 1843. aastal Kreenholmis käiku lastud vesirattad olid tol hetkel maailma kõige võimsamad. Esimene 200kW generaatoriga Kunda tsementitehase hüdroelektrijaam lasti käiku 1893. aastal [36].

Enne teist maailmasõda oli töös 921 hüdroturbiini ja vesiratast koguvõimsusega üle 27,5 MW-i ning nende toodang kattis 28% summaarsest Eesti elektritarbimisest. Maailmasõdade ajal enamik veejõuseadmeid purustati. Aastatel 1945-1950 taastati palju endisi ja lasti käiku uusi hüdrojaamu. 1949. aastal oli Eestis 43 hüdrojaama koguvõimsusega 1138,4 kW. Edaspidi, seoses põlevkivienergeetika arenguga, tunnistati veejõu kasutamine ebaperspektiivseks ning hüdrojaamad olid määratud väljasuremisele [36].

Veejõu kasutamise uus tõus algas peale taasiseseisvumist- 1991. a. taastati Saesaare HEJ Ahja jõel, 1993. a. Leevaku ja Kotka jaamad Võhandu jõel ja Valgejõel. Sellele järgnes mitmete endiste jaamade taastamine ja vesiveskite rekonstrueerimine elektrijaamadeks [36].

Aastal 2002 töötas Eestis 18 minihüdroelektrijaama koguvõimsusega 3454 kW ja ligikaudse keskmise aastase kogutoodanguga 19000 MWh. 2004. aasta keskpaigaks oli Eesti jaotusvõrkudesse ühendatud üle 20 minihüdroelektrijaama ja rida mikrojaamu (võimsusega alla 10 kW), ligikaudse keskmise aastase kogutoodanguga 30000 MWh [36].

2011. aasta märtsi seisuga, oli Eesti elektrivõrkudesse ühendatud 47 erinevat hüdroelektrijaama (joonis 5.5.1) ja elektrit tootvat vesiveskit võimsusvahemikus 4 kW kuni 2

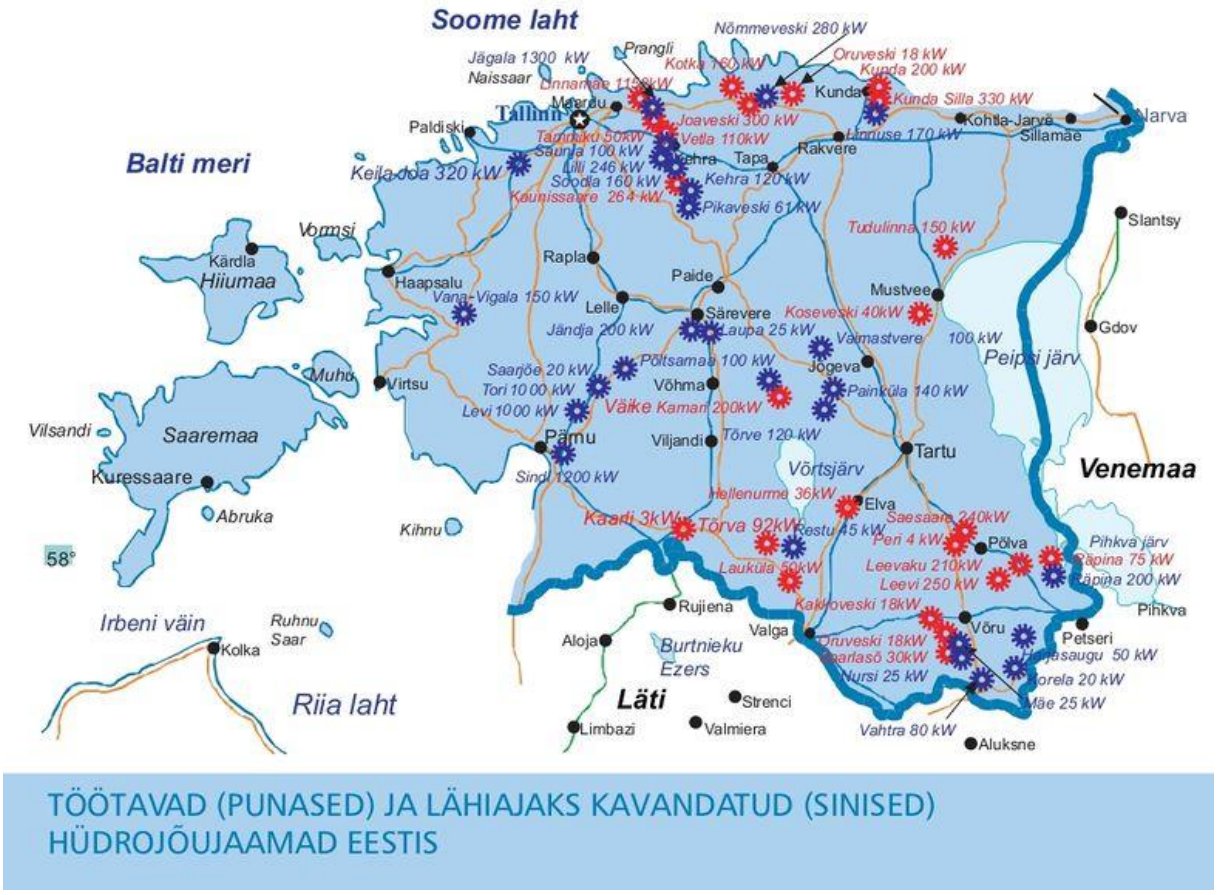
MW, koguvõimsusega 8,09 MW (joonis 5.5.2). Mõned neist on praegu seisatud (Kotka, Kunda). Aastatel 2011–2020 on oodata jaotusvõrkudesse 9 täiendava mini- ja mikrohüdroelektrijaama (MHEJ) liitumist koguvõimsusega 1,224 MW. Kõik nimetatud jaamad ja veskid kujutavad endistest rajatistest taastatud üksusi. Eesti jõgedel leidub veel sobivaid jõuastmeid täielikult uute jaamade rajamiseks, kuid selliste HEJ-de tasuvusaeg kujuneks praeguste elektrihindade juures majanduslikult mittetasuvaks. Erandiks võiks olla Omuti kärestikud Narva jõel, kuhu oleks võimalik rajada jaam võimsusega kuni 30 MW [37].

Joonis 5.5.1 Eesti hüdroelektrijaamad 2011. aasta seisuga. Värvidega tähistus võimsuse alusel: roheline - 0...0,025 MW; kollane – 0,025...0,2 MW; punane – 0,2...3 MW [37]

Suurimaks ja moodsaimaks on 2002. aastal käiku lastud Linnamäe HEJ Jägala jõel, võimsusega 1125 kW. Allikas [36] on kirjeldatud, et lähitulevikus kavandatakse taastada 28 suuremat endist hüdroelektrijaama ja vesiveskit, koguvõimsusega 5,6 MW.

Eesti hüdroenergeetiliste varudede hindamisel on otstarbekas vaadelda Narva jõe varu eraldi, sest Narva jõe varu on võrreldav kõigi ülejäänud jõgede summaarse varuga. Samas tuleb arvestada, et Narva jõe potentsiaal on suures osas ära kasutatud Venemaa halduses oleva Narva HEJ (125 MW) poolt. Rahvusvaheliste tavade kohaselt jaotatakse piirijõgedel töötavate HEJ-de toodang riikide vahel võrdeliselt nende territooriumil asuva valgala pindala osaga.

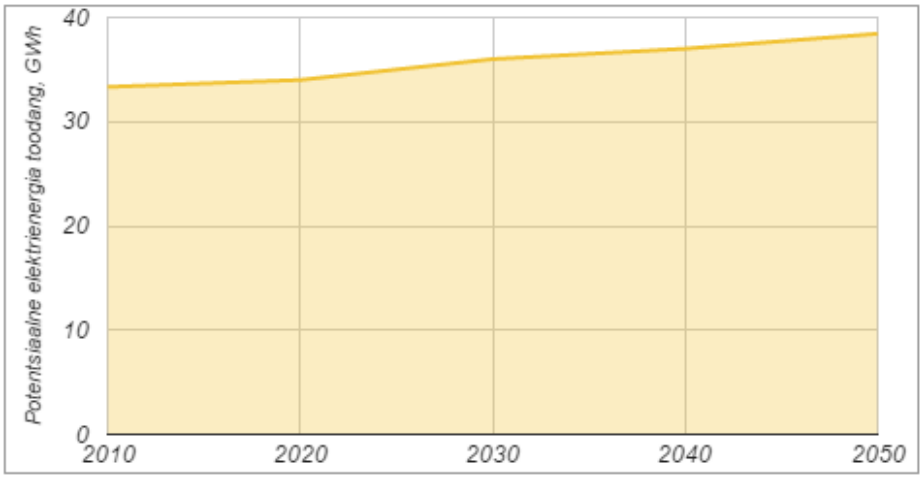
Kuivõrd Narva jõe valgalast paikneb umbes üks kolmandik Eesti territooriumil, peaks Eesti riigil olema õigus ka vastavale osale Narva HEJ toodangust [37].



TÖÖTAVAD (PUNASED) JA LÄHIAJAKS KAVANDATUD (SINISED) HÜDROJÕUJAAMAD EESTIS

Joonis 5.5.2 Eestis töötavad ja lähiajaks kavandatud hüdrojõujaamad [37]

Vastavalt joonisele 5.5.2 ja lähtudes allikast [37], võib öelda, et Jõgevamaal paikneb 2011. aasta seisuga 6 hüdroelektrijaama, millest töötavaid jaamu on 2 (Väike-Kamari 200 kW, Koseveski 40 kW) ning planeeritavaid jaamu on 4 (Vaimastvere 100 kW, Põltsamaa 100 kW, Painküla 140 kW, Tõrve 120 kW). Alljärgneval joonisel on kujutatud ENMAK 2030-2050 arengukava koostajate poolt loodud oletuslik prognoos hüdroenergia kasutamiseks aastani 2050.



Joonis 5.5.2 Hüdroenergia potentsiaali prognoos Eestis aastani 2050 [37]

Jooniselt on selgelt näha, et suurt hüppelist kasvu hüdroenergia kasutamisel ei prognoosita. Põhjuste analüüsimiseks, on järgnevalt välja toodud hüdroenergia eelised ja puudused [37].

Väikehüdroenergeetika eelised:

1. hüdroenergia on taastuv ja puhas energialiik, kui selle kasutamisel ei tekitata ebasoovitavat mõju keskkonnale;
2. hästi väljaarendatud tehnoloogia – jaamad on lihtsad, töökindlad ja pika tööeaga;
3. nad ei raiska ressursse – jaama läbinud vesi jääb endiselt kasutuskõlblikuks;
4. vee-energia omahind ei allu oluliselt inflatsioonile;
5. väikesed ekspluatatsioonikulud ja peaaegu täielik automatiseeritus.

Siiski on väikehüdroenergeetikal ka oma puudused:

1. ressursside killustatus ja piiratus;
2. suured eriinvesteeringud (investeerimiskulud 1000–7000 €/kW sõltuvalt võimsusest ja kas on tegemist endise rajatise taastamisega või täiesti uue jaamaga);
3. sesoonsus ehk hooajalisus – sõltumine ilmastikust ja veehulgast;
4. tootmiskulud on küllaltki kõrged ja esinevad rahastamisraskused, sest jaamade väikeste võimsuste tõttu on kulude katteks saadav elektritoodang väike;
5. **veehoidlate mõju pole looduskeskkonnale alati ühetähenduslik:**
   - nende keskmisest soojem ja hapnikuvaesem vesi võib vähendada hinnaliste külmaveelembeliste kalaliikide (harjus, forell, lõhe) arvukust;
   - voolu tõkestavad paisud takistavad nende pääsu kudemispaikadele;
   - veetaseme tõstmine võib põhjustada üleujutusi;

- lisaks kaasneb looduslikult kaunite jugade kadumise ja ümbruskonna visuaalse ning akustilise risustamise oht.

Eelneva loetelu punkt 5 on toodud välja suurendatud tähelepanu all, sest see on peamine faktor, miks hüdroenergia ei ole Eestis soositud energiatootmise allikas. Lobitööd hüdroenergia vastu teevad jõudsalt mitmed keskkonnaorganisatsioonid ning hüdrobioloogid.

2014. aasta alguses koostas SA Eesti Forell Majandusministeeriumile ettepaneku, kus palutakse hüdroenergiat mitte käsitleda taastuvenergia allikana. Kirja koostaja väidab, et ei ole õige lugeda taastuvenergia allikate hulka energiaallikaid, milles on taastuv vaid energiat tootev komponent, ent mis rikub väljakujunenud ökoloogilist tasakaalu nii, et see ei saa enam taastuda. Taastuvenergiaallikate puhul peaks olema taastuv mitte ainult energiat tootev füüsiline komponent, vaid selle kogumõju biosfäärile [38].

Argument on tugev ja sellel on ka tõepõhi- taastuvenergia alla ei peaks lugema energiaallikaid, mille kogumõju biosfäärile on kahjulik. Teisalt aga väidavad praktikud, et probleeme biosfääriga 20. sajandi alguses ei olnud. Meie jõgede kalavarudes ei täheldatud mingeid probleeme vaatamata sellele, et 20. sajandi alguses oli kasutuses olevate hüdroenergia üksuste võimsus kordades suurem kui tänapäeval.

Hüdroenergia kasutuselevõtmist pärsib tänane poliitika. Keskkonnainvesteeringute keskus (KIK), on oluliselt karmistanud nõudeid hüdroenergia kasutusele võtmiseks. Protsessid hüdroenergia kasutusele võtmiseks võivad venida mitmetesse aastatesse, eesotsas keskkonnamõjude hindamisega. Üheks probleemseks näiteks võib tuua Jõgeva maakonnas asuva Põltsamaa paisu taastamise projekti.

2012. aastal müüs Eesti Energia Põltsamaa hüdroelektrijaama kinnistu ettevõttele Loveko OÜ, kelle omanikud on lätlased. 2013. aastal rahastas KIK Põltsamaa kalapääsla rajamist ning paisu renoveerimist 1,6 miljoni euroga, tingimuseks, et renoveeritavat paisu ei kasutata viie aasta jooksul projekti valmimisest ärilistel eesmärkidel, sh. ka elektri tootmiseks. Rekonstrueerimise tingimustega on sätestatud, et elektrienergia tootmine antud asukohas ei ole lubatud, mis omakorda keeras pea peale Loveko OÜ äriplaani. Sellised poliitlised tingimused on pälvinud ka Läti saadikute pahameele [39].

Vastavalt joonisel 5.5.2 kujutatud plaanitavatele ning juba töötavatele hüdroelektrijaamadele, on Jõgeva maakonnas potentsiaali rakendada 0,7 MW ulatuses hüdroenergiat. Hüdroenergiat ei tasu käsitleda Jõgeva maakonnas lootustandva energiaallikana, tänu eelnevalt mainitud

poliitilistele probleemidele ning keskkonnaaktivistide vastuseisule. Praktikute sõnul ei ole välistatud, et kasutusse võetakse mitmeid mikro-hüdroelektrijaamu (võimsusega ...8kW), kuid suuremate hüdroelektrijaamade kasutusele võtmine või rajamine Jõgevamaal ei ole tänasel päeval reaalne.

Kokkuvõte

Käesoleva uurimustöö eesmärk oli kaardistada Jõgeva maakonnas erinevaid levinuid taastuvenergiaallikaid, mida oleks võimalik kasutada hajatootmises. Arvestades meie ümber toimuvaid klimaatilisi ning poliitilisi sündmusi, on taastuvenergiale üleminek vältimatu. Seetõttu on äärmiselt oluline igal maakonnal kaardistada olemasolevaid kohalikke energiaressursse suurendamaks energiajulgeolekut ja taastuvenergiaallikate osakaalu.

Töö esimeses etapis on koostatud ülevaade hajaenergeetikast ning selle olemusest. Hajutatud energeetika käib käsikäes taastuvate ressursside kasutamisega nii mikro- kui ka väiketootja tasandil. Hajutatud energeetika on vastand tsentraalsele energiatootmisele ja selle eesmärgiks on suurendada nii energiajulgeolekut kui ka energiakasutamise efektiivsust.

Teise etapina on uurimustöös antud ülevaade Jõgevamaa metsadest saadavate biokütuste potentsiaalist. Jõgeva maakonnas moodustab metsamaa pindala 50,2% kogu katastriüksuste pindalast, mis on ligi 2% rohkem kui Lõuna-Eesti keskmine. Eesmärgiks oli kaardistada, kas metsade juurdekasv on piisav, et tagada varustatus energeetikas. Kõnealuseks tooraineks oli nii metsast saadav küttepuit, raiejäätmed (oksad, kännud), elektriliinide alt kogutud biomass kui ka põhk. Selgus, et Jõgeva maakonna metsade ja põllumaalt saadava põhu biomassi potentsiaal on 2084 TJ. Kui seda võrrelda statistikaametis avaldatud 2013. aasta Jõgeva maakonna kütuste primaarenergia tarbega (1864 TJ), oleks Jõgeva maakonnal teoreetiliselt võimalik katta 111% oma primaarenergia vajadustest kohalike biokütustega. Siinkohal tuleb mainida, et arvutuskäik põhineb eeldusel, et kogu metsast saadav biomass on kättesaadav. Tegelikkuses võib pidada majanduslikult atraktiivseks kasutada energiaressurssi kogusummas 1519 TJ, mis moodustab 81% Jõgevamaa primaarenergia tarbest.

Kolmanda etapina analüüsiti biogaasi ja biometaani tootmise potentsiaali Jõgevamaal. Põllumajandus on Jõgeva maakonnas kõrgelt arenenud. 2008. aasta seisuga moodustas Jõgevamaa põllumaa pindala 24% maakonna kogupindalast, mis ületab Eesti keskmist põllumaa osakaalu maakondades 6% võrra. Lähtuvalt heast põllumajanduskultuurist, on maakonnas mitmeid suurfarme, kelle sõnnikutoodang on arvestatav, kaalumaks biogaasijaama rajamist.

Arvutuskäigu teostamiseks oli tellitud PRIA andmebaasist väljavõte Jõgevamaal paiknevate suurfarmide ja nende loomade jaotumise kohta. Peatükis 4.4 asetati suuremad loomafarmid kaardile ning loodi teemakaart, kus on välja toodud suuremate loomafarmide paiknemine.

Vastavalt farmide suurusele ja paiknemisele, otsustati, et sõnnikuressurssi on Jõgevamaal piisavalt, et planeerida kahte biogaasi jaama, Jõgevale ning Põltsamaale. Jõgeva lähistele planeeritud biogaasijaama arvutuslik tootlikkus on 657 m^3/h (5,75 miljonit m^3 biogaasi aastas) ning Põltsamaa lähistele planeeritud biogaasijaama arvutuslik tootlikkus on 445 m^3/h (3,89 miljonit m^3 biogaasi aastas). Nende kahe biogaasi jaama rajamisega suudaksime toota täiendavat energiat 208 TJ, mis on 11% maakonna primaarenergia kogutarbest (1864 TJ).

Lisaks biogaasi tootmisele sõnnikust, on Jõgevamaal suur potentsiaal toota biogaasi ka põllumajandusmaadel kasvavatest heintaimedest. Selle jaoks analüüsiti nii pikaajaliste rohumaade kui ka taotlemata põllumaade suurusi. Selgus, et Jõgevamaa põllumajandusmaadelt on võimalik biogaasi tootmise jaoks saada täiendavat biomassi, mille primaarenergia sisaldus oleks 142,2 TJ. Kui arvestada nii sõnnikust toodetava biogaasi potentsiaali, kui ka heintaimedest toodetud biogaasi potentsiaali, oleks biogaasi primaarenergia ressurss 350,2 TJ, mis moodustab 18,7% maakonna kogu primaarenergia tarbest (1864 TJ).

Tänu Euroopa Liidu nõudmistele, oleme kohustatud aastaks 2020 asendama 10% oma transpordikütustest biokütustega. Sellest lähtuvalt, on riik asunud usinalt otsima võimalusi seda teha ja üheks potentsiaalseks võimaluseks on toota biogaasist biometaani. Peatükis 4.4 ja 4.5 modelleeritud biogaasi jaamade biometaani tootlikkuse potentsiaal oleks keskmiselt 3,45 mln m^3 ja 2,34 mln m^3. Sõnnikust saadava biometaani potentsiaal on piisav, asendamaks 74% ulatuses Jõgevamaal kasutatud bensiinkütust. Põllumaadelt saadava biomassi potentsiaal on piisav, et asendada 54% ulatuses Jõgevamaal kasutatud bensiinkütust. Liites need kogused kokku, on Jõgevamaal võimalik asendada 128% bensiinkütustest, kohalikest ressurssidest toodetud biometaaniga.

Uurimustöö viiendas peatükis on põgusalt käsitletud muid alternatiivseid energiaallikaid, nagu näiteks päikeseenergia, tuuleenergia ja hüdroenergia. Lisaks antud ressursside potentsiaalile ja kasutamiseks vajalike seadmete ülevaatele, on välja arvutatud ka PV-paneelide ja tuulegeneraatori näidistootlikkused.

Jõgeva haigla tarbeks sai modelleeritud päikesepaneelide süsteem, võimsusega 60 kW. Ilmaandmetena kasutati Tiirikoja mõõtejaamast saadud välistemperatuuri ja päikesekiirguse andmeid. Andmetest selgus, et Tiirikoja mõõtejaama aastaseks summaarseks päikesekiirguse hulgaks on 995 kWh/m^2 aastas. Kasutades aastast kiirguse hulka ühe sisendandmena, tuli 60 kW-se päikesepaneelide süsteemi lihttasuvuseks 10,2 aastat.

Tuuleenergia ressursi hindamise jaoks oli samuti tellitud Tiirikoja mõõtejaamast ilmaandmed. Selgus, et 2014. aasta keskmine tuulekiirus Tiirikoja mõõtejaamas, 10 meetri kõrgusel, on 1,9 m/s. See näitaja on väike, kuid ainuüksi keskmisest tuulekiirusest ei piisa, et analüüsida tuulegeneraatorite püstitamise tasuvust. Seetõttu modelleeriti programmiga EnergyPRO4 tunnipõhiste tuulekiiruste alusel näidistuulik, võimsusega 10 kW. Selgus, et 10kW-se väiketuuliku aastane tootlikkus oli arvutuslikult vaid 1300kWh. Seda võib põhjendada sellega, et masti kõrguseks on antud tuulikul kõigest 18 m, mistõttu on tuuleressurss oluliselt häiritud läheduses paiknevatest objektidest (mets, hooned, pinnase reljeefimuutused).

Hüdroenergia potentsiaal maakonnas on tagasihoidlik. Lähtudes joonisest 5.5.2, kus on kujutatud nii juba töötavad kui ka planeeritavad hüdroelektrijaamad Jõgevamaal, on teoreetiliselt kasutatavaks hüdroenergia ressursiks 0,7 MW. Hüdroenergia laialdast levikut maakonnas ei ole oodata, tänu praegustele poliitilistele otsustele.

Suurimat edulugu suudaks Jõgeva maakond näidata biogaasi ja biometaani rakendamise valdkonnas, tänu eelnevalt mainitud kõrgele tasemele põllumajanduses. Järgnevate etappidena tuleks uurida kohalike suurfarmide huvi ning nõusolekut osaleda kas biogaasi või biometaani tootmise protsessis.

Teise lootustandva projektina tuleks analüüsida täpsemalt Jõgeva haigla (või muude analoogsete tarbimisgraafikutega hoonete) elektritarbe osalist katmist päikesepaneelidega. Edasise täpsema analüüsi jaoks tuleks pöörduda päikesepaneele müüvate ja paigaldavate ettevõtete poole, kelle igapäevased kogemused suudaksid garanteerida parima lahenduse. Üheks selliseks ettevõtteks on näiteks Energogen, kelle tehtud tööde portfellis on mitmeid tööstuslikke lahendusi.

Arvestades asjaolu, et Jõgeva linnas valmis uus hakkpuidu katlamaja 2014. aastal ning mille toodangu piirhinnaks lõpptarbijale 04.05.2015 seisuga on 52,55 €/MWh, ei ole esialgsetel hinnangutel ratsionaalne investeerida päikesekollektorite installeerimisse, mis vajavad suurt investeeringut ning suudavad toetada küttesüsteemi vaid suvekuudel.

On vähe tõenäoline, et lähimate aastate jooksul muutub meie poliitiline maastik piisavalt, et arendada tuule- või hüdroenergeetikat Jõgeva maakonnas. Seetõttu ei ole antud töö raames nendele valdkondadele suurt arenguperspektiivi ennustatud.

Kasutatud kirjandus

[1] Jõgeva maakonna iseloomustus (2014). [Online]. http://et.wikipedia.org/wiki/J%C3%B5geva_maakond

[2] Konsultatsiooni ja koolituskeskus Geomedia. (2010) Jõgevamaa arengustrateegia 2020+. [Online]. http://www.visitjogeva.com/public/Jogevamaa_strateegia_2020.pdf

[3] Eilmann, T., Kikas, M., Uiga, J., „Lõuna-Eesti regiooni energiaturu ülevaade," Tartu Regiooni Energiaagentuur, Tartu 2012. [Online]. http://www.trea.ee/pagas/L%C3%B5una-Eesti%20energiaturu%20%C3%BClevaade_final.pdf

[4] Portaali www.energiatalgud.ee artikkel „Elektri tootmine" (2015). [Online]. http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Elektri_tootmine#P.C3.B5levkivist_elektri_tootmine

[5] Portaali www.elering.ee pressiteade „Taastuvenergia moodustas mullu 12,6% elektri kogutarbimisest" (2014). [Online]. http://elering.ee/taastuvenergia-moodustas-mullu-126-protsenti-elektri-kogutarbimisest/

[6] Euroopa Liidu direktiiv 2009/28/EC (2009). [Online]. http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:32009L0028

[7] Portaali en.wikipedia.org artikkel „Renewable energy in the European Union" (2015). [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy_in_the_European_Union

[8] Eesti Taastuvenergia Koja artikkel „Taastuvenergia Euroopa Liidus" (2014). [Online]. http://www.taastuvenergeetika.ee/euroopa-statistika/

[9] Vares, V., Kask, Ü., Muiste, P., Pihu, T., Soosaar, S., „Biokütuste kasutaja käsiraamat" (TTÜ, 2015). [Online]. http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/f/fa/Vares,_V._jt._Biok%C3%BCtuse_kasutaja_kasiraamat.pdf

[10] Põllumajandusministeeriumi arengukava „Biomassi ja bioenergia kasutamise edendamise arengukava aastateks 2007-2013" (2007). [Online]. http://www.agri.ee/sites/default/files/public/juurkataloog/BIOENERGEETIKA/bioenergia.pdf

[11] Tartu Regiooni Energiaagentuuri uurimustöö „Biomassi kasutamine energeetikas Lõuna-Eesti regioonis" (2013). [Online] http://www.trea.ee/pagas/Biomassi%20kasutamine%20energeetikas%20L%C3%B5una-Eesti%20regioonis.pdf

[12] Eesti Biogaasi Assotsiatsiooni artikkel „Mis on biogaas“ [Online.] http://www.eestibiogaas.ee/mis-on-biogaas/

[13] Normak, A., Vollmer, E., Orupõld, K., Kask, Ü., „Biogaasi tootmine ja kasutamine“, Eesti Põllumeeste Keskliit, Tartu (2009). [Online.] http://tek.emu.ee/userfiles/taastuvenergia_keskus/biogaasiraamat_veebiversioon.pdf

[14] Graafiline illustratsioon ettevõttelt „Bekon“. [Online.] http://www.bekon.eu/dry-fermentation.html

[15] Graafiline illustratsioon ettevõttelt „Bioferm“. [Online.] http://www.biofermenergy.com/anaerobic-digestion-technology/dry-fermentation/

[16] James & James (Science Publishers) Ltd, „Planning and installing bioenergy systems: A guide for installers, architects and engineers“, (2005). [Online.] http://books.google.ee/books?id=OFTlY81crJUC&pg=PA59&lpg=PA59&dq=manure+dry+matter+biogas&source=bl&ots=BO6bTB9XgD&sig=dfr04E_uf5Yesn0eRz5cGyXL6KE&hl=en&sa=X&ei=riNqU9mrIcTaygPBsoGAAw&ved=0CE0Q6AEwAg#v=onepage&q=manure%20dry%20matter%20biogas&f=false

[17] Uurimustöö „Eri tüüpi sõnniku toitainete sisalduse arvestuslike väärtuste, põllumajandusloomade loomühikuteks ümberarvutamise koefitsientide ning sõnnikuhoidlate mahu arvutamise aluste ja miinimummahtude väljatöötamine ning sõnnikuga seotud näitajate arvutamise tarkvara väljatöötamine“, Kaasik, A., Tartu (2013).

[18] Keskkonnaministri 5. detsembri 2008. a. määruse nr. 48 „Looma- ja linnukasvatusest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste määramismeetodid“ lisa. [Online.] https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/0000/1308/6529/lisa.pdf#

[19] Karelson, M., Jaama, K., "Veise ja seakasvatus", Tallinn, "Valgus" (1981).

[20] Uurimustöö „Eesti tingimustesse sobivate biogaasi metaaniks puhastamise tehnoloogiate rakendatavus ning keskkonna ja majanduslikud mõjud“, TTÜ Soojustehnika instituut, Tallinn, (2014). [Online.] http://www.eby.ee/BIO/Laiendatud_kokkuvote_2014.pdf

[21] Teostatavus-tasuvusuuring „Biogaasitehase rajamine Tartu linnaliinitranspordi kütuse tootmiseks“, Baltic BiogasBus, Tartu (2011). [Online.] http://www.tartu.ee/data/Biogaasijaama%20rajamine%20Tartusse%20TTA.pdf

[22] Muiste, P., Padari A., Roostalu, H., Kriipsau, M., Astover A., Mitt, R., Pärn, L., Melts, I. MES uuringu „Eestis olemasoleva, praeguse või juba kavandatud tootmise-tarbimise juures tekkiva biomassi ressursi hindamine“, lõpparuanne. Tartu (2007).

[23] Portaali www.energiatalgud.ee artikkel „Päikeseenergia ressurss“ (2014). [Online.] http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=P%C3%A4ikeseenergia_ressurss&menu-33

[24] Ettevõtte Naps Solar Estonia OÜ koduleht. [Online.] http://napssolar.ee/kkk/

[25] Portaali www.energiatalgud.ee artikkel „Päikesepaneel“ (2015). [Online.] http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=P%C3%A4ikesepaneel&menu-119

[26] Portaali www.energiatalgud.ee artikkel „Päikesekollektor“ (2015). [Online.] http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=P%C3%A4ikesekollektor

[27] Saar, M., „Taastuvenergia tootmine ja kasutamine tööstustes“ (2013). [Online.] http://www.euresp-plus.net/sites/default/files/Mikk%20Saar.pdf

[28] Ettevõtte Insenerlahendused OÜ artikkel „Tuuleenergia“. [Online.] http://il.ee/web/index.php?title=Tuul

[29] Portaali www.energiatalgud.ee artikkel „Tuuleenergia ressurss“ (2015). [Online.] http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Tuuleenergia_ressurss&menu-34

[30] Muiste, M., Veskimeister, J., Uurimustöö „Tuule ja päikeseenergia kasutamine Tartu linnas“ (2013). [Online.] http://www.tartu.ee/index.php/?page_id=58&lang_id=1&menu_id=6&lotus_url=/uurimused.nsf/Web/teemad/DFE85EF5E585A0AFC2257C2F00290BD7

[31] Ettevõtte Bakeri OÜ illustratsioon (2012). [Online.] www.facebook.com/Bakeri2002

[32] Illustratsioon portaalist www.technologygreenenergy.tk (2014). [Online.] http://technologygreenenergy.tk/vawt-wind-generator/

[33] Rathmann, O., „The UNDP/GEF Baltic Wind Atlas“ (2003). [Online.] http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:88236/datastreams/file_7712029/content

[34] Eesti Tuuleenergia Assotsiatsiooni artikkel „Asukoha valik“. [Online.] http://www.tuuleenergia.ee/vaiketuulikud/asukoha-valik/

[35] Tuge Energia OÜ TUGE-10 tehniliste andmete spetsifikatsioon. [Online.] http://www.tuge.ee/et/power_curve

[36] Euroopa Väikehüdroenergeetika Assotsiatsiooni artikkel „Väikehüdroenergeetika – puhas ja säästev tulevikutehnoloogia“ [Online.] http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Projcet_Documents/RES_in_EU_and_CC/EE smallhydro.pdf

[37] Portaali www.energiatalgud.ee artikkel „Hüdroenergia ressurss“ (2015). [Online.] http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=H%C3%BCdroenergia_ressurss

[38] SA Eesti Forelli pöördumine Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi (2014). [Online.] http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/0/06/EnMAK2030_EF-MKM.pdf

[39] Artikkel „Loveko pakub hüdroelektrijaama Põltsamaa linnale“, (2014). [Online.] http://poltsamaa.info/index.php/1083-loveko-pakub-huedroelektrijaama-poltsamaa-linnale

Lisad

1. Lisa 1. Jõgevamaa omavalitsuste energiakasutuse ülevaade
2. Lisa 2. Keskmine piimatoodang lehma kohta maakondades 2013. a, kg
3. Lisa 3. Loomakasvatushooned veiste arvuga üle 1000 looma ja sigade arvuga üle 4000 looma, seisuga 22.10.2013
4. Lisa 4. Üle 400 veise ja üle 1000 seaga loomakasvatushooned Jõgevamaal, seisuga 22.10.2013
5. Lisa 5. Jõgeva haigla 2014. aasta elektritarbe muutus ajas ning 60 kW päikesepaneelide süsteemi tootlikkus
6. Lisa 6. Jõgeva haigla elektritarve ja 60 kW PV-süsteemi elektritootlikkus juulikuisel suvepäeval
7. Lisa 7. Arvutusparameetrid, Hellmanni eksponent ning tuulegeneraatori võimsuskõver tuuleenergia potentsiaali hindamiseks
8. Lisa 8. Aastane tuulekiiruse esinemine ja 10kW tuulegeneraatori toodang vastavalt Tiirikoja mõõteandmetele

Lisa 1. Jõgevamaa omavalitsuste energiakasutuse ülevaade

Tabel. Lisa 1- Jõgevamaa omavalitsuste energiakasutuse ülevaade

Pajusi vald			
KOV-i territooriumil	2014. aastal		
Kaugküttepiirkonna olemasolu (nimetada asulad)	-		
Kütteliik kaugküttepiirkonnas	-		
KOV-i territooriumil	EI	JAH	Kui JAH, siis millises kandis ja millist energialiiki kasutatakse
Taastuvenergia kasutamine 2014. aastal (tuuleenergia, hüdroenergia, bioenergia, päikeseenergia, maaküte)		JAH	Maaküte- Aidu Lasteaed-Algkool
Torma vald			
KOV-i territooriumil	2014. aastal		
Kaugküttepiirkonna olemasolu (nimetada asulad)	Puudub		
Kütteliik kaugküttepiirkonnas			
KOV-i territooriumil	EI	JAH	Kui JAH, siis millises kandis ja millist energialiiki kasutatakse
Taastuvenergia kasutamine 2014. aastal (tuuleenergia, hüdroenergia, bioenergia, päikeseenergia, maaküte)		JAH	Maaküte - Kantküla, Tähkvere, Torma alevik, Kõnnu Biogaasi potentsiaal- Sadala alevik, Torma alevik

Saare vald			
KOV-i territooriumil	2014. aastal		
Kaugküttepiirkonna olemasolu (nimetada asulad)	Kääpa ja Voore küla		
Kütteliik kaugküttepiirkonnas	Biokütus		
KOV-i territooriumil	EI	JAH	Kui JAH, siis millises kandis ja millist energialiiki kasutatakse
Taastuvenergia kasutamine 2014. aastal (tuuleenergia, hüdroenergia, bioenergia, päikeseenergia, maaküte)		JAH	Koseveski külas hüdroenergia (Kääpa jõe paisjärv), Kääpa külas tuuleenergia, Voore külas hakkpuidu katlamaja (põhikooli katlamaja)

Jõgeva vald			
KOV-i territooriumil	2014. aastal		
Kaugküttepiirkonna olemasolu (nimetada asulad)	Kaugküttetrassid ei ole enam töökorras		
Kütteliik kaugküttepiirkonnas			
KOV-i territooriumil	EI	JAH	Kui JAH, siis millises kandis ja millist energialiiki kasutatakse
Taastuvenergia kasutamine 2014. aastal (tuuleenergia, hüdroenergia, bioenergia, päikeseenergia, maaküte)		JAH	Hüdroelektrijaamad Painkülas ja Jõgeva alevikus Maaküte vaimastvere koolis ja õpilaskodus Õhk-vesi tüüpi soojuspump Kurista lasteaias

Kasepää vald			
KOV-i territooriumil	2014. aastal		
Kaugküttepiirkonna olemasolu (nimetada asulad)	Puudub		
Kütteliik kaugküttepiirkonnas			

KOV-i territooriumil	EI	JAH	Kui JAH, siis millises kandis ja millist energialiiki kasutatakse
Taastuvenergia kasutamine 2014. aastal (tuuleenergia, hüdroenergia, bioenergia, päikeseenergia, maaküte)		JAH	Maaküte- Raja kultuurimaja, Tiheda lasteaed, Kasepää Vallavalitsus
Pala vald			
KOV-i territooriumil	2014. aastal		
Kaugküttepiirkonna olemasolu (nimetada asulad)	Puudub		
Kütteliik kaugküttepiirkonnas			
KOV-i territooriumil	EI	JAH	Kui JAH, siis millises kandis ja millist energialiiki kasutatakse
Taastuvenergia kasutamine 2014. aastal (tuuleenergia, hüdroenergia, bioenergia, päikeseenergia, maaküte)		JAH	Maaküte - kultuurimaja, lasteaed, koolimaja, õpilaskodu. Puiduküte - vallamaja. Tuuleenergia- Peipsi järve ääres on projekteerimisel 150 kW energiatuulik (projekteerimistingimused on väljastatud)- uus omanik soovib projekti lõpule viia.

Palamuse vald			
KOV-i territooriumil	2014. aastal		
Kaugküttepiirkonna olemasolu (nimetada asulad)	Luua	Palamuse	Kaarepere
Kütteliik kaugküttepiirkonnas	Puit	Maaküte (449 kW)	Maaküte (369 kW)
KOV-i territooriumil	EI	JAH	Kui JAH, siis millises kandis ja millist energialiiki kasutatakse
Taastuvenergia kasutamine 2014. aastal (tuuleenergia, hüdroenergia, bioenergia, päikeseenergia, maaküte)		JAH	Kaarepere - Maaküttel on korterelamud, lasteaed. Palamuse - Maaküttel on korterelamud, vallamaja. Päikeseenergiat kasutab gümnaasium. Luua piirkonnas kasutusel puitkütus.

Puurmani vald			
KOV-i territooriumil	2014. aastal		
Kaugküttepiirkonna olemasolu (nimetada asulad)	Puurmani alevik, Ülejõe tänaval 4 kortermaja		
Kütteliik kaugküttepiirkonnas	Masuut		
KOV-i territooriumil	EI	JAH	Kui JAH, siis millises kandis ja millist energialiiki kasutatakse
Taastuvenergia kasutamine 2014. aastal (tuuleenergia, hüdroenergia, bioenergia, päikeseenergia, maaküte)		JAH	Puurmani Vallavalitsus-pellet; Puurmani Mõisakool-kombineeritud õhk-vesi soojuspump koos pelletiga; Puurmani Lasteaed ja Saduküla koolimaja-maaküte; Sotsiaalmaja, Trofee- maaküte; Noortekeskus, perearstikeskus- õhk-õhk soojuspump

Põltsamaa vald			
KOV-i territooriumil	2014. aastal		
Kaugküttepiirkonna olemasolu (nimetada asulad)	Adavere, Väike-Kamari, Võisiku		
Kütteliik kaugküttepiirkonnas	Hakkpuit, põlevkiviõli		
KOV-i territooriumil	EI	JAH	Kui JAH, siis millises kandis ja millist energialiiki kasutatakse
Taastuvenergia kasutamine 2014. aastal (tuuleenergia, hüdroenergia, bioenergia, päikeseenergia, maaküte)		JAH	Hüdroelektrijaamas toodetakse elektrit müügiks. KOV-ide hooned ei ole taastuvenergia allikatel. Eramajades on levinud päikese- ja maaküte.

Tabivere vald			
KOV-i territooriumil	2014. aastal		
Kaugküttepiirkonna olemasolu (nimetada asulad)	Tabivere		
Kütteliik kaugküttepiirkonnas	Hakkpuit, maagaas reservkütusena		
KOV-i territooriumil	EI	JAH	Kui JAH, siis millises kandis ja millist energialiiki kasutatakse
Taastuvenergia kasutamine 2014. aastal (tuuleenergia, hüdroenergia, bioenergia, päikeseenergia, maaküte)		JAH	Tabivere katlamaja kasutab hakkpuitu (1 MW)

Mustvee linn			
KOV-i territooriumil	2014. aastal		
Kaugküttepiirkonna olemasolu (loetelu)	Jah		
Kütteliik kaugküttepiirkonnas	Hakkpuit		
KOV-i territooriumil	EI	JAH	Kui JAH, siis millises kandis ja millist energialiiki kasutatakse
Taastuvenergia kasutamine 2014. aastal (tuuleenergia, hüdroenergia, bioenergia, päikeseenergia, maaküte)		JAH	Kaalumisel on Peipsi Järve rajada veealune torustik, mis annaks sooja Mustvee linnale.

Jõgeva linn			
KOV-i territooriumil	2014. aastal		
Kaugküttepiirkonna olemasolu (loetelu)	Kaugküttevõrk on olemas, kuid kaugkütteseaduse §5 mõistes kaugküttepiirkonda ei ole kehtestatud		
Kütteliik kaugküttepiirkonnas	Hakkpuit, maagaas		
KOV-i territooriumil	EI	JAH	Kui JAH, siis millises kandis ja millist energialiiki kasutatakse
Taastuvenergia kasutamine 2014. aastal (tuuleenergia, hüdroenergia, bioenergia, päikeseenergia, maaküte)		JAH	Päikeseenergia lasteaias Karikakar; Hakkpuit

Põltsamaa linn			
KOV-i territooriumil	2014. aastal		
Kaugküttepiirkonna olemasolu (loetelu)	Puudub ja ei kavatseta ka moodustada		
Kütteliik kaugküttepiirkonnas			
KOV-i territooriumil	EI	JAH	Kui JAH, siis millises kandis ja millist energialiiki kasutatakse
Taastuvenergia kasutamine 2014. aastal (tuuleenergia, hüdroenergia, bioenergia, päikeseenergia, maaküte)		JAH	Maaküte eramajades; Päikeseenergia noortekeskuses, Kannikese tänava piirkond

Lisa 2. Keskmine piimatoodang lehma kohta maakondades 2013. a, kg

Kogu Eesti	7824
Harju maakond	7162
Hiiu maakond	5322
Ida-Viru maakond	6724
Jõgeva maakond	8434
Järva maakond	8235
Lääne maakond	7281
Lääne-Viru maakond	7985
Põlva maakond	8707
Pärnu maakond	7880
Rapla maakond	7840
Saare maakond	6895
Tartu maakond	8873
Valga maakond	7256
Viljandi maakond	7390
Võru maakond	7290

Lisa 3. Loomakasvatushooned veiste arvuga üle 1000 looma ja sigade arvuga üle 4000 looma, seisuga 22.10.2013

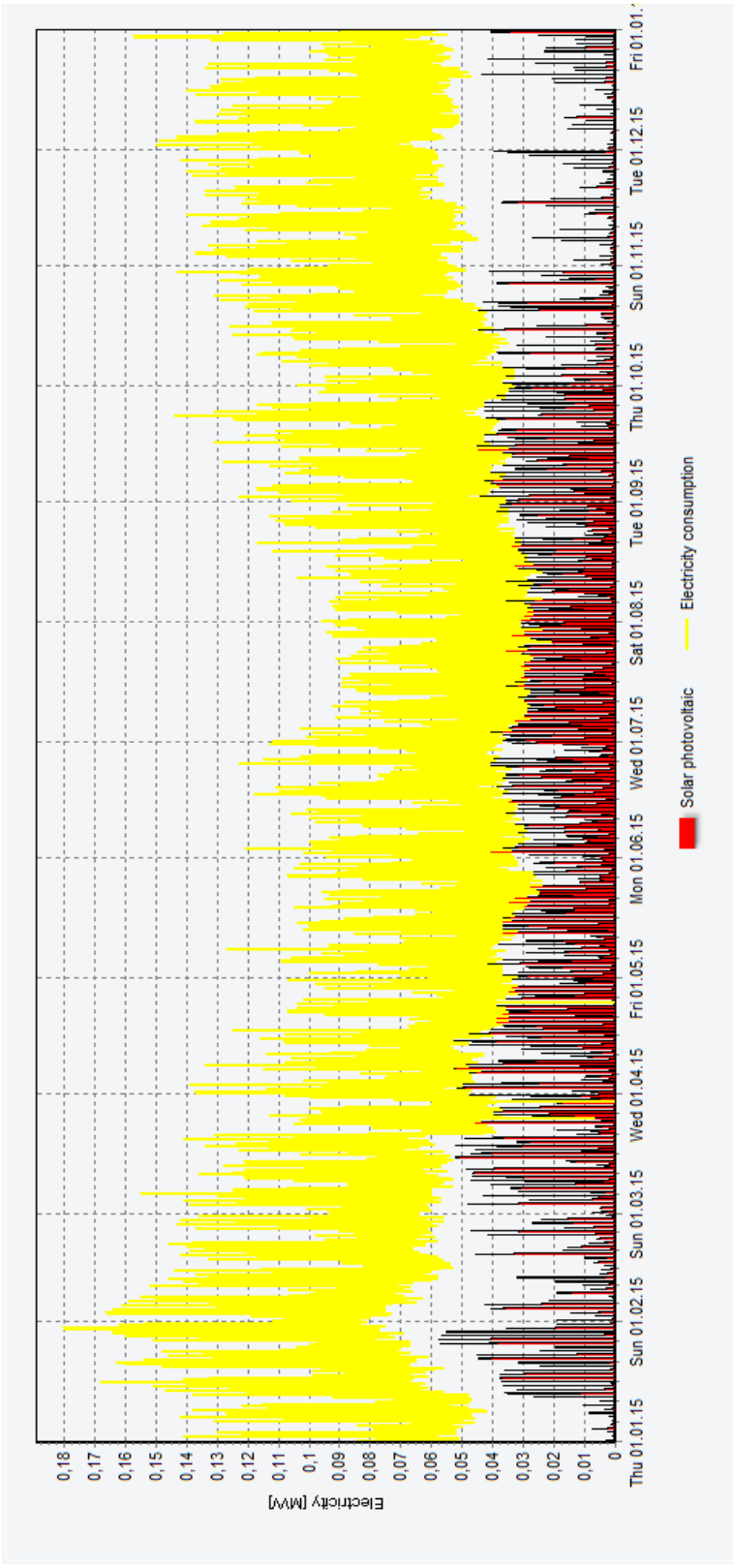
Jrk	Nimi	Loom	Arv	Maakond	Vald	Küla, alev, alevik
1	OSAÜHING RAIKKÜLA SEAKASVATUS	siga	7756	RAPLAMAA	RAIKKÜLA VALD	RAIKKÜLA KÜLA
2	OSAÜHING SF PANDIVERE	siga	6354	LÄÄNE-VIRUMAA	VÄIKE-MAARJA VALD	PANDIVERE KÜLA
3	OSAÜHING MARKILO	siga	8212	LÄÄNE-VIRUMAA	TAMSALU VALD	VAJANGU KÜLA
4	OSAÜHING KÕPSTA SEAFARM	siga	7251	LÄÄNE-VIRUMAA	RAKKE VALD	PIIBE KÜLA
5	AKTSIASELTS RUIXI MÕIS	siga	4690	LÄÄNE-VIRUMAA	KADRINA VALD	KALLUKSE KÜLA
6	AKTSIASELTS REY	siga	7876	RAPLAMAA	KEHTNA VALD	KEHTNA-NURME KÜLA
7	OÜ AIU PÕLLUMAJANDUS	siga	10040	TARTUMAA	LAEVA VALD	LAEVA KÜLA
8	AS TARTU AGRO	siga	5602	TARTUMAA	TÄHTVERE VALD	ILMATSALU ALEVIK
9	ATRIA FARMID OÜ	siga	7113	LÄÄNEMAA	ORU VALD	ORU KÜLA
10	SAIMRE SEAKASVATUSE OSAÜHING	siga	4305	VILJANDIMAA	PAISTU VALD	AIDU KÜLA
11	RAKVERE FARMID AKTSIASELTS	siga	58274	VILJANDIMAA	VIIRATSI VALD	MÄELTKÜLA KÜLA
12	SAIMRE SEAKASVATUSE OSAÜHING	siga	7288	VILJANDIMAA	TARVASTU VALD	KANNUKÜLA KÜLA
13	OSAÜHING NURKSE SEAFARM	siga	6158	LÄÄNE-VIRUMAA	TAMSALU VALD	ASSAMALLA KÜLA
14	RAKVERE FARMID AKTSIASELTS	siga	8539	VÕRUMAA	ANTSLA VALD	SAVILÖÖVI KÜLA
15	OSAÜHING HINNU SEAFARM	siga	12000	HARJUMAA	KUUSALU VALD	ALLIKA KÜLA
16	TULUNDUSÜHISTU KÜÜNI-SF	siga	6882	HARJUMAA	KUUSALU VALD	MUSTAMETSA KÜLA
17	RAKVERE FARMID AKTSIASELTS	siga	9838	PÕLVAMAA	PÕLVA VALD	LUTSU KÜLA
18	LAIUSE PÕLLUMAJANDUSE OSAÜHING	siga	4122	JÕGEVAMAA	JÕGEVA VALD	LAIUSEVÄLJA KÜLA
19	ATRIA FARMID OÜ	siga	7166	TARTUMAA	RÕNGU VALD	TILGA KÜLA
20	OSAÜHING KAUBI FARMID	siga	5838	JÕGEVAMAA	PUURMANI VALD	ALTNURGA KÜLA
21	OSAÜHING LÕPE AGRO	siga	5729	PÄRNUMAA	KOONGA VALD	LÕPE KÜLA
22	OSAÜHING SAARE PEEKON	siga	5591	SAAREMAA	KAARMA VALD	PÄHKLA KÜLA
23	OSAÜHING MARKILO	siga	6825	JÕGEVAMAA	PUURMANI VALD	HÄRJANURME KÜLA
24	OSAÜHING ÄÄRE SEAKASVATUS	siga	4846	SAAREMAA	PIHTLA VALD	KAALI KÜLA
25	HAAMERI TALU	siga	5112	PÕLVAMAA	VERIORA VALD	VILUSTE KÜLA
26	AKTSIASELTS VAHENURME AGRO	siga	4329	PÄRNUMAA	HALINGA VALD	EENSE KÜLA
27	OSAÜHING SAIMRE	veis	1469	VILJANDIMAA	PAISTU VALD	AIDU KÜLA
28	OSAÜHING KÕPU PM	veis	1189	VILJANDIMAA	KÕPU VALD	SUPSI KÜLA
29	OSAÜHING VOORE MÕIS	veis	1380	LÄÄNE-VIRUMAA	VINNI VALD	VIRU-JAAGUPI ALEVIK
30	KÕLJALA PÕLLUMAJANDUSLIK OSAÜHING	veis	1065	SAAREMAA	PIHTLA VALD	HAESKA KÜLA
31	AKTSIASELTS LAATRE PIIM	veis	2310	VALGAMAA	TÕLLISTE VALD	LAATRE ALEVIK
32	OSAÜHING RAIKKÜLA FARMER	veis	1476	RAPLAMAA	RAIKKÜLA VALD	RAIKKÜLA KÜLA
33	TULUNDUSÜHISTU PAE ÜHISTALU	veis	2243	RAPLAMAA	KEHTNA VALD	INGLISTE KÜLA
34	AKTSIASELTS METSAKÜLA PIIM	veis	1149	HARJUMAA	HARKU VALD	KUMNA KÜLA
35	OÜ KURE MÕIS	veis	1079	TARTUMAA	RANNU VALD	KUREKÜLA ALEVIK
36	OSAÜHING VÄNDRA	veis	1727	PÄRNUMAA	VÄNDRA VALD	VAKI KÜLA

37	OSAÜHING SURJU PM	veis	1119	PÄRNUMAA	SURJU VALD	SURJU KÜLA
38	OSAÜHING HUMMULI AGRO	veis	1126	VALGAMAA	HUMMULI VALD	HUMMULI ALEVIK
39	ARAVETE AGRO OÜ	veis	1434	JÄRVAMAA	AMBLA VALD	MÄGISE KÜLA
40	OSAÜHING HÄRJANURME MÕIS	veis	1576	JÕGEVAMAA	PUURMANI VALD	SADUKÜLA KÜLA
41	AKTSIASELTS PAJUSI ABF	veis	1107	JÕGEVAMAA	PAJUSI VALD	KALANA KÜLA
42	AKTSIASELTS VÄÄTSA AGRO	veis	1859	JÄRVAMAA	VÄÄTSA VALD	VISSUVERE KÜLA
43	TORMA PÕLLUMAJANDUSOSAÜHING	veis	1282	JÕGEVAMAA	TORMA VALD	TORMA ALEVIK
44	KABALA AGRO OSAÜHING	veis	1822	JÄRVAMAA	TÜRI VALD	KABALA KÜLA
45	AS PEETRI PÕLD JA PIIM	veis	1531	JÄRVAMAA	KAREDA VALD	ÄMBRA KÜLA
46	OÜ KUIVAJÕE FARMER	veis	1437	HARJUMAA	KOSE VALD	KUIVAJÕE KÜLA
47	OSAÜHING ESTONIA	veis	1391	JÄRVAMAA	TÜRI VALD	VÄLJAOTSA KÜLA
48	AS TARTU AGRO	veis	1516	TARTUMAA	TÄHTVERE VALD	RAHINGE KÜLA
49	OSAÜHING PÕLVA AGRO	veis	2099	PÕLVAMAA	PÕLVA VALD	AARNA KÜLA
50	OSAÜHING METSTAGUSE AGRO	veis	1058	JÄRVAMAA	JÄRVA-JAANI VALD	KUKSEMA KÜLA
51	ÕNNE PIIMAKARJATALU OSAÜHING	veis	1544	JÕGEVAMAA	PÕLTSAMAA VALD	ESKU KÜLA
52	AS TARTU AGRO	veis	1716	TARTUMAA	TÄHTVERE VALD	VORBUSE KÜLA
53	KASKA-LUIGA TALU	veis	1765	PÕLVAMAA	KANEPI	PÕLGASTE KÜLA
54	PAUNVERE AGRO OÜ	veis	1299	JÕGEVAMAA	PALAMUSE VALD	JÄRVEPERA KÜLA
55	ABJA FARMID OÜ	veis	1327	VILJANDIMAA	ABJA VALD	KAMARA KÜLA
56	OÜ SADALA AGRO	veis	1044	JÕGEVAMAA	TORMA VALD	KODISMAA KÜLA
57	OSAÜHING HALINGA	veis	2111	PÄRNUMAA	HALINGA VALD	LANGERMA KÜLA

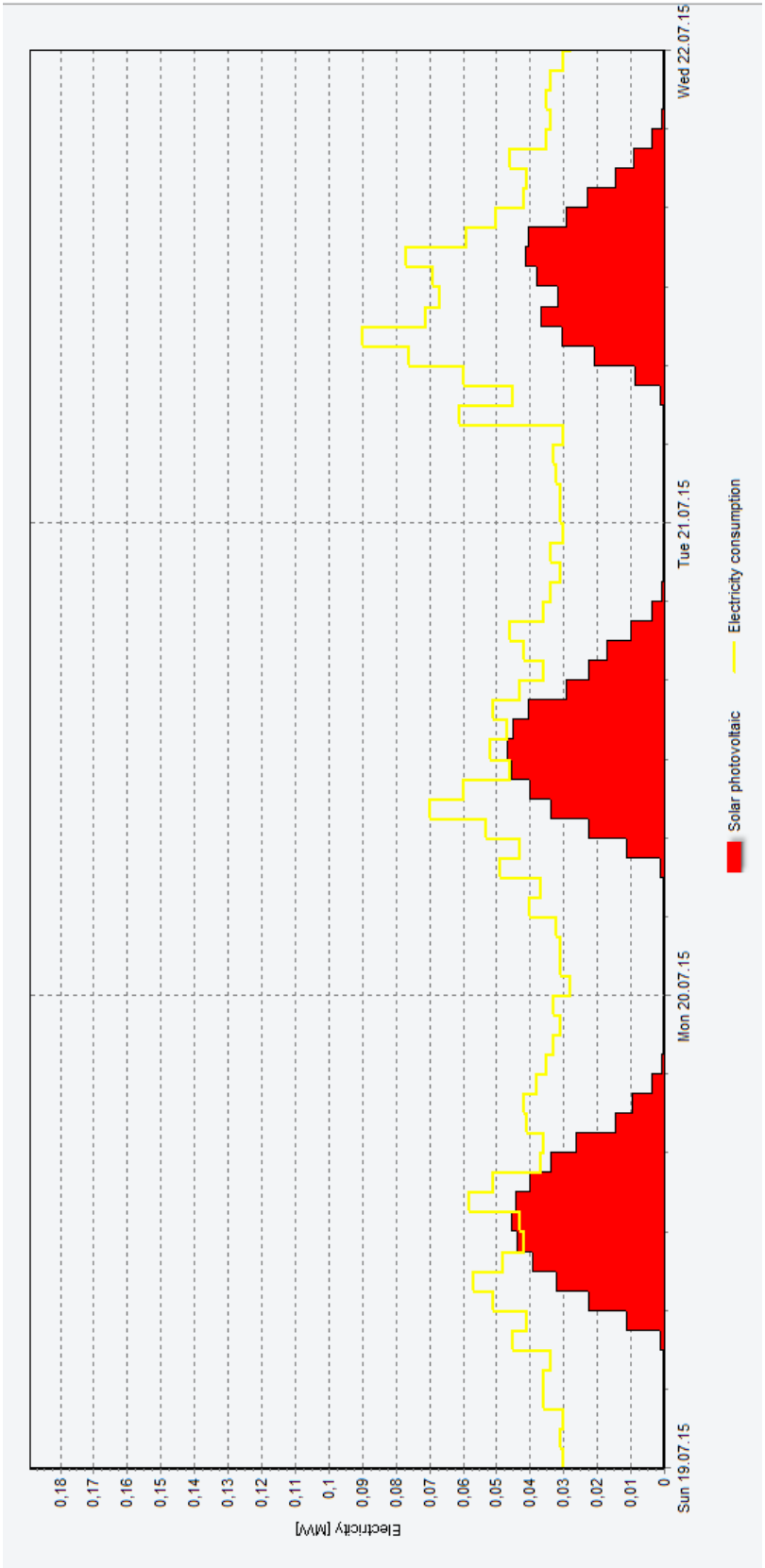
Lisa 4. Üle 400 veise ja üle 1000 seaga loomakasvatushooned Jõgevamaal, seisuga 22.10.2013

Nr	ETTEVÕTJA	VEISTE ARV	SIGADE ARV	VALD, LINN	KülA, ALEV
1	OÜ PÕLLURADA	529	0	TABIVERE VALD	TABIVERE ALEVIK
2	PUURMANI PÕLLUMAJANDUSÜHISTU	710	0	PUURMANI VALD	PIKKNURME KÜLA
3	ÕNNE PIIMAKARJATALU OSAÜHING	1544	0	PÕLTSAMAA VALD	ESKU KÜLA
4	OSAÜHING VIRAITO	981	0	PÕLTSAMAA VALD	KUNINGAMÄE KÜLA
5	VÕHMANÕMME PÕLLUMAJANDUSÜHISTU	585	243	PÕLTSAMAA VALD	VÕHMANÕMME KÜLA
6	OSAÜHING HÄRJANURME MÕIS	1576	0	PUURMANI VALD	SADUKÜLA KÜLA
7	MÄLLIKVERE PÕLLUMAJANDUSÜHISTU	624	0	PÕLTSAMAA VALD	MÄLLIKVERE KÜLA
8	PAUNVERE AGRO OÜ	1299	0	PALAMUSE VALD	JÄRVEPERA KÜLA
9	AKTSIASELTS ADAVERE AGRO	667	0	PÕLTSAMAA VALD	ADAVERE ALEVIK
10	AKTSIASELTS PAJUSI ABF	1107	0	PAJUSI VALD	KALANA KÜLA
11	AKTSIASELTS PEREVARA	468	0	JÕGEVA VALD	PAINKÜLA KÜLA
12	AKTSIASELTS PEREVARA	759	0	JÕGEVA VALD	VÕDUVERE KÜLA
13	LAIUSE PÕLLUMAJANDUSE OSAÜHING	822	0	JÕGEVA VALD	LAIUSEVÄLJA KÜLA
14	OSAÜHING VAIMASTVERE AGRO	577	0	JÕGEVA VALD	VAIMASTVERE KÜLA
15	TORMA PÕLLUMAJANDUSOSAÜHING	1282	0	TORMA VALD	TORMA ALEVIK
16	OÜ SADALA AGRO	1044	0	TORMA VALD	Kodismaa küla
17	OÜ SADALA AGRO	443	0	TORMA VALD	SADALA ALEVIK
18	OÜ SADALA AGRO	525	0	TORMA VALD	Tähkvere küla
19	OSAÜHING KAUBI FARMID	0	5838	PUURMANI VALD	ALTNURGA KÜLA
20	SAIMRE SEAKASVATUSE OSAÜHING	0	3213	PÕLTSAMAA VALD	RÕSTLA KÜLA
21	OSAÜHING KAAVERE AGRO	0	2258	PÕLTSAMAA VALD	LUSTIVERE KÜLA
22	OSAÜHING PAJU TALU KAUBANDUS	0	1868	PÕLTSAMAA VALD	PAUASTVERE KÜLA
23	ATRIA FARMID OÜ	0	3599	PALAMUSE VALD	JÄRVEPERA KÜLA
24	OSAÜHING MARKILO	0	6825	PUURMANI VALD	HÄRJANURME KÜLA
25	LAIUSE PÕLLUMAJANDUSE OSAÜHING	0	4122	JÕGEVA VALD	LAIUSEVÄLJA KÜLA

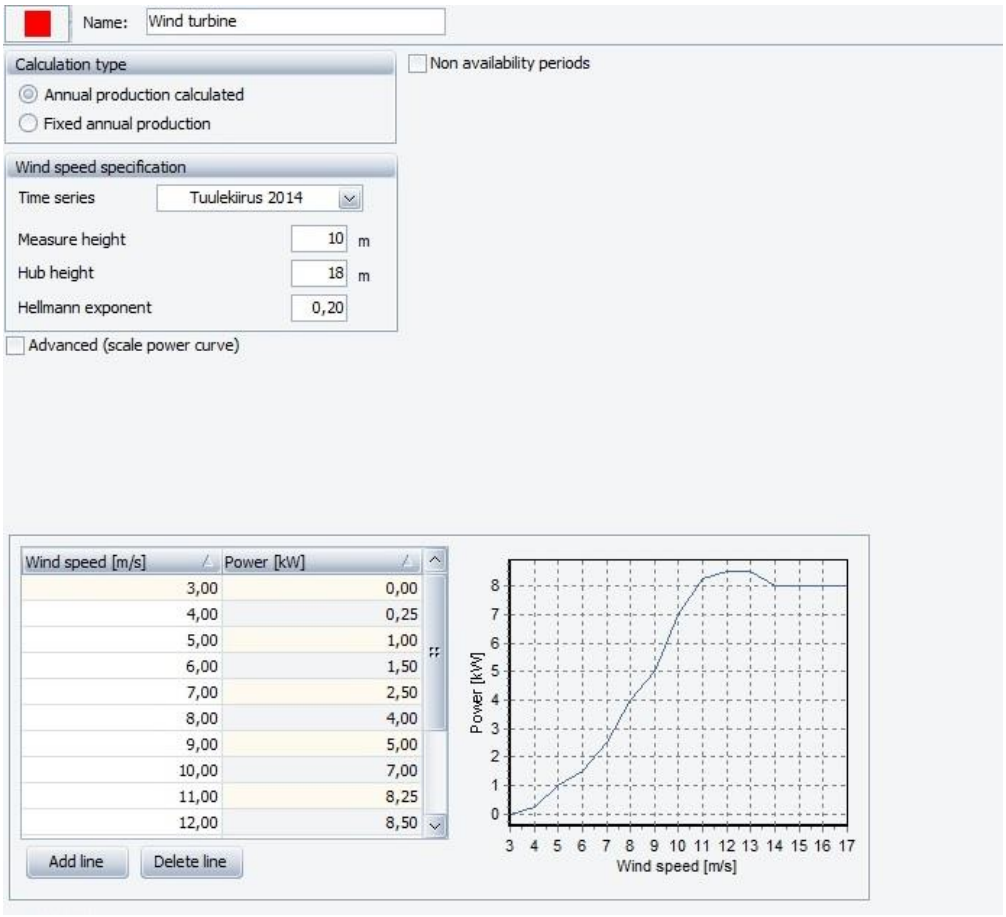
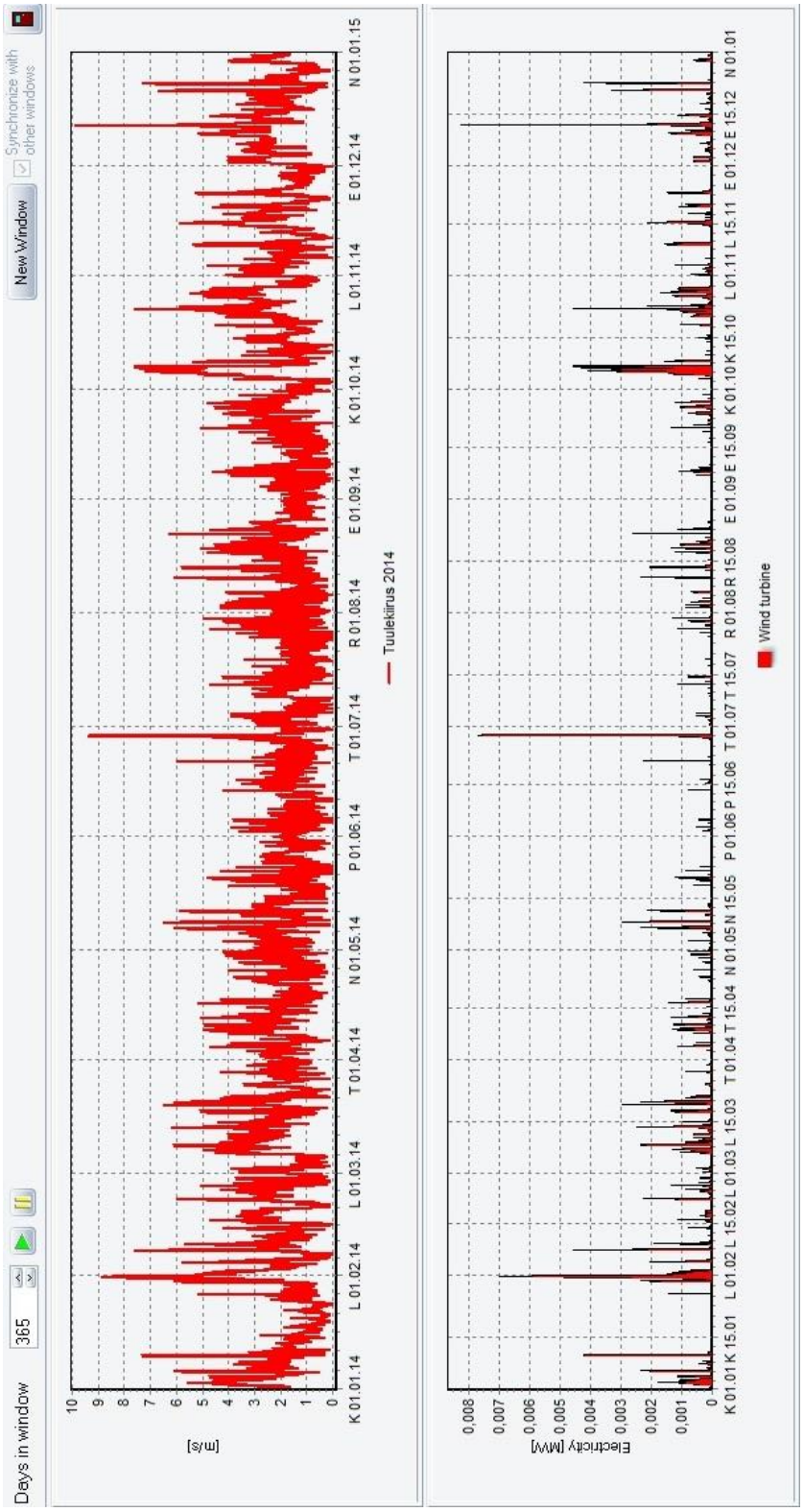
Lisa 5. Jõgeva haigla 2014. aasta elektritarbe muutus ajas (kollane) ning 60 kW päikesepaneelide süsteemi tootlikkus (punane)



Lisa 6. Jõgeva haigla elektritarve ja 60 kW PV-süsteemi elektritootlikkus juulikuisel suvepäeval



Lisa 7. Arvutusparameetrid, Hellmanni eksponent ning tuulegeneraatori võimsuskõver tuuleenergia potentsiaali hindamiseks



Lisa 8. Aastane tuulekiiruse esinemine ja 10kW tuulegeneraatori toodang vastavalt Tiirikoja mõõteandmetele