

TEUK XII

TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE UURIMINE JA KASUTAMINE

KAHETEISTKÜMNENDA KONVERENTSI KOGUMIK



**INVESTIGATION AND USAGE OF
RENEWABLE ENERGY SOURCES**
TWELFTH CONFERENCE PROCEEDINGS

TARTU, ESTONIA, 2010

Toimetajad / Compiled by: Elis Vollmer, Argo Normak
Keeleline toimetis: Karin Veske

Toimetis on toetuse eest tänulik / Editorial staff is very grateful for the support:

ARCHIMEDES

s i h t a s u t u s



Trükitud: OÜ Paar
Printed by: Paar Ltd

Kirjastaja: Eesti Maaülikool
Publisher: Estonian University of Life Sciences

© 2010

Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences
All Rights Reserved

ISBN: 978-9949-426-91-1

Sisukord

Eessõna.....	4
TTÜ energia- ja sisekliimalabor. Energiasääst passiivse arhitektuurilise jahutuse ja/või küttemeetodite kavandamise abil. Hendrik Voll, Teolan Tomson.....	6
Küttepuu soojusenergia allikana Eesti kodudes Annes Andresson.....	11
Pilliroo energeetilise kasutamise tehnilis-majanduslikud ja keskkonnakaitselised aspektid Triin Aavik, Ülo Kask	19
Eesti energiasüsteemi töökindluse tagamine pumphüdroakumulatsioon-elektriijaama abil Lembit Vali, Dimitri Vassiljev.....	33
Päikeseenergeetika ühingu perspektiiv Eestis Teolan Tomson, Mikk Maivel	45
Biolagunevate jäätmete fermentatsioon taastuvate energiaallikate saamiseks Anne Menert jt.	49
Energia, elukeskkond ja reoveepuhastus Hillar Toomiste.....	60
Taastuvelektri fikseeritud ostuhind 2kr/kWh biogaasijaamade puhul muudab biogaasitootmise Eestis tasuvaks Säreveere bioenergiaühistu eelteostatavuse uuringu näitel Ahto Oja jt.....	66
MetaanitootlikkusE potentsiaali andmebaas Argo Normak, Mario Luna del Risco, Kaja Orupõld.....	78
Pilootuuring biogaasi tootmise jääkproduktide kasutusvõimalustest energiakultuuride kasvatamisel Katriin Heinsoo, Bert Holm, Indrek Melts.....	85
Tuulegeneraatorite väljundvõimsuse kõikumiste leevendamine Kaupo Toom, Andres Annuk	93
Sademetest eest varjatud puitkütuse loomulik kuivatamine Mart Hovi, Külli Hovi.....	101
Rohtsest biomaterjalist vedela biokütuse tootmisvõimaluste uurimine Marti Tutt, Jüri Olt	106
Tartu Regiooni Energiaagentuur Martin Kikas, Asso Nettan	115
Päikeseenergiat töötava tänavavalgustuse planeerimine Rõuge aleviku näitel Priit Pikk, Tiit Pikk	119
Tasapinnalise päikesekollektori FM-S uurimine Veli Palge, Erkki Jõgi, Margus Arak.....	128

EESSÕNA

Igaaastane konverents TEUK toimub 11. novembril 2010. a. On meeldiv tõdeda, et Eesti teadurid ja praktikud tegelevad aktiivselt taastuvenergia teemadega ning on valmis oma teadmisi ja kogemusi ka jätkuvalt teistega jagama. Nüüd siis juba 12. konverentsil tutvustatavate uurimis- ja arendustööde teemade hulka kuuluvad energiasääst, taastuvate energiaallikate ressursid, biokütuste tootmine ja kasutamine, jäätmete väärimine, piirkondlik energiavarustus jt. Kokku tehakse päeva jooksul 10 suulist ettekannet ja stendidel on 13 töö tutvustus stendiettekannetena, millele lisanduvad erinevad tutvustusmaterjalid.

Konverentsil käsitletavaks päevakajaliseks teemaks on taastuvenergia toetused, mille üle toimub ettekannete järgselt debatt. Selle fookuses on riiklikul tasandil algatatud taastuvenergia toetussüsteemi muutmine, mille eesmärk on piirata makstavate toetuste mahtu. Eesti Konkurentsiamet on tuginedes oma analüüsile teinud Majandus- ja kommunikatsiooniministeriumile (MKM) ettepaneku üle vaadata taastuvenergiale ja koostootmisjaamadele makstavate elektrienergia toetuste suurus ja muuta seadust. MKM on valitsusele esitanud elektrituruseaduse muutmise seaduse eelnõu, mis muudaks senist toetamise korda. Seoses sellega on meedias räägitud taastuvenergiatootjate ülikasumitest ja vajadusest elektrihinna langetamiseks tarbijale. Emotsionaalsetes sõnavõttudes on hakatud unustama Eesti energeetika arendamise põhieesmärke – fossiilsetest energiaallikatest sõltuvuse ning keskkonnamõju vähendamine, ning efektiivsuse ja varustuskindluse suurendamine. Kas esitatud eelnõu teenib neid eesmärke? See on debati diskutantide jaoks üks põhilisi küsimusi.

Soovin teaduritele ning ettevõtjatele teadus- ja arendustööks edu ning veelgi tõhusamat koostööd.

Argo Normak

Eesti Maaülikooli taastuvenergia keskuse juhataja

FOREWORD

Annual conference “Investigation and Usage of Renewable Energy Sources” takes again place in Estonian University of Life Sciences on 11th of November 2010. It is pleasant to see that Estonian scientists and practitioners are actively dealing with renewable energy topics and are willing to share their knowledge with others. Twelfth conference focuses on energy savings, renewable energy resources, production and use of biofuels, processing of wastes, local energy independence and other relevant topics. There will be ten oral and 13 poster presentations.

This years discussion topic will be the current state of national renewable energy subsidies. The focus will be on changes of the subsidies on national level, which aims to reduce the amount of subsidies paid. Estonian Competition Authority suggested that Ministry of Economic Affairs and Communications (MKM) need to examine the amount of subsidies paid to renewable energy and combined heat and power stations and to change the law appointing subsidy sizes. MKM has thereupon submitted a legislative amendment to the government to change the subsidy regulations. In addition to this, media has discussed in length about enormous profits of renewable energy producers and the need to reduce electricity prices. These emotional discussions have seemed to forget the main goals of developing Estonian energetics sector – to reduce dependence on fossil energy resources, to lessen negative environmental impacts and to increase efficiency and security in energy sector. Is the submitted draft serving these aims? This is the main question to the participants at the discussion.

I wish good luck to the scientists and entrepreneurs for effective cooperation in research and development activities!

Argo Normak

Head of Centre of Renewable Energy of Estonian University of Life Sciences

**TTÜ ENERGIA- JA SISEKLIIMALABOR.
ENERGIASÄÄST PASSIIVSE ARHITEKTUURILISE
JAHUTUSE JA/VÕI KÜTTEMEETODITE KAVANDAMISE
ABIL.**

Hendrik Voll, Teolan Tomson
Tallinna Tehnikaülikool, Ehitajate tee 5, Tallinn
hendrik.voll@ttu.ee

Annotatsioon

1. juulist 2009 jõustus Vabariigi Valitsuse määrus nr 258 „Energiatõhususe miinimumnõuded“. Määruse kohaselt on vaja uute ja oluliselt rekonstrueeritavate hoonete energiatõhususe miinimumnõuetele vastavust tõendada keeruka dünaamilist soojuslevi arvutava tarkvaraga. Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskonna kütte ja ventilatsiooni õppetoolis uuriti koostöös Eesti kütte- ja ventilatsiooniühinguga „Energiatõhususe miinimumnõuete tõendamise ja selle kontrolli võimekuse tõstmist“, analüüsid alates 1. juulist väljastatud ehituslubade taotlemisel esitatud arvutusi. Analüüs kinnitas, et energiaarvutustes on märkimisväärseid probleeme ja seda paljuski tarkvara nõrga kasutusoskuse tõttu. Tallinna Tehnikaülikooli kütte ja ventilatsiooni õppetool on ette võtnud konkreetseid samme simulatsiooniprogrammide kasutusoskuse parandamiseks ning selleks on TTÜs valminud ka energia- ja sisekliimalabor.

Märksõnad: päevavalgus, energiatõhusus.

Tallinna Tehnikaülikooli energia- ja sisekliimalabor

Energia- ja sisekliimalabor koosneb kahest osast: energiasimulatsiooniprogrammidest ja kahest spetsiaalsest stendist. Nendeks on otsese päikesekiirguse ja hajuvalguse stendid, mille eesmärgiks on simulatsiooniprogrammide arvutuspõhimõtte arusaadavamaks tegemine („puust ja punaseks“) nii inseneridele kui ka arhitektidele.

Lisaks on labori eesmärgiks parandada Eesti inseneride ja arhitektide koostööd. Praegune probleem seisneb selles, et insenere ja arhitekte koolitatakse erinevates ülikoolides. Pärast ülikooli lõpetamist tuleb neil tihe-
dalt koostööd tegema hakata. Paraku aga ei ole see praegu eriti edukas.

Ainus võimalus seda parandada on alustada koostööd juba õpingute ajal. Näiteks 2010. aasta kevad- ja sügissemestrist on TTÜ kütte ja ventilatsiooni õppetoolis Eesti Kunstiakadeemia arhitektuuritudengitele õppeaine „Loomulik valgus arhitektuuris ja energiatõhusus“.

Hoonete energiasimulatsiooniprogrammid

Laboril on olemas enamik maailmas kasutatavatest hoone energiasimulatsiooni programmidest, sealhulgas IES, eQuest, EnergyPlus, IDA, Riska, Bsim, Ecotect, Vipenergy, BV2, PHPP7 jt.

Otsese päikesekiirguse heliostend

Tallinna Tehnikaülikooli energia- ja sisekliimalabori otsese päikesekiirguse heliostend on 1,1 m² suuruse ruudu kujuline pind. Selle abil saab analüüsida päikesekiirgust hoonetes erinevatel laiuskraadidel, aasta- ja/või kellaaegadel. Päikesestendi juurde kuulub prožektor ja peegel, mis peegeldab prožektorist tuleva valgusjoa päikesestendile kinnitatud hoone maketile (vt foto 1).

Ühiskondlike hoonete ratsionaalse kütte- ja jahutuskoormuste ning ener-

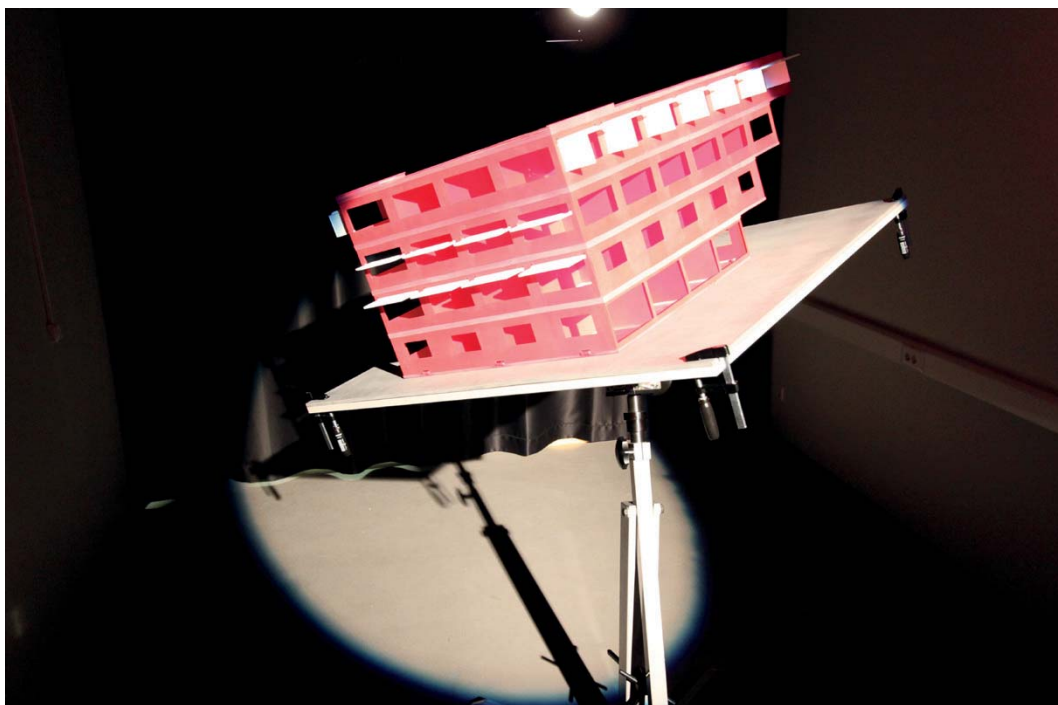


Foto 1. TTÜ energia- ja sisekliimalabori päikesestend otsese päikesekiirguse analüüsimiseks.

Photo 1. Heliodon table at TUT energy and indoor climate laboratory.

giatarbe planeerimisel on suure tähtsusega fassaadide selline kujundamine, et suvel oleks võimalik viia päikesest tingitud jahutuskoormus passiivseid jahutusmeetodeid kasutades minimaalseks. Elamute ja eramute kavandamisel tuleks jälle otsest päikesekiirgust kasutada võimalikult palju kütteenergia vähendamiseks. Päikesestend aitab illustreerivalt mõista hoonete kavandamisel järgmisi asjaolusid:

- päikese varjestamine,
- passiivne arhitektuuriline jahutus ja/või küte,
- ehitiste paigutus ja kavandamine ilmakaarte suhtes,
- päikesekiirguse kestvus ja räguse analüüs.

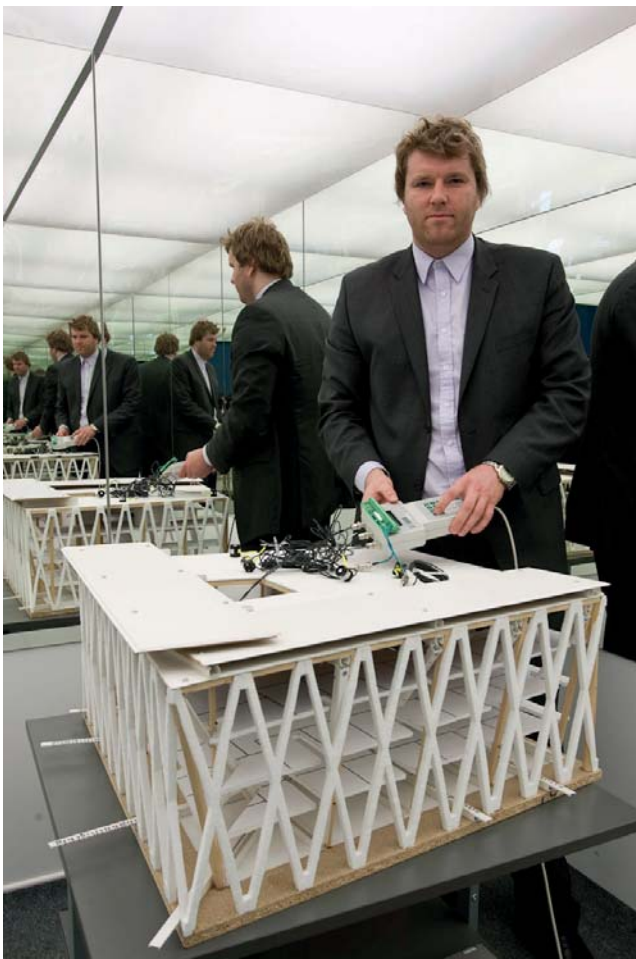


Foto 2. TTÜ energia- ja sisekliimalabori testruumi sisevaade hajuvalguse analüüsimiseks.
Photo 2. Diffuse light test chamber at TUT energy and indoor climate laboratory.

Hajuvalguse testkamber

Tallinna Tehnikaülikooli hajuvalguse mõõtmise testkamber on kuubikujuline, mõõtmega 2,25 x 2,25 meetrit ja kõrgusega 2,25 meetrit. Testkambriga seestpoolt kaetud peeglitega, laes on valgust läbilaskev membraan. Membraani kohal asuvad valgusallikad. Fotol 2 on näidatud Tallinna Tehnikaülikooli päevavalguslabori päevavalgusstendi sisevaade.

Arhitektuurilised testid aitavad analüüsida hoonete hajuvalguse jagunemist hoones, mis on arhitektuuri hindamisel tähtis kriteerium ehk sisekliima komponent. Lihtsate testidega on võimalik välja selgitada, milliste parameetritega peab ruumi aken olema, et tagada normidele vastav hajuvalgus. Testkambris mõõdetakse

hajuvalgust spetsiaalsete sensoritega. Sensor, mis mõõdab välist horisontaalset valgustihedust, asetatakse hoone maketi katusele ja ülejäänud maketi sisemusse. Sisemisi sensoreid liigutatakse maketi sees ringi vastavalt töötsooni suurusele. Kõik lugemid fikseeritakse logeris, mis automaatselt edastab info logeriga ühendatud arvutisse.

Rahvusvahelised partnerid

On mitmeid sarnaseid rahvusvahelisi laboreid, kus enne simulatsiooniprogrammide õpet analüüsitakse hoonete makette. Tulevatel aastatel on plaanis sisse viia ka üliõpilaste vahetusprogramm TTÜ ja teiste rahvusvaheliste laborite vahel.

Ameerika mandril on selliseid laboreid kokku 14, kellest TTÜ-l on hea koostöö kahega: Washingtoni ülikooli ja Boise'i ülikooli omadega. Järgnevalt nimekiri sarnastest laboritest Ameerikas.

Integrated Design Lab - Boise, Idaho

BetterBricks Daylighting Lab - Seattle, Washington

Energy Studies in Buildings Lab - Portland, Oregon

Energy Studies in Buildings Lab - Eugene, Oregon

Daylighting Lab - Spokane, Washington

Integrated Design Lab - Bozeman, Montana

Pacific Energy Center - San Francisco, California

California Lighting Technology Center - Davis, California

Lighting + Energy Technology Lab - Charlotte, North Carolina

Facilities Simulation Laboratory - Ann Arbor, Michigan

Lighting Research Center - Troy, New York

Loisos + Ubbelohde Associates - Oakland, California

The Weidt Group - Minnetonka, Minnesota

Direct Sun Test Lab - Auburn, Georgia

Euroopas on vastavaid laboreid kokku lisaks TTÜ omale kaheksa. Järgnevalt nimekiri Euroopa laboritest.

Solar Energy and Building Physics Lab - Lausanne, Switzerland

Centre Scientifique et Technique de la Construction - Lumiere, Belgium

Bartenbach LichtLabor - Innsbruck, Austria
Daylighting Lab College of Architecture - London, England
Integrated Design Lab Welsh School of Architecture - Cardiff, Wales
Daylighting lab - Copenhagen, Denmark
Integrated Design lab - Trondheim, Norway
Lighting + Energy Technology Lab - Torino, Italy

**TUT ENERGY AND INDOOR CLIMATE LABORATORY.
ENERGY SAVING THROUGH PASSIVE ARCHITECTURAL
COOLING AND/OR HEATING SYSTEMS DESIGN.**

Hendrik Voll, Teolan Tomson

Starting from July 1st in 2009 became into force the regulation number 258 („The Minimum Requirements for Energy Efficiency“) of The Republic of Estonia. The regulation states, that every new and significantly renovated building has to correspond to the minimum energy requirements of energy efficiency. In case the building does not fulfill the requirements stated in the regulation, the building has to be redesigned. Evaluation carried out at Tallinn University of Technology in cooperation with EKVÜ (Estonian heating and ventilation association) indicated that the current regulation has remarkable problems with application of the regulation. The main problem applying the regulation is the shortage of knowledge of simulation software amongst people applying it. There is a new energy and indoor climate laboratory established at Tallinn University of Technology in order to improve the knowledge of simulation software among the engineers and architects.

KÜTTEPUU SOOJUSENERGIA ALLIKANA EESTI KODUDES

Annes Andresson
MTÜ Eesti Pottsepad

Annotatsioon

Käesolevas artiklis käsitletakse küttepuid kui taastuva energiaallika kasutamist ahjukütusena ja kütteseadmete ökonoomsuse küsimusi. Euroopa Parlamendi Nõukogu poolt vastu võetud direktiivid kohustavad kõikides liikmesriikides suurendama taastuvate energiaallikate osatähtsust energiabilansis. Sellest tulenevalt peab Eestis taastuvenergia osakaal moodustama 2020. aastal 25%. Pottsepa poolt ehitatavatele ahjudele kehtestati alates 1. jaanuarist 2010 Euroopa norm EN 15544, mis sätestab nõuded küttekolde ja suitsulõõride ehitusele, et vähendada põlemisel tekkivate CO, NO₂, lendtuha ja orgaanikaga seotud süsiniku emissiooni. Põlemiskvaliteedi saavutamiseks on vaja teostada kütteseadme kolde ja lõõride arvutused, et kindlustada vähemalt 78%-line kasutegur, ning eeldatakse kuivade, 20%-lise niiskusega halupuude kasutamist.

Märksõnad: taastuvenergia, kütiskvaliteet, küttepuid, kütteseadme, järelpõlemiskamber, kütsestandard, heitgaasid, pottkiviahi, tellisahi.

Sissejuhatus

Inimkond on puust saadavat soojaenergiat kasutanud juba umbes 400 000 aastat - nii kinnitavad meile arheoloogilised leiud (<http://de.wikipedia.org/wiki/Brennholz>). Tänapäeva puukütete liigitame biomassi hulka. See on keskkonnasõbralik, kliima suhtes neutraalne, ökonoomne ning üheks alternatiiviks fossiilsetele kütustele.

Maakera kliimamuutused sunnivad EL vastavaid ametkondi ümber hindama oma energiapoliitikat, selleks et vähendada kasvuhooonegaaside kogust, mida inimkond iga päev õhku paiskab. Euroopa Parlamendi Nõukogu direktiivis „Taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise ja edendamise kohta ning direktiivide 2001/77/EÜ ja 2003/30/EÜ muutmise ning hilisema kehtetuks tunnistamise kohta” (2009/28/EÜ 23. aprill 2009) on püstitatud ülesanne viia taastuva energia osakaal aastaks 2020

8,5%-lt 20%-ni. Siit ka tuntud valem 20-20-20. See toob energia tootmises kaasa struktuurimuutusi ja energia kasutamise ökonoomsus tõuseb. Eesti riigi ülesandeks on tõsta taastava energia osakaalu 17,5-18%-lt 25%-ni. Sellised Euroopa Parlamendi Nõukogu direktiivid on EL riikidele kohustuslikud.

Küttepuu kui energiaallikas

Looduses kasvavaid puid on inimkond kasutanud soojuse saamiseks aastatuhandeid. Puu kui taastav energia seob kasvamisel sama palju CO₂, kui palju põlemisel eraldub. Sama kogus CO₂ eraldub ka puu mädanemisel. Halupuu on paljudes riikides muutunud kaasajal tõsiselt võetavaks energiaallikaks. Nii näiteks tõusis Austrias küttepuu 2007/2008. aastal elanikkonna kütusebilansis esimesele kohale, edestades õlikütet. Aastane tarbimine moodustab seal u 7 miljonit tihumeetrit ehk 10,1 miljonit m³ küttepuid.

Kasutades kodumaist kütust, toetame oma maa tootjat. Samal ajal on pidevalt kallinevad gaas ja nafta teinud küttepuid ahjukütusena konkurentsivõimeliseks. Poliitilised olud on Euroopa riigid muutnud Venemaalt saadava gaasi suhtes ettevaatlikumaks.

Pikka aega oli iseenesest mõistetav, et ahi seisis seal, kus sooja vajati. Eelmise sajandi keskel hakati ehitama kaugküttesüsteeme ja riik doteeris kütust, mis tegi kütteenergia kättesaadavaks ja üliodavaks ning energia tarbimine kasvas 2-3 korda. Nüüd, kui pole enam odavat energiat, näeme, kui võrd kallis see tegelikult on.

Kütteseadmed

Käesolevas artiklis vaatleme Eesti elanikkonna poolt põhiliselt kasutatavaid kütteseadmeid, nagu ahjud, pliidid ja kaminad, nende soojustehnilisi parameetreid, kui kütuseks on halupuu või puidubrikett, sest nende põletamiseks vajamineva kütteseadme kolde ja lõõristiku ehitusele esitatakse samasuguseid nõudeid. Andmed, millega tuleb opereerida, on osaliselt hinnangulised. Eesti Statistikaameti andmetel kasutati 2009.

aastal Eesti kodumajapidamistes 1654 tuhat tihumeetrit küttepuid (Statistikaamet 2009). Võttes arvesse, et 1 tihumeeter on 1,43 m³, saame 2365 tuhat m³ küttepuid. Oletame, et lepa kui küttepuu niiskusesisaldus on 30% ja puu kuivas terve suve, siis ruumimeetri kütteväärtuseks saame 1500 kWh/m³ ja kodumajapidamises kasutati soojuseks 3547,5 miljonit kWh. Statistikas ei kajastu erametsaomaniku raiemahtu. Nii võib metsaomanik endale ilma raieloata raiuda aastas maksimaalselt 20 tihumeetrit ehk 28,6 m³ puid. Erametsaomanikke on u 55 000 ja oletades, et neist 30 000 ikkagi raiuvad aastas oma vajaduseks 20 tihumeetrit, saame nende raie-mahuks 858 tuhat m³. See teeb kokku siis 3223 tuhat m³ puid ja 4834,5 miljonit kWh.

Ahjusid on ehitatud juba kaua. Vanim Eestis töötav ahjupotitehas asutati aastal 1837. See asub Tartus ning on pidevalt tootnud ahjupotte juba 172 aastat. Ahjude ökonoomsuse probleemidele on Eestis tähelepanu juhitud alles viimase 4-5 aasta jooksul. Siis tekkis meie meistritel selle vastu huvi ja kättesaadavaks said uuringud, mida Euroopas selles valdkonnas on tehtud. Puu vajab põlemiseks ruumi ja aega, seega peab kolde ruumala olema piisavalt suur. Pelletite kasutamine tavalises ahjus on raskendatud: nende põletamine vajab eritüübilist kollet ja pelletite juurdelisamise seadet. Ahjuehituse materjalidest rääkides peab ütlema, et nii meil müüdiv šamott-tellis kui ka ahjutellis pole eriti sobivad kütteseadmete ehituseks. Šamott on liialt tihedaks põletatud, omab väikest salvestusvõimet ja sobib rohkem tööstusliku ahju (karastusahju) ehituseks. Tellis aga on põletatud liialt kiiresti, seetõttu omab sisepeingeid ja on raskesti töödeldav. Tellisahi jõudis Eestisse Soomest. Soomlased võtsid omakorda sellise ahjutüübi ehituse üle Venemaalt ja täiendasid seda mõnevõrra, kuigi põhirõhk on ökonoomsuse asemel pööratud välimuse arendamisele. Tänapäeva Euroopas praktiliselt tellisahju ei ehitata. Mõnevõrra ehitatakse seda Euroopa endistes sotsialismimaades, nt Slovakkias. Peamiseks põhjuseks, miks meil tellisahju ehitatakse, on asjaolu, et tellisahi on praegu levinud ehitusviisi tõttu kiiremini valmiv ja mõnevõrra odavam. Samas jäetakse mainimata, et tellisahi kipub kütmisel lõhki minema, ta on ka väiksema võimsuse ja kasuteguriga. Reklaam ja hind on teinud sellest mineva too-

te, kuigi tema tööiga on keskmiselt viis aastat, siis vajab tellisahi juba remonti. Tellisahju pinnavõimsuseks loetakse 340 W/m²h, samal ajal kui meil ehitatavatel pottkiviahjudel on see 650 W/m²h (Eberl 2001).

Pottkiviahjud, mille väliskest ehitatakse kas glasuuritud pinnaga või glasuurimata ahjupotist (nn terrakotaahjupott), leiutati 14. sajandil Euroopa Alpi-aladel ja sealt levis ta Euroopa teistesse riikidesse (<http://de.wikipedia.org/wiki/Kachelofen>). Huvitaval kombel on ahjupott pidanud tänapäevani vastu ilma, et oleks läbinud olulisi muutusi, välja arvatud materjali koostise muutused, mida võimaldab tänapäeva tehnoloogia. Nii kasutatakse ahjupottide tootmisel loodusliku savi ja šamottsavi asemel segusid. Suuremad muutused on toimunud ahju lõõristiku ja kolde ehitusel, eesmärgiks on suurendada ahju soojusmahtuvust ja tõsta kütteseadme kasutegurit.

Uuendused ahju ehituses

Euroopa kaasaegne tööstus on hakanud ahju ehituseks valmistama mooduleid, millest pannakse kokku lõõristik ja ahjukolle, kus materjaliks on mitmest komponendist kokku pressitud ja 950 kraadi juures põletatud detailid. Selliseid mooduleid nimetatakse keraamilisteks moodulsalvestiteks (KMS). Saadud moodulite tihedus on 2,6 kg/dm³, erisoojus ehk soojusmahtuvus on 1,6 kJ/(kg K) kohta. Ahjutellisil on need näitajad järgmised: tihedus 1,8 – 2,0 kg/dm³ ja soojusmahtuvus 0,8 - 1,0 kJ/(kg K) (Ortner 2009). Sellistest moodulitest ehitatud ahju lõõristik võimaldab ehitada suurema soojusmahtuvusega ahjusid, mis taluvad hästi kütmissükleid. Ahju väliskest paikneb moodulitest 5 – 40 cm kaugusel, mis võimaldab ahju välispinda suurendada ja sellega kasvab ka ahju koguvõimsus.

Kolde ehitamisel on arvestatud optimaalse põlemisega, et kolde lae all olevate suitsugaaside temperatuur oleks võimalikult kõrge - seal küünib maksimumtemperatuur 730 kraadini. Koos piisavalt pikkade suitsulõõridega ja õigete suitsulõõride ristlõigetega kindlustatakse ahju suur kasutegur (80-85%). Veelgi paremaks osutub järelpõlemiskambriga ahi. Järelpõlemiskamber kujutab endast kolde kohal paiknevat kinnist kamb-

rit, kuhu juhitakse kolde suitsugaasid ja kus toimub CO-gaasi lõplik põlemine. Nagu uurimused kinnitavad, on selleks vaja kambrisse läbi düüsi juhtida ettekuumutatud õhku (u 650 kraadi). Düüsi läbimisel pannakse erinevad komponendid segunema, et kindlustada kambris põlemata CO põlemine, ja temperatuur tõuseb 900 kraadini. See protsess on keeruline, sest kuum õhk seguneb halvasti CO-ga ja ettekuumutatud õhku tuleb soojendada kolde enda soojuse abil.

Selline süsteem võib kütteseadme kasuteguri viia 92%-ni (Madaus 1999). See on ka piir, sest suitsugaaside väljajuhtimiseks peavad suitsugaasid säilitama temperatuuri, mis kindlustab nende väljumise korstnast. Lihtsam koldevariant on, kui kolde seintesse ümber kolde on tehtud õhukanalid, mis paiknevad kolde põhjaga paralleelselt, on 2/3 kõrgusel kolde põrandast ja avanevad koldesse. Ettesoojenenud õhk kiirendab ja ühtlustab põlemist koldes. Sellist kollet tuntakse Rathi kolde nime all (Pfestorf 2002). Et toimuks suure kasuteguriga põlemine, on vajalik, et koldes tekiks suitsugaasidel kõrge temperatuur ja suitsugaaside suubumisel korstnasse oleks temperatuur u 170 kraadi. Selleks on välja töötatud automaatika, mis kontrollib ja reguleerib õhu juurdepääsu koldesse ja põlemise lõpul sulgeb siibri ja ukseavad.

Uued Euroopa normid ahjuehituses

Kütteseadmete heitgaasidele on EL-is kehtestatud ranged normid. Normi eelkäijaks oli Austria standard ÖNORM 8302, mis kehtis Austrias 1999. aastast. 2009. a kinnitas EL tehniline komitee CEN/TC 295 normi EN 15544, mis on soovituslik kõigile 27-le EL riigile, samuti Šveitsile ja Maltale. Standard kehtib alates 1. jaanuarist 2010 ja reguleerib pottsepa poolt kahheltkottidest laotud või krohvitud välispinnaga ahjude ehitusnõudeid. Norm puudutab käsitsi ehitatud (mitte monteeritavaid ahjusid), mille küttepuukogus ühekordsel kütmisel on 10 – 40 kg, puu niiskussisaldus 20% ja ahju salvestuskestus 8 – 24 tundi. Antud standardi järgi ehitatud ahju kasutegur on minimaalselt 78% ja heitgaasides sisalduvate ainete kogused ei ületa järgmisi norme: CO - 1500 mg/m³ (1000 mg/MJ), NO₂ – 225 mg/m³ (150 mg/MJ), taimsete ainete seotud süsinik – 120 mg/

m³ (80 mg/MJ), lendtuha osakesed - 90 mg/m³ (60 mg/MJ) (Europäische Norm EN 15544, 2009). Ühtsete normide kehtestamine võimaldab vähendada kahjulike ainete hulka heitgaasides, ühtlustab normid EL-is ja võimaldab pottseppadele välja töötada EL-i kutsestandardi.

MTÜ Eesti Pottsepad tegeleb pottseppade koolitustega juba kolm aastat. Olles Euroopa pottseppade liidu VEUKO liige, on meil juurdepääs informatsioonile, mida avaldatakse liidu väljaannetes. Selle põhjal saame hinnata kütteseadmete ehituse olukorda Eestis. Pottseppade koolitust on toetanud kutsehariduskeskus, kus on olemas ruumid, tingimused ja soov meiega koostööd teha. Kuid Euroopa arenenud riikide sarnased organisatsioonid, nagu MTÜ Eesti Pottsepad, töötavad sageli koostöös oma riikide kõrgkoolidega ja on oma riigi poolt osaliselt finantseeritavad. Firmad, kes toodavad ahjuehituseks materjale või monteeritavaid ahjusid, lasevad sageli teha vastavaid uuringuid oma toodangu kohta ja tulemused on kõigile huvilistele kättesaadavad. Eestis kahjuks vastav koos- ja uurimistöö puudub. Olgu lisatud, et Euroopas hinnatakse ahikütte osakaalu elanike küttebilansis 23%-le ja see suureneb.

Probleemid ja ülesanded

Meil puudub korrektne küttepuudestandard, mis fikseeriks nõuded, milleid küttepuid võib elanikkonnale müüa. Kutsestandard on küll olemas, kuid seda tuleks muuta, sest Euroopa nõuded on muutunud.

Puudub organisatsioon, kes omistaks pottsepakutse. Praegu puudub kutsehariduses pottseppade koolitus. Toimuvad küll täiendkoolitused ja nädalased müürsepp-ahjuladuja kursused. Selliste kursuste algatajateks olid 1990. aastate alguses soomlased.

Vaja oleks uurida vanasid ahjusid, mis on möödunud sajandil Eestis ehitatud, nende soojustehnilisi parameetreid ja erinevaid ahjutüüpe. Osa ahjutüüpe, näiteks nn Tartu ahi, on kadumas, sest pole spetsialiste, kes oskaks ehitada.

Puuduvad uuringud, kuidas sobivad meie ahjuehitusmaterjalid ja -segud omavahel. Tehnilised vahendid võimaldavad küllaltki täpselt mõõta ahju soojuslikke parameetreid, nt kasutegurit, võimsust, soojuse salvestuskeskust. Kütteseadme ökonoomsusest ei räägi keegi. Tõsi, sellised uuringud Euroopas ilmusid raamatuna juba eelmise sajandi keskel (nt K. H. Pfesstorf 1975).

Kasvab vanade ahjude restaureerimise vajadus. Meil on Eestis kaitstud mõned dissertatsioonid vanade ahjude kohta, kus kirjeldatakse põhiliselt ahju välimust, käsitletakse ajaloolist aspekti, kuid puuduvad ahju sisemise konstruktsiooni uuringud. Tihti võib kohata sellist olukorda, et inimesed ei oska ahju kütta. Ahjus põletatakse prügi, ahju ei puhastata regulaarselt, ahju kütmisel kasutatakse niiskeid ja suuremõdulisi halupuid. Soovitav on kütta halupuuga, mille niiskussisaldus on 20%. Selline halupuu peaks kuivama lõhutuna riidas 1,5 aastat. Kütta tuleb intensiivselt ja kogu puude kogust ei tohi korraga koldesse laduda. Juhul, kui ruum on hästi soojustatud ja puuduliku ventilatsiooniga, tekib põlemisel hapnikupuudus ja ahi ei tööta korralikult.

Kokkuvõte

Energia säästmisel pole oluline üksnes rahaline külg, see on kujunemas tähtsaks keskkonna kaitseviisiks. Ahjus küttepuid põletamisel salvestunud soojus levib ruumi põhiliselt kiirgussoojusena, mis keskkütte soojusega võrreldes on inimesele hubasem ja tervislikum. Nii rikkad kui ka vaesed on aegade jooksul hinnanud hubast soojust, mida annab ahi. Ahiküte ei ole ka kaasajal oma tähtsust minetanud. Uuendused ahju ehituses, näiteks kolde, lõõride ja korstna tehnilised arvutused, põlemist kontrolliv automaatika, heade omadustega materjalid ja oskajad meistrid, võimaldavad tõsta ahju kui kütteseadme osatähtsust taastuva energiaallika kasutajana.

Kasutatud kirjandus

Eberl, G., Fachkunde für Hafner. Wien: Pichler-OEBZ GmbH & Co. KG, 2001, lk 90-99.

Europäische Norm EN 15544. Europäisches Komitee für Normung, juuli 2009.

Madaus, Ch., N. Henhagl, Der Kachelgrundofen. Waiblingen: Verlag Gustav Kopf GmbH, 1999, lk 120-131.

Ortner Ceramics and Combustion. Loosdorf, Bez. Melk: Ortner GmbH, 2009, lk 10-11.

Pfestorf, K. H., Kachelöfen und Kamine. Berlin: Verlag Bauwesen, 2002, lk 112-135.

Tahkekütuse bilanss. – Statistikaamet, 2009. Tabeli kood KE023.

<http://de.wikipedia.org/wiki/Brennholz> (27.01.2008)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Kachelofen> (05.10.2010)

USING FIREWOOD AS HEATING SOURCE IN ESTONIAN HOMES

Annes Andresson

Energy economy has to be treated not only from the financial point of view; it is becoming an important way of environment protection. Heat that is produced when firewood is burnt mainly distributes as radiant heat, which, compared to the effect of central heating is more pleasant and healthy. Over time, the rich and the poor alike have benefited by using stoves for heating. They continue to be used nowadays, as well. Innovations in the construction of stoves, for example, in the technical characteristics of the stove bottom, flues, and chimney, use of automatic controllers of the heating process and high quality materials, availability of skilled personnel allow fostering the role of stove heating as a source of renewable energy.

PILLIROO ENERGEETILISE KASUTAMISE TEHNILIS- MAJANDUSLIKUD JA KESKKONNAKAITSELISED ASPEKTID

Triin Aavik¹, Ülo Kask²

¹AS Eesti Energia, Laki tn 24, 12915 Tallinn, e-post: triin.aavik@energia.ee

²Tallinna Tehnikaülikooli soojustechnika instituut, Kopli 116, 11712 Tallinn,
e-post: ylo.kask@ttu.ee

Annotatsioon

Käesolevas artiklis käsitletakse lühidalt nii suvel kui ka talvel kogutava pilliroo kui energeetilise kütuse põlemistehnilisi omadusi ja saagikust ning antakse ülevaade selle energiaks muundamise mõnedest võimalustest. Vaagitakse pilliroo varumisega kaasnevaid kulutusi ja riske. Hinnatud on pilliroo kui kütuse maksumust arvestades kogu varumisahelat. Uudsenä on käsitletud, kuidas mõjutab talvisest pilliroost soojuse tootmise ahel keskkonda.

Märksõnad: pilliroog, energeetiline kütus, varumisahel, biokütus.

Sissejuhatus

Energiamajanduse üheks peamiseks võtmeküsimuseks on säästva ja jätkusuutliku arengu tagamine. Arvestades Euroopa Liidu heitmekaubanduse kui keskkonnapoliitilise meetme rakendamise, kütusehindade tõusuga maailma turgudel, energia tarnimisega seotud probleemide teravnemise ja energeetilise julgeoleku tagamise vajadusega, mängib tänapäeval üha suuremat rolli taastuvatel energiaallikatel baseeruva energia tootmine. Siiani ei ole suuremat rakendust leidnud Lääne- (sh saarte) ja Põhja-Eesti ranniku ning järvedeäärsetes piirkondades kasvav biomass, eeskätt pilliroog, mis on üheks võimalikuks alternatiiviks maapiirkondades, toetades seeläbi hajutatud energia tootmist.

Pilliroo kui energeetilise kütuse omadused

Pilliroo omadused olenevad koristusaja (talvine või suvine periood) kõrval ka roostiku kasvualadest (järve- või mereäärne piirkond). Vaadates tabelis 1 esitatud pilliroo põlemistehnilisi omadusi [1], nähtub, et suurim

on erinevus talvise ja suvise pilliroo, väiksem aga ranniku- ja järveäärse pilliroo (edaspidi mereroog ja järveroog) vahel.

Tabel 1. Pilliroo põhilised põlemistehnilised omadused. [1]

Table 1. Main burning characteristics of reed fuel. [1]

Põhilised omadused	Mereroog		Järveroog	
	talv	suvi	talv	suvi
Niiskus, %	23,7	60,4	21,1	60,5
Kuivaine saagikus, t/ha	6,9	8,7	8,1	7,4
Lendosised, %	82,0	75,7	82,3	77,1
Kuivaine tuhasus (550 °C juures), %	3,5	6,3	3,1	5,7
Kuivaine alumine kütteväärtus, MJ/kg	17,0			

Talvisel perioodil on mere- ja järveroog niiskuse erinevus 2,6%, mis suvisel perioodil on peaaegu olematu. Võrreldes talvise ja suvise pilliroo proovide keskmist niiskust, näeme, et talvise niiskus (22%) on suvisest (60%) ligi kolm korda väiksem. Talvise mereroog kuivaine saagikus, võrreldes talvise järverooga, on keskmiselt 1 t/ha võrra väiksem, kuid suvel umbes 1 t/ha võrra suurem. Talvise pilliroo kuivaine saagikus (7,5 t/ha) ei erine oluliselt suvisest (8,0 t/ha). Lendosiste sisalduse erinevus piirkonniti puudub, kuid talvises pilliroos on neid ligi 8% rohkem. Sama saab öelda tuhasuse piirkondliku erinevuse kohta, kuid suvise pilliroo tuhasus on talvisest ligi 5% suurem. Pilliroo kuivaine alumine kütteväärtus on keskmiselt 17 MJ/kg ega sõltu sellest, millal ja kust on see niidetud.

Pilliroo põlevaine komponentideks on süsinik, vesinik, lämmastik, hapnik ja väävel, millest peamised koostisosad süsinik ja vesinik moodustavad keskmiselt 55%. Tabelis 2 esitatud mõnede kütuste põlevaine elementkoostist analüüsides nähtub, et võrreldes puidu ja turba põlevaine koostistega on järve- ja mereroog põlevaines vastavalt 18% ja 10% vähem süsinikku, samas vesinikku on nii järve- kui ka mereroog põlevainete koostistes keskmiselt 8% enam kui turba ja puidu põlevaines [1, 2, 3]. Hapnikusisaldus on järve- ja mereroog põlevaines keskmiselt 23% võrra suurem kui turba põlevaine koostises ja 1% võrra väiksem kui puidu põlevaine

koostises. Järve- ja mereäärse pilliroo põlevaine keskmine lämmastikusisaldus on puidu omast 34% võrra suurem ja turba omast 70% võrra väiksem.

Tabel 2. Mõnede kütuste põlevaine elementkoostis. [1, 2, 3]

Table 2. Elemental content of some biofuels. [1, 2, 3]

Biokütus	Põlevaine koostis, %				
	C ^p	H ^p	S ^p	N ^p	O ^p
Järveroog	46-48	6-8	0,02-0,2	0,24-1,32	37-47
Mereroog	46-48	6-8	0,01-0,3	0,23-1,81	37-47
Turvas	55-60	6-7	0,4-0,6	2-3	30-35
Puit	50-55	6-7	0,05	0,5	40-45

Pilliroo kasutusvõimalused energeetikas

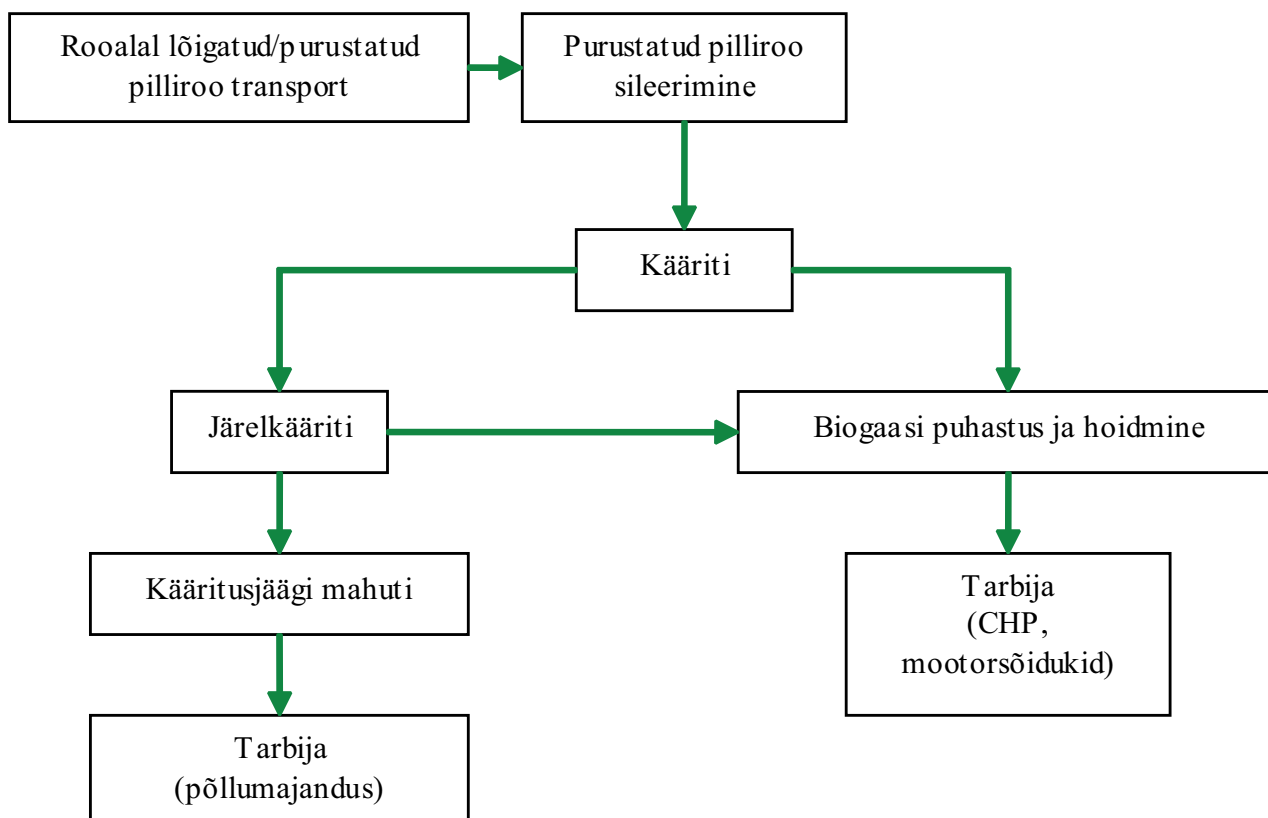
Vaadeldes nii järve- kui mereroo talviseid ja suviseid omadusi, tundub olevat suvel kogutud pilliroogu otstarbekam biogaasiks kääritada kas eraldi või koos erinevate biojäätmega. Rohkse biomassi anaeroobse kääritamise tehnoloogilisi lahendusi on maailmas väga suures valikus, mille konfiguratsioon sõltub eelkõige kääritatava tooraine omadustest ja planeeritava biogaasijaama asukohast. Substraadi kuivainesisalduse alusel eristatakse kahte anaeroobset kääritamismeetodit:

- madala kuivainesisaldusega anaeroobne kääritamine (nn märgmeetod, mille korral kääritatav substraat on pumbatav);
- kõrge kuivainesisaldusega anaeroobne kääritamine (kuivmeetod, mille korral kääritatav substraat on kuhjatav) [4].

2007. ja 2008. aastal viidi TTÜ Keemiainstituudis (TTÜ Soojustehnika instituudi tellimusel) läbi pilliroo biogaasistamise katsed. Katsetulemusena saadi pillirooproovide keskmiseks biogaasisaagiseks ehk toogiks 179 m³/t märgmassi kohta, mis on ligilähedane paljude muude taimede biogaasitoogile (nt mais, rohusilo jt) [5]. Saadud biogaas koosnes keskmiselt 51% metaanist, 39% süsihappegaasist, 9% lämmastikust ja 1% määramatata ühenditest. Toodetud biogaasi saab põletada soojuse ja elektri koostootmisjaamades ning kasutada puhastatuna mootorsõidukite kütuse-

na. Põhimõtteline skeem pilliroo vääristamisest biogaasiks ja selle hilisemast kasutamisest on toodud joonisel 1 [1].

Talvisel perioodil kogutud pilliroogu võib nii purustatuna kui ka rulooni, suurpakki, pelletiteks või brikettideks pressituna põletada kas katlamaja-



Joonis 1. Pilliroost biogaasi tootmise põhimõtteline skeem. [1]

Figure 1. Scheme of production of biogas from reed. [1]

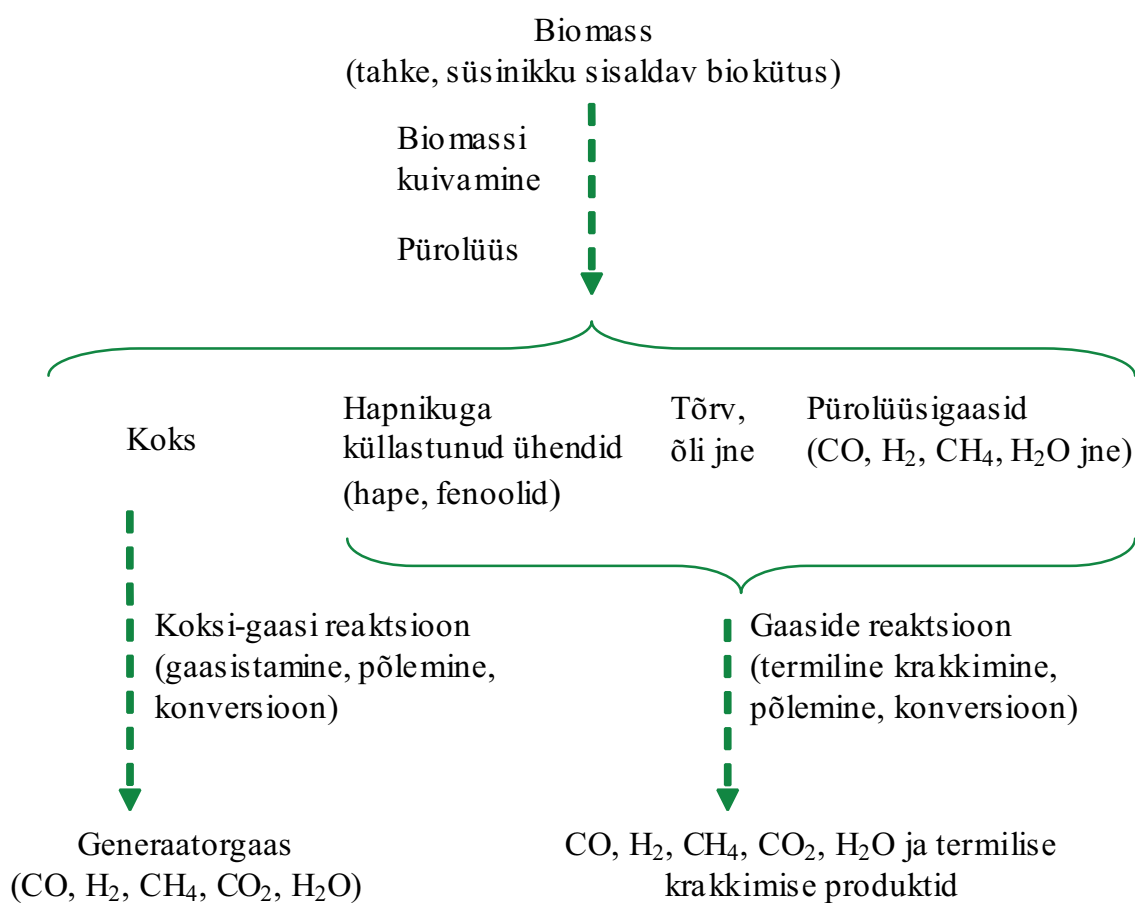
des või viimaseid ka kodumajapidamise ahjudes.

Purustatud pilliroo põletamiseks sobivaimad on keevkihtkolded ja hästi reguleeritavad restkolded. Võttes arvesse suuremate rooalade asukohti (Matsalu, Sutlepa, Peipsi järv jt), on majanduslikult otstarbekas toota energiat roostike vahetus läheduses asuvates asulates, kuhu sobivad väiksema võimsusega ($\leq 1\text{MW}$) restkoldega katlad. Talvisest pilliroost pressitud suurpakke ja ruloone on võimalik kasutada tulemusrikkalt nii väiksemates kui ka keskmise võimsusega (1-5 MW) erinevat tehnoloogiat ja seadmeid kasutavates põletusseadmetes.

Pilliroopelleid saab põletada *stoker*-tüüpi põletiga väikestes ja keskmise suurusega automatiseeritud kateldes ning pelletikaminates. Pilliroobrikette on võimalik kasutada keskmise suurusega automatiseeritud tahkekütusekateldes, käsitsi teenindavates väikekateldes, kaminates ja ahjudes. Kõikide kollete puhul tuleb arvesse võtta pilliroo põlemisel tekkivat suurt tuhakogust, mis võib põhjustada ummistusi ja kütuse mittetäielikku põlemist. Leevendavate meetmetena tuleks kasutada tuhaarastussüsteeme ja vajadusel põleva kütusekihi segamist.

Nii talvel kui ka suvel lõigatud pilliroost on võimalik termokeemilise muundamisega toota generaatorgaasi (joonis 2), mida saab kasutada gaasimootorites ja -turbiinides, keemiatööstuses toorainena ning vedelate biokütuste tootmisel. Termokeemilisel muundamisel on eelistatum siiski talvisel perioodil kogutud pilliroog, kuna tänu suurele (kuni 85%) SiO₂-sisaldusele on selle tuha sulamistemperatuurid kõrgemad kui suvisel perioodil kogutud pillirool. Generaatorgaasi tootmisel on peamine probleem selle puhastamine, tehnoloogilise lahenduse keerukus ja produkti kõrge omahind.

Lisaks eelnimetatud kasutusviisidele saab talvisest ja suvisest pilliroost valmistada teise põlvkonna vedelaid biokütuseid (bioetanool, biodiiseli, bio-DME, biometanool), asendades seeläbi põllukultuuride kasutamist. Pilliroo kuivaine sisaldab tselluloosi keskmiselt 40,88%, hemitselluloosi 23,57% ja ligniini 9,06% (Põllumajandusuuringute Keskus TTÜ STI tellimusel). Võrreldes teiste lignotselluloossete biokütustega (tabel 3), sarnaneb pilliroog kõige enam nisuõlgedega (tuhasus on pillirool kuni 9,4% nisuõlgedest madalam) [1, 7]. Puitkütustel on tselluloosi-, hemitselluloosi- ja ligniinisaldus kõrgem ning tuhasus madalam kui pillirool, mistõttu pilliroost teise põlvkonna vedelate kütuste tootmine võib osutuda puidust komplitseeritumaks.



Joonis 2. Biomassi gaasistamisprotsessi põhimõtteline skeem. [6]

Figure 2. Scheme of thermal destruction of biomass and gas production. [6]

Tabel 3. Lignotselluloosse biomassi koostis. [1, 7]

Table 3. Content of lingo-cellulosic biomass. [1, 7]

Biokütus	Tselluloos	Hemitselluloos	Ligniin	Tuhk
Lehtpuu	45 ± 2%	30 ± 5%	20 ± 4%	0.6 ± 0,2%
Lehtpuu koor	22 – 40%	20 – 38%	30 – 55%	0.8 ± 0,2%
Okaspuu	42 ± 2%	27 ± 2%	28 ± 3%	0.5 ± 0,1%
Okaspuu koor	18 – 38%	15 – 33%	30 – 60%	0.8 ± 0,2%
Nisuõled	37 – 41%	27 – 32%	13 – 15%	11 – 14%
Pilliroog (keskmised väärtused)	40,88%	23,57%	9,06%	4,60%

Teise põlvkonna biokütuste tööstuslikku tootmist veel ei toimu, kuna tootmishind on kõrge ja vastavaid tehnoloogiaid ei ole veel kaubanduslikuks arendatud. Samas ei ole tehnoloogia arenedes välistatav, et just teise põlvkonna biokütused (lignotselluloosist) mängivad lähitulevikus vedelkütuste turul olulist rolli.

Pilliroo turustamine

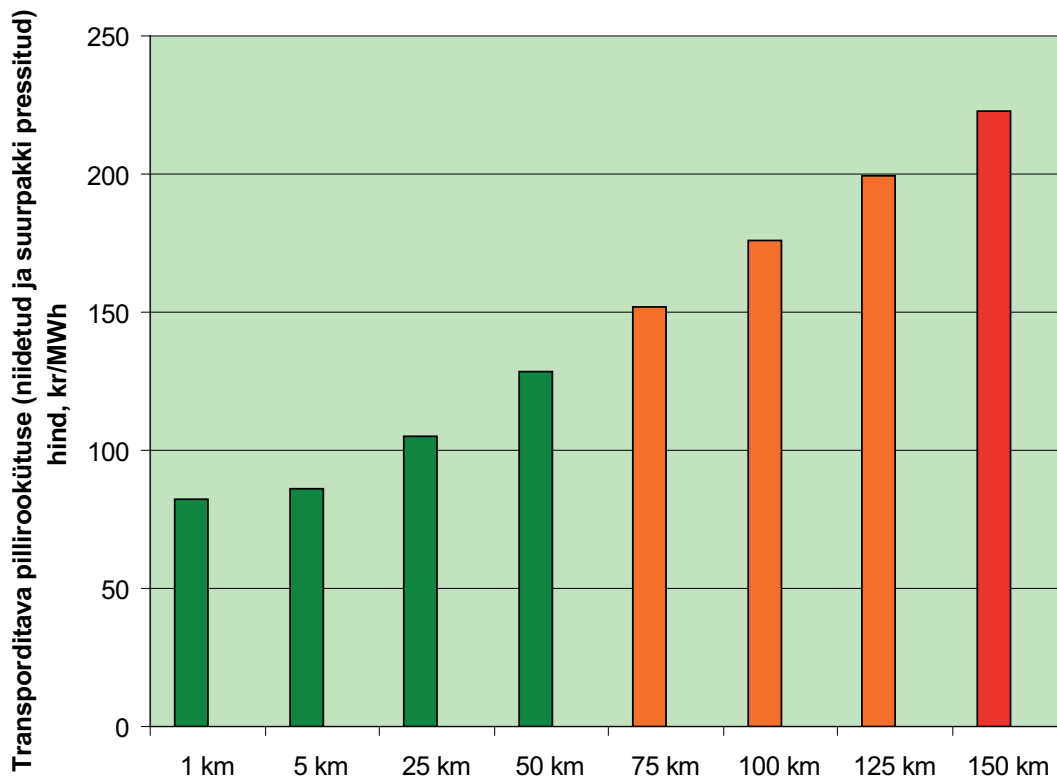
Euroopa Liit näeb energiatootmises ette üha suuremat taastuvenergeetika osakaalu, mille tagajärjel peaks pidevalt kasvama biokütuste nõudlus. Nõudlus soodustab enim levinud biokütuste kõrval ka seni kasutamata või vähe kasutatud biomassi rakendamist.

Pilliroo kasutamine energeetikas sõltub biokütuse hinnast turul. Kui võtta piiriks puitkütuse hind katlamajas, siis 2008. aasta ja 2009. aasta esimese poole keskmise tükeldamata ning lõhkumata küttepuidu jaehinna alusel on piirhinnaks 202 kr/MWh (404 kr/tm) [8]. Kas antud piirhinna juures suudaks pilliroost toodetud kütused olla konkurentsivõimelised?

Pilliroost valmistatavate biokütuste hind kujuneb järgmiste osategevuste kulutustest:

- pilliroo niitmine roostikes,
- niidetud roo töötlemine,
- niidetud ja töödeldud roo transportimine ja ladustamine.

Rohtse biomassi varujate sõnul on Eestis ühe tonni niidetud (traktori järel oleva niidukiga niitmine) biomassi maksumuseks keskmiselt 23 krooni, ühe tonni suurpakki pressitud (traktori järel oleva suurpakipressiga pressimine) biomassi maksumuseks 300 krooni ja ühe tonni biomassi transporti maksumuseks 4 krooni. Nende andmete põhjal selgub, et ühe tonni niidetud ja suurpakki pressitud pilliroost (keskmine tarbimisaine alumine kütteväärtus 3,97 MWh/t) toodetud biokütuse transportimine (joonis 3) maksab (ilma igasuguste toetusteta) 25 km raadiuses keskmiselt 416 krooni (105 kr/MWh), 75 km raadiuses keskmiselt 604 krooni (152 kr/MWh) ja 125 km raadiuses keskmiselt 791 krooni (199 kr/MWh) [1].



Joonis 3. Ühe tonni niidetud ja suurpakki pressitud pillirookütuse transportimise hind sõltuvalt vahemaast. [1]

Figure 3. The transportation cost of mowed and baled reed depend on distance. [1]

Seega on suurpakki pressitud pilliroogu optimaalne transportida kuni 50 km raadiuses asuvatesse katlamajadesse või soojuse ja elektri koostootmise jaamadesse, kuna sel juhul oleks biokütuse keskmiseks hinnaks kuni 129 kr/MWh, mis tagaks konkurentsivõime puitpõhiste kütuste (hakkpuit jt) kõrval ja muutuste tekkimisel biokütuste turul.

Pilliroo energiaks muundamisega kaasnevad riskid

Energiamajanduses on oluline riskide maandamine ja võimalusel nende vältimine, et tagada varustuskindlus ja jätkusuutlikkus. Seoses ELi eesmärkidega kasutada biokütuseid varasemast rohkem, on äärmiselt tähtis teada ja hinnata nende kasutamisega kaasnevaid riske. Analüüsimise tulemusena on võimalik riske vältida või vähendada, minimeerides seeläbi võimalikke kahjusid ja suurendades biokütuste kasutamisest saadavat tulu.

Pilliroo energiamuundamisega kaasnevad riskid on seotud kogu tootmisahelaga. Riskivaldkondi võib grupeerida järgmiselt:

- pilliroo niitmine ja töötlemine,
- pilliroost toodetud biokütuse turustamine,
- energia muundamine.
- Riskide lihtanalüüsimise tulemusena selgus viis kõige suurema riskitasemega aspekti:
- tooraine kättesaadavus (niitmispiorangud, inim- ja looduse mõjud) ja piisavus;
- toorme hinna iga-aastane kõikumine;
- sobivate tehnoloogiliste lahenduste arendamine ja olemasolevate täiustamine, et probleemideta toota pilliroost tahkeid, gaasilisi ja vedelaid biokütuseid;
- probleemid pilliroo põletamisel;
- tootmisalade hajusus [1].

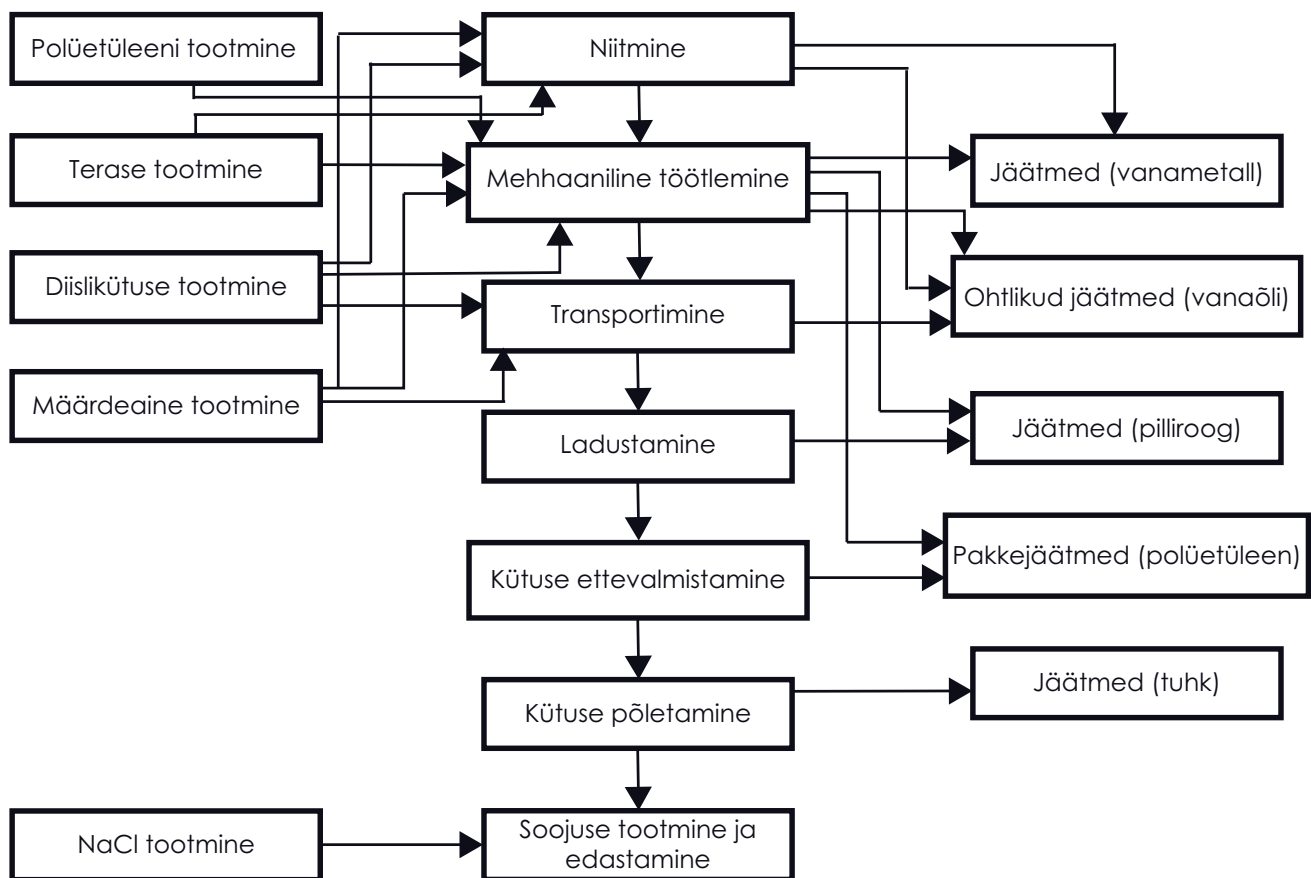
Arvestades eelnimetatud ja kehtivat energiapoliitilist suunda, on vaja riskitegurite leevendamiseks teha täiendavaid uuringuid ning tehnoloogilist arendustööd, et toetada Eestis rohtsete biokütuste, sh pilliroo energeetilist kasutamist.

Talvisest pilliroost saadava soojuse tootmisahela mõju keskkonnale

Inimtegevus on paratamatult seotud ümbritseva keskkonna mõjutamisega. Üheks suurema keskkonnamõjuga valdkonnaks on energiamajandus, mis baseerub veel suuresti piiratud varudega ja negatiivse keskkonnamõjuga fossiilsetel kütustel, kuid areneb pidevalt keskkonnasäästlikkuse ja jätkusuutlikkuse suunas. EL on üheks põhiliseks eesmärgiks seadnud taastumatute energiaallikate osakaalu vähendamise energia tootmisel. Lisaks eeldatakse, et bioenergia kasutuse keskkonnamõjud on väiksemad. Kas see ikka on nii?

Pilliroo (rohtse biomassi) energeetilisel kasutamisel tekkida võivaid keskkonnamõjusid ei ole seni Eestis põhjalikult uuritud. Antud töö raames analüüsiti talvel varutud pilliroost saadava soojuse ahela peamisi keskkonnamõjusid ja hinnati kogu tootesüsteemi olelusringi. Hindamise

aluseks võeti Lääne-Eestis Matsalu rahvuspargis asuv pilliroo kasvuala ja selle vahetus läheduses asuv ASi Lihula Soojus katlamaja, mis on varustatud rohtset biomassi põletava katla, vastava lao ja etteandesüsteemiga. Tehnoloogiliste lahendustena (koostöö AS Mecroga) kasutati parimat võimalikku põllumajandustehnikat (vastab Tier III emissioonide standardile), mis võimaldab pilliroogu efektiivselt ja keskkonnasäästlikult koguda. Olelusringi etappide vahelisi seoseid ja suhteid keskkonnaga analüüsiti Soome Tselluloosi- ja Paberitööstuse Uurimisinstituudi poolt välja töötatud tarkvaraga KCL-ECO 3.0. Selle töökeskkonda moodustati uuritava tootesüsteemi etappide skeem (joonis 4) koos sisendite, väljundite ja abimaterjalidega. Lähteandmed saadi TTÜ Soojustehnika instituudis tehtud pilliroo põletuskatsete tulemustest, arvutustulemustest ja andmebaasidest (KCL EcoData, PWMI, IISI andmebaas, Fortum). KCL-ECO-ga tehti ka kogu protsessiülene arvutus vastavalt talitlusühikule. Olelusringi hindamise talitlusühikuks (tootesüsteemi koguseliselt määratud tulem, mida



Joonis 4. Pilliroost toodetava soojuse tootesüsteemi skeem. [1]
Figure 4. The scheme of production system on reed heat. [1]

kasutatakse olelusringi hindamise uuringus võrdlusühikuna) on kütteperioodil tarbijateni jõudev soojushulk 1000 MWh (3600 GJ) [1].

Tootesüsteemi skeemi sisendite ja väljundite põhjal saadi arvutustulemused. Võttes arvesse kogu tootesüsteemis esinevaid kadusid, tuleks Matsalus asuvalt niitealalt koguda keskmiselt 449 t (1784 MWh) pilliroogu, mille suurpakki pressimise, transportimise, ladustamise ja katlas põletamise järel jõuaks tarbijani 1000 MWh soojust.

Talvel varutud pilliroost 1000 MWh soojuse tootmise ja Lihula katlamaja näitel koostatud olelusringi inventuuranalüüsi käigus selgus, et põhiline osa välisõhu heitmetest tekib pilliroo suurpaki põlemisprotsessis ja transportimisel:

- süsinikoksiidi – 5106 kg,
- süsinikdioksiidi – (biogeenne) 460 kg,
- süsinikdioksiidi – (fossiilne) 5359 kg,
- lämmastikoksiide – 449 kg,
- tahkeid peenosakesi – 1023 kg,
- vääveldioksiidi – 50 kg,
- lenduvaid orgaanilisi ühendeid – 6 kg [1].

Lisaks õhuheitmetele tekib tootesüsteemis jäätmeid nii vanaõli, polüetüleenini kui ka pilliroo jääkide ja tuha näol. Suurema osa ohtlikest jäätmetest moodustab mootorsõidukite vanaõli (97%) ja väiksem osa pärineb abimaterjalide tootmisest (kokku 2,7%). Tavajäätmed pärinevad peamiselt terase kui abimaterjali tootmisest [1].

Talvel varutud pilliroost soojuse tootmise olelusringis mängib veeheitmete tekkimisel suurt rolli abimaterjalide, eelkõige polüetüleenini tootmine. Vette emiteeritavad ühendid on järgmised:

- hõljuvained - 0,17 kg,
- lahustunud tahked ained - 0,14 kg,
- metallid - 0,08 kg,
- süsivesinikud - 0,04 kg [1].

Vees sisalduvate bioloogiliselt lagunevate ainete kontsentratsiooni iseloomustav bioloogiline hapnikutarve on keskmiselt 0,03 kg ja orgaaniliste ainete, oksüdeeruvate raua- ja mangaaniühendite ning sulfidide sisaldust vees iseloomustav keemiline hapnikutarve on keskmiselt 0,1kg [1].

Tootesüsteemi olelusringi mõju hindamisel ja analüüsimisel ilmnes, et suurem osa kliimamuutusi põhjustavatest emissioonidest tekib pilliroo transportimisel niitealalt ladustamispaikadesse (keskmiselt 62%). Troposfääri osoonikihi tekkimist, hapestumist ja maapinna ning vee eutrofeerumist põhjustavaid heitmeid tekib enim pilliroo põletamisel (keskmiselt vastavalt 96,5%, 93%, 94% ja 94% kogumõjust) [1]. Põletamisel on suurim mõju inimtervisele vingugaasi ja tahkete peenosakeste emiteerimise näol.

Siiani on propageeritud biomassi kasutust energeetikas kui ülikeskkonnahoidlikku lahendust, ignoreerides tegelikke bioenergia tootmise tagamaid. On selge, et pilliroo kui loodusliku biomassi kasutamisega kaasnevad ka negatiivsed keskkonnamõjud. Mõju leevendamiseks on võimalik pilliroo veonduse logistilisi lahendusi optimeerida (nt leida katlamajast eemal asuvate vaheladude asemele alternatiivseid ladustamispaiku) või asendada fossiilne mootorikütus mõne vedela biokütusega. Lisaks saab pillirookütuse põletamisest tingitud keskkonnamõju vähendamiseks rakendada heitmete püüdmiseks sobivaid seadmeid ja efektiivset tehnoloogiat.

Kokkuvõte

Lääne- ja Põhja-Eesti rannikualadel ning järveäärsetes piirkondades (Peipsi järv, Võrtsjärv) kasvava pilliroo biomass oleks meie maapiirkondades säästliku ja jätkusuutliku energeetika arengu tagamise üks võimalik vahend.

Energeetilise pilliroo varumisel on majanduslikult otstarbekam kasutada nüüdisaegseid põllumajandusmasinaid, niidetud roomassist on võimalik toota vääristamata (purustatud, suurpakki või rulooni pressitud) või vää-

ristatud (pilliroopelletid, -briketid, biogaas, generaatorgaas, teise põlvkonna vedelad biokütused) biokütuseid. Arvestades pilli-roo ressursse ja selle paiknemist, oleks mõistlik pilli-roost toodetud biokütuseid kasutada eelkõige lokaalsetes väikese ja keskmise võimsusega katlamajades või soojuse ja elektri koostootmisjaamades (konkurentsivõime tagamiseks peaks tootmisobjekti optimaalne kaugus lõikealast olema kuni 50 km), aga ka lisandina fossiilkütustele, puhtana sõidukite mootorites või toorainena keemiatööstuses.

Pilli-roo energeetilisel kasutamisel tuleb arvestada ka erinevate riskidega (tooraine kättesaadavus ja piisavus, toorme hinna kõikumine jne) ning keskkonnamõjudega (62% kliimamuutuse kogumõjust moodustab pilli-roo vedu lõikealalt lattu, 97% troposfääri osoonikihi tekkimise, 93% hapetumise ja 94% maapinna/vee eutrofeerumise kogumõjust moodustab roo põletamine). Riskide ja mõjude minimeerimise väljaselgitamiseks on aga vaja viia läbi täiendavaid uuringuid.

Kasutatud kirjandus

- Aavik, T., Pilli-roo energeetilise kasutamise tehnilis-majanduslikud ja keskkonnakaitseaspektid. TTÜ magistritöö. Tallinn, 2010.
- Aavik, T., Pilli-roog – biokütuse lähteaine. TTÜ bakalaureusetöö. Tallinn, 2008.
- Biogaasi tootmine ja kasutamine. Käsiraamat. Eesti Põllumeeste Keskliit. Tartu: OÜ Tartumaa Trükikoda, 2009.
- C. Higan, M. J. van der Burgt, Gasification. Elsevier, 2003.
- Põllumajanduses kasutatavate biogaasiseadmete gaasitootlus. Tõlkinud Eesti Põllumeeste Keskliit. Darmstadt: Mecklenburger Biogas Gesellschaft mbH, 2005.
- Ülevaade Eesti bioenergia turust 2007. aastal. Eesti Konjunktuuriinstituut. Tallinn, 2008.
- <http://kiisu.org/Kooliasjad/K%FCtused%20ja%20m%E4%E4rdeained/Tallinn-2007-nov-VV.pdf> (01.06.10).
- http://www.ttu.ee/public/s/soojustehnika-instituut/1._Kutus.pdf (01.06.10)

TECHNICAL, ECONOMICAL AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF USING REED AS ENERGY SOURCE

Triin Aavik, Ülo Kask

In the present article about combustion characteristics of the reed harvested in winter and in summer and its yield are briefly discussed. The overview on opportunities to produce energy from reed is provided. In addition, the costs and risks that during various stages of reed collection may arise are observed in detail. The cost of the reed as a solid fuel is evaluated having regard to the whole stages of reed production chain (collection of reed, upgrading of reed for its use as unprocessed or processed fuel, use of fuel for energy generation purposes, and marketing of the fuel). Novelty of this article is the assessment of the environmental impacts that may arise from the winter reed-based heat production.

EESTI ENERGIASÜSTEEMI TÖÖKINDLUSE TAGAMINE PUMPHÜDROAKUMULATSIOON-ELEKTRIJAAAMA ABIL

Lembit Vali, Dimitri Vassiljev
Energiasalv OÜ, e-post: lembit@vool.ee

Annotatsioon

Euroopa Liidu energiapoliitika on viimasel ajal jõuliselt liikunud fossiilsete kütuste tarbimisest taastuenergia ulatuslikuma kasutuselevõtu poole. Eesti kontekstis tähendab see põlevkivil töötavate vanade elektrijaamade sulgemist või moderniseerimist ning biokütustel ja tuulel töötavate elektrijaamade arendamist. Uued ja keskkonnasõbralikud tehnoloogiad ning avanenud elektriturg toob kaasa aga muutusi elektrisüsteemi senises toimimises. Käesolev ettekanne käsitleb pumphüdroakumulatsioon-elektrijaama kui ühte võimalust lahendada Eesti elektrisüsteemi avariireservi, üles- ja allareguleerimise ning tarbimistippude katmise ja miinimumi täitmise küsimused.

Märksõnad: elektrisüsteemi varustuskindlus, tuuleenergeetika, reguleerivad võimsused.

Sissejuhatus

Vastavalt Euroopa Liiduga liitumisel kokkulepitud ajakavale peavad Eestis põlevkivil töötavad suured elektrijaamad vastama „Suurte põletusseadmete direktiivis“ sätestatud eriheitmete normidele (Euroopa Liidu Teataja 2001). Vanad tolmpõletusel põhinevad energiaplokid ei täida SO₂ kehtestatud piirnormi 400 mg/m³ ja need tuleb varustada väävlipüüdmissaadmetega või sulgeda. Eesti aga toodab teatavasti enamiku oma energiast põlevkivil töötavate tootmiseseadmete abil. Elektrisüsteemi toimimise eest vastutava süsteemihalduri Elering OÜ poolt koostatud „Eesti elektrisüsteemi tootmiseseadmete piisavuse aruanne“ (tabel 1) juhib tähelepanu 2016. aastal saabuval tootmisvõimsuste defitsiidile. Aruandes on arvestatud kõigi tootjate poolt esitatud prognooside ja investeerimisotustega, kuid tegelikult on olemas reaalne oht tootmisvõimsuste defitsiidi suurenemiseks, sest Narva Elektrijaamade uute keevkihtplokkide ehitus

on seotud „Elektrituruseaduses“ kehtestatud investeeringusubsiidiumitega (Elektroniline Riigi Teataja 2010) ning poliitiline otsus on kergelt muudetav. Samuti on võimalik, et hetkel ehitatavad väävliplüüdmissaadmed ei taga eriheitmete normi täitmist.

Tabel 1. Eesti elektrisüsteemi tootmisvõimsuste piisavus.
Table 1. Sufficiency of Estonian electricity production.



Elektrijaamade andmed (netovõimsused, MW)		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Installeeritud netovõimsused												
1	hüdroelektrijaamad	3.6	3.6	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
2	tuumaelektrijaamad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	soojuselektrijaamad	2303	2329	2330	2313	2422	2523	2921	3020	3019	3019	3019
4	taashvaid energiaallikaid kasutavad elektrijaamad (va hüdro)	114	133	145	145	145	145	145	145	145	145	145
5	muud elektrijaamad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Kodumaine installeeritud netovõimsus (6=1+2+3+4+5)	2420	2465	2478	2461	2571	2671	3070	3169	3168	3168	3168
7	mittekasutatav võimsus	623	546	240	245	245	258	258	1206	1206	1206	1201
7.1	konserveeritud	386	384	67	67	67	79	79	1027	1027	1027	1022
7.2	muud piirangud	237	162	174	179	179	179	179	179	179	179	179
8	plaanilised remondid ja rekonstrueerimised	163	0	171	165	0	157	157	0	0	0	0
9	avariid elektrijaamades	50	50	50	50	50	50	50	35	35	35	35
10	süsteemiteenused	0	0	0	0	130	250	250	250	250	250	250
11	Kasutatav võimsus (11=6-(7+8+9+10))	1584	1869	2016	2000	2145	1956	2355	1678	1677	1677	1682
12	koormus (optimistlik stsenaarium)	1632	1665	1699	1734	1770	1806	1843	1878	1913	1949	1985
14	koormus (pessimistlik stsenaarium)	1505	1524	1544	1564	1585	1605	1626	1645	1663	1681	1698
15	tootmisvaru, koormuse optimistlik stsenaarium (15=11-12)	-47	204	317	266	375	150	512	-200	-236	-272	-304
17	tootmisvaru, koormuse pessimistlik stsenaarium (17=11-14)	80	345	472	436	561	351	729	34	14	-4	-16
TOOTMISVARU KOORMUS BAASTSENAARIUMI KORRAL												
18	tootmisvaru 10% varuteguriga, MW	-211	37	147	93	198	-31	327	-387	-427	-467	-502
19	tootmisvaru (%)	-3%	12%	19%	15%	21%	8%	28%	-11%	-12%	-14%	-15%

1. aprillil 2010 avati osaliselt Eesti elektriturg ning 2013. a avaneb see täielikult kõigile turuosalistele. Vabaturul kujunev elektri hind määrab ära turule pääsevad tootjad ja, arvestades turu avatust kolmandate riikide tootjatele, ei pruugi kõik Eesti tootjad elektri tootmise kõrge omahinna tõttu turule pääseda. Eriti keeruline on Narva Elektrijaamadel konkurentsivõimelist hinda pakkuda CO₂ oodatava kõrge hinnataseme juures. See-ga ei saa tootmisvõimsuse piisavust hinnata ainuüksi Elering OÜ „Eesti elektrisüsteemi tootmissaadmete piisavuse aruande“ põhjal, vaid tuleb arvestada ka elektrituru mõju. Praeguseks ei ole tehtud ühtegi investee-rimisotsust elektritootmisse turupõhiselt, vaid seni on investeeritud sub-siidiumitega toetavatesse tootmisliikidesse. Edaspidi tuleb aga uutesse elektrijaamadesse hakata investeerima ainult turupõhiselt.

Eesti elektritarbimise katmise võimalused

Eesti tarbimise katmiseks on võimalik elektrit importida läbi 2010. aasta

aprillis käivitunud Põhjamaade elektribörsi NordPool Spot (NPS), kuhu võivad elektri müügipakkumisi teha kõik turuosalised Põhja- ja Baltimaa-dest ning elektribörsiga liitunud tootjad kolmandatest riikidest. Ka siin valitseb siiski oht elektriliste ühenduste avariide korral defitsiidi tekkeks ja elektribörsi hinnalae saavutamiseks. Eestil ei tulnud taolist näidet peale elektrituru osalist avanemist kaua oodata: 2010. aasta 24. augustil tõusis elektrihind peale riket Narva elektrijaamades 2000 euronit MWh eest (Eesti Energia 2010).

Nii elektrisüsteemi töökindluse kui ka energeetilise julgeoleku seisukohalt on oluline ehitada Eestisse uued tootmisvõimsused. Võimalikud lahendused elektritootmise arendamisel Eestis on järgmised:

- koostootmise-elektrijaamad, k.a biokütustel baseeruv tootmine;
- kivisööelektrijaam;
- gaasiturbiinid;
- põlevkivielektrijaamad;
- tuumaelektrijaam;
- elektrituulikud koos kompenseerivate elektrijaamadega.

Koostootmise potentsiaal Eestis on väike (300 MW) ja sageli on siin takistuseks soojusvõrkude omanike vastuseis. Samuti on piiratud biokütuste kasutamise potentsiaal.

Gaasiturbiinide ehitamisega paneks riik ennast sõltuvusse ühest kütuse-
tarnijast, mistõttu ei ole see valik mõistlik nii julgeoleku seisukohast kui ka kaasneva kütuse hinnariski tõttu.

Reaalsed alternatiivid praegusele tootmisele on siiski ainult kondensatsioonirežiimil töötavad soojuselektrijaamad (põlevkivi-, kivisöe- ja gaasielektrijaamad), tuumaelektrijaam ja tuuleenergia massiline kasutamine. Kõik põlevkivil, söel ja tuumaenergial põhinevad elektrijaamad konkureerivad baaskoormuse katmisele ja investeeringute tegemisel peab seda arvestama. Samas on tuuleolud Eestis lähiümbrusega võrreldes väga head ja seda eelist tuleks kasutada.

Elektritootmise tuulestsenaarium

Pikk tuulele avatud rannajoon ja madal rannikumeri avavad head võimalused elektrituulikute püstitamiseks Eestis. „Eesti elektrimajanduse arengukava“ aastani 2018 (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium 2009) näeb ette 900 MW ulatuses tuuleparkide rajamist koos kompenseerivate võimsuste püstitamiselega. Tuuleenergeetikavastased peavad tuule kasutamise põhipuuduseks selle kõrget hinda. Järgnevalt võrdleme kahe stsenaariumi, põlevkivi ja tuule tegelikke kulutusi ühiskonnale tervikuna Eesti Tuuleenergia Assotsiatsiooni poolt tehtud uuringu kohaselt (Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon 2010).

Võrdlusel on arvestatud kehtivate subsiidiumite erinevaid kestvusi. Tuulel põhinevatele elektrijaamadele on Eestis tänapäeval toetused kehtestatud 12 aastaks, põlevkivielektrijaamade puhul 20 aastaks. Uute põlevkiviblokkide toetus maksab maksumaksjale 3473 miljonit krooni aastas kahekümne aasta vältel, mis teeb kokku 69 453 miljonit krooni. Sama kogus tuuleenergeetilist elektrit on aastas 868 miljonit ja kokku 17 370 miljonit krooni odavam. Kui need numbrid MW/h peale viia, siis näitas analüüs, et subsideeritud põlevkivienergeetika puhul kulutame järgmise 20 aasta jooksul 7,4 eurot/MWh ehk 11,6 senti/kWh rohkem, võrreldes tuuleenergeetika lahendusega. Lisaks tuleb arvestada, et põlevkivi on piiratud ressurss ja sellest on võimalik saada suuremat tulu õli tootmisel. Põlevkivist elektri tootmine eraldab heitgaase, mille kvootide hinnad tulevikus eeldatavasti tunduvalt kasvavad. Kokkuvõtvalt öeldes näitab nimetatud võrdlus tuulestsenaariumi tugevat konkurentsieelist võrreldes põlevkivistsenaariumiga (diagrammid 1 ja 2).

Reguleerivate võimsuste vajadus ja rajamise võimalused Eestis

Elektritootmise struktuur Eestis on muutumas ja tootmine on tunduvalt volatiivsem. Kondensatsioonirežiimil töötavate elektrijaamade, mis seni on täitnud reguleerimisfunktsiooni, osakaal väheneb tulevikus veelgi. Suureneb elektrituulikute osakaal, mille tootmine on kõige volatiivsem. Kasvab koostootmise osakaal, mis sõltub ainult soojuskoormusest ega osale reguleerimises. Vaadates naabersüsteeme, näeme samu trende ja lisaks täiendavate tuumaelektrijaamade tulekut, mis ei osale reguleerimises.

Tuul või põlevkivi

Kahe stsenaariumi kulude võrdlus

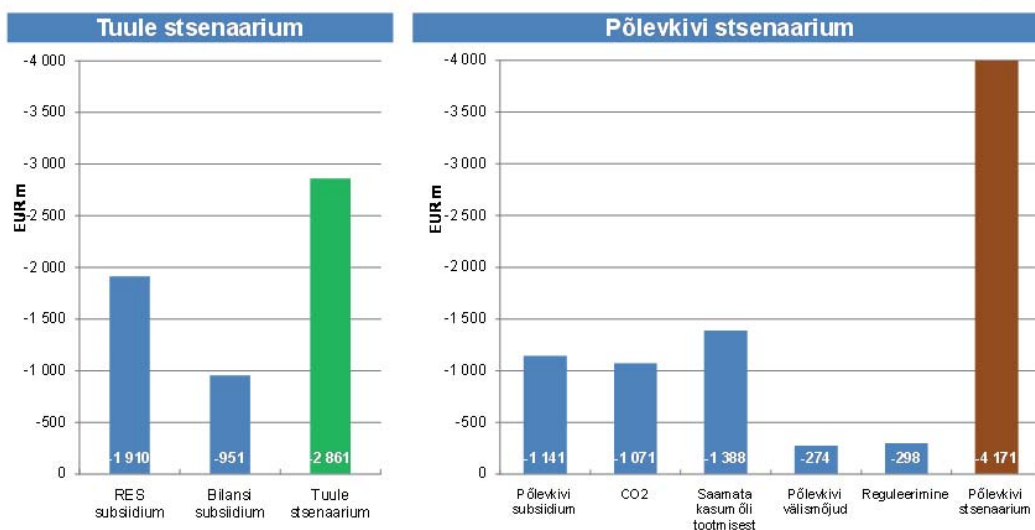
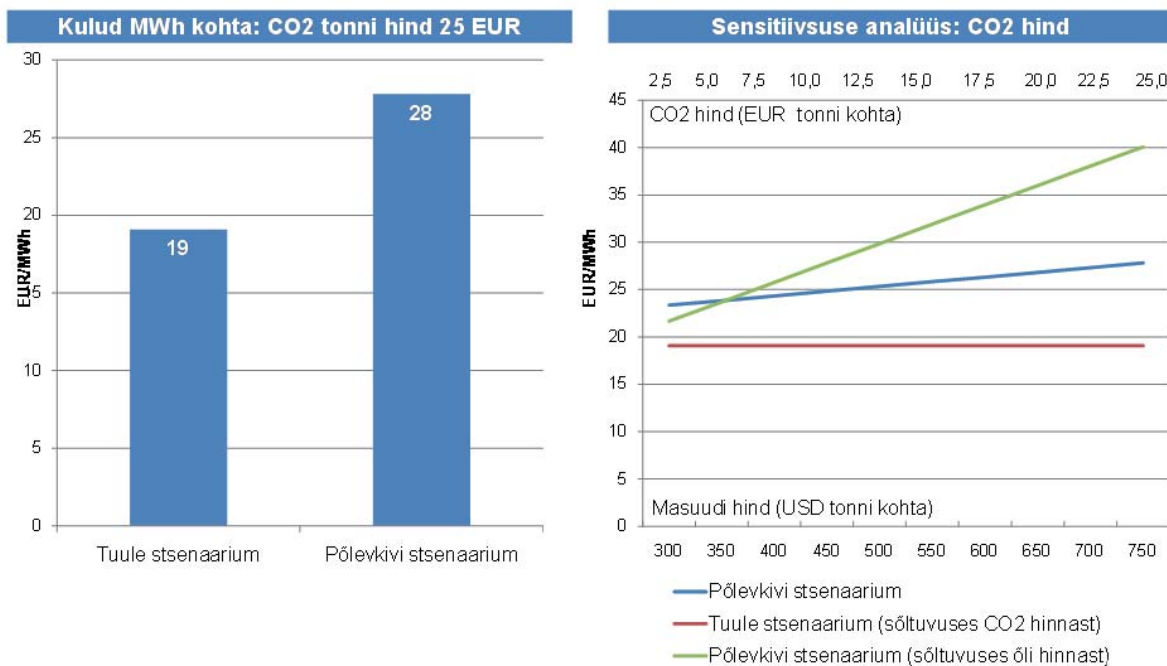


Diagramm 1. Kulutused tuuleenergeetikale ja põlevkivienergeetikale
Diagram 1. Expenses of oil-shale and wind energetics.

Tuul või põlevkivi

Kulud Eesti elektritarbimise MWh kohta aastas



Aasta elektri tarbimine on võetud 7 500 GWh; 20 aastat.

Diagramm 2. Kulutuste mõju elektrihinnale.
Diagram 2. Influence of the expenses to the electricity price.

Viidates eelnevale, tekib vajadus reguleerimise teenust pakkuvate elektri- jaamade ehitamiseks ja võimalikud lahendused on siin sellised:

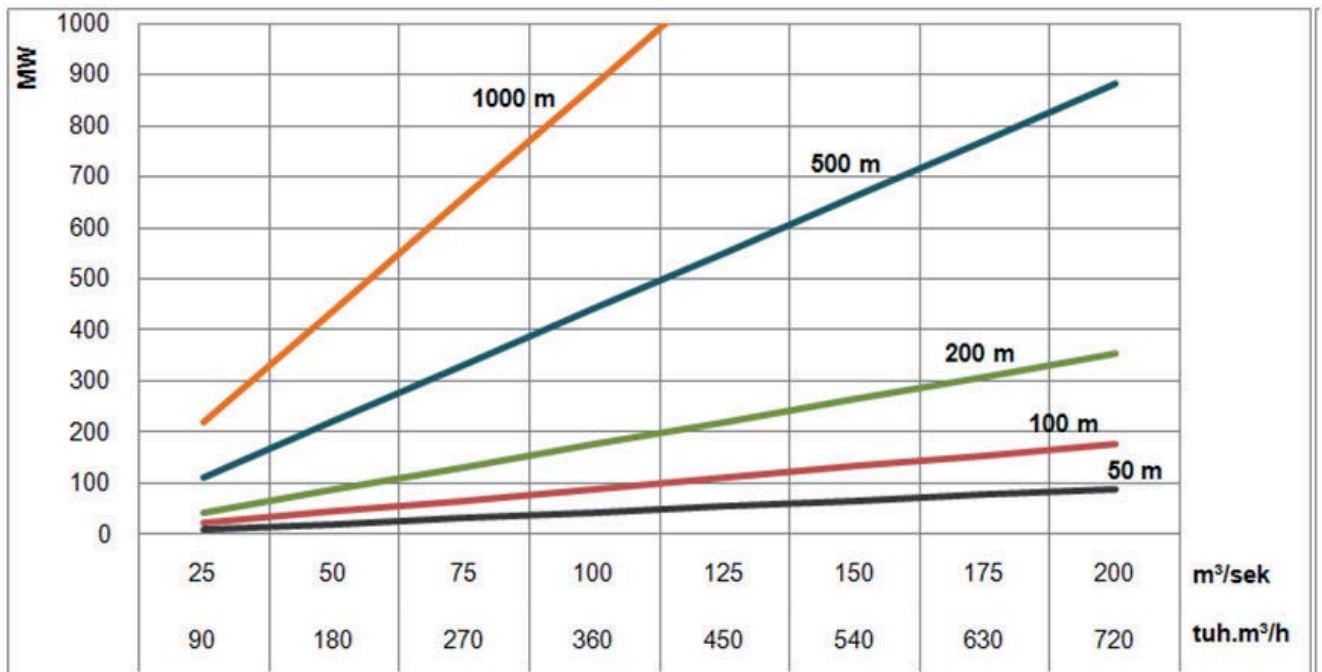
- hüdroelektrijaamad,
- pumphüdroakumulatsioon-elektrijaamad,
- gaasiturbiinid,
- muud akumulatsiooniseadmed (akud, suruõhu salvestid jne).

Hüdroenergia potentsiaal Eestis on väga väike ja ei ole seega arvestatav ressurss. Suruõhusalvesti kasutamine on väga kallis. Näiteks Huntorfi GTEJ omahind on 3 eurot/kWh. Akumulaatorite kasutamine on veel varajases arengufaasis ja saavutatud on väga väikesed võimsused, millel on kõrge omahind. Gaasiturbiinide kasutamise põhitakistuseks on gaasi hinnarisk ja sõltuvus CO₂ hinnast ning julgeoleku aspekt. Pumphüdroakumulatsioon-elektrijaama rajamise võimalust pole Eestis seni kaalutud.

Pumphüdroakumulatsioon-elektrijaama (PHAJ) arendamine

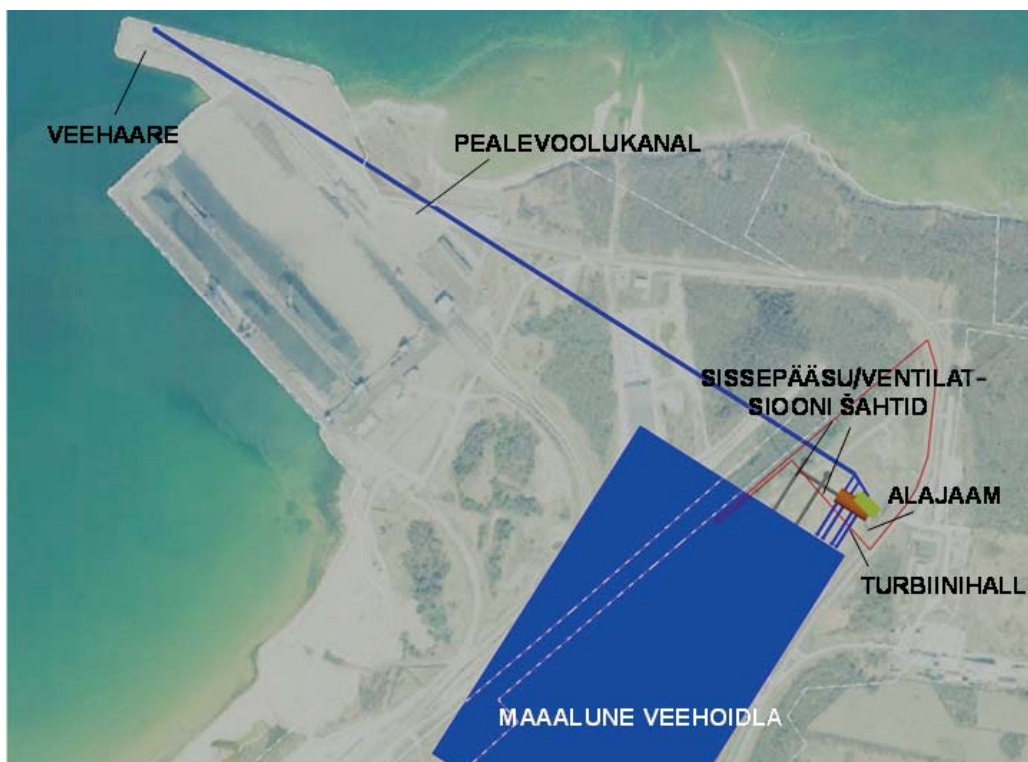
PHAJ tööpõhimõte on lihtne. Jaam koosneb ülemisest ja alumisest veemahutist ning reverseeritavatest turbiin-pumpadest ja generaator-mootoritest. Elektri tootmiseks lastakse vesi ülemisest mahutist läbi turbiini alumisse mahutisse ja samade seadmetega pumbatakse vesi sobiva elektri hinna korral tagasi ülemisse mahutisse. Jaama võimsus leitakse kasutatava vee hulga ja mahutite kõrguste vahe kaudu (diagramm 3). Et Eestis looduslikud kõrguste vahed puuduvad, siis võiks ülemiseks veemahutiks olla meri ning alumise mahuti rajada maa sisse. Kui veehoidlate kõrguste vahe on suur, ei pea alumine neist väga suur olema: 500 MW võimsusega elektrijaamale piisaks 12-tunnise pideva töö jaoks 4,75 milj m³ veehoidlast, mis asub 500 m sügavusel graniidimassiivis (joonis 1, 2). Konkreetne PHAJ, mida Eestis ka juba arendatakse, koosneb neljast agregaadist (2 x 175 MW, 100 MW, 50 MW) ning projekti hinnanguline maksumus on 300 miljonit eurot. Jaama asukoha esialgsed valikud on Jõelähtme valla Muuga sadama tehnopark, kunstlik sadam Muuga sadama akvatooriumis ja Maardu linn. Asukoha valiku hindamise aluseks on Estivo eeluuring (Estivo 2009), mis arvestas keskkonna piirangutega ja saavutatava võimsuse võimalikkusega.

Võimsuse sõltuvus kõrgusest

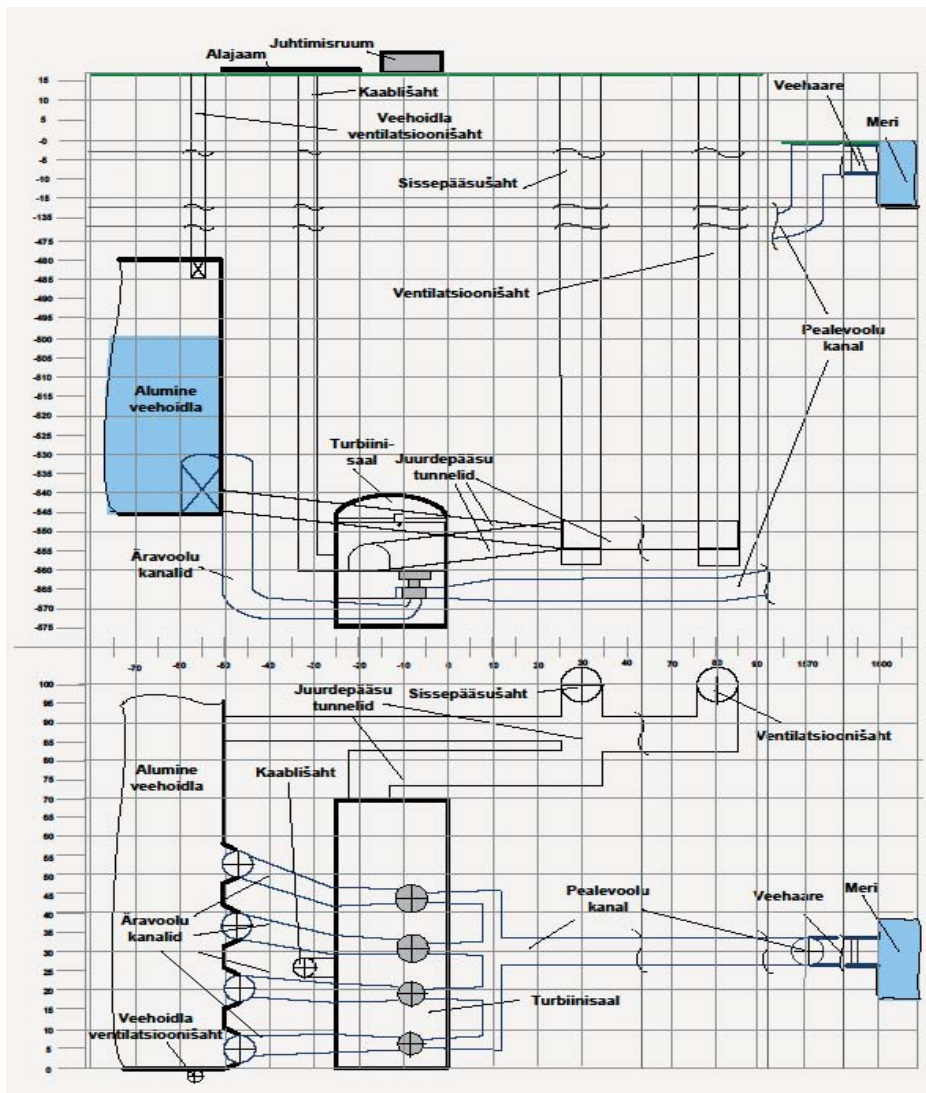


Energiasalv

Diagramm 3. Võimsuse sõltuvus kõrguste vahest ja veehulgast.
Diagram 3. Output dependency on height difference and water quantity



Joonis 1. PHAJ asukoht.
Figure 1. PHAJ location.



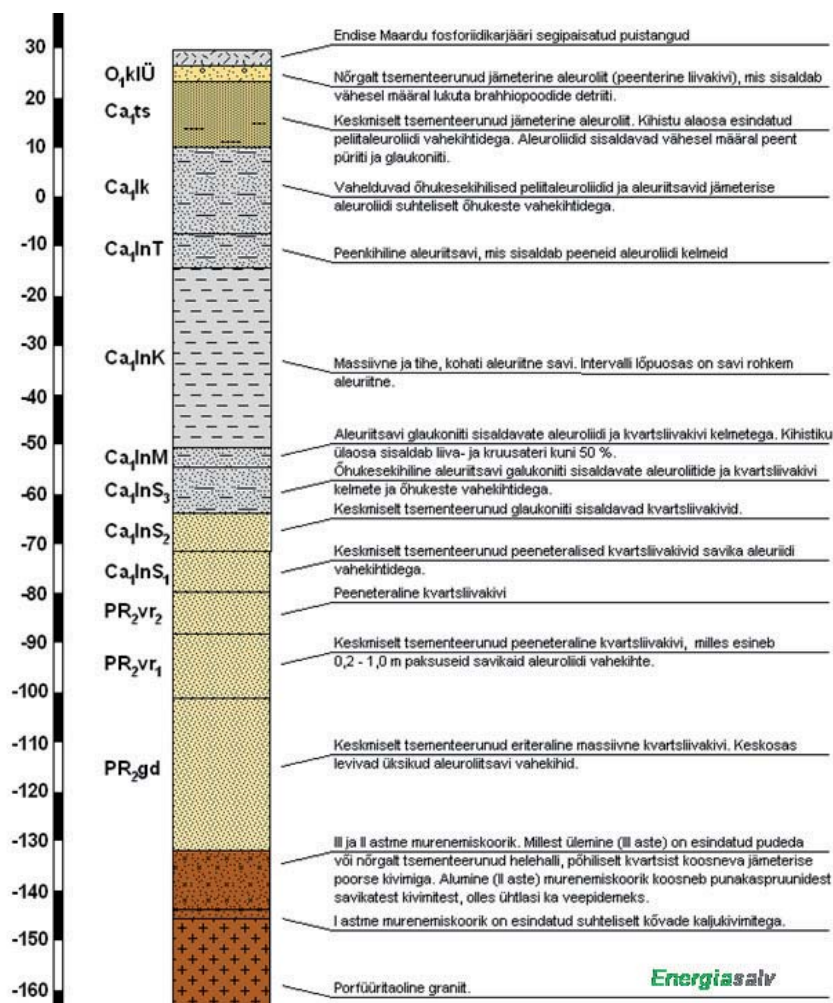
Joonis 2. PHAJ läbilõige.
Figure 2. Cross-section of the PHAJ.

Planeeritud PHAJ sobib kolme ülesande täitmiseks:

- avariireserv süsteemihaldurile,
- energiasüsteemi üles- ja allareguleerimine,
- elektrisüsteemi tarbimistippude katmine ja miinimumi täitmine.

PHAJ võimaldab vähendada bilansienergia ja tipuenergia hinda. Samuti parandab jaama ehitus riigi väliskaubanduse bilanssi, sest jääb ära avariireservi ja bilansienergia ost Lätist. Veehoidla rajamisel väljavõetav graniit asendaks praegu imporditavat ning teehituses saaks katendis kasutada paekivikillustiku asemel märksa püsivamat graniitkillustikku. Kõnealuse ettevõtmise puhul ei ole siiski tegemist graniidi kaevandamise projektiga,

Geoloogiline kirjeldus šahtide läbindamise alal



Joonis 3. Geoloogiline läbilõige.
Figure 3. Geological cross-section.

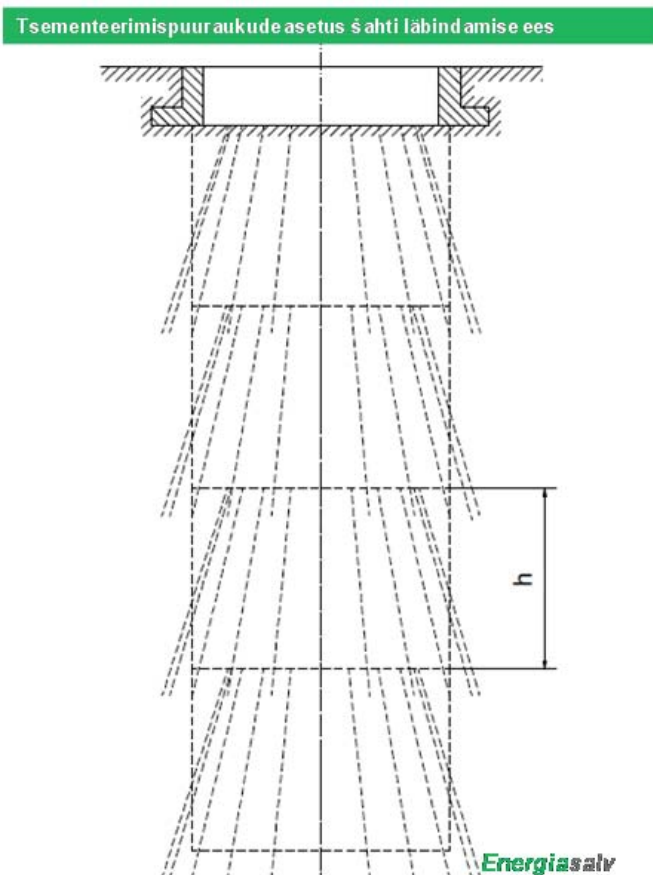
vaid elektri jaama majanduslikult mõistliku lahendusega. Alumise veehoidla ehituskulud kaetakse graniidi müügituludega ning ülemine hoidla on tasuta, merre tuleb ehitada vaid veehaare.

PHAJ ehitamine võimaldab ehitada Eestis täiendavaid tuuleelektrijaamu ning täita sellega riigi taastuvenergeetika kohustust, suurendades CO₂-vaba elektritootmise osakaalu Eesti energiatootmise portfellis.

On üsna loomulik, et taolise projektiga kerkib keskkonnakaitsega seotud küsimusi. Tähtsaim neist on põhjavee kaitsmine sel ajal, kui läbitakse mitut põhjaveeladet, ning hilisem kaitse merevee sissetungimise eest (vt geoloogilist läbilõiget – joonis 3). Maailmas kasutatakse selleks läbindustöödel mitmesuguseid tehnoloogiaid, neist kõige mõistlikum tundub

olevat tsementeerimine (joonis 4), mis väldib põhjaveega segunemist. Loomulikult tuleb detailplaneeringu koostamisel tehtava keskkonnamõju strateegilisel hindamisel (KSH) ja vee erikasutusloa taotlemisel sooritatava keskkonnamõju hindamisel (KMH) võtta vaatluse alla kogu võimalik keskkonnamõju, kaasa arvatud mõju Muuga lahele.

- Tsementeerimiseks (ingl. *pregrouting*) nimetatakse pinnase pooride ja lõhede täitmist tsemendilahuse või mõne muu keemilise lahusega, pinnase tugevuse tõstmiseks ja veejuhtivuse vähendamiseks
- Selleks puuritakse puuraugud, mille kaudu surutakse vastav lahus kivimimassiivi pooridesse ja lõhedesse ning mille kõvenemisel massiiv tiheneb ning väheneb filtratsioonitegur
- Saavutamaks parimat tsementeerimise tulemust tuleb puurimise käigus koguda andmeid veekihi survelisuse kohta ja pinnasepooride suuruse kohta, kuna tsemendilahuse surumisel kivimimassiivi pooridesse tuleb ületada vee vastusurve
- Samuti peab tsemendilahuse terastiku suurus olema kolm korda väiksem kivimimassiivi pooridest
- Tsementeerimist šahti läbindamise edasiliikumisel on soovitatav kasutada olukorras, kus veekihiid on sügavamal kui 100 m ja nende paksus ei ületa 70 m
- Sarnaselt tsementeerimisega maapinnalt jaotatakse edasinihe seksioonideks pikkusega 12 – 25 m
- Tsementeerimise puuraugud puuritakse vertikaali suhtes nurga all, mistõttu jäävad puuraugu otsad 1–2 m eemale rajatava šahti



Joonis 4. Tsementeerimine.
Figure 4. Cementation.

Kokkuvõte

Energiasüsteemi töö muutub uute tootmisvõimsuste tõttu ebastabiilsemaks. Selle tagamiseks on Eestis kõige mõistlikum kasutada pumphüdroakumulatsioonijaama, mis on unikaalne lahendus kogu maailmas, kasutades ära merevett ja sügaval graniidimassiivis olevat mahutit. Taolise jaama olemasolu võimaldab arendada taastuvaid ressursse kasutavaid elektri jaamu, mis on oluline 2016. tekkiva elektri tootmisvõimsuste defitsiidi katmiseks.

Kasutatud kirjandus

- Eesti Elektrimajanduse Arengukava aastani 2018. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2009. http://www.valitsus.ee/failid/Eesti_elektrimajanduse_arengukava.pdf
- Elektrituruseadus. - Elektrooniline Riigi Teataja (RT I 2010, 56, 363), 3.08.2010. <https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=13349025>
- Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiiv 2001/80/EÜ teatavate suurtest põletusseadmetest õhku eralduvate saasteainete piiramise kohta. – Euroopa Liidu Teataja, 23.10.2001. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:15:06:32001L0080:ET:PDF>
- Kõrge elektrihinna anatoomia. - Ärikliendi uudised, Eesti Energia, 24.09.2010. <https://www.energia.ee/et/about/presscentre/news/business>
- Maardu hüdroakumulatsioonijaama ehitamise eeluuring. Estivo, 2009. <http://energiasalv.ee/wp-content/uploads/2010/04/ESTIVO-Eeluuringu-aruanne-15-05-09.pdf>
- Tuul vs põlevkivi. - Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, 2010. <http://www.tuuleenergia.ee/wp-content/uploads/Tuul-vs-polevkivi.ppt>

ENSURING THE RELIABILITY OF ESTONIAN ENERGY SYSTEM BY PUMPED-STORAGE HYDROELECTRIC PLANT

Lembit Vali

European Union's energy policy has shifted from the use of fossil fuels to the wider deployment of renewable energy sources. In Estonian context, this means shutting down or modernizing the oil shale fired power plants, and the development of biofuels and wind power plants. New and more environment-friendly technologies, and opened up electricity market, however leads to changes in the functioning of Estonia's electricity system.

This paper discusses pumped-storage hydroelectric plant as an option to resolve the Estonian power system emergency reserve, up and down regulation of consumption and also covering peak-loads. As Estonia does not have natural heights, the solution would be unique in the world, using the sea water inside an upper elevation and placing the lower reservoir 500 meters deep inside of a granite array. The plant will allow the development of power plants using renewable resources, which are important to avoid the deficit of electricity generation after year 2016.

PÄIKESEENERGEETIKA ÜHINGU PERSPEKTIIV EESTIS

Teolan Tomson¹, Mikk Maivel²

¹TTÜ materjaliteaduse instituut; ²TTÜ keskkonnatehnika instituut

Energiahinna tõusust tingituna on hakatud järjest enam huvi tundma päikeseenergia vastu. Turule on tulnud mitmed päikesekütesüsteemidega kauplejad ning valminud on ka esimesed suuremad helio-soojaveesüsteemid. Pidades silmas soojustehnilist rakendust¹, on võimalik konstateerida selle ainevalla kolme arenguetappi:

1. Entusiastide põlvkond, põhiliselt enne 1990. aastaid. Näide fotol 1, mis kujutab mehaanikainsener P. Voldi ehitatud soojaveekollektoreid Tartus Tammelinnas, milles rakendatakse lamedaid terasradiaatoreid.
2. Humanitaarabi periood 1990 – 2000. Näide fotol 2, mis kujutab Väandra haiglat. 1990. keskel oli sellel haiglal esimene professionaalne ligi 40 m² pinnaga soojaveesüsteem, mille kollektorid tarnis Pärnu as Kiwi.
3. Kommertstegevuse periood 21. sajandil. Sellest perioodist oleks näiteid juba palju, kuid piirdugem fotoga 3, millel on kujutatud 9-korruseline korterelamu Tallinnas Mustamäel. Süsteemi installeeris OÜ Anrebell, see koosneb Hiina päritolu vaakumtoru-kollektoritest ja oma 270 m² pinnaga on see tõenäoliselt Baltimaade suurim.

Firmasid, kes tegelevad (on tegelenud) heliotehnika müügi ja installeerimisega, on mitmeid ja autoritel puudub neist täielik ülevaade.

Helioenergia tarbijatest on eestis kujunenud juba oma huvigrupp, kelle eest võiks seista mittetulunduslik erialaühing, korraldades ka oma liikmete harimist ning kogemuste vahetamist kolleegidega mujalt euroopast ja maailmast laiemalt. Huvide olemasolust andis selgelt märku teatrimees ja roheliste poliitik Peeter Jalakas oma ettekandes, mille ta pidas Eesti Energia poolt KUMU-s korraldatud 2010. aasta energeetikafoorumil. Enne

¹ Siin ilma soojuspumpadeta, mida kasutatakse Eestis juba massiliselt ja mis moodustab omaette ainevalla.



Foto 1. P. Voldi ehitatud soojaveekollektor.
Photo 1. Home made solar-thermal collector.



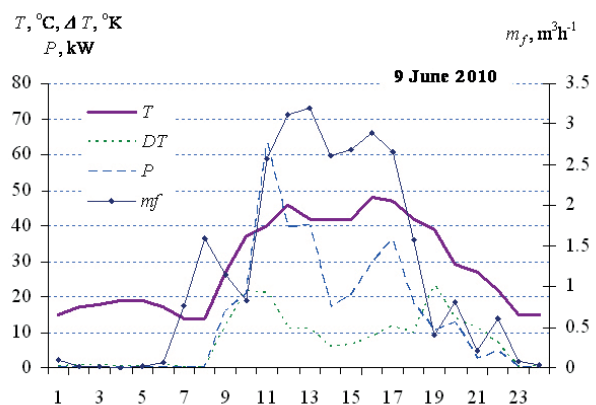
Foto 2. Vändra haigla.
Photo 2. Hospital in Vändra established due to human aid program.

organisatsiooniliste küsimuste puudutamist veel teisest olulisest suunast ehk siis päikeseenergeetika rakendamisest elektrienergia tootmiseks.

Fotoelektri (PV-elekter) tootmises on samuti olnud areng märgatav. 1990. aastate esimesel poolel viis Eesti Mereteede Amet senised autonoomsed tuumatoitel meremärgid ja tuletornid üle PV- (ja aku-) toitele, kokku 38 objekti (joonis 2). Majandusolude paranedes on PV-elekter leidnud tee mitmete võrgust kaugel asuvasse suvekodusse, eeskätt väikesaartel. Fotol 4 on näiteks toodud tuntud dirigendi (ja Naissaare asustamise entusiasti) Tõnu Kaljuste suvekodu PV-moodulid.



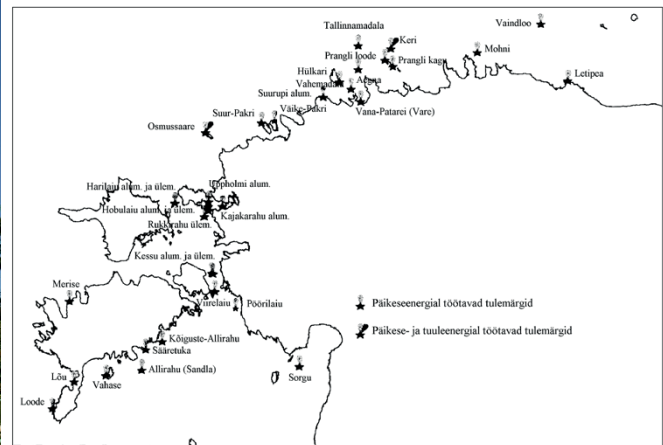
Foto 3. Tõenäoliselt Baltimaade suurim päikese-kollektor Tallinnas.
Photo3. Large-scale solar-thermal plant in Tallinn with 270m² active area.



Joonis 1. Kõrvaloleval fotol esitatud süsteemi käitumise kirjeldus suvepäeval.
Figure 1. Daily behavior of the said plant.
 T – output temperature, ΔT – temperature step, P –current capacity and m_f – flow rate.



Foto 4. T. Kaljuste suvekodu Naissaarel.
Photo 4. PV-installation on Naissaare Island.



Joonis 2. PV-toitel meremärgid ja tuletornid Eestis.
Figure 2. PV-supplied sea marks and lighthouses in Estonia.

Päikeseenergeetikaalaseid (PV-materjalid) teadusuuringuid tehakse TTÜ-s Enn Mellikovi juhtimisel, sealsamas uurib Teolan Tomson energeetikat ja kiirgust ning mingil määral tegeletakse teemaga ka Maaülikoolis (Veli Palge), kuid paraku ilmselt ilma rahvusvahelise väljundita. Rahvusvahelisel tasemel on PV-paneelide materjale uurinud Enn Mellikovi labor. Väga heal rahvusvahelisel tasemel toimub päikese kiirgusenergia uurimine Tartu Observatooriumis (koos EMHI2-ga). Vajadus uurimistöö järgi selles vallas on suur: näiteks pole piisavalt infot, kuidas jagada soovitusi lameldate ja vaakumtoru-kollektorite kasutamiseks. Taolist olukorda kasutavad ära heliotehnika müügimehed, kes jagavad kliendile erapoolikut informatsiooni. Ka see näitab selgelt, et oleks vajalik sõltumatu erialaühing, kes suudaks anda adekvaatset informatsiooni.

Minnes tagasi lamekollektorite ja vaakumtoru-kollektorite juurde, näitas teoreetiline eeluuring vaakumtoru-kollektorite mõne protsendi võrra suuremat tootlikkust, aga esialgne eksperiment osutas vastupidist. Tõde on veel peidus ja kummagi majanduslikkus arvesse võtmata. Joonisel 1 kujutatud diagramm kirjeldab fotol 3 toodud süsteemi käitumist suvepäeval. T on soojuskandja (vee) väljundtemperatuur, DT on temperatuuri tõus kollektori arvel, P on süsteemi arendatav hetkvõimsus ja mf on tarbitava vee mass. Mõõtmisandmeid toodangut mõjutava kiirguse eritiheduse ja välistemperatuuri kohta ei salvestata ja eksperimenti korratakse.

2 Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut

Erialast mittetulundusühingut on otstarbekas organiseerida ISES-i (International Solar Energy Society) rahvusliku haruna. Nii on see ka meie naabrite juures rootsis, Soomes, lätis ja Venemaal. Ises on rahvusvaheline teaduslik-tehniline ühing, mille peakorter asub Saksamaal Freiburgis. Praegune president David Renne on USA rahvusliku taastuvenergia laboratooriumi NREL (National Renewable Energy Laboratory, Denver, Colorado) teadur, Euroopa haru (ISES-Europe) president on pr Dorota Chwieduk Poola teaduste akadeemiast. ISES annab kirjastuse Elsevier kaudu välja kõrgetasemelist teadusajakirja Solar Energy, mille igat artiklit arvustab kolm rahvusvahelise tasemega retsensenti. Eestist on pääsenud selle ajakirja veergudele vaid H. Ohvril (jt) TÜ-st, T. Tomson ning J. Krustok (jt) TTÜ-st. Laiale publikule on mõeldud informatiivne ajakiri REFocus. („RE“ tähendab renewable Energy – taastuvenergia.)

Üle aasta peetakse ühingu maailmakongressi (2009 – Lõuna-Aafrika vabariigis Johannesburgis, 2011 – Saksamaal Kasselis) ja samuti üle aasta regionaalkonverentsi. Äsjane EuroSun-2010 toimus Austrias Grazis. Ühing on esindatud enam kui 50 riigis, sealhulgas haarates umbes 500 teadusasutust või tootmisettevõtet. Ühing toetab oma liikmeid koolitusega (konsultatsioonidega) ja loodetavasti suudab (vähesel määral) mõjutada ka kohalikku energiapoliitikat.

SOLAR ENERGY SOCIETY FOR ESTONIA

Teolan Tomson, Mikk Maivel

In the short paper an overlook has been made about history of the usage of solar energy in Estonia: the period of home-made solar domestic hot water systems; SDHW systems, installed due to human aid and period of commerce in 21 century. To support interests of customers and enterprises using solar energy, it is suitable to establish the national section of ISES (International Solar Energy Society).

BIOLAGUNEVATE JÄÄTMETE FERMENTATSIOON TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE SAAMISEKS

Anne Menert^{1,4}, Merje Michelis², Ergo Rikmann³, Viktoria Blonskaja¹, Mihkel Kaljurand¹, Tiit Kallaste⁴

¹Tallinna Tehnikaülikool, Ehitajate tee 5, Tallinn 19086,
e-post: amenert@cc.ttu.ee, viktorija.blonskaja@ttu.ee

²Keskkonnaministeerium, Narva mnt 7a, Tallinn 15172, e-post: merje.michelis@envir.ee

³Tartu Ülikool, Ülikooli 18, Tartu 50090, e-post: rikmannster@gmail.com

⁴SEI Tallinn, Lai 34, Tallinn 10133, e-post: tiit.kallaste@seit.ee

Annotatsioon

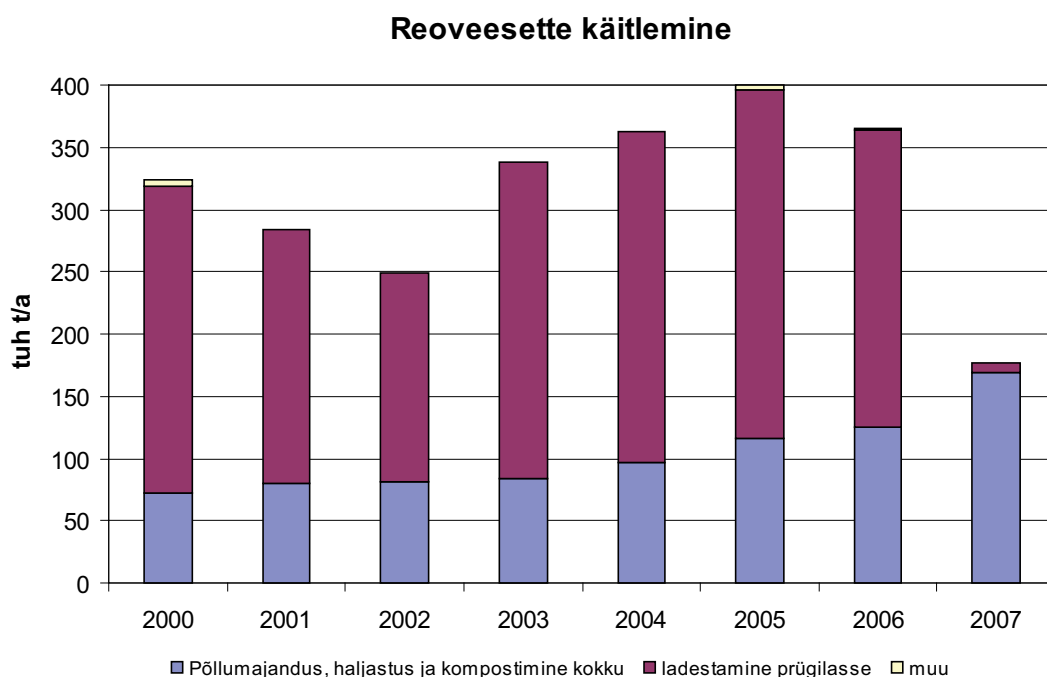
Biolagunevate jäätmete, sh reoveesete anaeroobse stabiliseerimise uurimisega on Tallinna Tehnikaülikoolis tegeldud 1990ndate teisest poolest alates. On vaadeldud näiteks erinevate eeltötlusmeetodite (ultraheli, osoon, temperatuur jne) mõju substraadi anaeroobsele lagundamisele. Seni on keskendunud peamiselt anaeroobse protsessi füüsikalisele mõjutamisele, kuid nimetatud protsessi on võimalik hoopis paremini juhtida, tundes lagundamisprotsessi läbiviivaid mikroorganisme, soodustades või takistades nende kasvu ning mõjutades seeläbi nende poolt läbiviidavate reaktsioonide toimumist. Selle protsessi põhjalik tundmine on oluline ka seetõttu, et reoveesete on üks potentsiaalsetest biogaasi substraatidest. Käesoleva töö eesmärgiks oli uurida termilise eeltötluse mõju biogaasi tootlikkusele sette anaeroobsel lagundamisel, jälgides orgaaniliste ühendite metabolismi; samuti identifitseerida reoveesete anaeroobset lagundamist läbi viivaid mikroorganisme ning uurida sette eeltötluse mõju kooslusele, kasutades 16S rDNA järjestusi koos elektrofooresiga denatureeriva geeli gradiendis (DGGE).

Märksõnad: anaeroobne kääritamine, biogaas, DGGE, metanogeenid, reoveesete.

Sissejuhatus

Reovee puhastamise tagajärjel tekkiv reoveesete, mida Eestis koguneb ligikaudu 20 000 tonni (kuivaine järgi) aastas, on olnud üks enim prügilatesse ladestatavaid biolagunevaid jäätmepuud (Reoveesete...). Jäätmesaaduse § 35 järgi on töötlemata jäätmepuude prügilasse ladestamine keelatud. Jäätmete töötlemiseks loetakse nende mehaanilist, termilist, keemilist

või bioloogilist mõjutamist, kaasa arvatud sortimist ja pakendamist, mis muudab jäätmete omadusi. Töötlemise eesmärgiks on vähendada nende kogust või ohtlikkust, hõlbustada nende käitlemist või kõrvaldamist, tõhustada nende taaskasutamist. Aastaid moodustas Eestis prügilasse ladestatud settest suurima osa Kohtla-Järve linna reoveepuhastis tekkinud sete, mis kuni 2007. a suunati Kohtla-Järve poolkoksimägedele (joonis 1). Sellest alates hakati seal reoveesetet käitlema kompostimise teel (Reoveesette...). Anaeroobne stabiliseerimine (kääritamine) on Eestis seni vähe kasutatust leidnud võimalus biolagunevate jäätmete, sh reoveesette töötlemiseks; headeks näideteks seni vaid AS-i Tallinna Vesi Paljassaare ja Narva linna reoveepuhastusjaamad ning sealägal töötav Jööri biogaa-sijaam Saaremaal. Mitmed projektid ja arendustööd selles suunas on aga käimas.



Joonis 1. Reoveesette käitlemine Eestis.
Figure 1. Treatment of residual sludge in Estonia.

Termilise eeltötluse mõju reoveesette anaeroobsele lagundamisele
Üheks anaeroobse lagundamise efektiivsuse tõstmise meetodiks on reoveesette eeltötlus enne anaeroobset lagundamist. Eeltötlus kiirendab

hüdrolüüsi kui protsessi limiteerivat etappi, mille tulemusena suureneb substraadi kättesaadavus anaeroobsetele bakteritele. Erinevate eelkäitlusmeetoditena on kasutatud osoonimist, desintegreerimist, eelkäitlust ultraheliga, termofiilset eelkäitlust jms. Läbiviidud katsete tulemusena on selgunud, et kõige efektiivsem ja ökonoomsem on anaeroobne termofiilne käitlus – meetod, mille puhul kasutatakse ära rakulüsaadi stimuleeriv toime toorsetele (Blonskaja jt 2002).

Selle meetodi sünonüümideks on ka eelhapustamine (*pre-acidification*) ja isekääritamine (*self-digestion*). Termilise eeltötluse käigus antakse eelis anaeroobse kääritamise atsidgeensele astmele ja piiratakse metanogeenide kasvu. Üleminekul mesofiilselt temperatuurirežiimilt termofiilsele enamik mesofiilseid bakterikonsortsiume hukkab, millele järgneb nende lüüsumine. Kõrgemal temperatuuril on ühtlasi kahjulik toime patogeenidele. Patogeenid eralduvad reoveest mudahelveste koostises, kusjuures nad jäävad eluvõimelisteks kuni sette hügieniseerimiseni (Mölder jt 2000).

Katsemetoodika

Kasutati AS Tallinna Vesi Paljassaare reoveepuhastusjaama toorsetet (segu primaarmudast (kuivainesisaldus 5,2%) ja aktiivmudast (kuivainesisaldus 0,5%) suhtes 3:1), mida enne anaeroobset kääritamist töödeldi temperatuuridel kuni 95 °C (Michelis 2003, 2009; Menert jt 2008). Madaltemperatuurilise eeltötluse käigus toimub mikrofloora mittetäielik hävinemine: suur osa bakteritest küll hävib, kuid paljud ensüümid säilitavad oma biokatalüüsivõime, mille tõttu algab hukkunud bakterite lüüsumine. Viimane muudab substraadi lagunemisprotsessidele kättesaadavamaks (Borja 2005; Mets 2007). Eeltötlus kõrgematel temperatuuridel (üle 100 °C) vajab märkimisväärses koguses lisaenergiat, pealegi võivad tekkida anaeroobsele lagundamisele raskemini alluvad vaheproduktid, nt melanoidiinid.

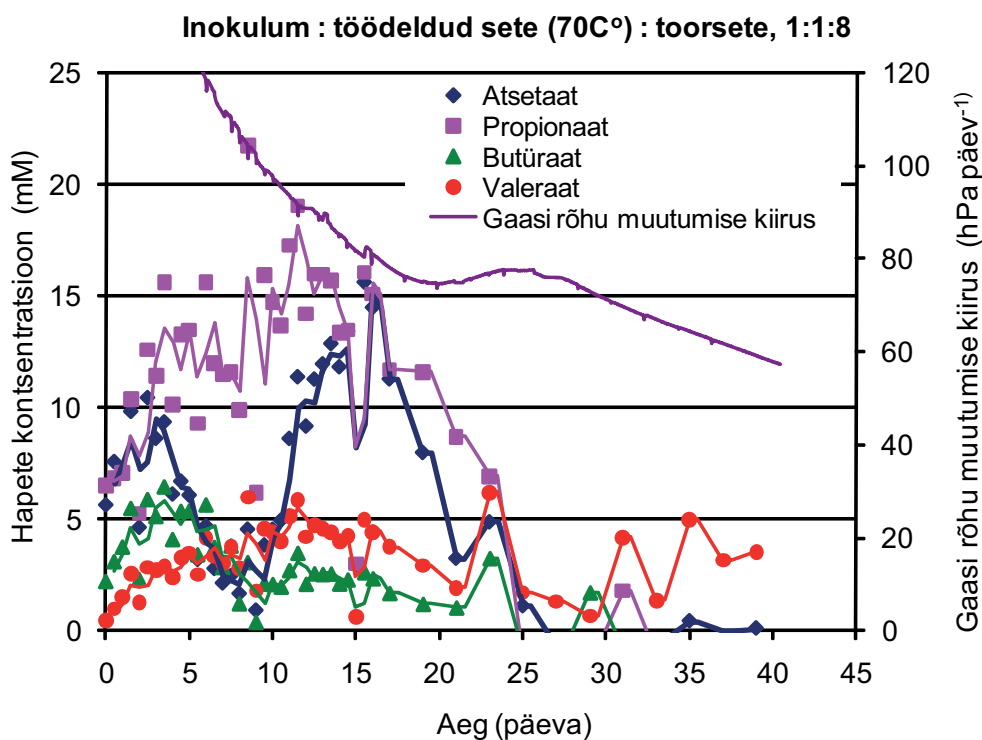
Tabel 1. Katseplaani ja proovide ettevalmistus.
Table 1. Plan of experiments and preparation of samples.

Katsepudeli nr.	Temperatuur	Nivoo	Suhe	Nivoo
1	+70	-1	1:1:8	-1
2	+70	-1	1:4,5:4,5	0
3	+70	-1	1:8:1	1
4	+85	0	1:1:8	-1
5	+85	0	1:4,5:4,5	0
6	+85	0	1:8:1	1
7	+95	1	1:1:8	-1
8	+95	1	1:4,5:4,5	0
9	+95	1	1:8:1	1

Eeltötluse tingimuste optimeerimiseks kasutati täisfaktoriaalset katseplaani. Kahte näitajat, eeltötluse temperatuuri ja segu üksikute komponentide (inokulum, töödeldud sete, toorsete) suhet, varieeriti kolmel nivool (tabel 1). Katsetes jälgiti erinevate rasvhapete kui metaanfermentatsiooni metaboolse raja oluliste vaheühendite teket olenevalt töötlustemperatuurist, segu koostisest ja ajast. Globaalse optimumi (sihifunktsiooni) leidmiseks kasutati kolme väljundit (ingl k *response factors*): kumulatiivne biogaasi tootlikkus, kumulatiivne orgaaniliste hapete tootlikkus, propionaadi ja atsetaadi suhe.

Sette eelkäitluse optimaalsed tingimused

Tasakaalustatud anaeroobse protsessi korral on lenduvate rasvhapete tootmine vastavuses nende tarbimisega, seega need ühendid ei kuhju (joonis 2). Protsessi tasakaalu võivad rikkuda mitmesugused häired, näiteks orgaaniline või hüdrauliline ülekoormus, toksiinide olemasolu ja temperatuurimuutused. See omakorda põhjustab mikrobioloogilist stressi, mille tulemusena langeb pH ja häiritud on kogu reaktori töö. Seega võib üksikute lenduvate rasvhapete (äädik-, propioon-, või- ja palderjanhape) kontsentratsioone pidada headeks reaktori tööd iseloomustavateks parameetriteks vedelfaasis. Leiti, et sette optimaalseteks eelkäitluse tingimusteks on eeltötluse temperatuur +70 °C ja komponentide inokulum, töödeldud sete ja toorsete suhe 1:8:1 (joonis 3). Just 70 °C eeltötlus oli erinevate segude korral kõige suurema potentsiaaliga. Segu 1:1:8 andis kõige halvema tulemuse 85 °C eeltötlusega, segu 1:4,5:4,5 andis erinevatel temperatuuridel sarnase tulemuse (Menert jt 2005).

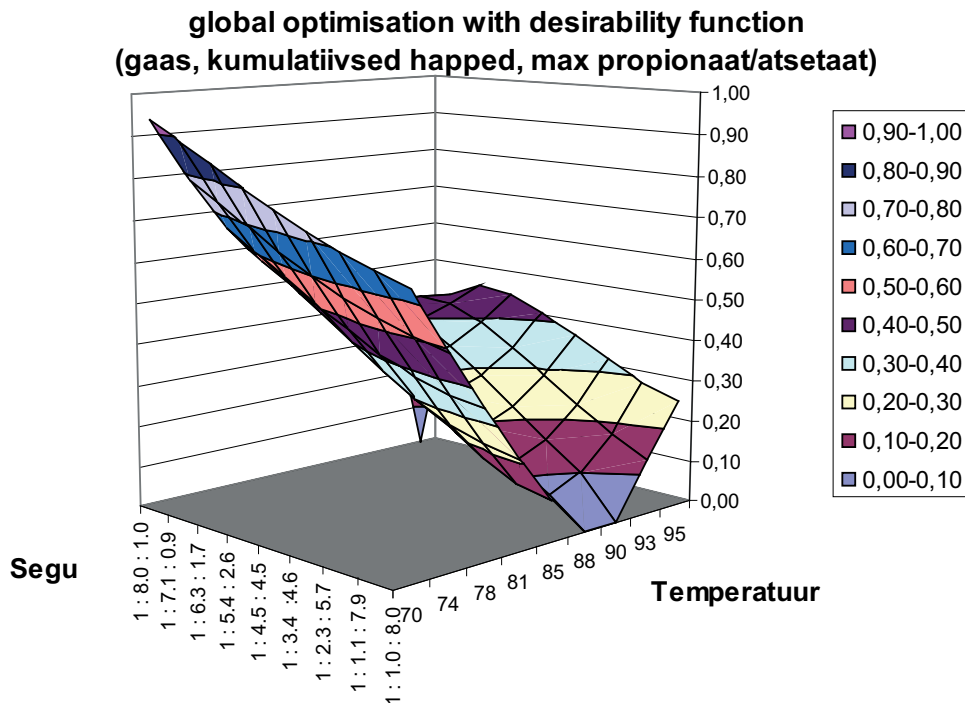


Joonis 2. Lenduvate rasvhapete teke perioodilises katses, substraadiks termiliselt eeltöödeldud reovee sete – tasakaalustatud kasv.

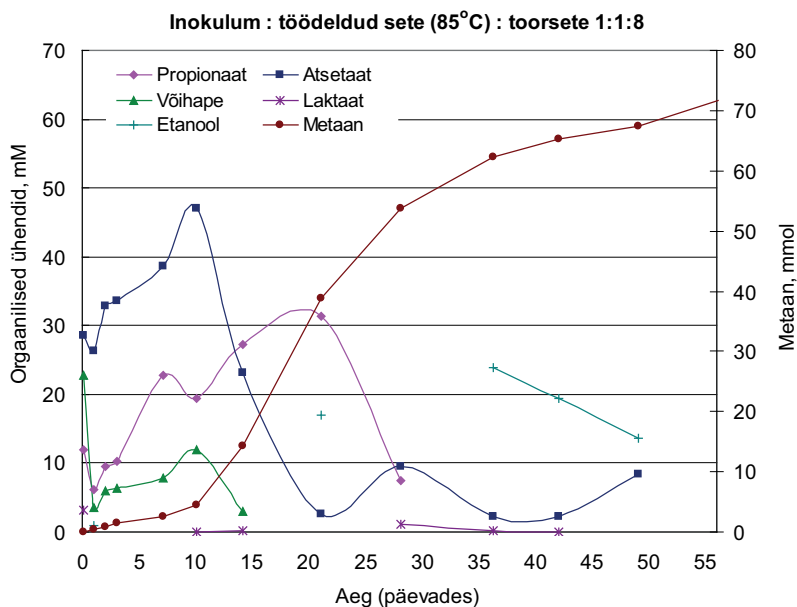
Figure 2. Generation of volatile fatty acids in batch experiment, using thermally pretreated sludge as substrate – balanced growth.

Järgnevalt uuriti erinevate eeltöötlustemperatuuride mõju, kusjuures vaid osa substraadist oli töödeldud – inokulumi, töödeldud toorsete ja toorsete suhteks valiti 1:1:8. Selline segu andis eelnevates katseseeriates kõige vastakamaid tulemusi, samas on see majanduslikult ökonoomsem, sest väheneb eeltöötluks vajalik energiakulu. Selgus, et ka osaline termiline eeltöötlus (10% substraadi kogusest) võib suurendada biogaasi tootlikkust kuni 20%. Kuigi reoainete ärastuselt ja biogaasi tootlikkuselt oli parim +85 °C eeltöötluksuga segu, siis metaani erisaagis oli kõrgeim just +70 °C eeltöötluksuga segu kääritamisel (0,44 m³ CH₄/kg ärastatud KHT). Üheski segus ei toimunud anaeroobsest lagundamist inhibeerivat hapete akumulereerumist (joonis 4). Metaan hakkas tekkima hüppeliselt 15. päeval atsetoklastilise metanogeneesi teel, mida näitas tugev korrelatsioon äädikhappe vähenemise ja metaani produktsiooni vahel. Enne seda toimus metaani tootmine vesinikust ja sipelghapest hüdrogenotroofse metanogeneesi teel. See metanogenees toimub väga kiiresti, kuna sipelghapet kindlaks teha ei õnnestunud. Kolmekümnendaks-neljakümnendaks päe-

vaks oli tekkinud 90% kogu metaanist, mis näitab anaeroobse käitlemise tehniliselt otstarbekat toimumise aega (Mets, 2007).



Joonis 3. Sette termilise eelkäitluse tingimuste optimeerimine.
Figure 3. Optimization conditions for thermal pre-treatment of sludge.



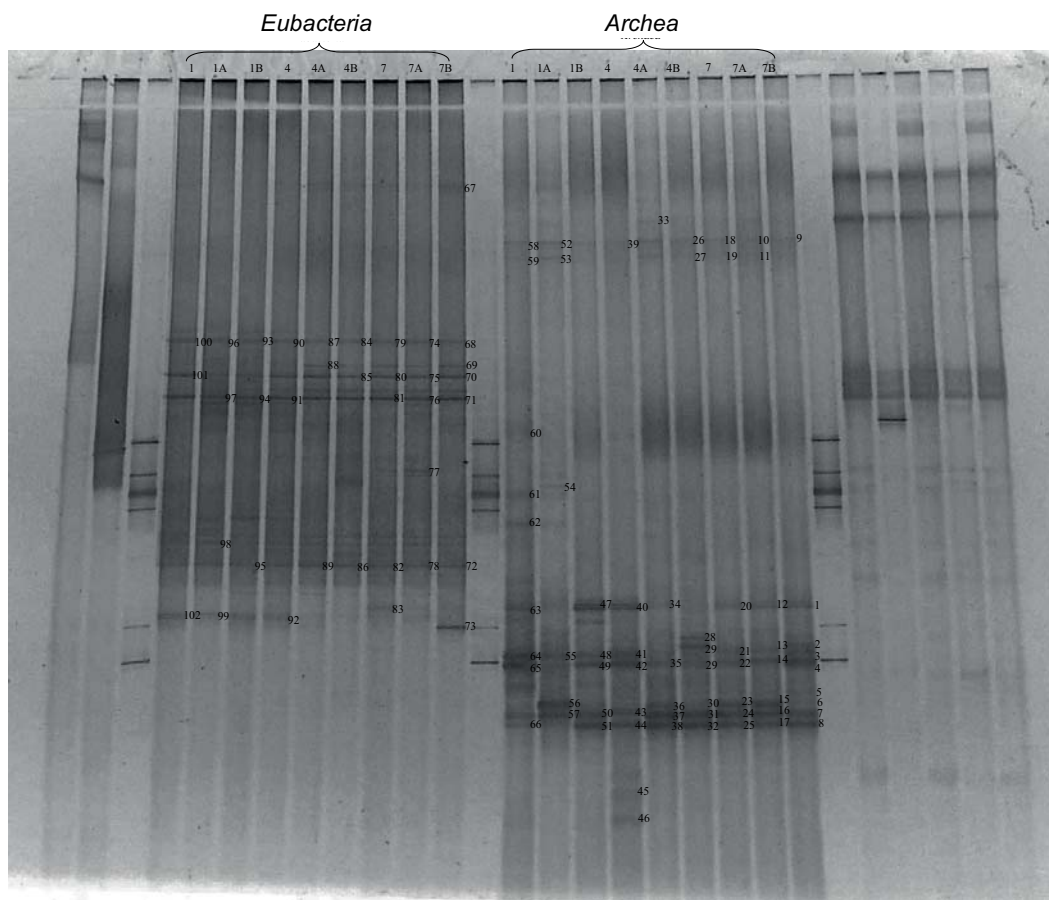
Joonis 4. Orgaaniliste ühendite sisalduse muutused segus 1:1:8 (inokulum : töödeldud sete (+85 °C) : toorsete) mesofiilsel anaeroobsel lagundamisel.
Figure 4. Changes in the content of organic compounds in the mixture of 1:1:8 (inoculum : treated sludge (+85 °C) : raw sludge) during mesophilic anaerobic digestion.

Mikroorganismide identifitseerimine elektroforeesiga denatureeriva geeli gradiendis

Substraadi lagundamist anaeroobsetes tingimustes teostavad bakterid ja arhed, kes oma kasvukeskkonna tõttu on ranged anaeroobid. Selle tõttu on nende kultiveerimine keeruline ja aeganõudev töö. Lisaks on anaeroobne kääritamine protsess, kus ühe komponendi lagundamiseks on vaja erinevaid anaeroobsete mikroorganismide rühmi – iga järgmise rühma toimimine sõltub eelmise tööst. Mõned anaeroobidel lagundamisel osalevad organismid pole võimelised kasvama tahkestatud keskkonnas, kuigi sellel võib olla sama koostis, mis vedelal valiksöötmel. Seetõttu on potentsiaalsete CH₄ ja H₂ tootvate mikroobikoosluste iseloomustamiseks sobivad eelkõige molekulaarsed meetodid, mis võimaldavad uurida otse keskkonnast eraldatud bakterikoosluste DNA-d. Üheks selliseks meetodiks on PCR-DGGE-meetod, mida kasutati ka antud töös. Meetodi nimi on tuletatud kahest meetodist: PCR ehk polümeraasi ahelreaktsioon (ingl k *Polymerase Chain Reaction*) ning DGGE ehk elektroforees denatureeriva geeli gradiendis (ingl k *Denaturing Gradient Gel Electrophoresis*).

Amplifitseerimisreaktsioonist (PCR) saadud produktid eraldati, kasutades elektroforeesi denatureeriva geeli gradiendis (DGGE). Analüüsi proove, mis olid võetud katsereaktorist, milles uuriti termilise eeltöötamise mõju AS-i Tallinna Vesi Paljassaare reoveepuhasti reoveesette hüdrolyüüsi kiirusele (vt joonis 4). Proovid võeti katse käivitamisel. Uuriti eeltöötamise temperatuuridel +70 °C, +85 °C ja +95 °C inokulumi, töödeldud sette ja toorsette suhtega 1:1:8. Märkimisväärseid erinevusi mikroorganismide koosluste dünaamikas täheldada ei õnnestunud, sest PCR amplifikatsiooniga ei ole võimalik eristada elusaid ja surnud rakke (joonis 5).

Eraldatud bakteritest olid arvukaimalt esindatud hõimkonna *Chloroflexi* esindajad. Määratud järjestustele lähimaks liigiks oli *Levilinea saccharolytica*. *Levilinea saccharolytica* isoleeriti puhaskultuurina algselt suhkrut töötleva tehase reoveepuhastussüsteemi mesofiilsest reaktorist mudagraanulite pinnalt reoveest, milles leidis palju sahharoosi ning kergesti lenduvaid rasvhappeid (Yamada jt 2006). Teise grupi moodustasid bakterid, mille lähimaks liigiks oli *Petrimonas sulfuriphila*. *P. sulfuriphila*



Joonis 5. Reoveesetest eraldatud anaeroobsete bakterite ja arhede DNA fragmendid geelil.

Figure 5. DNA fragments of anaerobic bacteria and archae isolated from residual sludge on the gel.

hila on gram-negatiivne mesofiilne mitteliikuv anaeroob. Teisele grupile lähedaseks liigiks oli ka *Proteiniphilum acetatigenes*, mis puhaskultuurina isoleeriti õlletööstuse reovett töötlevast anaeroobsest reaktorist. Kolmandale bakterite grupile olid lähimateks tüüplikeks *Owenweeksia hongkongensi* ja *Alkaliflexus imshenetskii*. Seevastu selgus eraldatud arhede fülogeneetilistest analüüsist, et kõik määratud arhed osutusid arhede perekonna *Methanosarcina* esindajate tüvedeks, olles kõige lähedasemad liikidele *Methanosarcina mazei* ning *Methanosarcina barkeri*. *Methanosarcinad* on metaboolselt mitmekülgsed metanogeenid, kes on metanogeneesi substraadina võimelised kasutama H_2/CO_2 , atsetaati ja metüülamiine. *Methanosarcinasid* on isoleeritud erinevatest keskkondadest, sealhulgas näiteks prügimägedelt, reoveepuhastitest, merepõhjast ja paljude imetajate (sealhulgas ka inimese) magudest.

Järeldused

Methanosarcinade leidumine Tallinna reoveepuhastusjaama settes on ootuspärane, sest kirjanduse põhjal on neid isoleeritud erinevatest keskkondadest, sealhulgas ka reoveepuhastitest. *Methanosarcinadel* on ainulaadne võime toota metaani kolme eri metaboolset rada kasutades. *Methanosarcinade* leidumine AS-i Tallinna Vesi Paljassaare reoveepuhasti settes viitab selle heale kasutusvõimalusele kooskääritamise komponendina või uue kääriti inokulumina. Orgaaniliste jäätmete ja energiataimede anaeroobset kääritamist on maailmas palju uuritud, kuid Eesti jaoks on see suhteliselt uus teema. Seetõttu on hädavajalikud kohalikke tingimusi, substratide omadusi ja nende eeltötlust arvestavad uuringud. Kriitilismateks küsimusteks anaeroobse protsessi puhul on seadme käivitamine ning muutused gaasiproduksioonis ja protsessi efektiivsuses, tulenevalt sisendi kvaliteedi muutustest. Seetõttu on oluline iseloomustada nii kääriti käivitamiseks vajalikku inokulumit kui ka pidevalt jälgida kääritis spontaanselt kujunevat mikroobikooslust. Biogaasi tootmist ei tohiks aga vaadelda kui üksnes energia tootmise vahendit, vaid ka kui üht parimat võimalust biolagunevate jäätmete käitlemiseks ja kasvuhoonegaaside emissiooni vähendamiseks.

Tänuavaldus

Autorid tänavad toetuse eest Eesti Teadusfondi (grant nr 5889), Põhja-maade Energiarahastut (grant nr 06-Hydr-C13) ja Ettevõtluse Arendamise Sihtasutust (grant nr EU27358). A. Menert on tänulik Aita Metsale ja Jaanus Suurvälile tulemusliku koostöö eest.

Kasutatud kirjandus

- Blonskaja, V., Menert, A., Vaalu, T., Vilu, R., Anaerobic mesophilic digestion of sludge with pre-treatment. 3rd International symposium on Anaerobic Digestion of Solid Wastes. Munrich / Garching, Germany, 18.-20. september 2002. Konverentsi kogumik.
- Borja, R., Martin, A., Sanchez, E., Rincon, B., Raposo, F., Kinetic modelling of the hydrolysis, acidogenic and methanogenic steps in the anaerobic digestion of two-phase olive pomace. - Process Bioche-

- mistry nr 40, 2005. Lk 1841–1847.
- Jäätmeseadus. Elektrooniline Riigi Teataja – eRT <https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=749804> (19.10.2010).
- Menert, A., Michelis, M., Helmja, K., Tahkoniemi, H., Vaalu, T., Malsub, T., Vilu, R., Kaljurand, M., Study of VFAs formation during anaerobic digestion of thermally treated sludge by respirometric Oxitop® method. - Kalmar Eco-Tech '05 Conference on Waste to Energy, Bioremediation and Leachate Treatment. Sweden, 28.-30. november 2005. Toim W. Hogland, T. Broby. Rapport nr 3, 2005. Lk 563-564.
- Menert, A., Vaalu, T., Michelis, M., Blonskaja, V., Rikmann, E., Mets, A., Vilu, R., Influence of thermal pre-treatment on mesophilic anaerobic digestion of sludges. - 7th International Conference Environmental Engineering: Water Engineering. Energy for Buildings: Selected Papers. Toim Cygas, D., Froehner, K. D. Lithuania: VGTU Press „Technika”, 2008. Lk 625-635.
- Mets, A., Termiliselt eelkäideldud reoveesette anaeroobne käitlemine. - Talveakadeemia 2007 kogumik. Talveakadeemia 2007, Roosta puhkeküla, Estonia, 23.-25.02.2007.
- Michelis, M., Paljassaare reoveepuhastusjaama jääkmudast vesiniku eraldamine. Seosed vesiniku kasutamise ja kliimamuutuste vahel. Baka-laureusetöö. Tallinna Tehnikaülikool. Tallinn, 2003.
- Michelis, M. Biolagunevate jäätmete anaeroobne käitlemine. Magistri-töö. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn 2009, 77 lk.
- Mölder, H., Blonskaja, V., Sock, O., Vaalu, T., Tallinna reoveepuhastus-jaama jääkmuda koguse vähendamiseks ja metaangaasi koguse suu-rendamiseks rakendatavate eelkäitlusmeetodite laboratoorne uuring. Lepingulise töö nr 3–407 1. etapi aruanne. Tallinna Tehnikaülikooli Keskkonnatehnika instituut. Tallinn, 2000.
- Reoveesette käitlemine 2000-2007. <http://www.keskkonnainfo.ee/failid/vesi/reovesi06.doc> (27.08.2009)
- Yamada, T., Sekiguchi, Y., Hanada, S., Imachi, H., Ohashi, A., Harada, H., Kamagata, Y., *Anaerolinea thermolimos* sp. nov., *Levilinea saccharolytica* gen. nov., sp. nov. and *Leptolinea tardivitalis* gen. nov., sp. nov., novel filamentous anaerobes, and description of the

few classes *Anaerolineae* classis nov. and *Caldilineaceae* classis nov. in the bacterial phylum *Chloroflexi*. Int J Syst Evol Microbiol. nr 56, 2006. Lk 1331-1340.

FERMENTATION OF BIODEGRADABLE WASTE FOR PRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Anne Menert, Merje Michelis, Ergo Rikmann,
Viktoria Blonskaja, Mihkel Kaljurand, Tiit Kallaste

The efficiency of fermentation of biowaste (yield of biogas, etc) depends on a number of process parameters (kind of substrate, loading rate, hydraulic retention time, etc) of which the hydrolysis rate of organic material has the precedence. Pretreatment of material can be applied for increasing it, resulting in converting the substrate more accessible to anaerobic microorganisms. Generation of volatile fatty acids (VFAs) was studied during anaerobic digestion of thermally pre-treated (+70 °C to +95 °C) sludge. By experimental results the global optimum for mixture content and pre-treatment temperature (on the basis of gas production, total amount of acids and ratio of propionate and acetate) was the mixture inoculum: pre-treated sludge: raw sludge in the ratio of 1:1:8 and pre-treatment temperature +70 °C. It was found that even partial thermal pre-treatment (10% of raw sludge) increased the production of biogas up to 20%. Considering products of metabolism during anaerobic digestion the acetoclastic metanogenesis dominated. Culture independent technique – denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) was used in order to determine the impact of different pretreatment methods on the microbial community structure. Most of the bacteria identified were representatives of the phyla *Chloroflexi* and *Bacteroidetes*; all the identified archae were shown to represent the genus *Methanosarcina* – anaerobic methanogens, the main biogas producers occurring in landfills, WWTPs, in sea sediments and mammal guts. These archaea are able to produce methane by all three known methanogenic pathways – the hydrogenotrophic, acetoclastic and methylotrophic pathway.

ENERGIA, ELUKESKKOND JA REOVEEPUHASTUS

Hillar Toomiste
AS Tartu Veevõrk, Tähe 118, Tartu 51013
e-post: hillar.toomiste@gmail.com

Annotatsioon

Käesolevas artiklis vaadeldakse põhjusi, miks energia- ja elukeskkonna-probleemid on nii teravaks kujunenud, ning antakse ülevaade taimetoitainete kasutamisest elukeskkonna vormimisel. Vaadeldakse kahe põhilise põlluväetise, lämmastiku ja fosfori ressursse looduses ning nende tootmisega seotud probleeme. Lokaalse ressursi kasutamise näitena hinnatakse Tartu reoveepuhasti energia ja taimetoitainete tootmise potentsiaali. Uued reovee puhastamise tehnoloogiad võimaldavad vähendada energiakulu ja suurendada energia ja taimetoitainete taaskasutamist.

Märksõnad: Energia, elukeskkond, ressursid, reovesi, käitlemine

ELUKESKKOND JA RESSURSID

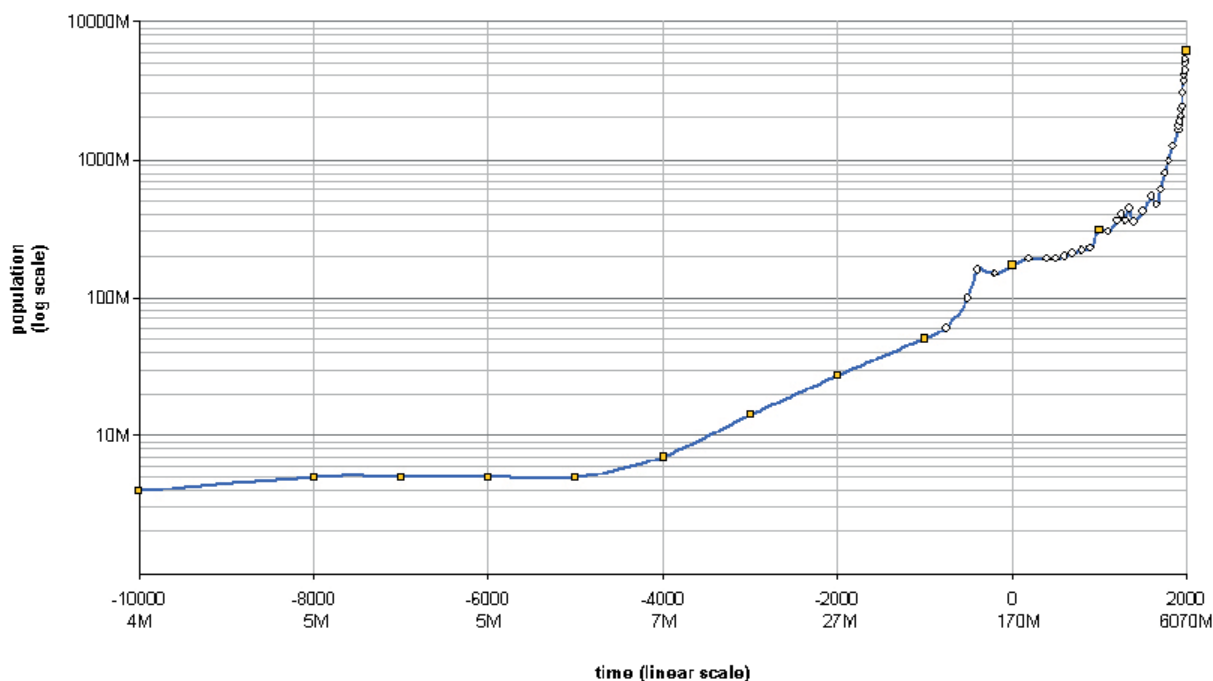
Sissejuhatus

Inimkonna arengut ja heaolu piiravad nii fossiilsed kütused kui ka maa-vararessursid. Fossiilsete energiakandjate ammendumisest ja nende võimalikust asendamisest on juba paarkümmend aastat räägitud ja esimesed sammudki bioenergia, tuule- ja päikeseenergia kasutuselevõtuks astunud. Fossiilsete kütuste hinnad on pidevalt, kuid suhteliselt stabiilselt tõusnud. See näitab, et me ei ole veel jõudnud nõudluse-pakkumise murdepunkti-ni, kus hinda hakkab mõjutama tootmisvõimaluste vähenemine. Ressur-sivaldajate soov raha saada on põhjustanud majanduskasvu, mitmekesis-tanud tootmisvahendeid ning suurendanud mahtusid.

Mis on sellise kasvu põhjused ja missugused on eeldatavad tagajärjed?

Rahvaarvu suurenemine

Rahvaarvu suurenemise tendentsi iseloomustab joonisel 1 esitatud graa-fik, mis näitab maailma rahvastiku hulka aastatuhandete lõikes. Siit on näha, et pikka aega oli inimeste arv suurusjärgus 4 – 5 miljonit. 6000 aastat tagasi oli inimesi 7 miljonit, 4000 aasta eest 27 miljonit, 2000 aastat tagasi 170 miljonit. Ühe miljardi piiri ületas inimkond aastal 1804, kolm



Joonis 1. Inimkonna rahvaarvu kasv viimase 12 000 aasta jooksul.

Figure 1. Growth of human race during last 12 thousand year.

miljardit täitus 1960, neli miljardit 1974. Aastaks 2000 oli inimesi üle 6 miljardi, tänaseks on inimkond kasvanud 6,9 miljardi inimeseni.

Kõik need inimesed soovivad süüa, juua ja inimväärseid elamistingimusi. See on põhjustanud ka üha suuremat ressurside kasutuselevõttu ja tundub, et lähemas tulevikus pole selles osas muutust oodata.

Looduslikud ressursid

Looduslikke ressursse on inimkond oma eksistentsi tagamiseks tarbinud juba aegade algusest peale. Alguses kasutati enamasti taastuvaid ressursse - inimtegevus oli loodusega tasakaalus. Ka taimetoitainete kasutamine oli kenasti ringluses: põllult lauale, peale tarvitamist sõnnikupatareisse, sealt jälle põllule. Muutuse põhjustas mineraalväetiste kasutuselevõtt. Kohe tõusis põllukultuuride saagikus ja vabanes osa inimesi, kes varem põllutöödega seotud olid. Tööstus puhkes õitsele ja linnastumine hoogustus, aga taimetoitainete ringlus oli lõhutatud. Linnades tekkivaid toidujäätke ei söödud enam loomadele, need viidi prügimäele. Fekaalidega eralduvad taimetoitained ei jõudnud enam põllule, need lasti koos reoveega jõ-

gedesse. Tulemuseks oli taimetoitainete raiskamine ja looduse reostamine. Jõgedesse sattunud taimetoitained panid veetaimed vohama, mistõttu veekeskkond eutrofeerus.

Taimetoitainete põhikolmiku moodustavad lämmastik, fosfor ja kaalium (lühendina NPK). Vaatleme neist kahe, lämmastiku ja fosfori tootmise ja taaskasutamise võimalusi.

Lämmastikku leidub atmosfääris 78% kogu gaasimassist. Paraku ei suuda taimed seda gaasilisel kujul omandada. Lämmastikuühendite tootmiseks kasutatakse maagaasi, koksigaasi või elektrolüüsi teel saadud vesinikku ja seotakse see katalüütiliselt gaasilise lämmastikuga. Tulemuseks saadakse ammoniaak NH₃. Ammoniaagi tootmine on väga energiamahukas. Aastas kulub ammoniaagi tootmisele üle 1% kogu inimkonna energiatoodangust.

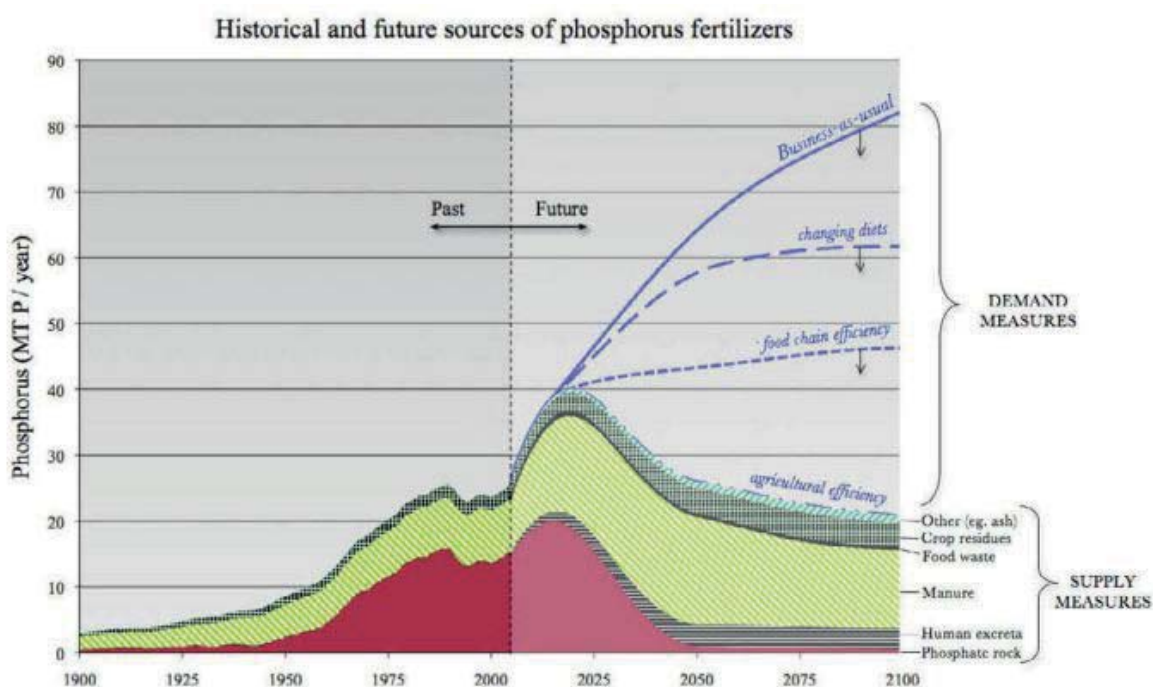
Fosforit leidub maakoos maagina. Aktiivseid varusid on hinnanguliselt 16 miljardit tonni. Aastas toodetakse praegu 158 miljonit tonni – umbes 1% varudest aastas. Sellise tempoga jätkates saaks ressurss 100 aastaga täielikult otsa. Kas tõesti pole inimkonnal rohkem kui 100 aastat soovi intensiivpõllumajandust viljeleda? Tabelis 1 on toodud lühikokkuvõtte ressurssidest.

Tabel 1. Lämmastiku- ja fosforivarud ning nende tarbimine.

Table 1. Resources and consumption of nitrogen and phosphorous.

	Varud 10 ⁶ tonni	Aastane toodang 10 ⁶ tonni maailm	Aastane kasutus 10 ⁶ tonni USA	Hind \$/t 2008 a.
N (NH ₃)	1 % maailma energiatarbest	133	13,5 (väetis 89%)	590
P (P ₂ O ₅)	16 000	158	25,7 (väetis 95%)	75

Fosforiga on seotud veel teine probleemide ring. Fosforimaak sisaldab arvestataval hulgal kaadmiumi (Cd), mida peetakse mürgiseks raskemetalliks. Praeguseni on kasutatud maardlaid, kus kaadmiumi sisaldus on väike, mingil ajal tuleb aga maagist ka kaadmiumi eraldama hakata ja see teeb tootmise oluliselt kallimaks. Seega on fosforvähete turul oodata ressurside lõppemisest tingitud piiktootmise saabumist ja peale seda piiki pole enam üksi hind endine. Joonisel 2 on prognoositud mineraalse fosforvähete piiktootmise saabumine.



Joonis 2. Fosforvähete allikate prognoos.
Figure 2. Sources of phosphorous fertilizers.

Analoogiline piiktootmise graafik kehtib ka naftatoodete mahtudele ja hindadele. Seda piiktootmise tippu oodatakse millalgi tänase päeva ja 2020. aasta vahel. Fossiilne energia ei ole lõputu ressurss.

RESSURSID JA REOVEEPUHASTUS

Lokaalne ressurss

Vaatleme nüüd ühte lokaalset ressursi – Tartu reoveepuhastit. Puhasti teenindusala on 100 000 elanikku, joogivett tarnime 13 000 m³ ööpäe-

vas, reovett saame 35 000 m³ ööpäevas. Iga päev tekib 230 m³ 3% kuivainesisaldusega setet ehk 7 tonni kuivainet. Sellest saab toota 2000 m³ biogaasi, millega käitada 200 kW elektrigeneraatorit ja saada lisaks 240 kW soojusenergiat. Seega saaksime päevas toota 10,5 MWh energiat. Võttes 1 MWh hinnaks 1000 krooni, oleks päevane sissetulek 10 500 krooni ja aastane sissetulek 3,8 miljonit krooni.

Samal ajal toob reovesi meile taimetoitaineid, lämmastikku ja fosforit. Kui me suudaksime need reoveest eraldada ja arvutaks selle 2008. aasta hindade põhjal rahalisse vääringusse ümber, siis oleks väetiste tootmise pealt sissetulek 4 miljonit krooni aastas.

Taimetoitainete eraldamiseks on mitmeid tehnoloogiaid välja töötatud, aga rakendatud on neid vaid mõnes üksikus puhastis. Põhjuseks on enamasti tööstusepoolne huvipuudus. Meil Tartus on praegu hindamisel väiketööstusele sobiliku tehnoloogia valik.

Uued tehnoloogiad reoveepuhastuses

Ka reoveepuhastuses on arendamisel uued tehnoloogiad, mis tarbiksid vähem ressursse või oleksid koguni energiaallikana kasutatavad. Kui klassikalised reoveepuhastid on orienteeritud bakterite kasutamisele ja reovee intensiivsele aereerimisele, siis üks uutest tehnoloogiatest on reovee puhastamine bakterite ja vetikate abiga. Selline kombineeritud tsükkel annab võimaluse vähendada energiakulu, mis vanema tehnoloogia puhul kulus bakteritele vajaliku hapniku lahustamiseks reovette.

Uue tehnoloogia kohaselt toodavad osa vajalikust hapnikust vetikad. Samal ajal tarbivad vetikad lahustunud süsihappegaasi ja vähendavad seega kasvuhoonegaaside emissiooni. Samuti suureneb orgaanilise aine juurdekasv ja taimetoitainete ärastamine reoveest. Orgaanilise aine saab metaantankis ilusti energiaks pöörata ja kääritusjääkidest on väga sobilik taimetoitaineid eraldada. Lämmastiku ja fosfori kontsentratsioon on kääritusjäägis kümneid kordi suurem kui puhastile peale voolavas reovees.

Oluliseks küsimuseks on ka puhasti külmakindlus. Näiteks ei toimi mägala puhastid meie kliimavöötmes hästi just taimestiku puhkeperioodi tõttu miinustemperatuuridega aastaajal. Vetikad on aga täielikult veega kaetud ja seetõttu külma eest kaitstud. Puhastist väljuva vee temperatuur ei lange ka $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ õhutemperatuuri juures alla $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Paraku on selline tehnoloogia alles väljatöötamise faasis. Aga see annabki võimaluse ka meil kaasa rääkida ja mõne hea idee pakkuda.

Lõpetuseks

Energia salvestuse ainukeste meetoditena pole vaja loota ainult vesinikuenergeetika suurele õitsengule või Norra järvedesse vee pumpamisele. Nimetatud tehnoloogiate puhul jääb kasutegur 40-55% vahemikku. Hooratas, surugaas ja vanaadiumaku võimaldavad energiat salvestada selle tekkekohal ja vältida asjatuid transpordikulusid.

ENERGY, ENVIRONMENT AND WASTEWATER TREATMENT

Hillar Toomiste

Current article is trying to describe the reason why the energy and environment problems have been lately so pointed out. The description of resources and problems about two main plant nutrients, nitrogen and phosphorous is carried out. Tartu Wastewater treatment plant is evaluated as an example of local resource for energy and plant nutrients production. New technologies for wastewater treatment will reduce the need for energy and offer better possibility to reuse the plant nutrients and energy.

TAASTUVELEKTRI FIKSEERITUD OSTUHIND 2KR/KWH BIOGAASIJAAMADE PUHUL MUUDAB BIOGAASITOOTMISE EESTIS TASUVAKS SÄREVERE BIOENERGIAÜHISTU EELTEOSTATAVUSE UURINGU NÄITEL

Ahto Oja¹, Tauno Trink², Tõnu Oja³, Aare Vabamägi⁴
¹OÜ Mõnus Minek tegevjuht, e-post: ahto.oja@monusminek.ee
²OÜ Mõnus Minek, e-post: tauno.trink@monusminek.ee
³Tartu Ülikooli Geograafia Instituut, e-post: tonu.oja@ut.ee
⁴Kliima- ja Energiaagentuur, e-post: aare.vabamagi@kena.ee

Annotatsioon

Bioenergiaühistu on ühistu vorm, kus biogaasi tootmiseks vajalike sisendite omanikud, nagu ettevõtted ja talunikud, on ise biogaasitootmise ja energiamuundamise ühistu osanikud. Türi vallas Särevere kandis on 30 kilomeetri raadiuses kaardistatud enamik biogaasi tootmise sisendite asukohti ja nende omanikke. Selle alusel on arvutatud olemasolevate sisendite baasil biogaasist toodetav energia, selle bilanss ja bioenergiatootmise tasuvus. Võrreldakse kehtivat fikseeritud taastuvelektri ostuhinda (1,25 kr/kWh) kavandatava hinnaga (1 kr/kWh) ja biogaasi tootmist tasuvaks muutva taastuvelektri kokkuostuhinnaga (2 kr/kWh). Praeguste investimiskulude ja -tulude juures ei ole biogaasi tootmisesse majanduslikult tasuv panustada. Ainult biometaani müük hinnaga 7 kr/Nm³ ja taastuvelektri fikseeritud kokkuostuhind tasemel 2 kr/kWh muudavad biogaasi tootmise majanduslikult tasuvaks, mõnel juhul isegi ilma investeerimistoetuseta. Lätis on taastuvelektri kokkuostuhind üle 3 kr/kWh eest, samas lõpetab taastuvelektri fikseeritud kokkuostuhinna vähendamine Eestis igasuguse biogaasialase tegevuse. Käesoleva töö põhjal saab järeldada, et taastuvenegiatoetused tuleb diferentseerida allika, asukoha ja suuruse järgi.

Märksõnad: biogaas, pilootpiirkond, energiaühistu, energiabilanss, taastuvelektri fikseeritud ostuhind.

Sissejuhatus

Järvamaa Kutsehariduskeskus (edaspidi JKHK) on algatanud taastuv-

energiatehnika kutsestandardi väljatöötamise ning vastava eriala õppe. Et vastav õpe oleks rakenduslik ja praktiseeritav, luuakse kooli õppefarmi baasil biogaasi tootmise ja biogaasist soojuse ning elektri koostootmise tehniliste seadmete terviklahendus koos sarnase õppemudeliga klassiruumis. Lisaks uuritakse biogaasi tootmise sisendite koguste põhjal, millise suuruse ja võimsusega lisakääriti paigaldus otstarbekas on. Uuringus selgitatakse välja Säreverest kuni 30 km (edaspidi pilootpiirkond) raadiuses võimalike osapoolte (sisendi tootjad, energia muundajad, energia tarbijad) lähtematerjalide kogused biogaasi tootmiseks, huvi ja valmisolek teha energia tootmisel ja tarbimisel omavahelist koostööd, sh näiteks piirkondliku bioenergiaühistu loomine. Käesoleva uuringu viis läbi Kliima- ja Energiaagentuuri bioenergia ekspertide multidistsiplinaarne töörühm.

Bioenergiaküla ja bioenergiaühistu kontseptsioon lähtuvad arusaamast, et piirkonna energiavajaduse katmiseks (s.o elektri ja sooja koostootmine, mootorikütuste tootmine) töötatakse välja terviklahendus. Bioenergiaühistu moodustavad kohalikud elanikud, põllumehed, ettevõtted ja miks mitte ka piirkonnas asuvad haridusasutused ja omavalitsused. Bioenergiaühistu liikmed kasvatavad ja koguvad näiteks rohtset biomassi (silo, hein, taimekasvatuse jäägid), saadavad oma sõnniku, läga ja biojäätmel biogaasijaama ning bioenergiaühistu ise toodab biogaasi ning muundab biogaasi koostootmisjaamas elektriks ja soojaks. Elekter müüakse elektrivõrku ja soojusenergia kasutatakse lautade, kavandatava kasvuhoone ja Särevere majade kütmiseks. Vajadusel puhastab ühistu tulevikus biogaasi biometaaniks, et kasutada seda mootorikütusena.

Küla bioenergeetilise terviklahenduse all peetakse silmas järgmisi printsiipe.

1. Võimalikult paindlik ja adaptiivne süsteem energia tootmiseks biomassist ja biojätmetest, mis pärinevad lähiümbrusest (kuni 30 km).
2. Innovaatiline, teaduslik ja eksperimenteeriv lähenemine: koostöö ülikoolidega ja kutsehariduskeskusega, pakkumaks Eestisse sobivate taastuv-, sh bioenergiatehnoloogiate ja bioenergiaühistute loomist, testimist ja arendamist.

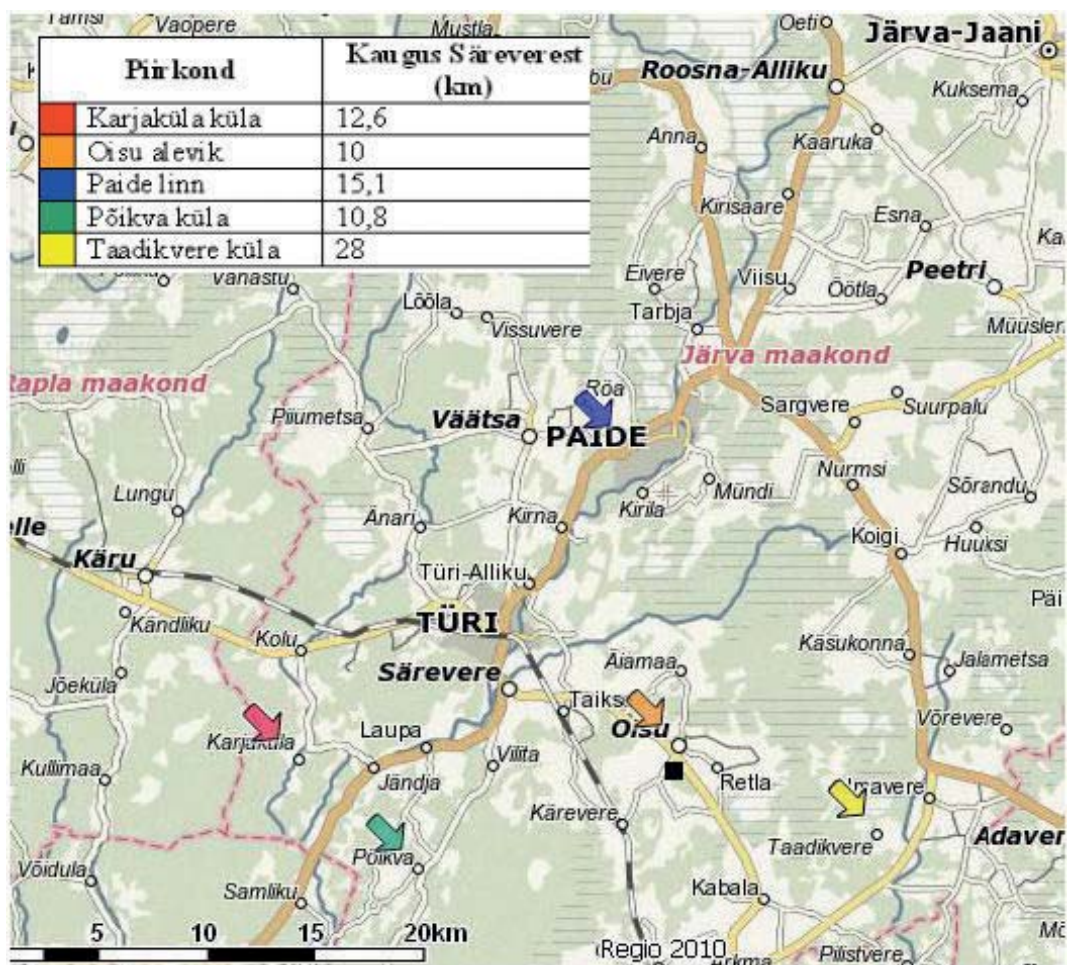
3. Tehnoloogilisi, sotsiaalseid, keskkondlikke ja majanduslikke tahke käsitletakse komplekselt ja need on omavahel tasakaalus.
4. Kogukonna motivatsioon, osalemine ja kasu saamine on bioenergiaühistu üks olulisemaid põhimõtteid, kusjuures kogukonna moodustavad kohalikud elanikud, ettevõtjad, vabaühendused ja omavalitsus.

Metoodika

Töö teostamiseks tehti järelepärimisi olemasolevatest andmebaasidest ning suheldi otse nii telefoni kui ka elektronposti teel info valdajate ja sisendikoguse omanikega. Ühendust võeti pilootpiirkonnas asuvate biogaasi valmistamiseks sobivate lähteainete suurtööstajatega: OÜ Türi Vesi, AS Paide Vesi (reoveemuda) ja AS Väätsa Prügila (biolagunevad jäätmed). Tulemustes reoveemuda kogustega ei arvestatud, sest mudakogus oli väike (aastas u 1000 t). Väikese koguse muda lisamine (hügieniseerimismõnede täitmine lisab kulusid) ei kaalu üles kääritusjäägi võimalikke kasutamispääsmeid, sest reoveemuda sisaldava kääritusjäägiga ei võid vältida rohumaad ega põlde.

Kaardistatud on pilootpiirkonnas tegutsevad veisekasvatajad ja seakasvataja ning leitud kasutamata põllumajandusmaade kogused. Joonisel 1 on toodud töö koostajate poolt kaardistatud pilootpiirkonnas tegutsevad veisekasvatajad vahemikus 100-199 loomühikut (lü). Sarnased joonised on uuringus koostatud ka kõigi teiste veisekasvatajate (vahemikus lü 20-29, 30-49, 50-99, 100-199 ja lü >200) kohta.

Pilootpiirkonnas elavatele loomapidajatele helistati ning elektronpostiga saadeti küsimustik 37 veisekasvatajale ja pilootpiirkonnast 33 km kaugusel Sõmeru külas asuvale ainukesele suurele seakasvatajale (Sõmeru külas asuvas seakasvatustevõttes oli 01.05.2009 seisuga 2772 siga). Küsimustikus uuriti võimalikke biogaasisisendite koguseid ja inimeste huvi osaleda energiaühistu loomises, kuid biogaasitootmise sisenditena arvestati esialgu vaid suurte veisekasvatustevõtjate (lü>200) aastaste lägakogustega, kuna väikeste koguste transpordikulu on kõrge ning paljudel kulub sõnnik oma tarbeks ja põldude väetamiseks. Käesolevas töös arvestati tahkesõnniku kogustega ainult ühe maksimaalse stsenaariumi puhul.



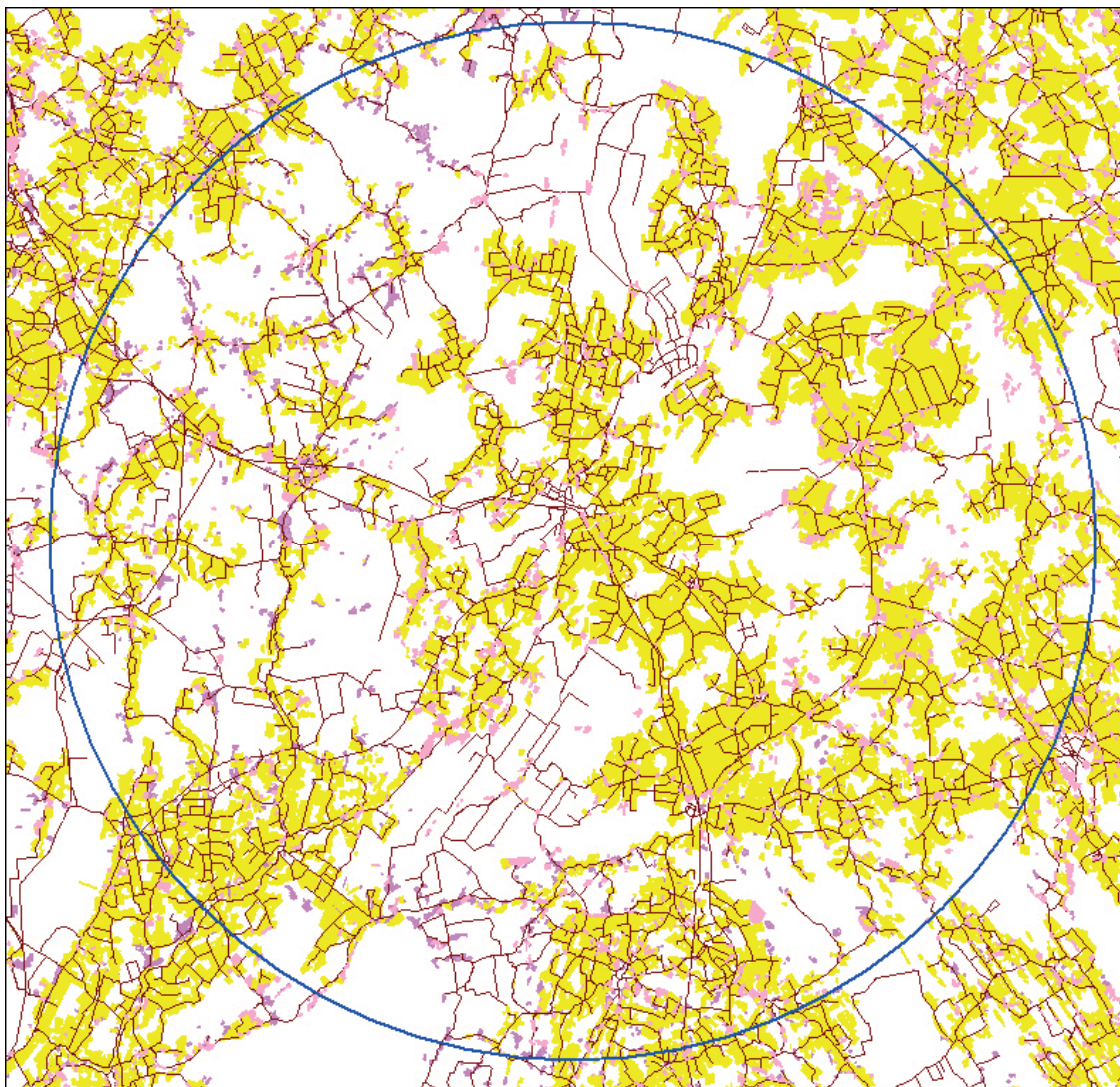
Joonis 1. Piloopiirkonna veisekasvatajate (lü vahemik 100-199) asukohad kaardil ja nende kaugus Säreverest.

Figure 1. Pilot area of cattle (livestock unit 100-199) graphical location on the map and distance from Särevere.

Säreverest 30 km raadiuses asuvad Paide vald, Paide linn, Türi vald, Väätsa vald, Koigi vald, Kareda vald, Kärü vald, Imavere vald, Roosna-Alliku vald. PRIA põllumassiivide registriosakonnale esitati kirjalik päring eelnimetatud paikades olevate registreeritud põllumassiivide kogupindala ja samadel põllumassiividel ühtset pindalatoetust (ÜPT) taotletud alade kohta, et saada teada kasutamata maade suurus ja asukohad nimetatud valdades.

Töös on arvestatud, et 3%-l kasutamata maadest saab kasvatada rohset biomassi (492 ha)¹. Rohumaade taimede biomassi tootmine on 7,3 t/ha (Muiste jt 2007), kuid töös on arvestatud erinevatele suulistele

¹ Biogaasijaama sisendite hulka on arvestatud u 10 000 tonni silo aastas, alternatiivina kasutamata maadele on võimalik see silo koguda rohumaadelt kahe või kolme niitega või kasvatada spetsiaalseid energiakultuure, nagu mais, ida-kitsehernes jt, mille hektarisaagikus on väidetavalt ka Eesti oludes 35 t/ha.



Joonis 2. Pilootpiirkonna maakasutus. Pruuniga on tähistatud kõik teed, kollasega põllumassiivid, millele on 2009. aastal taotletud ÜPT. Hele- ja tumelilla on põllumajandusmaa, millele viimase 2 aasta jooksul ei ole taotletud ÜPT-d.
 Figure 2. Usage of land in pilot area. In brown – roads; in yellow – agricultural lands covered on PRIA hectare based subsidy. In purple – agricultural lands which are not covered on PRIA hectare based subsidy in last 2 years.

andmetele tuginedes kolme niitega aastas, mis teeb keskmiselt 20 t/ha kohta, kokku 9840 t silo. Ühe tonni biogaasi toogiks on võetud 132 m³/VMt (Kask, Kikas 2009).

Tulemused

Energiaühistu loomist puudutavad tulemused kajastuvad pilootpiirkonnas tegutsevate veisekasvatustevõtjate vastustel. Üheks biogaasi jaama loomise takistuseks võib kujuneda sisendite transpordikulu, tsiteerime ühte vastajat: „Kulukaks osutuvad ilmselt sõnniku/läga kokkuvedu ja

peale kääritusprotsessi põllule tagasivedu. Ei usu, et meie sellesuunalises arvutuses (saime maksimaalseks talutavaks veokauguseks 6-7 km) tänaseks midagi odavamaks on läinud, pigem vastupidi.“ Senise omavahelise koostöö takistuse põhjused on ühe loomakasvataja sõnu tsiteerides järgmised: „Ei ole õigeid paarilisi. Siin on minu arvates suurim takistus riiklikult aetav poliitika (vastandatakse suured-väikesed, taimekasvatajad-loomakasvatajad, endised-ued; maamajandus on ametnike-kontrollide väega üle reguleeritud, normid-seadused on kõvasti üle pingutatud jne), mida meedia põhimõttelagedalt võimendab.“ SäBE osakusse investeerimisse ja SäBE-s osalemisse suhtuti järgmiselt: „Ei ole veel valmis Kui osalen ühistus, olen valmis panustama Mõeldav“ Siinkohal tasub mainida, et kokku vastas sisuliselt kõigile küsimustele neli veisekasvatajat (vastamisprotsendiga 10,8%) ja ainuke seakasvataja.

Aastase energiabilansi ja tasuvuse jaoks on koostatud stsenaariumipõhised lähenemised, milles kajastuvad erinevad taastuvelektri müügihinnad: kavandatud 1 kr/kWh, kehtiv 1,25 kr/kWh ja biogaasi tootmise tasuvust tagav 2 kr/kWh. Tasuvusarvutustes eeldati, et toodetavast biogaasist on kasutatav 80% (osa biogaasi eraldub koos kääritusjäädiga, mille kogumise efektiivsus sõltub järelkäärivate olemasolust ja tehnoloogilisest lahendusest), elektriliseks kasuteguriks on 40% ja soojuse kasutegur on 43%. Olmejäätmete biolagunevast osast on reaalselt kasutatav 25%, piirkonna veise- ja sealägap on reaalselt kasutatav 90%. Rajatava biogaasijaama soojusenergia omatarve on vähemalt 35% ja elektri omatarve 7% toodetavast energiast. Soojusenergia müüakse kohalikku kaugküttevõrku hinnaga 500 kr/MWh_{th}, elektrigeneraatori võimsuse arvestamisel on võetud aastaseks töötundide arvuks 8200. Tabelis 1 on toodud biogaasi sisendite kogused ja osakaal, biogaasitoogid tonni värske massi kohta ja saadava biogaasi kogus. Maksimaalses stsenaariumis on võetud kasutusele ka lägaks ümber arvutatud tahkesõnnik, mis kahekordistab läga kogust. Biojäätmete kogused on väikesed, olmejäätmetest neid liigiti ei koguta ning lisaks on neid vaja hügieniseerida, et kääritusjääd oleks kasutatav väetisena, mistõttu oleme tasuvusarvutustes biojäätmetest saadava biogaasi välja jätnud.

Tabel 1. Särevere bioenergiaühistu biogaasijaama potentsiaalsed sisendid, nende protsentuaalne jagunemine ning toodetava biogaasi kogus.

Table 1. Biogas production inputs and biogas production of Särevere cooperative biogas plant.

Sisendmaterjal	Sisendi osakaal %	Kogus t/a	Biogaasi tonni värskel massi (VM) kohta m ³ /t VM	Biogaasi kokku m ³ /a x 10 ³
Köögijätmed	0,65	488	57	28
Biolagunevad jätmed	0,37	277	81	22
Olmejäätmete biolagunev osa	2,17	1 626	68	111
Kokku	3,2	2 391		161
JKHK rohusilo	1,34	1 000	132	132
Lüpsilehmad (120)	2,17	1 620	21	34
Mullikad (80)	1,44	1 080	21	22
Pullmullikad (60)	1,08	810	21	17
Sead (150)	0,39	289	20	5
Kokku	6,42	4 799		211
Veiseläga (<30 km)	69,2	51 750	21	1 087
Sealäga (33 km)	8,02	6 000	20	122
Kokku	77,23	57 750		1 209
Rohusilo 3%	13,16	9 840	132	1 299
Kõik kokku	100,00	74 780		2 881

Esimese stsenaariumi puhul on kasutatava (80% maksimaalsest kogusest) biogaasi kogus 2,2 miljonit m³. Taastuvelektri müügist laekub 5,9 miljonit krooni (praeguse hinna 1,25 kr/kWh juures) ja soojusenergia müügist saab aastas tulu 2 miljonit krooni. Soojusenergiat tarbivad Säreveres asum, kohalik kutsehariduskeskus ja selle tootmishooned. Nende praegune soojatarve on 4,4 GWh/a ja 10% energiasäästu saavutamisel jätkub koostootmisjaamas toodetavast soojusest asulale 3,9 GWh/a. Kui toodetav elektrienergia müüa planeeritava vähendatud taastuvelektri fikseeritud hinnaga 1 kr/kWh ja soojusenergia hinnaga 500 kr/MWh, siis on saadav tulu 6,7 miljonit krooni. Nii praegu kehtiva (1,25 kr/kWh_e) kui ka planeeritava vähendatud (1 kr/kWh_e) taastuvelektri fikseeritud ostuhinna puhul puudub biogaasijaamal tasuvus lähema 10 aasta jooksul, mis ka selgitab, miks Eestis ei ole biogaasijaamade rajamine hoogu sisse saanud.

Biogaasi tootmine ja soojuse ning elektri koostootmine Säreveere piirkonnas lägst ja silost muutub 50% investeerimistoetuse ja taastuvelektri fikseeritud kokkuostuhinna 2 kr/kWh juures tasuvaks kuuendal aastal (IRR 14%). Ilma investeeringutoetuseta ei ole tasuvust isegi fikseeritud kokkuostuhinnaga 2 kr/kWh (tabel 2).

Arvestatud on biogaasijaama generaatori nimivõimsusega 600 kWh_{el} (investeeringukuluga 55 000 kr/kWh ehk 3500 €/kWh). SEK-investeeringu suurus on 6,5 mln kr. 50% ulatuses on arvestatud investeeringutoetusega, 30% ulatuses kümneaastase laenuga, mille intress on 7%, ja 20% ulatuses omafinantseeringuga. Silo omahinnaks on võetud 500 kr/t, läga ja biojäätmete veokulu on pilootpiirkonna piires 2 kr/t/km ning tööjõu aastaseks kuluks on arvestatud 7% investeeringust.

Teise stsenaariumi puhul on arvestatud, et biogaasi tootmiseks kasutatakse ära ka piirkonnas olev tahkesõnnik, mis vedelsõnnikuks ümber arvutatuna suurendab läga kogust kaks korda. Muid eeldusi muutmata on taastuvelektri ja soojusenergia müügitulu kehtiva fikseeritud taastuvelektrihinnaga (1,25 kr/kWh_e) 11 mln krooni, kavandatava hinnaga (1 kr/kWh_e) 9,3 mln kr ja isegi investeeringutoetusega 50% ulatuses ei ole biogaasi tootmine kummagi kokkuostuhinna juures majanduslikult tasuv. Seevastu tasub biogaasi tootmine ning muundamine elektriks ja soojaks ära ilma investeeringutoetuseta (50% laen ja 50% omafinantseering), kui taastuvelektri fikseeritud kokkuostuhind on 2 kr/kWh_{el}. Sel juhul on teenitav tulu taastuvelektri müügist 15,8 mln kr (IRR 12%) ja tasuvusajaks on kuus aastat. Samuti on majanduslikult mõttekas sellise koguse puhul puhastada biogaas biometaaniks, eeldusel, et biometaanil õnnestub müüa praeguse maagaasitankla hinnaga 7 kr/Nm³.

Tabel 2. Särevere bioenergiaühistu biogaasijaama majandusarvutused olmejäätmeid arvestamata.

Table 2. Economic calculations without biowaste input of Särevere cooperative biogas plant.

			Äritulu aastas	NPV	IRR	tasuvus
	ühik	Kogus	mln kr	mln kr		aasta
80% biogaasist aastas on kasutatav	Nm ³ x 10 ⁶	2,2				
Elektrienergia 40% kasuteguri juures	GWh/a	5,2				
Tulu taastuvelektri müügist, 2 kr/kWh,	mln kr/a	9,4	11,4	14,4	14%	6
Tulu taastuvelektri müügist, 1,25 kr/kWh	mln kr/a	5,9	7,9	neg.	-	pole
Tulu taastuvelektri müügist, 1 kr/kWh	mln kr/a	4,7	6,7	neg.	-	pole
Soojusenergia 43% kasuteguri juures	GWh/a	3,9				
Soojusenergia müügist saadav tulu (70%)	mln kr	2,0				
Elektrigeneraatori väljundvõimsus	MW	0,6				
Investeeringukulu, 54 760 kr/kW N _{el}	mln kr	39,4				
Investeeringutoetus (50%)	mln kr	19,7				
Laen (30%)	mln kr	11,8				
Omafinantseering (20%)	mln kr	7,9				
Äri- ja kapitalikulud 1. aastal kokku	mln kr	10,3				
Biometaani müük (7 kr/Nm ³)	mln kr		9,1	neg.	-	pole

Lisatingimused: 7% intressiga laen 10 aastaks.

Arvestatud on biogaasijaama generaatori nimivõimsusega 800 kWh_{el} (investeeringukuluga 3500 €/kWh ja 8 mln kr SEK), intressikuluga 7% (10-aastase perioodi jooksul), silo, läga ja biojäätmete veokuluga pilootpiirkonna piires ning 7% tööjõukuluga investeeringust. (Tabel 3)

Tabel 3. Särevere bioenergiaühistu biogaasijaama majandusarvutused 3 miljoni m³ biogaasi puhul.

Table 3. Economic calculations of Särevere cooperative biogas plant in case of biogas annual production of 3 million m³.

			Äritulu aastas	NPV	IRR	tasuvus
	ühik	Kogus	mln kr	mln kr	3%	aasta
80% biogaasist aastas	Nm ³ x 10 ⁶	3,0				
Elektrienergia 40% kasuteguri juures	GWh/a	7,2				
Tulu taastuvelektri müügist, 2 kr/kWh,	mln kr/a	13,0	15,8	44,9*	12%*	6*
Tulu taastuvelektri müügist, 1,25 kr/kWh	mln kr	8,2	10,9	neg.	-	pole
Tulu taastuvelektri müügist, 1 kr/kWh	mln kr	6,5	9,3	neg.	-	pole
Soojusenergia 43% kasuteguri juures	GWh/a	5,5				
Soojusenergia müügist saadav tulu (70%)	mln kr	2,8				
Elektrigeneraatori väljundvõimsus	MW	0,8				
Investeeringukulu, 54 760 kr/NeI (+SEK)	mln kr	56,1				
Investeeringutoetus (50%)	mln kr	28,1				
Laen (30%)	mln kr	16,8				
Omafinantseering (20%)	mln kr	11,2				
Äri- ja kapitalikulud 1. aastal kokku	mln kr	12,0				
Biometaani müük (7 kr/ Nm ³)	mln kr		12,7	12,8	5%	9

* Ilma investeeringutoetuseta, investeering jagunes võrdselt laenuraha (50%) ja omafinantseeringu (50%) vahel.

Kokkuvõte

Särevere Bioenergiaühistu (SäBE) loomine on hetkel algusjärgus, mille põhjuseks on ka töös välja toodud küllaltki minimaalne huvi pilootpiirkonnas tegutsevate sisendihaldajate poolt. Talunike vastustes võib selgelt tунnetada kartust ja teadmatust innovaatilise, teadusliku ja eksperimenteriva lähenemise ees, mis iseenesest on oma unikaalsuse tõttu - olla esimene bioenergiaühistu piirkond Eestis – mõistetav.

Esitatud analüüsides võib järeldada, et hetkel kehtiv taastuvelektri fikseeritud kokkuostuhind 1,25 kr/kWh või selle kavandatud hind 1 kr/kWh ei muuda kirjeldatud biogaasijaama erinevate sisendikoguste puhul tasuvaks. Ka investeeringutoetuse puhul 50% ulatuses, isegi kui õnnestub müüa kogu soojusenergia. Kui taastuvelektri fikseeritud kokkuostuhind on 2 kr/kWh, saabub tasuvus kuuendal aastal Juhul, kui õnnestub müüa kogu toodetud soojusenergia, on biogaasi tootmine tasuv ka ilma investeeringutoetuseta.

Käesoleva töö alusel võime järeldada, et biogaasi tootmine Eestis tasub ära, kui sisendiomanikud teevad koostööd, luues bioenergiaühistu. Esimeste pilootühistute loomist tuleb toetada oskusteabe ja abiga projekti juhtimisel. Särevere bioenergiaühistul on eeldusi olla esimeste hulgas. Taastuvelektritoetuste vähendamine biogaasi tootjatele lõpetab sellekohase tegevuse kiiresti, sest juba praeguse toetuse juures ei ole biogaasi tootmine tasuv. Sestap on õigem diferentseerida toetused taastuvenegiale asukoha, energiaallika ja võimsuse alusel. Käesolevas töös taastuvelektri fikseeritud ostuhinnaks võetud sihtarv 2 kr/kWh näitas, et sellisel juhul on biogaasi tootmine tasuv ka ilma investeeringutoetuseta. Biogaasi tootmine on mitmetahuline: see mõjutab hajutatud energiatootmist, energia julgeolekut, keskkonnakaitset, põllumajandust, jäätmekäitlust, regionaalarengut ja sotsiaalvaldkonda ühistute näol. On igati mõistlik biogaasi tootmist toetada praegusest enam - sellega toetame iseendid, oma maad ja rahvast!

Kasutatud kirjandus

- Muiste, P., Padari, A., Roostalu, H., Kriipsalu, M., Astover, A., Mitt, R., Pärn, L., Melts, I., Eestis olemasoleva, praeguse või juba kavandatud tootmise-tarbimise juures tekkiva biomassi ressursi hindamine. Eesti Maaülikool (EMÜ). Tartu, 2007.
- Kask, Ü., Kikas, M., Projekt "RADAR" – Teerajaja Setomaal. - Taastuivate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Üheteistkümnenda konverentsi kogumik. Tartu, 2009. Lk 57-66.

RENEWABLE ELECTRICITY FEED-IN TARIFF OF 13€/KWH MAKES BIOGAS PRODUCTION FEASIBLE IN ESTONIA -CASE STUDY OF SÄREVERE FARMERS' BIOENERGY COOPERATIVE (SÄBE)

Ahto Oja, Tauno Trink, Tõnu Oja, Aare Vabamägi

The biogas production from agricultural inputs is not developed in Estonia, first plant is in operation and 4 are under construction. The reason for this can be in low renewable electricity feed-in tariff, currently 7 € (1,25 EEK)/kWh, which is 3 times less than in Latvia and in Germany. The Estonian Government has intentions to decrease this down to 6 €/kWh (1 EEK/kWh). The economic feasibility of biogas production plant is calculated in this article, the current, the planned and the feasible value of renewable feed-in tariff are compared. Secondly, for the first time the research on possibilities and obstacles of farmers' bioenergy cooperative are provided. Amounts of biogas inputs and their owners were identified and different inputs were used to calculate feasibility of biogas plant. The results show clearly, that neither current (7 € (1,25 EEK)/kWh) nor planned (6 € (1 EEK)/kWh) feed-in tariff for renewable electricity are not feasible for biogas production even with 50% investment subsidy. The renewable electricity feed-in tariff at level of 13€/kWh makes biogas production feasible in Estonia, in some cases without investment subsidy.

Biogas production is multifunctional process and has positive impacts to rural life, economics, energy production and national safety, environmental protection, waste management, agriculture (alternative activity for farmers to grow energy crops) regional development and social aspects e.g. additional jobs and cooperation of farmers via bioenergy cooperatives. Thus the renewable electricity feed-in tariff has to be modified according to the source of energy, location of the production and the size of the plant. The micro CHPs using biogas in rural areas will create jobs and has several indirect positive impacts to Estonian rural life, thus it is definitely worth to increase the renewable electricity feed-in tariff for biogas to the level of the 13 €/kWh in Estonia.

METAANITOOTLIKKUSE POTENTSAALI ANDMEBAAS

Argo Normak¹, Mario Luna del Risco¹, Kaja Orupõld²

¹ Eesti Maaülikool, Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

² Eesti Maaülikool, Veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut
Kreutzwaldi 5, 51014 Tartu, e-post: argo.normak@emu.ee

Annotatsioon

Eesti Maaülikoolis on loodud andmebaas biogaasi tootmiseks kasutatavate jäätmete ja energiakultuuride alaste teadustööde ja rakenduslike projektide tulemuste koondamiseks. Metaanitootlikkuse potentsiaali andmebaasist saavad anaeroobsest kääritamise huvituvad spetsialistid ühtsesse vormi pandud informatsiooni energiakultuuride, sõnniku, biojäätmete ja segasubstraatide metaanitootlikkuse, keemilise koostise ja muude näitajate kohta. Andmebaasi koondatud info on kogutud eelretsenseeritavatest ajakirjadest, konverentsi kogumikest ja projektide aruannetest. Praegu sisaldab andmebaas infot enam kui 80 allikast ja rohkem kui 180 erineva substraadi kohta.

Märksõnad: andmebaas, biometaan, bioenergia, anaeroobne kääritamine.

Sissejuhatus

Käesolevas töös tutvustatakse Eesti Maaülikoolis arendatavat metaanitootlikkuse potentsiaali andmebaasi (MTA), mille eesmärk on koondada ja võrrelda biogaasiuuringute infot erinevatest kirjandusallikatest. Andmebaas on koostatud ja selle edasine arendustöö toimub interdistsiplinaar-ses biokonversiooni töörühmas (ingl Unit of Bioconversion of Crops and Wastes - UBCW), kuhu kuuluvad Eesti Maaülikooli erinevate instituutide teadurid. Praegu on biokonversiooni töörühma tegevuse põhisuunaks anaeroobse kääritamise tehnoloogia rakendamine eestimaise biomassi ning jäätmete väärindamise eesmärgil. Töörühma lõi 2008. aastal professor Henri-Charles Dubourguier, kelle juhendamisel loodi ka UBCW koduleht ja andmebaasi põhimõtteline lahendus. Kodulehe ja andmebaasi IT-lahenduste autor on Nicolas Legrand. Kirjandusallikate analüüsi ja andmete sisestamisega on tegelenud töörühma liikmed Thomas Leydier ja Mario Luna del Risco.

MTA eesmärk on pakkuda praktikutele ja teadlastele võimalust kasutada olemasolevat informatsiooni erinevate jäätmete ja energiakultuuride metaanitootlikkuse (ingl Biochemical Methane Potential - BMP) ning keemilise koostise kohta enne ja pärast anaeroobset kääritamist. Rahvusvahelistes uurimistöodes on tulemused esitatud sageli erinevates mõõtühikutes ja see raskendab andmete võrdlemist. MTA on koostatud eesmärgiga koondada erinevate uurimistöode tulemused, viia need ühtsetele alustele ning teha kättesaadavaks internetipõhises andmebaasis.

Artikli autorite teada on Internetis avalikult kättesaadav ainult üks sarnane andmebaas. See on loodud projekti „Cropgen - taastuenergia energiakultuuridest ja põllumajandusjäätmetest” raames, mida finantseeriti Euroopa Liidu 6. raamprogrammist. CROPGEN andmebaas on projekti kodulehel (<http://www.cropgen.soton.ac.uk>) kättesaadav zip-failina. See sisaldab andmeid 34 allikast, millest 26 on konverentside teesid ja eelretsenseeritavad ajakirjad, kuid 5 allikat ei ole avalikult kättesaadavad. Seda andmebaasi uuendati viimati 2007. aastal. Andmebaasi arendamisega tegeletakse ka „EU-Agro-Biogas“ projekti raames, mis on samuti Euroopa Liidu 6. raamprogrammi poolt finantseeritud. Selle projekti üks tööplaanijärgsetest tegevustest on biogaasi potentsiaali määramise meetodika standardiseerimine ning andmebaasi loomine. Käesoleva artikli kirjutamise ajal on projekti kodulehel andmebaasi kohta võimalik lugeda esitlust, kuid andmebaas ise ei ole kättesaadav.

Eesti Maaülikoolis arendatava andmebaasi kirjeldus

Uutele kasutajatele on loodud juhised MTA andmebaasi sisenemiseks ja selgitatud on kirjandusallikates enamlevinud mõisteid. Esitatud andmed on kogutud eelretsenseeritavate ajakirjade artiklitest, raamatutest, konverentside väljaannetest ja projektide aruannetest. Algallikate leidmise lihtsustamiseks on andmebaasis koos andmetega ka viited algallikatele ja nende lühitutvustused. Kirjandusallikate kirjade stiil järgib kirjastuse Elsevier juhiseid, mis võimaldab kasutajatel lihtsalt leida viidatud artikleid ja kasutada neid oma uurimistöös.

Andmebaasi andmed:

Andmebaasi nimi	Metaanitootlikkuse potentsiaali andmebaas (ingl Methanogenic Potential Database)
Interneti-aadress	http://www.emu-bioconversion.eu
Arendusasutus	Eesti Maaülikool
Kasutaja litsents	tasuta, registreerimisega
Loomise aeg	2009
Nõuded arvutile ja tarkvarale	erinõuded puuduvad, Interneti brauser
Programmeerimiskeel	HTML / PHP / MySQL
Tarkvara	Sql
Operatsioonisüsteem	Linux

MTA struktuuris on substraadid jaotatud nelja gruppi: energiakultuurid, sõnnikud, segasubstraadid (kooskäiritamine) ja jäätmed. Andmebaasi otsingumootor võimaldab otsida erinevate kategooriate järgi, selle kujundus on toodud joonisel 1. Sisestatud sõna järgi tehakse otsing kõikides andmebaasiväljades. Hetkel koondab MTA andmeid rohkem kui 80 allikast, sisaldades 116 nimetust energiakultuure, 11 nimetust sõnnikut, 38 nimetust jäädet ja 30 nimetust segasubstraati. Andmebaasi täiendatakse pidevalt avaldatud uurimistööde tulemustega.

Otsingumootor võimaldab teha andmebaasis otsingut järgmiste kriteeriumite põhjal:

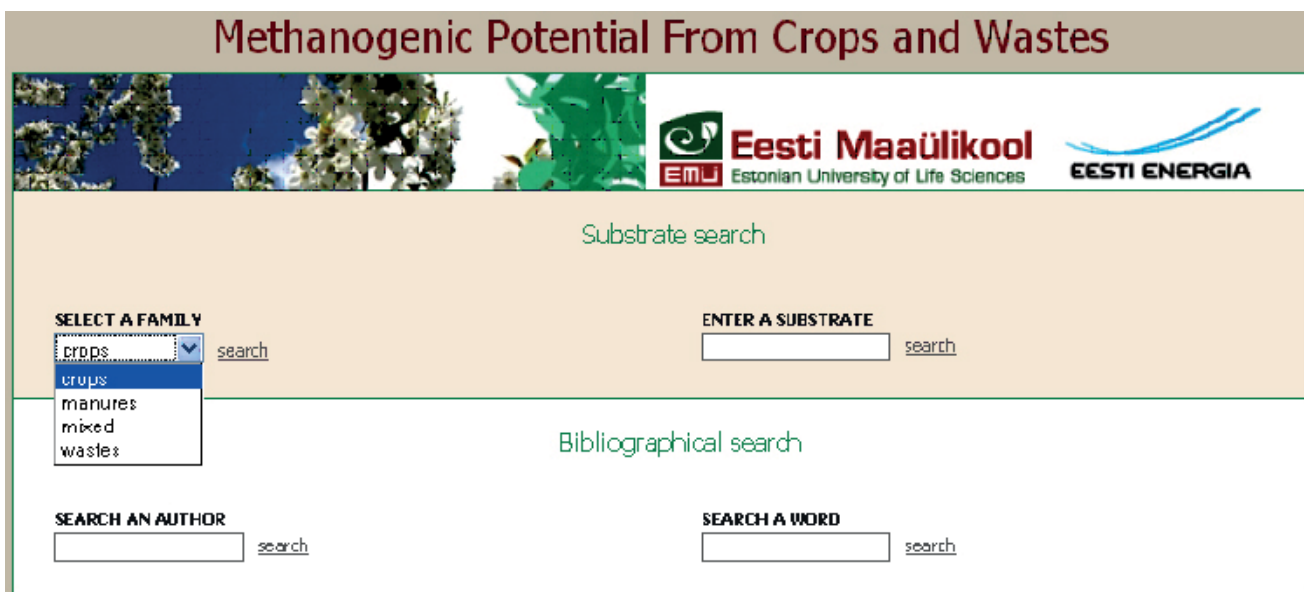
Select a Family - substraadi tüüp;

Enter a Substrate - substraadi nimetus;

Search an Author - kirjandusallika autor;

Search a Word - otsisõna.

Otsingutulemused on substraatide kaupa paigutatud tabelitesse, näited on toodud joonistel 2 ja 3. Tabeli iga rida vastab substraadile ühest allikast, mis võimaldab otsitud substraatide kohta tulemuste võrdlust erinevate kirjandusallikate põhjal. Tabelis toodud andmeid on võimalik kopeerida edasiseks analüüsiks oma tööprogrammi.



Joonis 1. Andmebaasi avaleht.
Figure 1. Front page of the database.

Andmed iga substraadi kohta on toodud sorteeritult mitmes tabelis, mis on näha joonisel 2. Vajaliku info kuvamiseks on tabeli ülaserivas nupud järgmiste valikuvõimalustega:

- Chemical Composition* - substraadi keemiline koostis;
- Metal Content* - raskemetallide sisaldus substraadis;
- Methanogenic Potential* - metaani tootlikkuse potentsiaal;
- Digested Solid* - kääritusjäägi tahke osa koostis;
- Metal Solid* - raskemetallide sisaldus kääritusjäägi tahkes osas;
- Digested Liquid* - kääritusjäägi vedela faasi koostis;
- Metal Liquid* - raskemetallide sisaldus kääritusjäägi vedelas faasis;
- References* - kirjandusallikad, kust andmed pärinevad;
- Observations* - tähelepanekud ja kommentaarid.

Publitseeritud töodes esitatud info on sageli esitatud erinevates ühikutes, milleks võivad olla USA, Inglise ja mõne muu piirkonna mõõdustikud. Seetõttu on oluline, et erinevatest allikatest pärinevat infot on enne andmebaasi sisestamist tähelepanelikult kontrollitud ja tulemused teisendanud SI-süsteemi ühikuteks. Substraatide keemiline koostis ja metaanitootlikkus ning kääritusjääkide keemiline koostis on salvestatud andmebaasi alles pärast ühikute standardiseerimist.

Pig slurry

Chemical Composition		Meta Substrate		Methanogenic Potential		Digester Solid		Metal Solid		Digester Liquid		Metal Liquid		References	Observation
Source	pH	Dry Weight	Ash	OM	Organic Carbon	COD	Cellulose	Hemicellulose	Lignin	tot. Fat	tot. N	Protein	Phosphorus		
		g/kg wet weight	g/kg DM	g/kg DM	gC/kg DM	gO ₂ /kg DM	g/kg DM	g/kg DM	g/kg DM	g/kg DM	gN/kg DM	g/kg DM	gP/kg DM		
[delete] [update] 3		50		850											
[delete] [update] 5		90													
[delete] [update] 8		30-80		700-800											
[delete] [update] 9	7,5	9,7		628		18									
[delete] [update] 15	7,54	110		791		97					4,37		0,30		
[delete] [update] 17		27		673									29,5		
[delete] [update] 18	7,16	93,8		790		148,41					8,27				
[delete] [update] 21		30-80		700-800			103-229	171-208	37-101					160-269	
[delete] [update] 41		30-80		700-800											
[delete] [update] 42		9,75		964											
[delete] [update] 43	7,4	29		385											
[delete] [update] 16		9,81		564											
[delete] [update] 49		69,25		704											

Joonis 2. Tabeli kujundus ja näide keemilise koostise andmetest seasõnniku kohta.
Figure 2. Layout of the table and an example of chemical characteristics of pig slurry.

Ligipääs andmebaasi ja selle kasutusvõimalused

MTA on Interneti-põhine andmebaas, millele ligipääsuks on vajalik kasutustingimuste aktsepteerimine, selleks tuleb esmakasutajal täita kodulehel asuv taotlusvorm. Pärast taotlusvormi täitmist peab ootama andmebaasi administraatori kinnitust sisenemisloa saamiseks.

Registreeritud kasutajad kuuluvad kolme gruppi: administraator, laborandid ja tavakasutajad. Administraatoril on õigused korraldada andmebaasi kasutamist, laborandid saavad lisada ja redigeerida andmebaasis olevat

Pig slurry

Chemical Composition		Meta Substrate		Methanogenic Potential		Digester Solid		Digester Liquid		Metal Liquid		References	Observation
Source	Technique	Temp. °C	RT or DT	Apparent Methane Yield			Biogas Yield			Net Methane Yield			
			Days	L CH ₄ /kg VS	L CH ₄ /kg DM	L CH ₄ /kg COD	L Biogas/kg VS	L Biogas/kg DM	L Biogas/kg COD	L CH ₄ /kg VS degraded			
[delete] [update] 3				9,18	0,54		15,3	0,9					
[delete] [update] 5								2,34					
[delete] [update] 8							250-500						
[delete] [update] 9													
[delete] [update] 15	Stirred re	35	60	165									
[delete] [update] 17													
[delete] [update] 18	SEB	20	20	205		384							
[delete] [update] 21			20-40	175-350			250-500						
[delete] [update] 41				175-350			250-500						
[delete] [update] 42				130									
[delete] [update] 43	Batch lab			132								250	
[delete] [update] 16	Batch lab		82	538									
[delete] [update] 49	Batch - La		153	244-343									

Joonis 3. Metaanitootlikkuse potentsiaal seasõnniku kohta.
Figure 3. Methanogenic potential of pig slurry.

infot. Tavakasutajad, kelleks on teadlased, insenerid ja teised huvilised, saavad kasutada ühtsetele alustele viidud ja võrreldavaid andmeid, mis on kogutud erinevatest kirjandusallikatest. Selle andmebaasi arendamisel on loodud järgmised võimalused:

- pärast registreerimist on personaalse parooliga tasuta ligipääs;
- andmed on salvestatud võrguserverisse ja ligipääsetavad terves Internetis;
- otsingumootor substraadi tüübi, autori ja märksõnade järgi info kuvamiseks;
- andmete edasiseks analüüsiks on tabelites toodud info kopeeritav;
- viited algallikale koos lühikokkuvõtte ja autoritega;
- kasutajad saavad osaleda andmebaasi arendustöös, andes tagasisidet ja saates oma soovitusi allikate lisamiseks.

Kokkuvõte

Käesolev töö tutvustab uuenduslikku, vaba ligipääsuga Interneti-põhist andmebaasi, mis koondab erinevates rahvusvahelistes kirjandusallikates esitatud andmeid substraatide koostise ja metaanitootlikkuse potentsiaali kohta. Andmebaasi ülesehitus võimaldab ligipääsu registreeritud kasutajatele ja annab neile võimaluse võrrelda oma substraatide analüüsiandmeid paljude teiste tööde andmetega. MTA on mõeldud ka biogaasivaldkonna arendustöökõks vajalike parameetrite kogumiseks, et teadurid ja insenerid saaksid võrdlusandmeid oluliste parameetrite kohta biogaasijaamade projekteerimiseks ja opereerimiseks.

Tänuavaldus

Andmebaas on valminud Eesti Energia Tulevikuenergia Sihtkapitali projekti „Eestimaise biomassi ning tootmise kõrvalsaaduste ja jäätmete biogaasi tootlikkuspotentsiaal ning anaeroobse fermentatsiooni kineetika” raames. Täname kõiki, kes on panustanud andmebaasi loomisse, arendamisse ja antud valdkonna uurimistöösse. Eriti tahame tänada endist kolleegi Thomas Leydieri tehtud töö eest kodulehe arendamisel ja Nicolas Legrandi kodulehe ning andmebaasi IT-lahenduste loomisel. Mälestame tänutundega biokonversiooni töörühma loojat ja juhendajat Henri-Charles Dubourguier’i.

Kasutatud kirjandus

Luna del Risco, M., H.-Ch. Dubourguier, A web-based database on methanogenic potential of crops and wastes. - Environmental Modelling & Software nr 25 (8), 2010. Lk 970 – 971.

<http://www.emu-bioconversion.eu>

<http://www.cropgen.soton.ac.uk>

<http://www.eu-agrobiogas.net>

METHANOGENIC POTENTIAL DATABASE

Argo Normak, Mario Luna del Risco, Kaja Orupõld

The Methanogenic Potential Database (MPD) is created by the Unit of Bioconversion of Crops and Wastes (UBCW) of Estonian University of Life Sciences. The UBCW is in charge of gathering basic records, data editing, database maintenance and dissemination. The MPD provides engineers and scientists with standardized information concerning the chemical composition and Biochemical Methane Potential (BMP) of crops, manures, wastes and mixed-substrates. Data stored in the database is collected from peer-reviewed journals, conference proceedings and reports. Currently, the MPD contains data from more than 80 references for more than 180 different substrates.

PILOOTUURING BIOGAASI TOOTMISE JÄÄKPRODUKTIDE KASUTUSVÕIMALUSTEST ENERGIAKULTUURIDE KASVATAMISEL

Katrin Heinsoo, Bert Holm, Indrek Melts
Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut,
Kreutzwaldi 5, 51014 Tartu
e-post: katrin.heinsoo@emu.ee, bert.holm@emu.ee, indrek.melts@emu.ee

Annotatsioon

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja selgitada biogaasi tootmise jääkprodukti, tsentrifuugitud vedela kääritusjäägi (edaspidi kääritusjäägi) kasutusvõimalusi energiakultuuride väetisena. 2006. a. kasvuperioodi vältel läbi viidud kasvuhoonekatses mõõdeti veega küllastatud pajutaimede erinevate osade biomassi produktsiooni pärast kastmist veega, millesse oli segatud vastavalt katserühmale erinev kogus kääritusjääki. Saadud tulemused on oluliseks aluseks, mille põhjal jätkata tööd kääritusjäägi optimaalse kasutustehnoloogia välja töötamisel, mis suurendaks energiakultuuride saagikust negatiivsete keskkonnamõjudeta.

Märksõnad: biogaas, energiakultuurid, kääritusjääk, paju, produktsioon.

Sissejuhatus

Tänapäevaks on gaasi kääritamine bioloogilisest toorainest laialt levinud tehnoloogia elektri ja soojuse tootmisel. Ainuüksi Saksamaal Baden-Württembergi Liidumaal oli 2009. a registreeritud 641 biogaasijaama koguvõimsusega 611 766 kW (Stenull, Eltrop 2010). Põhiliseks tooraineks on nendes jaamades mais, aga ka loomasõnnik ning taimsed ja loomsed jäätmed (Bühle jt 2010). Eestis töötab hetkel ainult üks biogaasijaam, kuid lähiaastatel on oodata mitme uue valmimist. Erinevalt Saksamaast on Eesti biogaasijaamades põhilise toorainena planeeritud kasutada sealäga (Oopkaup 2010).

Biogaasi saagise sõltuvusest kasutatavast toorainest ning tootmisprotsessi juhtimisvõimalustest on teaduskirjanduses palju juttu, kuid vähem on uuritud gaasitootmise jääkproduktide utiliseerimisvõimalusi. Samas võib

kõrvalproduktide kogus biogaasi tootmisel olla sõltuvalt substraadist hinnanguliselt kuni 80% reaktorisse lisatud tooraine mahust. Kui biogaasi toodetakse põllumajanduskultuuridest ning nende jääkproduktidest, siis on enamlevinud meetod kääritusjääkide kasutamine põldude väetamiseks. Samas võib kääritusjäägi kasutus kõrge pH-, lämmastiku- ning orgaanilise aine sisalduse tõttu olla problemaatiline. Seetõttu loetakse näiteks Hollandis kääritusjäägi utiliseerimisvõimaluste vähesust põhiliseks biogaasi tootmist limiteerivaks teguriks. Kuna sageli jagatakse kääritusjääk tsentrifuugimisel kahte fraktsiooni, millest tahkel osal on rohkem kasutusvõimalusi, siis antud katses keskendusime reaktorist väljutatava jäägi tsentrifuugimisel tekkinud vedela fraktsiooni kasutusvõimaluste uurimisele.

Kiirekasvulistel põllukultuuridel, mille hulka kuuluvad ka bioenergia tootmiseks kasvatatavad nn energiakultuurid, on enamasti suur lämmastikuvajadus, mistõttu oleks võimalik kääritusjäägiga sellisele põllule viia suurem kogus lämmastikku ilma keskkonnaseisundit ohustamata. Samuti ei ole energiakultuuride kasvatamisel sanitaarnõuded nii ranged kui toidu/söödakultuuridel ning väetusainete lisamine võiks toimuda sagedamini. Seetõttu oleks kääritusjäägi üks võimalik utiliseerimisviis tulevikus selle kasutamine mineraalväetiste aseainena energiakultuuride kasvatamisel. Loomulikult on selline tegevus võimalik ainult siis, kui selle käigus säilitatakse mulla kvaliteet ning hoidutakse keskkonna (eelkõige põhjavee) saastamisest.

Eeltoodust lähtuvalt viisime 2006. a suvel läbi kasvuhoonekatse, mille põhiliseks eesmärgiks oli selgitada välja vedela kääritusjäägi kasutusvõimalusi paju energiakultuuride väetamiseks. Selle pilootuuringuga püüdsime leida vastuseid järgmistele küsimustele:

1. Milline on kääritusjäägi kogus, mida on võimalik kasutada ilma taimede ning mulla seisundit kahjustamata?
2. Kas kääritusjääki on võimalik kasutada energiakultuuride väetusainena?

Materjal ja meetodika

Katseks vajalik biogaasi tsentrifugeeritud vedel kääritusjääk pärines Saaremaal Valjala vallas asuvast Jööri biogaasijaamast. Kääritusjäägi keemiline analüüs viidi läbi OÜ Tartu Keskkonnauuringud laboris (tabel 1).

Tabel 1. Tsentrifugeeritud vedela biogaasi kääritusjäägi keemilise analüüsi tulemused. Teiste näitajate ühik peale pH on mg/l.

Table 1. Chemical analyse results of the liquid fraction of biogas effluent. All other characteristics but pH are expressed in mg/l.

Parameeter	
pH	8,66
kuivaine	20700
N	5000
P	530
Ca	890
Mg	110
K	2100
S	160

Katse viidi läbi 2006. a vegetatsiooniperioodil Tartus zoologia- ja botaanikainstituudi avatud kasvuhoones. Nimetatud kasvuhoonel on traatvõrgust katus, mistõttu taimede kasvukliima sarnanes looduslikule. Samas olid taimed kaitstud tugeva tuule ning vandaalide eest. 31. mail istutati 50 liivsaviga täidetud viieliitri mahuga lillepotti 25 cm pikkused vitspaju *Salix viminalis* pistoksad. Kõik lillepotid olid eelnevalt asetatud veenõudesse. Lillepotid olid veenõudega ühendatud kolme vettjuhtiva tahiga, mis võimaldasid taimede pidevat veega varustamist (foto 1). Iganädalast kasteti taimi 100 ml kraaniveega, millele oli vastavalt kastmisskeemile lisatud erinev kogus väetussaineid (tabel 2). Kastmisskeem kujundati nii, et arvestati töö autorite seniseid teadmisi pajude toitainete nõudlusest ning eeldati, et kastmiskogust limiteerivaks faktoriks on väetussaine lämmastikusisaldus. Mineraalväetisega kastetud taimede kastmisvette lisati optimaalsele (F) kogusele lämmastikule vastav kogus vedelat toataimede kompleksväetist. Töö käigus vähendati optimaalseks (F) ja kahekordseks (2F) planeeritud väetussainetele vastavaid kastmissagedusi seoses taimede halva seisukorraga ning katse käigus tekkinud mullapinna vähese veeläbilaskvusega. Kastmispäevade vaheajal hoolitseti, et veereservuaarides oleks piisavalt vett ning vajadusel rohti potte umbrohtudest.



Foto 1. Katsepajud kasvasid avatud kasvuhoones pottides, mille põhja paigutatud tahid võimaldasid pidevat veega küllastatust veereservuaaridest.
 Photo 1. The experimental willows were growing in opened area of greenhouse inside pots where the wicks ensured the saturation with water from the containers.

Tabel 2. Lämmastikukogus pajude kastmisel (g). Kontroll – kraanivesi ilma toitainete lisamiseta; F – eeldatud optimaalne kogus; 0,5 F – eeldatud optimaalsest poole väiksem kogus; 2 F - eeldatud optimaalsest poole suurem kogus; mineraalväetis - vedel toataimede kompleksväetis.

Table 2. The amount of nitrogen in the irrigation water (g). Kontroll – tap water without any additional nutrients; F – theoretical optimum load; 0,5 F – half of theoretical optimum load; 2 F – double optimum load; mineraalväetis – liquid fertiliser of room plants.

	Nädalas	Katse kestel
kontroll	0	0
0,5 F	0,5	6,5
F	1	11
2 F	2	12
mineraalväetis	1	13

Peale vegetatsiooniperioodi lõppu koguti iga katseseeria pooltelt taime-delt taimekaupa kõik oksad ning tüvi (esialgne pistoks). Need kuivatati 85 °C juures püsiva kuivkaalu saavutamiseni. Igast potist eemaldati et-tevaatlikult paju maa-alune osa, uhtudes mullapalli surveveega. Mul-

la pesuveest sõeluti katkised juuretükid ning lisati biomassiproovile. Kogu kättesaadud juurestik kuivatati sarnaselt okste ja tüvega. Kuivanud biomass kaaluti 1 mg täpsusega.

Tulemused ja arutelu

Pilootuuringute tulemusena selgus, et mõningatel juhtudel on võimalik biogaasi tootmise vedelat kääritusjääki kasutada paju energiakultuuri väetamiseks. Väikese koguse (0,5 F) kääritusjäägi lisamine kastmisvette suurendas taimede produktsiooni rohkem kui kaks korda (diagramm 1). Eriti tähtis on siinjuures märkida, et kõige olulisemalt suurenes pajuokste produktsioon, mis on antud kultuuri puhul bioenergia tooraineks. Väga huvitav on ka see, et väikese koguse kääritusjäägi (0,5 F) lisamine suurendas pajude produktsiooni rohkem, kui sellest poole suurema mineraalväetise koguse andmine ning samal ajal oli okste/juurte kaalu suhe sarnane.

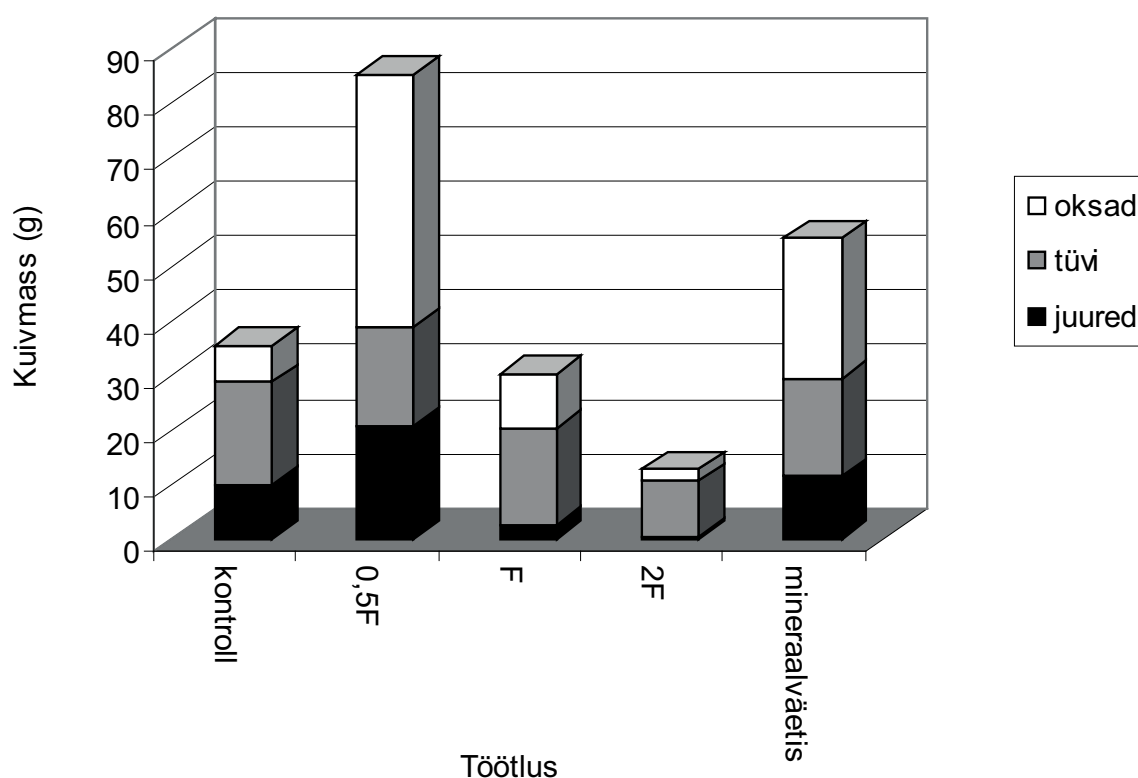


Diagramm 1. Paju erinevate osade biomass kasvuperioodi lõpus. Lühendeid vt tabel 2.
Diagram 1. Biomass of willow parts at the end of the growing season. For abbreviations see Table 2.

Selline tulemus lubab oletada, et kääritusjägis olid pajudele vajalikud toitained paremini omastatavas vormis, võrreldes toataimede spetsiaalväetisega.

Samas tuleb tõdeda, et optimaalseks peetud kääritusjäagi kogus (F) vähendas taimede produktsiooni, võrreldes nii kontrolltaimedega kui ka mineraalväetisest sama koguse lämmastikku saanud taimedega. Siinjuures on kõige silmatorkavam oluliselt väiksem juureproduktsioon sellise koguse kääritusjäagiga töödeldud taimedel. Tulemuste põhjal võib oletada, et nii suur kogus lisatud kääritusjäaki muutis mulla taimejuurtele liiga aluseliseks. Teiseks põhjuseks võib olla kääritusjäagi väga suur orgaanilise aine sisaldus, mis viis kääritusjäagi suurendatud kasutuskoguse puhul biokile tekkimiseni mulla pinnal. Seetõttu ei saanud taimejuured ning risosfääris elavad mikroobid tõenäoliselt elutegevuseks enam piisavalt hapnikku. Enamik kõige suurema kääritusjäagikogusega (2 F) töödeldud taimi suri katse käigus. Alles jäänud taimede produktsioon oli väga väike ning juurte mass peaaegu olematu. Sellest võib järeldada, et nii suure koguse kääritusjäagi lisamine mõjub taimedele surmavalt. Seetõttu ei saa sellist kogust biogaasi jääkprodukti utiliseerida noorte taimede kasvatamisel.

Järeldused

1. Biogaasi tsentrifuugitud vedelat kääritusjäaki saab kasutada energiakultuuride väetamiseks.
2. Vedela kääritusjäagi kasutamine suurendab pajude produktsiooni ning toob endaga kaasa biomassi allokatsiooni bioenergi toorainena kasutatavatesse puitunud osadesse.
3. Vedela kääritusjäagi suuremate koguste kasutamine võib endaga kaasa tuua biokile moodustumise. Seetõttu tuleks kaaluda mikrofiltrite kasutamist kääritusjäagi eeltöötlemisel. Teiseks võimaluseks oleks kääritusjäagi sissekülmimine, kuid see meetod sobib peamiselt üheaastaste kultuuride puhul.
4. Kääritusjäagi maksimaalne kogus, mida on võimalik energiakultuuridel (sh pajudel) kasutada, sõltub taimede vanusest. Seega on optimaalsete ja keskkonnasõbralike kasutusnormide välja selgitamiseks vajalikud täiendavad uuringud.

Kasutatud kirjandus

- Bühle, L., Stülpnagel, R., Wachendorf, M., Comparative life cycle assessment of the integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB) and whole crop digestion (WCD) in Germany. – Biomass and Bioenergy, 2010.
- Oopkaup, A., Estonian Biomass and Bioenergy. 2010. [http://www.greenlogistics.iff.fraunhofer.de/fileadmin/biomasselogistik/Andres_Oopkaup.pdf] (14.10.2010)
- Stenull, M., Eltrop, L., Umfrage gestützte Evaluierung von Biogasanlagen in Baden-Württemberg. Ökonomisch-ökologische Bewertung. Käsikiri Stuttgardi ülikoolis. 2010.

UTILISATION OF BIOGAS DIGESTATE IN ENERGY CROPS. A PILOT STUDY

Katrin Heinsoo, Bert Holm, Indrek Melts

The greenhouse experiments with liquid digestate fraction (LDF) from Estonian biogas plant using pig slurry was carried out in order to find out if LDF could be utilized in the field of energy crops with high demand of nutrients during their rapid growth period.

The dosage of LDF applied to willow plants in the opened greenhouse was calculated considering nitrogen load in irrigation water. The results revealed that in general LDF could be used for fertilisation of such energy crops. The small amount of LDF (0.5F) increased the plant biomass more than twice compared with the control plants. There was a significant increase in the shoot/root ratio of the treated plants what is a benefit for bioenergy production. However, the assumed “optimum doze” of LDF (F) decreased the plant growth both compared with the control plants or plants treated with mineral fertiliser with the same amount of nitrogen. As the most significant difference was in root production, we assume that this result could be caused by the high concentration of organic matter of LDF that ruined the aerobic conditions for the rhizosphere and caused

poor growth of roots. The “double doze” of LDF (2F) was almost lethal for most of plants and therefore such amount of LDF can not be used to treat the plants of this age.

We conclude that LDF can be used for energy crop fertilisation as it promotes higher production of crop. However, to prevent the bio-film occurrence on the soil additional filtering of LDF through micro filters should be considered. The other option is to dispose this LDF directly into the soil. The amount of LDF used in the field should depend on the plantation age and therefore additional studies are needed to find out the optimal load of disposal.

TUULEGENERAATORITE VÄLJUNDVÕIMSUSE KÕIKUMISTE LEEVENDAMINE

Kaupo Toom, Andres Annuk
Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu,
e-post: kaupo.toom@emu.ee

Annotatsioon

Tuule osatähtsus kogu maailma energeetikas suureneb pidevalt. Tuuleenergia tootmisgraafikute uurimine näitab, et tuule stohhastilisest iseloomust tingituna on viimaste sobitamine eriti elektrienergia tarbimisgraafikutega komplitseeritud. Lisaks tuleb prognoosida tuulepargi väljundvõimsust 24 h ette, et planeerida vajalikud muudatused ja reservid võrgus. Prognoosimisel tekivad vead. Kui lõigata tuulikute tootmisgraafikute tipud, väheneb ennustamisel tekkinud viga. Tootmisgraafikute ära lõigatud energiahulk oleks võimalik suunata näiteks soojusenergiana mõne asula kaugkütte soojusvõrku.

Märksõnad: tuuleenergeetika, tootmisgraafikud, tuulevõimsuste prognoos, soojusvõrk.

Sissejuhatus

Kuna enamik tuulejõuseadmeid toodab energiat elektrienergiana, on tuuleenergeetika üheks põhiprobleemiks tuulejõujaamade tootmisgraafikute sobitamine energiasüsteemi tootmis- ja tarbimisgraafikutega. Tuule stohhastilisest iseloomust tingituna ei sobi need graafikud omavahel eriti hästi ja tegelikud kütuse kokkuhoiu ja õhusaaste vähendamise protsendid on loodetust tunduvalt väiksemad (Liik jt 2005). Antud probleemi on põhjalikult käsitletud ka artiklites (Palu jt 2008, Palu jt 2009, Palu 2009).

Tuuleenergia kõikuvat võimsust tasakaalustavad kiire reguleerimisega elektriijaamad, näiteks gaasiturbiini- ja hüdroelektriijaamad. Tavalisi fossiilkütusel töötavaid soojuselektriijaamasid ei ole hea tasakaalustamiseks kasutada ja tuumaelektriijaamad on selleks täiesti sobimatud. Põhivõrguettevõttel on lubatud vähendada tuulepargi väljundvõimsust, mida nad ka ekstreemsetes tingimustes aeg-ajalt kasutavad, kui elektrienergia tootmise-tarbimise tasakaalu ei ole võimalik saavutada muude meetmetega (Lepa jt 2009).

Materjal ja metoodika

Igal ajahetkel peab elektrijaamade toodetud energia olema võrdne kulu- ga. Tavaliste fossiilkütusel põhineva energiasüsteemi võimsuste tasakaalu on lihtne hoida, kuna toodangut on soojusjõujaamades võimalik täpselt prognoosida. Vastupidiselt võib stohhastilise iseloomuga tuulepargi väl- jundvõimsuse kõikumise amplituud olla kümneid megavatte minutis ja see võib põhjustada võrgus hädaolukordi.

Üldjuhul prognoositakse tuulepargi võimsus 24 h ette, mis võimaldab muudatuste jaoks planeerida vajalikke varuressursse. Siiski kaasnevad tuuleenergia prognoosimisega vead. Prognoosi viga hinnatakse peamiselt kahe meetodi abil: ruutkeskmine ja keskmine absoluutne protsentuaalne viga (MAPE) (1) (Rosen jt 2007). Samuti kasutatakse keskmist protsen- tuaalset viga (MPE) (2).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{P_a - P_f}{P_a} \right| \cdot 100 \quad (1)$$

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{P_a - P_f}{P_a} \cdot 100 \quad (2)$$

P_a – tuulepargi tegelik väljundvõimsus

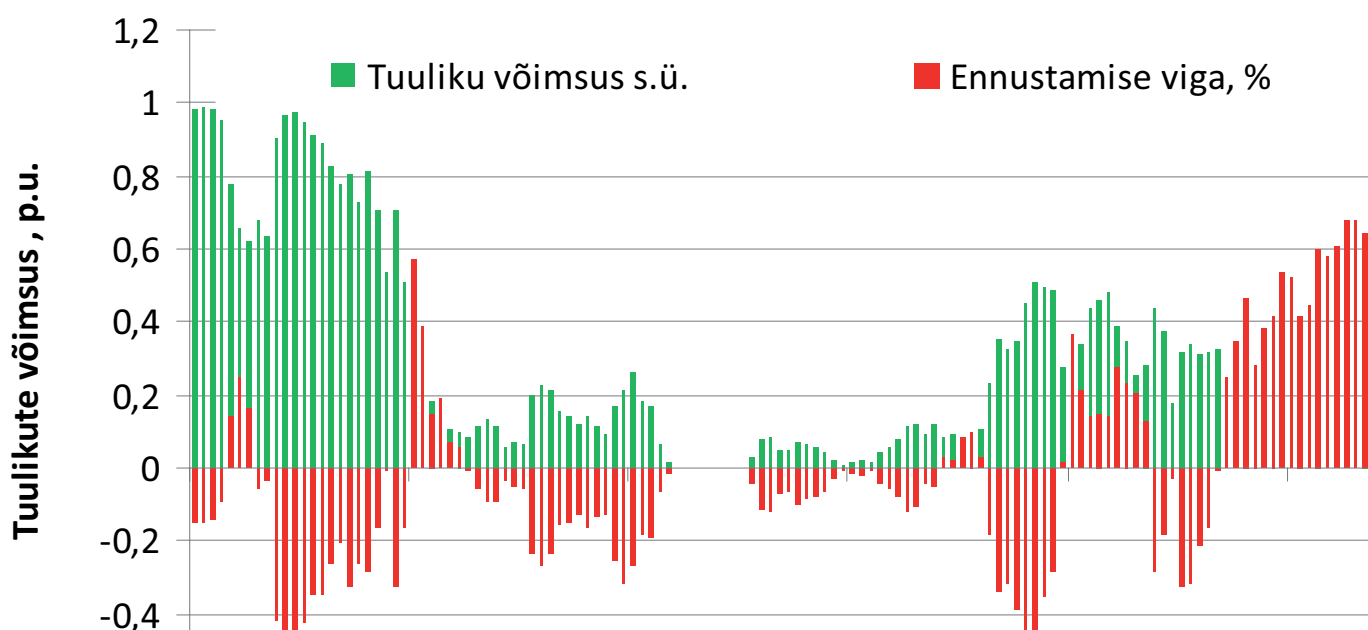
P_f – tuulepargi ennustatud väljundvõimsus

Kui MPE arvestab ka polaarsust, siis MAPE väljendab absoluutset veau- latust. MAPE väärtused võivad oluliselt erineda, kuid keskmiselt kuni 20%-line viga on enamasti saavutatav (Agabus ja Tammoja 2009).

Selleks, et hinnata tuulepargi väljundvõimsuse prognoosi viga, on kasu- tatud Pakri tuulepargi väljundvõimsuse andmeid. Pakri tuulepargis on kaheksa Nordex N-90 2,3 MW tuulegeneraatorit koguvõimsusega 18,4 MW. Tulemuse üldistamise eesmärgil kasutame võimsuse suhtelist ühikut (p.u.).

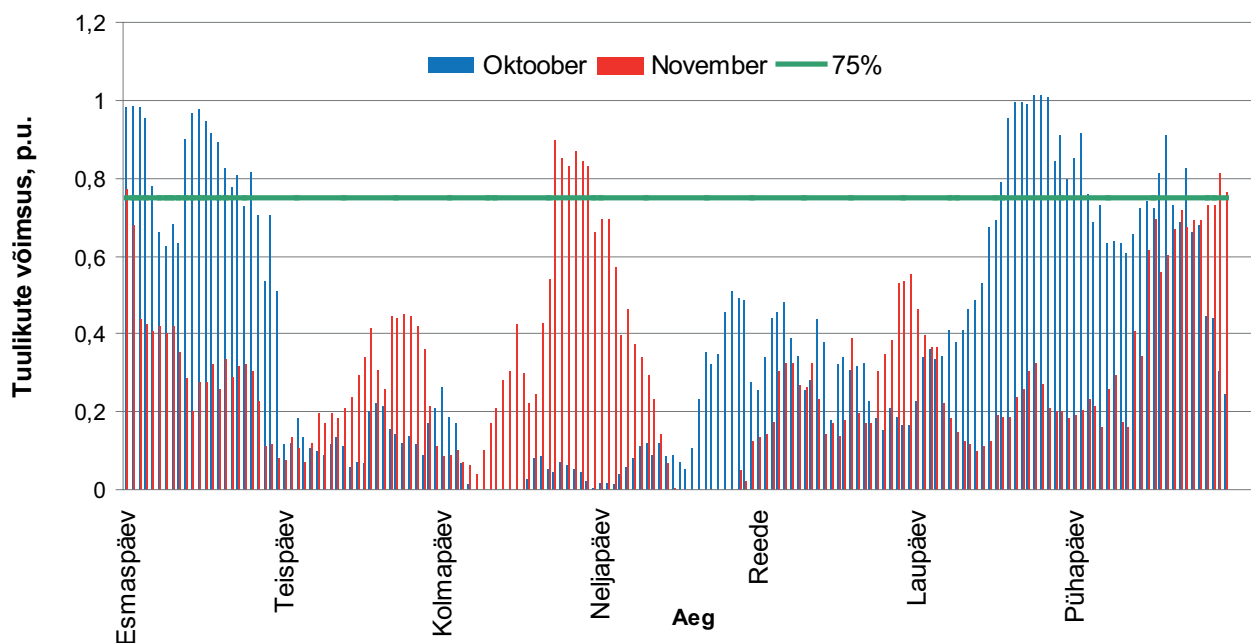
Joonisel 1 on Pakri tuulepargi tootmisgraafik suhtelistes ühikutes ja prog-

noosi viga protsentides. Keskmise MAPE on vaadeldud ajavahemikul 14,5%.



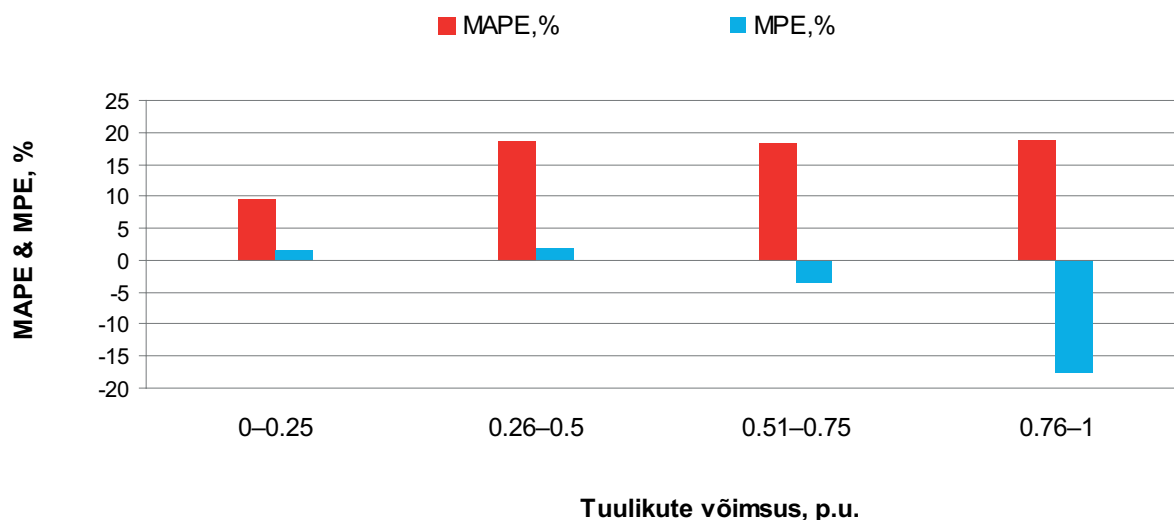
Joonis 1. Pakri tuulepargi tootmisgraafik koos prognoosi veaga (6.10.2008–12.10.2008).
Figure 1. Pakri wind park production chart with forecast error chart (6.10.2008–12.10.2008).

Joonisel 2 on võrreldud kahte erinevat tuuletingimust oktoobri- ja novembrikuus 2008. aastal.



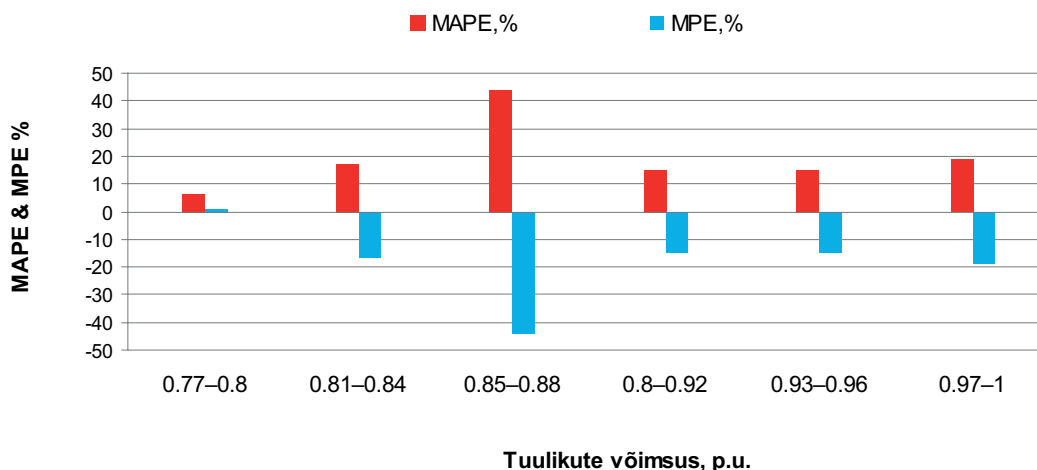
Joonis 2. Pakri tuulepargi tootmisgraafik (6.10.2008–12.10.2008 ja 3.11.2008–9.11.2008). Horizontaalne joon peegeldab 75% võimsusest.
Figure 2. Production charts of Pakri wind park (6.10.2008–12.10.2008 and 3.11.2008–9.11.2008). Horizontal line reflects the 75% capacity.

Joonisel 3 on näha, et MPE on vahemikus 0,76–1 tugevalt negatiivne (-18%), MAPE on samal ajal 19,2%. Seega on suuremad prognoosivead tehtud siis, kui tuuliku suhteline võimsus on vahemikus 0,76–1. Joonisel 4 on vaadeldud konkreetset vahemikku lähemalt. On näha, et suurimad vead on tehtud vahemikus 0,85–0,88.



Joonis 3. MAPE ja MPE Pakri tuulepargi võimsuse suhtelistes ühikutes (6.10.2008–12.10.2008 ja 3.11.2008–9.11.2008).

Figure 3. MAPE and MPE of proportional power in Pakri wind park (6.10.2008–12.10.2008 and 3.11.2008–9.11.2008).



Joonis 4. MAPE ja MPE Pakri tuulepargi võimsus suhtelistes ühikutes (6.10.2008–12.10.2008 ja 3.11.2008–9.11.2008) vahemikus 0,77–1 sammuga 0,04.

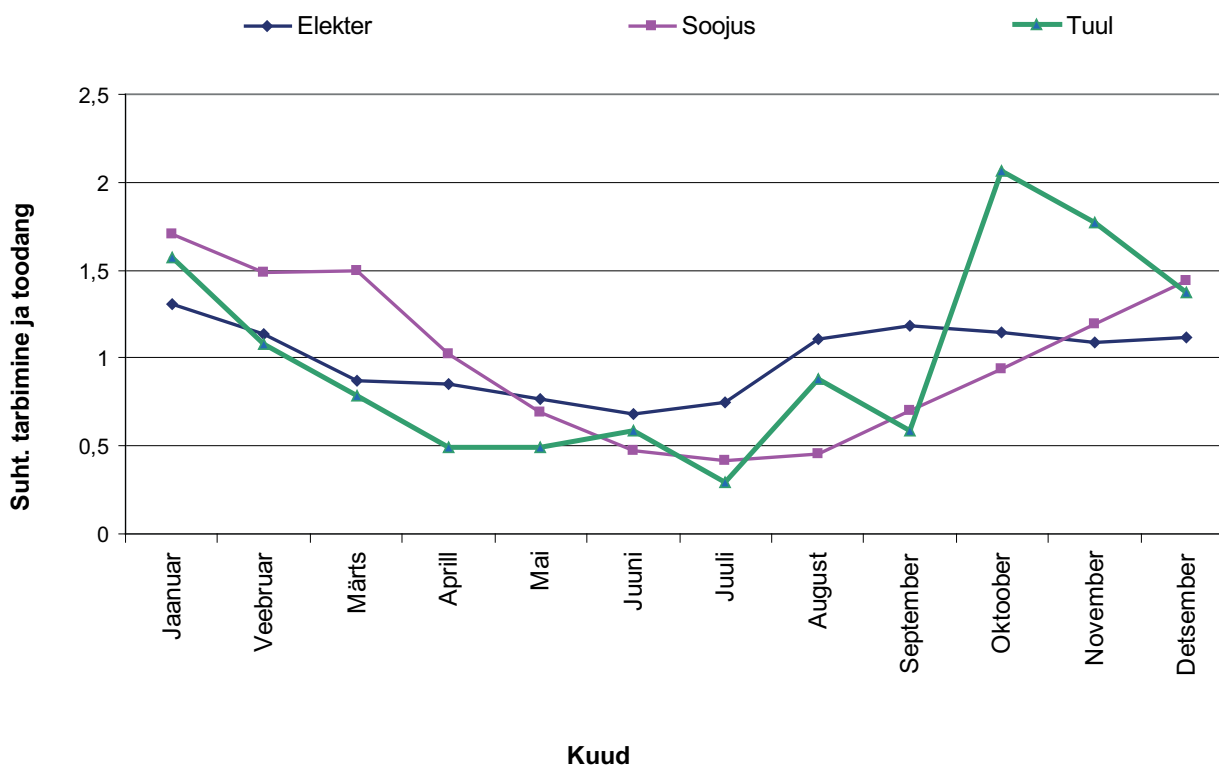
Figure 4. MAPE and MPE of proportional power in Pakri wind park (6.10.2008–12.10.2008 and 3.11.2008–9.11.2008) in interval 0,77–1 by step 0,04.

Pärast tootmisgraafiku lõikamist 80% ulatuses nimivõimsusest vähenes MAPE terve tootmisgraafiku lõikes 14,4%-lt 13,7%-ni. Kuigi see on väike muutus, kõrvaldab see tootmisgraafikust vahemiku 0–0,8, kus MAPE on kõrgem kui keskmine kogu graafiku ulatuses. Kui võrrelda viimaste aastate keskmisi tuuletugevusi Pakri tuulepargis kuude lõikes, siis pärast tootmisgraafiku lõikamist 80% ulatuses nimivõimsusest oli maksimaalne ära lõigatav energia 8,6%. Mida kehvemad olid tuule tugevused, seda kiiremini vähenes lõigatav energiakogus, aga keskmiselt ei ületanud see 5%. Tootmisgraafikust ära lõigatud tootmistippude energia võiks suunata näiteks mõne asula soojusvõrku.

Energia kasutamine soojusvõrkudes

Tuuleenergia kasutamist soojusvõrkudes on käsitletud Lepa jt töös (2010), kus selgub, et kuigi soojussüsteemides on tuuleenergia kasutamine elektrisüsteemidega võrreldes mõneti lihtsam, tekivad selle aastaringisel kasutamisel siiski olulised probleemid tuuleenergia tootmisgraafikute ja tarbijate vajaduste erinevuse tõttu. Kuna Eestis hetkel puuduvad suurema energiamahutavusega vastuvõetava kasuteguriga energiasalvestid (pumpelektrijaamad jms), on meil olemas asulate küttesüsteemid koos kohalikul kütusel või gaaskütusel töötavate katlamajadega. Selles töös oli käsitletud kogu tuuleenergia suunamist soojusvõrku, mida selgitab joonis 5, kus suuremal osal aastast on tuule- ja soojusenergia tootmine sarnase tunnusjoonega. Puudujääk esineb valdavalt aasta esimestel kuudel, kuna nendel kuudel on temperatuur madalam ja tugevate tuulte esinemise tõenäosus väiksem. Olukorra muudab keerulisemaks asjaolu, et nii üle- kui ka vaegtoodang esinevad järjestikku mitme kuu jooksul. See nõuab oluliselt suurema energiamahutavusega salvestusseadet. Tuuleenergia salvestamisprobleeme meie oludes on käsitletud veel teisteski artiklites (Pöder jt 2009a, Pöder jt 2009b).

Tootmisgraafiku lõigatud tippude energiat võiks kasutada ka vesiniku tootmisel, mille tehnoloogiat on käsitletud Andrijanovitši jt töödes (2010). Selle tehnoloogia abil oleks võimalus energiat salvestada ning tuulevaikuse perioodidel vesinikust jälle elektrienergiat toota.



Joonis 5. Eesti elektri- ja soojusenergia tarbimine ning tuule(elektri)energia toodang suhtelistes ühikutes 2008. a.

Figure 5. Estonia's electricity and heat consumption and the wind (electrical) power output in proportional units in 2008.

Kokkuvõte

Tuuleenergia ennustamine on keeruline ning sellega kaasnevad loomulikult vead. Lõigates ära tootmisgraafiku tipud näiteks 80% ulatuses nimivõimsusest, vähenes MAPE 14,4%-lt 13,7%-ni. Kuigi see on väike muutus, kõrvaldab see tootmisgraafikust vahemiku 0–0,8, kus MAPE on kõrgem kui keskmine kogu graafiku ulatuses. Kui võrrelda viimaste aastate keskmisi tuuletugevusi kuude lõikes Pakri tuulepargis, siis pärast tootmisgraafiku lõikamist 80% ulatuses nimivõimsusest oli maksimaalne ära lõigatav energia 8,6%. Mida kehvemad olid tuuletugevused, seda kiiremini vähenes lõigatav energiakogus, aga keskmiselt ei ületanud see 5%. Tootmisgraafiku äralõigatud tippude energiat oleks võimalik kasutada energiaks mõne asula kaugkütte soojusvõrgus, vesiniku tootmiseks või pumpelektrijaamas vee pumpamiseks ning siis elektrienergia taastootmiseks jne. Nende tasuvus ning kasutusele võtmine sõltub kindlasti paljuski poliitilistest otsustest. Näiteks saab tuua tuuleparkidele makstavat taastu-

venergiatasu, mille vähendamist on planeeritud.

Kasutatud kirjandus

- Agabus, H., H. Tammoja, Wind power production estimation through short-term forecast. - Oil Shale nr 26 (3S), 2009, lk 208–219.
- Andrijanovič, A., E. Egorov, M. Lehtla, D. Vinnikov, New Method for Stabilization of Wind Power Generation Using Energy Storage Technology. - Agronomy Research nr 8 (S1), 2010, lk 12–24.
- Lepa, J., A. Annuk, E. Kokin, V. Pöder, K. Jürjenson, Energy production and consumption charts in energy system. - Oil Shale nr 26 (3S), 2009, lk 309–318.
- Lepa, J., A. Annuk, K. Toom, K. Jürjenson, M. Pennar, V. Palge, Wind Power in Heat Energy Systems. - Agronomy Research nr 8 (S1), 2010, lk 141–148.
- Liik, O., R. Oidram, M. Keel, J. Ojangu, M. Landsberg, N. Dorovatovski, Co-operation of Estonia's Oil Shale based Power System with Wind Turbines. - Oil Shale nr 22 (2S), 2005, lk 127–142.
- Palu, I., H. Tammoja, R. Oidram, Thermal power plant cooperation with wind turbines. - Estonian J. Engineering nr 14 (4), Estonia, 2009, lk 317–324.
- Palu, I., R. Oidram, M. Keel, H. Tammoja, Balancing of wind energy using oil-shale based power plants at erroneous wind forecast conditions. - Oil Shale nr 26 (2S), Estonia, 2009, lk 189–199.
- Palu, I. Impact of Wind Parks on Power System Containing Thermal Power Plants. -Dissertation for the defence of the degree of Doctor of Philosophy in Power Engineering and Geotechnology. Tallinn University of Technology, Faculty of Power Engineering, Department of Electrical Power Engineering. Tallinn, 2009.
- Pöder, V., J. Lepa, E. Jõgi, V. Palge, S. Kuusik, A. Annuk, Sizing of Wind Turbine Generator and Storage Device. - PROCEEDINGS of the 6th Research and Development conference of Central and Eastern European Institutes of Agricultural Engineering (CEE AgEng). Raudondvaris. Lithuania, 30. juuni – 2. juuli 2009, lk 120 – 125.
- Pöder, V., J. Lepa, V. Palge, T. Peets, A. Annuk, The Estimation of Nee-

ded Capacity of a Storage System According to Load and and Wind Parameters. - Oil Shale nr 26 (3S), 2009, lk 283–293.

Rosen, J., I. Tietze-Stöckingen, O. Rentz, Model-based analysis of effects from large-scale wind power production. - Energy nr 32 (4), 2007, lk 575–583.

POWER OUTPUT OF WIND TURBINES IN THE VARIATION MITIGATION

Kaupo Toom, Andres Annuk

The relative importance of wind becomes every day more important. Due to the wind stochastic nature the study and fitting of wind energy production charts is compensated with the electricity consumption charts. In addition it is vital to predict the power outlet of the wind park for 24 h to ensure reserves in the network. In the progress of prediction mistakes do happen. The part of power production charts that have been cut can be used for example for district heating.

SADEMETE EEST VARJATUD PUITKÜTUSE LOOMULIK KUIVATAMINE

Mart Hovi, Külli Hovi
EMÜ tehnikainstituut

Annotatsioon

Artiklis on käsitletud kimpudesse seotud halupuidu varumist, kuivamist ja säilitamist. Kuivamisel võib täheldada kolme faasi: käivitus, ühtlane kuivamine ja tasakaalulolek. Esimeses faasis kaob niiskus keha pinnalt. Teise faasis toimub vee siire puidu sisemistest kihtidest pinnale. Kolmandas faasis kõigub materjali niiskusesisaldus ümber tasakaalupunkti. Võiks arvata, et kuivamise kiirus erinevates faasides sõltub suuresti välistingimustest (õhuniiskus, temperatuur). Katse aga näitab, et nii see ei ole: esimene faas on igal juhul ülikiire, teise ja kolmanda faasi kiirus on stabiilne ning ilmastikuolud seda märkimisväärselt ei mõjuta.

Kuivamise olemus

Keha niiskus on defineeritud kui vee hulk materjali kohta ning väljendatav massi- või mahusuhtena. Erinevate valdkondade spetsialistid arvutavad materjali niiskust erinevalt. Näiteks tarbepuidu niiskust väljendatakse kuivaine suhtes, küttepuidu niiskust aga kogumassi kohta. See asjaolu teeb kuivamise mõistmise keerukaks, sest protsessi käigus muutub pidevalt nii võrreldav kui ka võrdluse aluseks olev suurus.

Kuivamisel eralduv vesi saab kuivatusagensi osaks. Agensiks on enamasti õhk. Õhu niiskust ollakse harjunud väljendama suhtena antud oludele vastava teoreetiliselt maksimaalse võimaliku (küllastusolek) kohta. Kasutatakse ka õhu absoluutse ja tehnilise niiskuse mõistet.

Kuivatamise teoorias tuntakse staatikat, dünaamikat ja kineetikat. Esimene tegeleb tasakaaluolekuga, teine kiirusega ja kolmas kiiruse muutumise ehk kiirendusega. Olek sõltub materjali tasakaaluniiskusest. See on iga materjali jaoks erinev funktsioon, mille sisendparameetriteks saab kasutada ümbritseva keha (antud olukorras mõtleme niisket õhku) mistahes ole-

kuomaduste paari. Kuna need pidevalt muutuvad, muutub ka keha mass. Iga keha püüab saavutada tasakaaluniiskust. Katsed näitavad, et sademete eest varjatud küttepuidu tasakaaluniiskuseni jõutakse umbes kahe aastaga ning see on keskel läbi 20%.

Mugav oleks kasutada kuivatusagensi kohta üheselt mõistetavat numbrit. Autor (Hovi 1997) on soovitanud selleks otstarbeks kasutada odra tasakaaluniiskust $MC(db)$, mis on kergesti väljenduv õhu temperatuuri (t) ja suhtelise niiskuse (RH) kaudu allolevast valemist. Täpsuse nimel võiks liisada ka baromeetrilise õhurõhu, kuid üldjuhul mõjutab see tulemust vähe.

$$MC(db) = \left[\frac{\ln(1 - RH / 100)}{-2.2919 \cdot 10^{-5} (t + 195.267)} \right]^{\frac{1}{20123}} \quad (\text{ASAE 1989})$$

Eksperiment ja tulemused

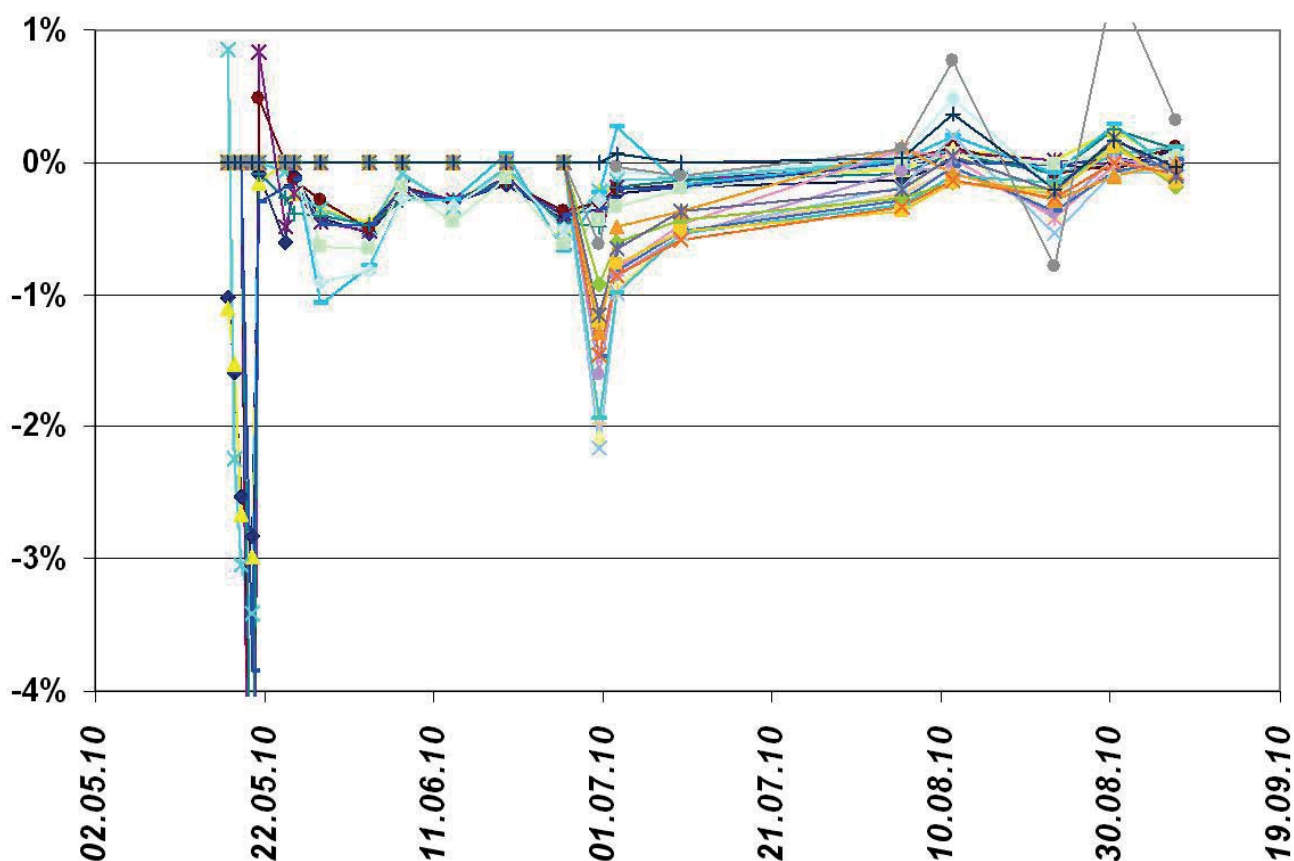
Käesolevas artiklis on vaatluse all juhuslik valik küttepuidu kimpe (foto 1), mis moodustavad kokku ühe ruumimeetri (Hovi ja Hovi 2009). Kuna kuivamistingimused ei ole vaatlusperioodil ühtlased, on võrdluse võetud ka õhu keskmine temperatuur ja suhteline niiskus. Need olekuparameetrid on teisendatud eelpool kirjeldatud meetodil õhu kuivatusvõimeks. Samal eesmärgil võib kasutada mõne teise materjali tasakaaluniiskust. Hüpo-



Foto 1. Katsekehad sademete eest varjatult EMÜ tehnikainstituudi õppehoone juures.

teesi kohaselt peaks kimpude mass stabiliseeruma kahe aasta möödudes. Seejärel toimuks üksnes fluktuatsioon, mis järgib ümbritseva keskkonna omadusi. Kuna omadused muutuvad kiiremini kuivamisest/niiskumisest, siis võib teatud lähenduses lugeda ümbritsevat ruumi omadustelt muutu- matuks ja olukorda stabiilseks.

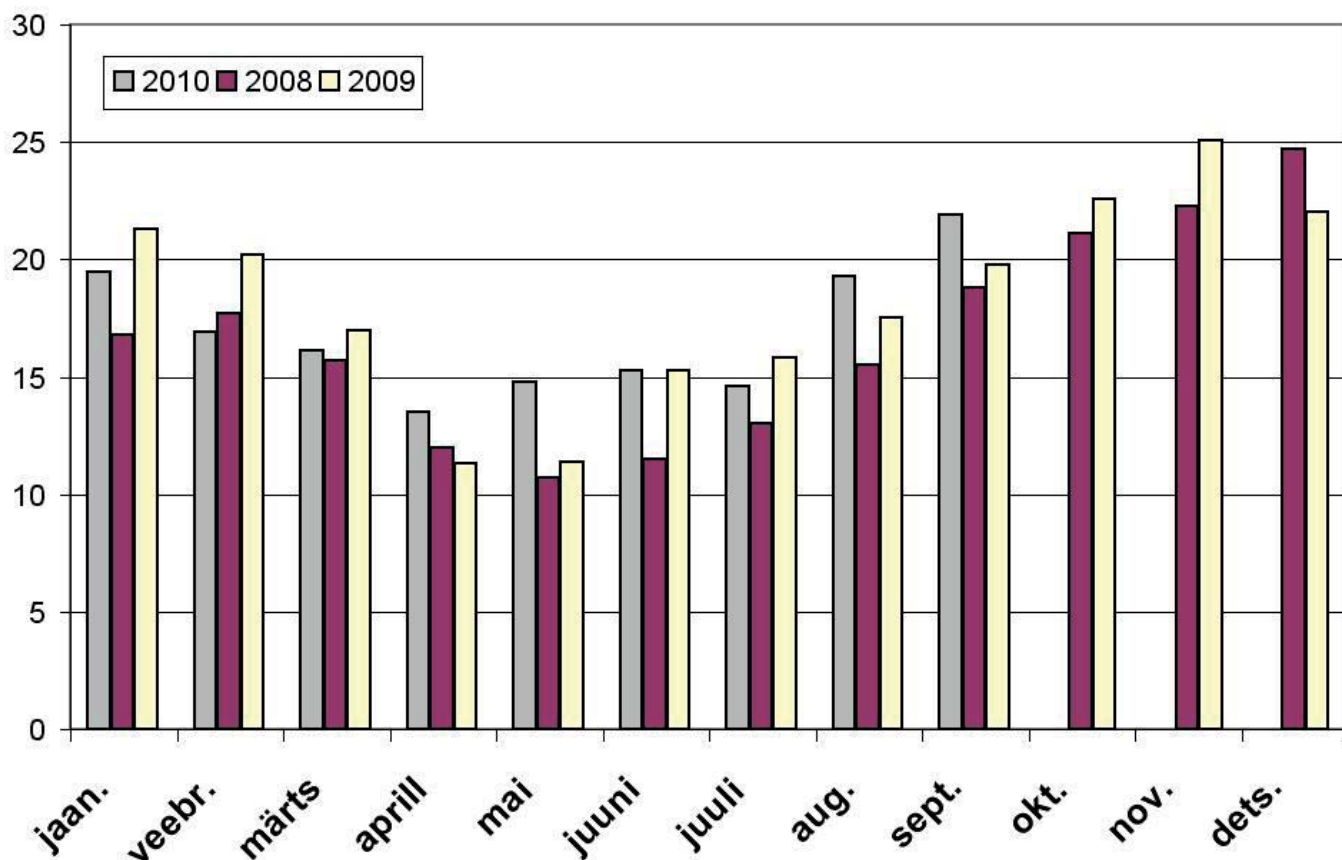
Selleks, et hinnata erineva läbimõõduga materjali käitumist, on kõigis kimpudes olevate halgude arv teada ja kimbud selle alusel grupeeritud. Esialgsed vaatlused ei kinnita erineva fraktsiooni kuivamiskiiruse olulist erinevust (joonis 1). See on vastuolus kuivatusteooriaga. Nimelt peaks väiksem tükisuurus tagama kiirema kuivamise, sest materjalis sisalduva vee teekond partikli pinnale on lühem. Vastuolu põhjuseks on arvatavasti niiskuse suhteliselt kiire siire puidus.



Joonis 1. Puidukimpude kuivamiskiiruse dünaamika. Vertikaaltelje ühikuks massimuutuse % ööpäeva kohta. Alates augustist võib täheldada nii kuivamist kui ka niiskumist. Juuli alguses lisandus osa kimpe.

Üks kimp on koostatud umbes 30 aastat toatingimustel hoitud saematerjalist. Sellise materjali niiskus on alla 10%. Seda kimpu jälgides võib näha niiskumist: mass, mis oli esialgu 19 kg, on paari kuuga stabiliseerumas 20 kg kandis.

Edaspidistes katsetes saab suurendada proovikehade arvu ja teha võrdlusi erinevate aastate kohta. Oletuse kohaselt aasta jahedama kolmandiku (november – veebruar) vältel kimpude olulist massimuutust ei peaks ilmema. Kõige intensiivsem kuivamine (joonis 2) on ajavahemikus märts – juuni, sest sellel perioodil on sademete tõenäosus ja sellest tulenev õhuniiskus madal. Juuli – oktoober on esimesel aastal kuivamise seisukohalt oluline piisavalt kõrge välistemperatuuri tõttu. Teisel aastal sademete tõttu enam mitte ja seega võib saadud kuivad küttepuud kütteperioodi algusest kasutusele võtta. Eeltoodust tulenevalt on tegelik kuivamisaeg 18 kuud, kui toored küttepuud on varutud talvel, nagu metsatöid vanasti tehti.



Joonis 2. Puidu tasakaaluniiskuse arvatud keskvärtused TÜ ilmajaama andmetest.

Kasutatud kirjandus

ASAE standards, 1989, lk 333.

Hovi, M. 1997. Differences in drying when using small over- or underpressure in ambient air drying. NJF 1997 conference in Pärnu. <http://www.eau.ee/~mhovi/njf97/>

Hovi, M., K. Hovi, Halupuude energia arvestus väikemaja kütmisel. - TEUKi kogumik 2009, lk 138 - 141. Tartu, EMÜ.

NATURAL DRYING OF COVERED WOOD PILE

Mart Hovi, Küll Hovi

The aim of this article is to observe the natural drying of logs. 25 piles of logs, which are taken from different sources are protected against the rain and weighted approximately every week. It takes about 18 months in natural conditions to get properly dried fire wood. The theoretical part of this article is about drying statics, kinetics and dynamics.

Drying can be observed in three phases: startup, steady drying and the state of final balance. In the first phase, the moisture vaporizes from the surface of the object. In the second phase, water disappears from the wood's inner layers and in the third phase, the moisture content of the material fluctuates around equilibrium point.

We may presume that the speed of drying in different phases depends greatly on the conditions of the surroundings (humidity, temperature). Nevertheless, this experiment shows that this presumption is not correct. The first phase is rather fast in any case, however, the speed of the second and the third phases are stable and weather does not affect it considerably.

ROHTSEST BIOMATERJALIST VEDELA BIOKÜTUSE TOOTMISVÕIMALUSTE UURIMINE

Marti Tutt, Jüri Olt
Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu
e-post: marti.tutt@emu.ee

Annotatsioon

Käesolevas töös uuriti etanooli tootmist rohtsest biomassist ning selle koostise ja osakeste suuruse mõju etanooli saagisele. Proovide töötlemiseks kasutati lahjas happelahuses kuumutamist ja ensümaatilist hüdrolyüüsi, millele järgnes fermentatsioon. Suurim etanoolitoodang kilogrammi heina kohta saadi proovist P II (Tartu Agro timut), mis oli kõrge tseluloosi- (38,06%) ja madala ligniinisaldusega (4,90%). Väikseima etanoolisaagise andis heinaproov P IV (Puurmani), millel oli ühtlasi kõige suurem ligniinisaldus (8,78%). Tehtud katsetes heinaproovi purustatuse aste etanooli saagisele mõju ei avaldanud, kuid materjali osakeste väiksem suurus lihtsustab töötlemist.

Märksõnad: taastuvenergia, biomass, vedel biokütus, etanool, tselluloos, ensüümid.

Sissejuhatus

Euroopa Liidu taastuvenergia direktiivist 2009/28/EÜ tulenevalt peab Eesti tagama, et aastaks 2020 moodustab taastuvenergia osakaal energia lõpptarbimisest 25%, sh transpordis kasutatavatest kütustest peavad taastuvad energiaallikad moodustama 10%. Taastuvate energiaallikate osakaal kogu energiatarbimises moodustas 2005. aastal 18%. Biokütuste kasutus on Eestis praegu veel madal, kuid huvi selle kasutuse vastu kasvab pidevalt. Samas puudub Eestis hetkel mootorikütuseks kasutatava bioetanooli tööstuslik tootmine [1].

Eesti põllumajandusele on iseloomulik, et taimsete kõrvalsaaduste ja jäämetede kasutamine ning otstarbekas rakendamine puudub. Samuti on enamasti kasutamata looduskaitsealade majandamisest tulenev rohtne mass. Pidevalt tõusvate vedelkütuste hindade juures oleks palju säästlikum

võtta see rohtne biomass kasutusele näiteks vedelate biokütuste tootmise toorainena.

Looduskaitsealade otstarbekas majandamine, põllumajanduse kõrvalsaaduste ja biojäätmete efektiivne ümbertöötlemine ning kütusena kasutamine energeetilisel otstarbel vähendavad saasteainete eraldumist pinnasesse, õhku ja vette. Samuti vähendab vedela biokütuse tootmine fossiilsete kütuste kasutamist ning energiasõltuvust kütuse impordist. Kuna bioetanool põleb sisepõlemismootoris täielikumalt ning eraldab vähem heitgaase kui bensiin, aitab see vähendada ka atmosfääri paiskuvate heitgaaside hulka [2].

Töö eesmärgiks oli uurida etanooli tootmist erinevast rohtsest biomassist ja protsessi saagise sõltuvust biomassi koostisest ning purustatuse astmest.

Biomass

Rohtse biomassi proovid on pärit Tartu maakonna rohumaadelt. Proovid tähisega P I ja P II on niidetud kultuurheinamaalt (Tartu Agro rohumaadelt), P I puhul on tegu segakooslusega ja P II on timut. Proovid P III ja P IV on pärit looduslikelt niitudelt. P III on saadud Aardla poldrilt, see koosneb erinevatest liikidest, kuid palju on jämeda varrega ja laialehelisi rohttaimi. P IV on pärit Alam-Pedja looduskaitsealalt (Puurmani), mida niidetakse üks kord aastas ning tegu on väga liigirikka kooslusega.

Töös kasutatud proovid olid eelnevalt kuivatatud, purustatud ning sõelutud osadesse, milles osakeste suuruseks oli 0,5 mm, 4 mm, 10 mm ja 20-30 mm. Proovide proteiini-, tselluloosi-, ligniini- ja hemitselluloosisisaldus määrati kindlaks Eesti Maaülikooli Taimebiokeemia laboris [3]. Tulemused on toodud tabelis 1.

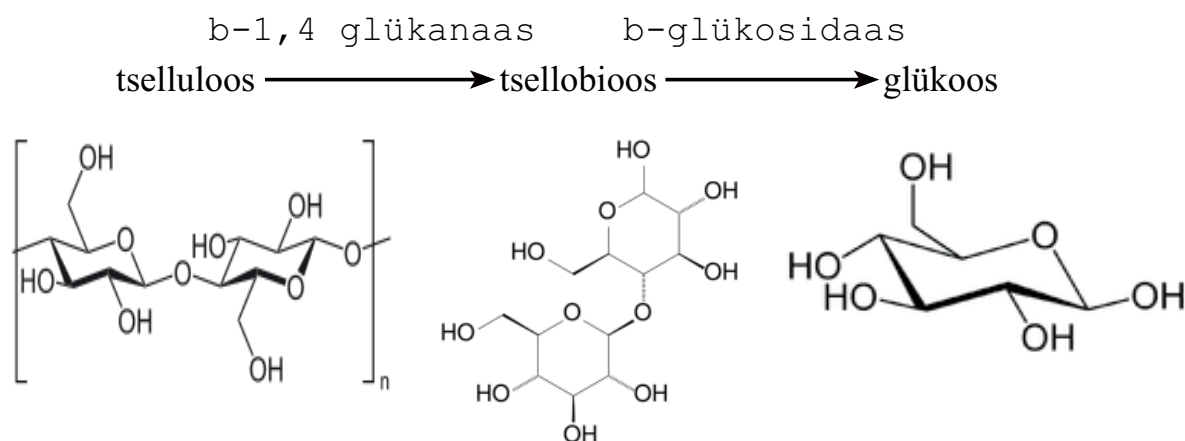
Tabel 1. Heinaproovide proteiini-, tselluloosi-, ligniini- ja hemitselluloosisisaldused.

Table 1. Content of proteins, cellulose, lignine and hemicellulose in hay samples.

Proovi tähis	Proteiin %	Tselluloos %	Ligniin %	Hemitselluloos %
P I	11,18	30,10	4,08	23,37
P II	9,36	38,06	4,90	29,59
P III	11,10	38,57	5,10	33,67
P IV	7,76	35,10	8,78	22,35

Tselluloos

Tselluloos on lineaarse ahelaga polüsahhariid, mis võib koosneda mõnestsajast kuni kümnest tuhandest D-glükoosi monomeerist. Leidub peamiselt taimedes rakuseinte ehituses. On vees lahustumatu ning raskesti lagundatav ühend, kuid esineb ka hargnenud ahelaga vorme, näiteks metüülselluloos ja karboksüülmetyülselluloos, mis lahustuvad vähesel määral vees. Looduses lagundavad tselluloosi vastavaid ensüüme omavad bakterid ning seened. Mikroorganismidel toimub tselluloosi lagundamine peamiselt kahes etapis alljärgnevalt.



Esiteks lagundatakse tselluloos ensüümide toimel tsellobioosiks, mis koosneb kahest glükoosi monomeerist, ning see lagundatakse edasi glükoosiks [4; 5].

Biomassi hüdrolüüsiks kasutati spetsiaalselt lignotselluloosse biomassi

töötlemiseks mõeldud ensüümide segu Accellerase 1500, mida toodab Danisco US Inc. Accellerase 1500 valmistamiseks on kasutatud geneetiliselt modifitseeritud seenekultuuri *Trichoderma reesei*. *Trichoderma reesei* on mesofiilne seeneliik, mis toodab tselluloosi lagundavaid ensüüme ning seda leidub peamiselt troopilise kliimaga piirkondade muldades [6].

Materjalid ja meetodika

Tselluloosi lagundamiseks heinas kasutati proovide eeltötlust lahjas happelahuses kuumutamisel ning ensümaatilist hüdrolyüsi, millele järgnes fermentatsioon [7]. Eeltötluseks lisati 50 g purustatud biomassile 400 ml 1,5%-list H_2SO_4 -lahust. Edasi kuumutati proovi $t = 90$ minutit temperatuuril $T = 121$ °C ning rõhul $p = 2$ bar. Peale proovi jahtumist toatemperatuurini lisati $Ca(OH)_2$ reguleerimaks pH-d. Kasutatud ensüümide tööks on kõige sobilikum vahemik $pH = 4-5$.

Eeltötlusele järgnes ensüümide toimele heinaproovi hüdrolyüs. Selleks kasutati Danisco US Inc. poolt toodetud ensüümide segu Accellerase 1500, 10 ml ensüümisegu 50 g proovi kohta. Hüdrolyüsi protsess toimus aja $t = 48$ tunni jooksul regulaarsel segamisel ning temperatuuril $T = 50$ °C, mille käigus enamik biomassist lahustus ning eelnev paks mass (tahke osa 10-12,5% lahusest) muutus pruuniks vedelikuks.

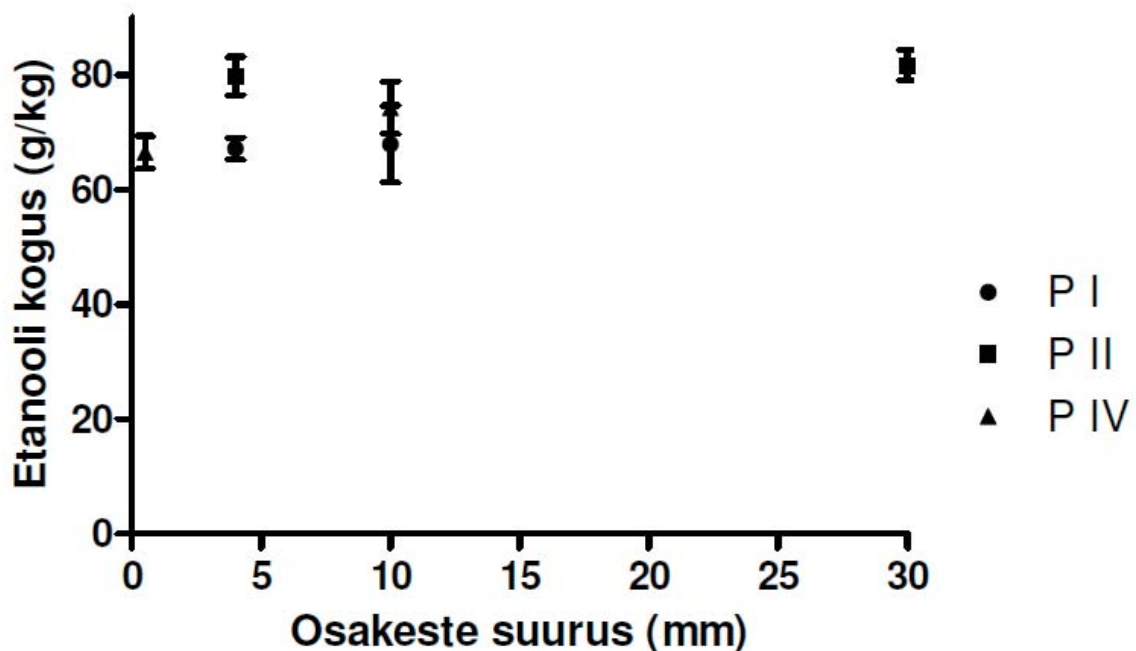
Peale hüdrolyüsi lõppu jahutati lahus toatemperatuurini ning lisati 2,5 g kuivpärm *Saccharomyces cerevisiae*. Fermentatsioon toimus 5 ööpäeva jooksul hapnikuvaestes tingimustes 1000 ml klaaskolvides, mis olid suletud kääritud storuga. Käärimise lõppemisel eraldati vaakumfiltratsiooniga kolvi jäänud tahkest osast vedelik ning destilleeriti saadust kaks korda rotatsioonaurutil. Etanooli sisaldus destillaadis leiti tiheduse järgi, selleks mõõdeti destillaadi ruumala ning määrati analüütilisel kaalul mass. Kõikide proovide korral tehti vähemalt kolm katset, välja arvatud P III (polder) 20-30 mm osakeste suurusega heinaproovi puhul, kus tuli materjali vähesuse tõttu piirduda kahe katsega. Joonistel on kasutatud keskmistatud tulemusi, mõõteviga on näidatud vertikaalsete joontega. Andmeid töödeldi programmidega Microsoft Excel ja GraphPad Prism 4.

Tulemused

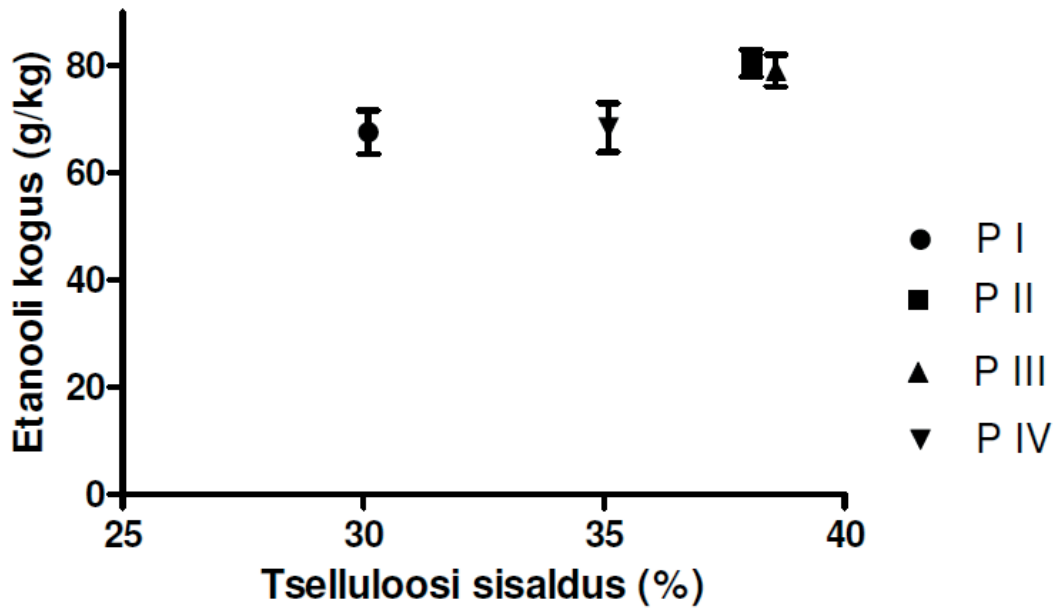
Töös uuriti etanooli tootmist lignotselluloosest biomassist (heinaproovid) ja protsessi saagise sõltuvust proovi koostisest ning purustatuse astmest. Piisava eeltöötuse ja ensüümide koosmõjul õnnestub lagundada osa tselluloosist glükoosiks ning toota sellest kääritamise teel etanooli.

Selgus, et kasutatud katsetingimustel ei sõltu saadud etanooli kogus otseselt proovi osakeste suurusest. Eeltöötuse ning 48-tunnise hüdrolyüsi toimetel lagunevad sarnaselt nii 0,5 mm kui ka 30 mm suuruste osakestega heinaproovid. Osa materjalist lahustub ning ülejäänud (peamiselt ligniin) settib segamise lõppedes peene pulbri kujul põhja. Materjali purustamine vähemalt 30-50 mm tükkideni on siiski vajalik, sest see kiirendab protsessi ning lihtsustab materjali töötlemist, eriti segamist.

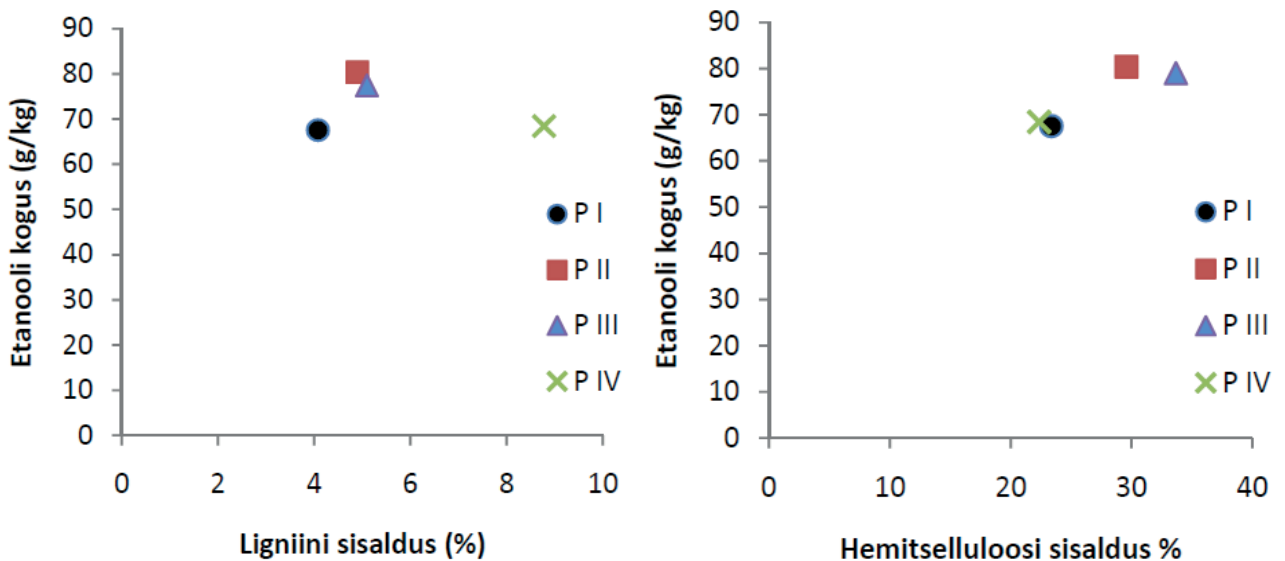
Nagu nähtub joonistelt 2-4, sõltub etanooli saagis kg heina kohta proovi tselluloosisaldusest, kuid tuleb arvestada ka ligniini ja hemitselluloosi hulka. Proovide P I (Tartu Agro segakooslus) ja P IV (Puurmani) korral on etanooli saagis kg heina kohta sisuliselt võrdne, vastavalt 67,56 g/kg ja



Joonis 1. Toodetud etanooli koguse sõltuvus proovi osakeste suurusest.
Figure 1. Dependence of ethanol output from particle size.



Joonis 2. Toodetud etanooli koguse sõltuvus tselluloosi sisaldusest.
Figure 2. Dependence of ethanol output from cellulose content.



Joonis 3. Toodetud etanooli koguse sõltuvus ligniini sisaldusest.
Figure 3. Dependence of ethanol output from lignine content.

Joonis 4. Toodetud etanooli koguse sõltuvus hemitselluloosi sisaldusest.
Figure 4. Dependence of ethanol output from hemicellulose content.

68,41 g/kg, kuid proovi P IV tselluloosisisaldus on 5% suurem. Samas on selle ligniinisaldus samuti ligi kaks korda suurem. Kõrgem ligniini- ja hemitselluloosisisaldus taimes raskendab ensüümide ligipääsu tselluloosi kiududele, mille tõttu osa tselluloosist jääb suhkruteks lagundamata.

Seega tuleb saadava etanoolikoguse hindamisel kg heina kohta arvesse võtta kõiki kolme komponenti. Parima tulemuse annab võimalikult suure tselluloosi ning samal ajal võimalikult väikese ligniini- ja hemitselluloosisisaldusega biomass. Tehtud katsetes andis parimaid tulemusi proov P II (Tartu Agro timut): 80,40 g etanooli 1 kg heina kohta.

Töös leiti veel etanooli saagis kg tselluloosi kohta. Tulemused on toodud tabelis 2. Kõige efektiivsemalt kasutati ära proovis P I leidunud tselluloos, mis andis etanooli saagiseks 44% teoreetilisest väärtusest. Kuigi proovis P I oli tselluloosi sisaldus kõige väiksem, oli seal ka väikseim ligniini- ja hemitselluloosisisaldus. Takistavate tegurite väiksema osakaalu tõttu õnnestus proovis leiduv tselluloos suuremal määral glükoosiks lagundada. Kõige väiksem etanoolisaagis oli proovil P IV, mis on seletatav sellega, et antud heinaproovi ligniinisaldus oli kõige suurem.

Rohtsest materjalist etanooli tootmise protsessi saagist saab suurendada põhjalikuma eeltötlusega kõrgematel temperatuuridel. See aitab lõhkuda taimerakkude struktuuri ning võimaldab ensüümidele paremat juurdepääsu tselluloosi suhtes. Kirjanduse andmetel võimaldab erinevatel meetoditel eeltötlus temperatuuridel 160-200 °C koos ensümaatilise hüdrolyüüsi-ga saavutada etanooli saagiseks kuni 90% [8].

Tabel 2. *Toodetud etanooli kogus kg tselluloosi kohta koos protsentuaalse saagisega.*

Table 2. *Ethanol yield per kg of cellulose.*

Tähis	Etanooli kogus (g/kg)	Saagis %
P I	224,40	44,00
P II	211,26	41,42
P III	200,73	39,36
P IV	194,91	38,22

Kokkuvõte

Töös uuriti etanooli tootmist rohtsest biomaterjalist ning selle protsessi sõltuvust proovi koostisest ja purustatuse astmest. Selgus, et kasutatud katsetingimustel proovi osakeste suuruse ja toodetud etanooli koguse vahel otsene seos puudub, kuid väiksemad osakeste mõõtmed kiirendavad

ning lihtsustavad protsessi läbiviimist. Etanooli saagis materjali suhtes sõltub eelkõige tselluloosi sisaldusest, kuid arvestama peab ka ligniini ja hemitselluloosi sisaldust. Tselluloosi võrdse sisalduse juures saab suurema koguse etanooli biomassist, mille ligniinisaldus on väiksem. Antud juhul saadi parimaid tulemusi proovist P II (Tartu Agro timut), mille korral oli etanooli saagis 80,40 g/kg. Lisaks leiti toodetud etanooli kogus kilogrammi tselluloosi kohta koos protsentuaalse saagisega. Selgus, et suurim saagis oli proovil P I (44,00%), millel oli kõige väiksem ligniinisaldus (4,08%) ning samuti üks väiksemaid hemitselluloosisaldusi. Kõige madalam saagis oli vastavalt heinaproovil P IV (38,22%), millel ühtlasi oli suurim ligniinisaldus (8,78%).

Tulevikus on kavas uurida etanooli tootmist põhust, silost, saepurust, pilliroost jne, kasutades sealjuures tõhusamaid eeltöötlemise meetodeid, saavutamaks suuremat saagist. Ühe võimalusena saab uurida biomassist etanooli tootmise protsessi käigus tekkivate jäätmete kasutamist tahkkütusena, valmistades neist briketti.

Kasutatud kirjandus

- Bals, B., C. Rogers, M. Jin, V. Balan, B. Dale, Evaluation of ammonia fibre expansion (AFEX) pretreatment for enzymatic hydrolysis of switchgrass harvested in different seasons and locations.- *Biotechnology for Biofuels* 3:1, 2010.
- Demirbas, A., Bioethanol from cellulosic materials: a renewable motor fuel from biomass.- *Energy Sources* nr 27, 2005, lk 327-337.
- Dien, B., H. Jung, K. Vogel, M. Casler, J. Lamb, L. Iten, R. Mitchell, G. Sarath, Chemical composition and response to dilute-acid pretreatment and enzymatic saccharification of alfaalfa, reed canarygrass and switchgrass.- *Biomass and Bioenergy* nr 30, 2006, lk 880-891.
- Eesti taastuvenergia arengukava aastani 2020. Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium, 02.06.2010. <http://www.mkm.ee/nreap-2>
- Guenet, J. M., Cellulose. - *Polymer-Solvent Molecular Compounds*, 2008, lk 57-69.
- Menind, A., A. Normak, Study on grinding biomass as pre-treatment for

- biogasification.- Agronomy Research, Biosystems Engineering nr 8, 2010, lk 155-164.
- Vitikainen, M., M. Arvas, T. Pakula, M. Oja, M. Penttilä, M. Saloheimo, Array comparative genomic hybridization analysis of *Trichoderma reesei* strains with enhanced cellulase production properties.- BMC Genomics 11:441, 2010.
- Wang, N. S., Cellulose degradation. - Department of Chemical & Biomolecular Engineering, 20.03.2009. <http://terpconnect.umd.edu/~nsw/ench485/lab4.htm>

PRODUCTION OF LIQUID BIOFUELS FROM HERBACEOUS BIOMATERIAL

Marti Tutt, Jüri Olt

The aim of this paper was to investigate the production of ethanol from herbaceous biomaterial and dependence of ethanol yield from sample content and particle size. It was found that under the used experimental conditions there was no direct link between particle size of samples and ethanol yield, but smaller particle size reduces reaction time and simplifies process operations. Ethanol yield per kg of biomass depends most of cellulose content, but content of lignine and hemicellulose must also be taken into account. Best results were obtained from sample P II which had ethanol yield of 80,40 g/kg. Ethanol yield per kg of cellulose was also found. Highest yield of 44,00% from theoretical value was obtained from sample P I which had the lowest lignine content of 4,08%.

TARTU REGIOONI ENERGIAAGENTUUR

Martin Kikas, Asso Nettan
Tartu Regiooni Energiaagentuur
martin.kikas@trea.ee

Annotatsioon

Käesolevas artiklis tutvustatakse Tartu Regiooni Energiaagentuuri ja rahvusvahelist koostööprojekti „BIO-EN-AREA“ („Bioenergia ja territoriaalse planeerimise piirkondlike strateegiate täiendamine“).

Märksõnad: energiaagentuur, säästev energeetika, energiasääst, taastuvad energiaallikad, biomass.

Tartu Linnavalitsuse ja Tartu Teaduspargi koostöös 2009. a augustis loodud Tartu Regiooni Energiaagentuur (TREA) tegutseb aktiivselt 2010. aasta jaanuarist alates. Agentuuri tegevust toetab programmi „Intelligent Energy Europe“ kaudu Euroopa Komisjon. Eestis seni ainsa selle programmi toel loodud agentuuri eesmärk on edendada säästva energeetika ja energijuhtimisega seonduvaid valdkondi Lõuna-Eestis. Tartu-, Põlva-, Võru-, Valga-, Viljandi- ja Jõgevamaal keskendutakse tänapäevase energeetika sõlmprobleemidele: energiatõhususele, säästvate veendusele ja taastuvenergeetikale. Olulised teemad on ka kohalike omavalitsuste energijuhtimine, avaliku sektori ja kodumajapidamiste energiakasutuse tõhustamine, avaliku ja erasektori koostöö ja tegevuste arendamine ning kohaliku kogukonna toetamine.

Agentuuri põhitegevusi sätestav grandileping määrab neli konkreetset tegevusvaldkonda, mille edukas täitmine organisatsioonile kriitilise tähtsusega on:

- kohalike omavalitsuste energijuhtimine,
- energiakasutuse efektiivsuse tõstmine avalikus sektoris ja kodumajapidamistes,
- avaliku ja erasektori koostöö ja tegevuste arendamine,
- kohaliku kogukonna toetamine.

Hetkel tegeldakse Tartu Linnavalitsuse haldusalas olevate hoonete energiatarbe analüüsimise ning selle põhjal andmebaasi koostamisega. See andmestik võimaldab Tartu Linnavalitsusel hinnata olemasolevate hoonete energiatarbimise seisu ning teha otsuseid hoonete renoveerimisvajaduse ning selle tasuvuse kohta. Juba tehtud, peamiselt lasteaedu hõlmanud vaatluste ja arvutuste esialgsed tulemused näitavad, et kuigi eelmise sajandi keskel ehitatud hoonetel on probleeme ka energiatõhususega, on peamine mure hoopiski lasteasutustele ette nähtud sisekliima tagamine. Et mitte leiutada järjekordselt jalgratast, kogub agentuur meile sarnase kliimaga naabermaade kogemusi analoogiliste probleemide lahendamisel.

TREA prioriteetide seas on koostöö piirkonna muude energiavaldkonnas tegutsevate organisatsioonidega. Peamine koostööpartner on SA Tartu Teaduspark – Lõuna-Eesti teadus- ja tehnoloogiamahuka ettevõtluse tugiorganisatsioon, mille üks võtmevaldkondi on energiatõhus ehitus ning hoonete, ehitus- ja muude toodete energiatõhusus. Teaduspark on 2006. aastast peale aktiivselt tegelenud mitmesuguste energiatõhususe ja taastuvenergeetikateemadega, osalenud vastavates Euroopa Liidu projektides ning korraldanud nii piirkonnasiseseid kui ka rahvusvahelisi energiateemalisi konverentse, ümarlaudu, seminare, koolitusi ja õppereise.

TREA töötab välja ka teenuste paketti laiemale üldsusele. Näiteks korraldab TREA energiasäästunädalat ning aitab koostööpartneritel leida mõttekaaslasi ja rahastajaid regioonisisest ja rahvusvahelisel tasandil. TREA kaardistab hoonekomplekside energiatarvet ning analüüsib nende keskkonnamõjusid ja sisekliimat. Agentuur tegeleb hoonete elukaarte koostamise ning renoveerimisvajaduste maksumuse arvestamisega. TREA teostab ka säästva energeetika alaseid koolitusi ja õppereise ning on abiks säästva energeetika strateegiate ja kliimakavade koostamisel. Lisaks käsitleb agentuur oma iga-aastastes ülevaadetes regiooni energeetika teemasid erinevate vaatenurkade alt, alates energeetika regulatsioonist kuni kodanike tarbimisharjumusteni.

Projekt „BIO-EN-AREA“

Tartu Regiooni Energiaagentuuri üks olulisi tegevusi on osalemine projektis „Improve Regional Policies for Bioenergy and Territorial Development“ („Bioenergia ja territoriaalse planeerimise piirkondlike strateegiate täiendamine“ ehk lühidalt „BIO-EN-AREA“). Projekt on rahvusvaheline (partnereid on 7 riigist) ja seda rahastatakse INTERREEG IV C programmist.

Projekti „BIO-EN-AREA“ eesmärgid on järgmised.

- Edendada bioenergia laialdasemat teadlikku kasutamist.
- Suurendada partnerite võimekust ning täiustada kohalikku poliitikat, tuginedes erinevate Euroopa piirkondade kogemustele ja teadmistele.
- Kaasata kohalikke omavalitsusi, spetsialiste, valdkonna arengut mõjutavaid organisatsioone, huvitatud isikuid ja arvamusi liidreid.
- Viia info ja uus teadmine kohalikule tasandile, omavalitsuste ja ettevõtjateni, ning tõhustada koostööd erinevate projektipiirkondade kogukondade, asutuste ja organisatsioonide vahel.

Seega on projekti peamine eesmärk täiustada ja täiendada piirkondade bioenergia kasutamise seotud strateegilisi (arengule suunatud) dokumente, koostöös partneritega koostada või viia ellu piirkondlik biomassi arengukava kui üks olulisim projekti oodatav tulemus.

„BIO-EN-AREA“ projekti piirkonnad on Castilla y Leon regioon (Hispaania), Põhja-Makedoonia regioon (Kreeka), Trento provints (Itaalia), Kosice regioon (Slovakkia), Kagu-Iirimaa regioon (Iirimaa), Kagu-Rootsi piirkond (Rootsi) ja Lõuna-Eesti piirkond (Eesti).

Projekti üheks olulisemaks tegevuseks on projekti piirkondade vaheliste organisatsioonide miniprojektide konkurs. Miniprojektid on suunatud konkreetsetele organisatsioonidele ja kohalikele omavalitsustele. Eesmärk on sama, mis kogu projektil: koostöös partneritega peavad miniprojektid aitama kaasa bioenergia laialdasemale kasutamisele rakenduspiirkonnas. See tähendab konkreetseid tegevusi, tegevuskavasid, meetoodilisi

juhendeid, täiendatud informatsiooni ja uut teadmist. Tulemused peavad olema antud piirkonnas innovaatilised ja võimaldama tagasisidet selleks, et välja töötada uusi näitajaid ja mõõdikuid kohaliku arengupoliitika jaoks.

Miniprojektide konkurss toimus juunist septembrini 2010. a. Kokku laekus 11 projekti, millest kuues on osalemas ka Eesti organisatsioonid. Eesti-poolsed osalejad on Eesti Maaülikool, Tallinna Tehnikaülikool, MTÜ Piiriäärne energiaarendus, SA Põlvamaa Arenduskeskus ja Tartu linn. Edukaks osutunud miniprojekte rahastatakse kokku 1,4 miljoni euro ulatuses, sellest 200 000 eurot on osalejatele Eestist. Lõplik otsus projektide rahastamiseks tehakse novembri alguses. Teave avaldatakse TREA kodulehel.

Oleme valmis igakülgseks koostööks kohalike omavalitsuste, ettevõtete ja organisatsioonidega.

Täpsem info koostöövõimaluste kohta on saadaval Tartu Regiooni Energiaagentuuri kodulehel <http://www.trea.ee>. TREA asub Tartu Teaduspargi Inkubatsioonikeskuses aadressil Riia 181a.

TARTU REGIONAL ENERGY AGENCY

Martin Kikas, Asso Nettan

Tartu Regional Energy Agency (TREA) was founded in 2009 in cooperation of city of Tartu and Tartu Science Park to promote sustainable energy and energy management in the region. The agency concentrates on promoting energy management and relieving the key problems of modern energy management: energy efficiency, sustainable transport and renewable energy.

This article also gives an overview about multilateral cooperation project BIO-EN-AREA financed by INTERREG IVc programm.

The main areas for the organization are Energy management in local governments, increasing the efficiency of energy use in public sector and households, developing cooperation between public and private sector and supporting local community.

PÄIKESEENERGIAL TÖÖTAVA TÄNAVALGUSTUSE PLANEERIMINE RÕUGE ALEVIKU NÄITEL

Priit Pikk, Tiit Pikk
Eesti Maaülikooli tehnikainstituudi energiaklass
Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu
<http://www.energiaklass.emu.ee>; e-post: priit.pikk@emu.ee

Annotatsioon

Päikeseenergial töötava tänavavalgustuse planeerimise artikkel käsitleb Rõuge aleviku näitel päikesepaneelidel põhinevate tänavavalgustuslahenduste erinevaid versioone. Artikkel toob välja olulised lähteandmed, analüüsib erinevaid strateegiaid, nagu nullenergia- ja saarelahendus. Energiatarbimise prognoosimiseks on koostatud valgustuspostide kasutusaja graafikud ning arvestatud energiakulu. Energia tootmisvõimsuse leidmine toimub tänavavalgustite tarbimise, pimedate tundide, valgusintensiivsuse ja päikesepaneelide tootlikkuse alusel. Artikli lõpus võrdleb autor erinevate strateegiatega otstarbekust kulupõhiselt.

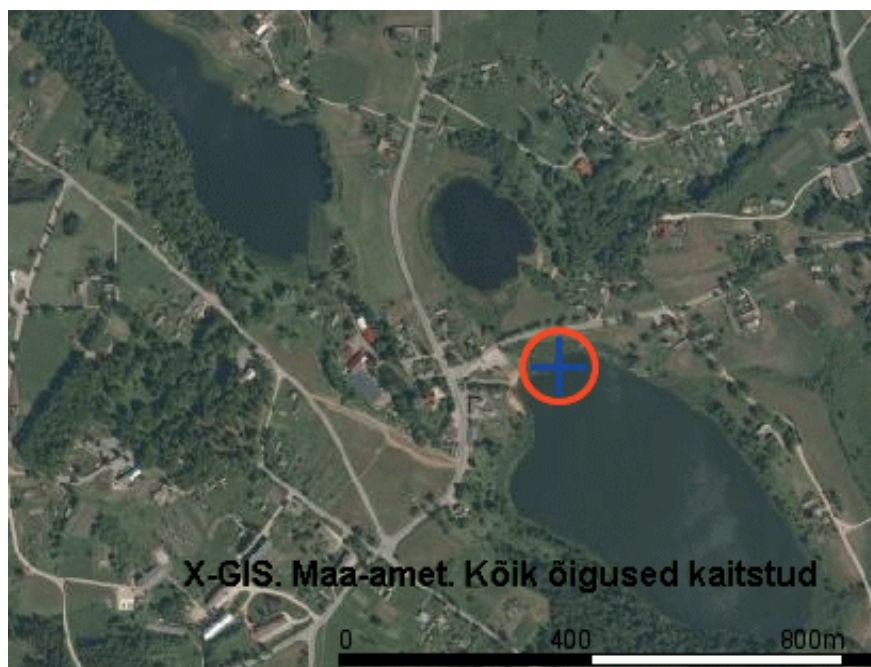
Märksõnad: päikeseenergia, tänavavalgustus, taastuveneergetika.

Sissejuhatus

Antud töös tutvustame Rõuge aleviku näitel Eesti Maaülikooli energiaklassi tegevust energiasäästliku tänavavalgustuse arendamisel. Energiaklass on taastuveneergetika tehnoloogiate, energia efektiivsuse temaatiliste insenerarvutuste ja energiasüsteemide nõustaja ning teostaja.

Energia tarbimine ja energia tootmine on paratamatud elu osad. Vähenevatele energiaressurssidele mõeldes tuleb proovida vähem tarbida. Osa tarbimisharjumusi ja -viise on sellised, mille kulu me saame lihtsalt kontrollida: autosõit versus jalgrattasõit, sooja vee kasutamise hulk igapäeva-elus, kohvikannu valik jne. Teine tarbimisliik on n-ö passiivne tarbimine, mis ei olene otseselt meist ning muutub paljude inimeste harjumuste ümber kujundamisel. Tänavavalgustus kui passiivne energia tarbimise viis on enamasti valla või linna haldusalas ning ka nemad peaksid püüdma kulutusi sellele tarbimisliigile alandada. Käesolevas töös on antud hinnang ja koostatud arvutused erinevate taastuveneergetiliste tänavavalgustuse lahenduste jaoks.

Artikli eesmärgiks on analüüsida parimaid taastuveneergetilisi lahendusi Rõuge aleviku tänavavalgustuse energiatarbimise katmiseks ning selgitada välja, milline neist on kulupõhiselt ja teostuselt otstarbekam.



Joonis 1. Rõuge aleviku asendiplaan.

Figure 1. Geographical location of Rõuge municipality.

Lähteandmed

Rõuge valla 2284 elanikku elavad 108 külas ja Rõuge alevikus. Tuleb ka märkida, et Rõuge valla elanike arv on kasvava trendiga. Alevikus on mitmed läbisõiduteed ja ka kergliiklusteed.

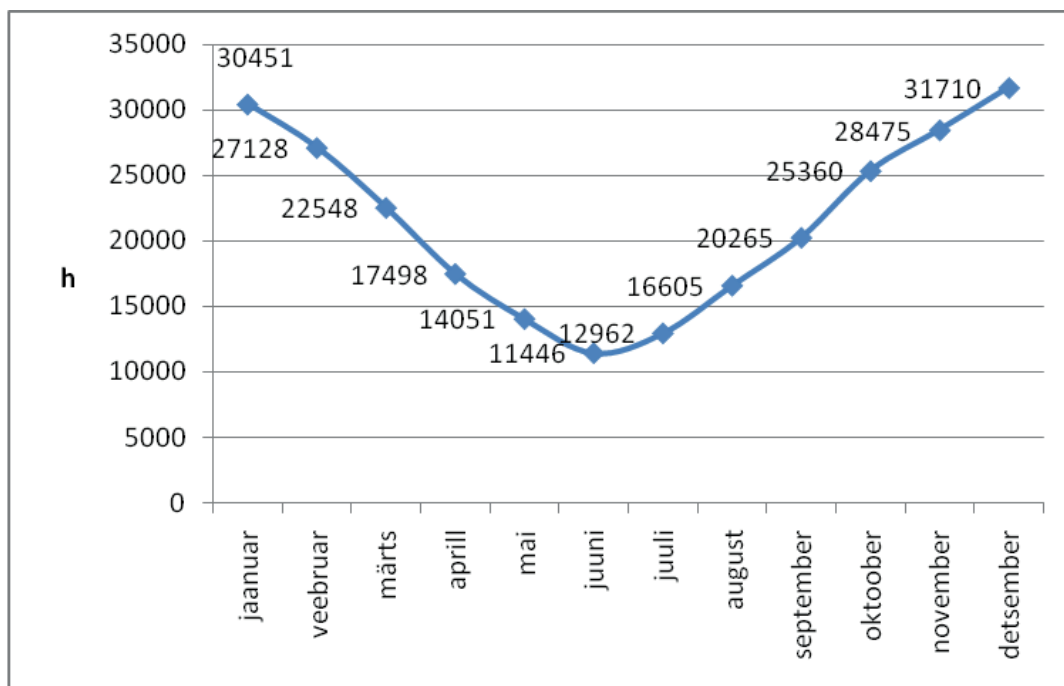
Erinevate sõidu- ja kergliiklusteede valgustamiseks paigaldatakse 118 valgustit. Valgustite jaotus on esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Tänavavalgustuses kasutusele võetavate lampide hulk ja võimsus.
Table 1. Amount and capacity of used street lamps.

	valgustite arv, tk	valgusti võimsus, W
sõiduteede ääres	90	120
ristmikud	13	150
kergliiklusteed	15	60
kokku	118	13 650

Valgustusaeg

Tänavate valgustamise vajadus sõltub pimeda aja pikkusest. Pimeda aja tundide leidmiseks tuleb kokku arvutada aeg päikeseloojangust päikese tõusuni ning summeerida pimeda aja tundide arvud aasta lõikes. Päikese tõusu ja -loojangu ajad on kättesaadavad internetiportaalis *Sun or Moon Rise/Set Tabel for One Year* (vt ka joonis 2).



Joonis 2. Loojunud päikese tundide arv Valgas.
Figure 2. Sundown hours in Valga.

Valgustite asukoht

Valgustite asukoht on Rõuge alevikus sõidu- ja kergliiklusteede ääres. Päevalgustundide leidmisel on kasutatud asukohana Valgat, sest see asub samal laiuskraadil ning Valga jaoks on andmed olemas. Valgustid on planeeritud nii, et need on avatud päikesevalgusele ning vajadusel eemaldatakse mõni puu, kui see võimalik on. Eeldatakse, et päikesepaneelidele ei teki varje ning nad on kogu valge aja päikesevalgusele avatud. Päikesepaneelide tootlikkus ei sõltu nende asukohast.

Strateegiad tänavate valgustamiseks

Erinevaid strateegiaid tänavate piisavaks valgustamiseks taastuvenergia

allikate abil on mitmeid ning praegune strateegiate valik sõltub tehnoloogiate kättesaadavusest ja maksumusest. Vaatlen nullenergiapostide ja saarelahenduse strateegiat.

Nullenergiapost

Nullenergiapost on tänavavalgusti (edaspidi valgusti), mis tarbib aasta lõikes sama palju energiat, kui toodab. Seega on valgusti energia tarbimise ja tootmise bilanss aasta lõikes null. Nullenergiaposti kohta on arvestatud täpselt nii palju taastuenergiaseadmeid, kui arvutuste põhjal tänava nõuetekohaseks valgustamiseks vaja on. Toodetud elektrienergia edastatakse sajaprotsendiliselt üldisesse elektrivõrku. Tarbitav elektrienergia võetakse üldisest elektrivõrgust.

Nullenergia puhul on valgustite põlemisaja suhtes kaks eri versiooni.

- Valgustid põlevad kogu pimedaja aja.
- Valgustid põlevad pimedal ajal määratud perioodil (nt 00:00-06:00) ainult siis, kui tänavavalgust on märgata liikumist.

Saarelahendus

Saarelahenduse korral ei edastata päikesepaneelide poolt toodetud energiat elektrivõrku, vaid salvestatakse kohalikesse salvestusseadmetesse ja ühendus üldise elektrivõrguga puudub. Salvestusseadmetes olevat energiat kasutatakse pimedal ajal tänavate valgustamiseks.

Saarelahenduse maksumuse hinnang

Valgustite saarelahendus ja nullenergialahendus on sarnased süsteemid. Kallimaks teeb aga saarelahenduse akupank, mis peab olema tohutu, kui arvestada, et talvel on tänavavalgustite energiatarbimine suur ning enamik vajalikust energiast on tarvis suvel akupanka koguda. Odavam on saarelahenduse puhul ainult see, et võrguinverterit pole vaja süsteemi liita, kuna välisvõrguga ühendus puudub. Küll on aga vajalik inverter, mis toodab valgustitele (220 V; 61,8 A) vajalikku voolu. Lisaks vajab akupank umbes iga 5-10 aasta tagant vahetamist ning eraldi ruumi, kus akusid hoida.

Alati võib arendada midagi nullenergia- ja saarelahenduse vahepealset, kuid selle artikli mahu juures muid lahendusi ei käsitleta.

Valitud strateegia

Käesolevas töös on arvutatud nullenergialahenduse maksumus, sest süsteemi asukoht juba on hetkel üldise energiavõrguga hästi seotud. Saarelahenduse puhul on salvestusseadmete hulk lampide arvu tõttu väga suur ning seetõttu läheb süsteem kordades kallimaks ja lisaks on hoolduskulud kõrged. Nullenergialahenduse maksumus sõltub lampide arvust, lampide tarbitavast võimsusest, päikesepaneelide installeerimise skeemist - kas päikesepaneel paigaldatakse iga posti otsa eraldi või ühte asukohta avatud maapinnale kokku.

Energiatarbimine

Lampide energiatarve sõltub päeva pikkusest. Loojunud päikese tundide arv Valgas on esitatud kuude kaupa tabelis 2. Kokku on kuus tunde kas 43 200 või 44 640. Lühikest veebruari pole siinkohal arvestatud.

Lampide hetketarbimise saame leida tabeli 1 abil. See on 13 650 W ehk kui kõik lambid korraga põlevad, siis 13,65 kW võimsust. Lampide käigushoidmiseks pimedal ajal on meil vaja vastavalt pimedaja pikkusele elektrienergiat alates 2603,97 kWh juunis kuni 7214,03 kWh pimedaimal ajal. Kokku 58 808,52 kWh. Edasi tuleb leida, kui suur on vajalik päikesepaneelide kogus 58,8 MWh energiahulga katmiseks.

Energiatootmine

Selleks, et energiatarbimine ja -tootmine tasakaalus oleks, on vaja suvel päikesepaneelidega piisavalt palju energiat toota. Talvel on päevad lühemad ning seetõttu toodab süsteem vähem energiat, kui tänavate valgustamiseks vajalik on.

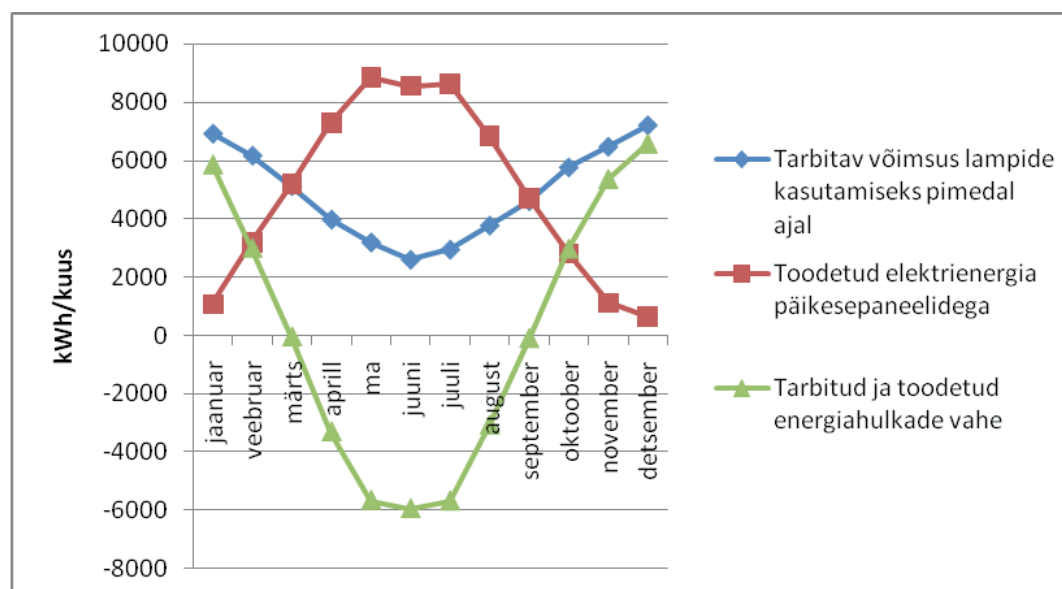
Päikesepaneelide poolt toodetud energia leidmiseks on kasutatud rahvusvahelist andmebaasi (European solar radiation map), mis on antud analüüsi tegemiseks piisavalt täpne. Toodetud taastuvenergia on vastavalt

päikesepaneelide hulgale kuude kaupa summeeritud ning aasta lõikes on saadud kogu toodetud taastuvenergia hulgaks 58,8 MWh. Saadud päikesepaneelide tootmisjaama parameetrid on esitatud alljärgnevalt.

Tabel 2. Installeeritud päikesepaneelide vajalik võimsus ja süsteemi parameetrid.
Table 2. Necessary capacity of installed solar panels and the system parameters.

Päikesepaneelide nominaalvõimsus, kW	68
Süsteemi enda voolutarve, %	1%
Kasulik toodetud nominaalvõimsus, kW	68,31
Installeeritud päikesepaneelide pindala, m ²	700
Süsteemi installeerimise maksumus, kr/W	46,94
Süsteemi installeerimise kogumaksumus	3 238 860 kr

Energia tootmine ja tarbimine on tabelis 2 kirjeldatud parameetrite alusel tasakaalus. Joonis 3 näitab, kuidas energiabilanss kuude lõikes jaguneb.



Joonis 3. Toodetud ja tarbitud energia bilanss.
 Figure 3. Balance of produced and consumed energy

Süsteemi kogumaksumus on tabel 2 alusel üle kolme miljoni krooni, mis on lampide enda installeerimise hinnast (~1,5 milj krooni) kaks korda

kõrgem. Arvestades lisaks elektrienergia hinda praegu ja lähitulevikus, on süsteemi tasuvusajaks vähemalt 15 aastat. Selleks, et süsteemi maksumust alandada, optimeerime lampide valgustusaega.

Nullenergialahendus koos dünaamilise valgustusaja reguleerimisega
Lambid peavad valgustama siis, kui keegi lampide läheduses liigub. Liikumisandurid võimaldavad lülitada valgusti või terve rea valgusteid sisse juhul, kui mõni soe objekt lampide all liigub. Süsteemi maksumus sõltub liikumisandurite ühe koha hinnast ning on väga kohaspetsiifiline, kuna paigaldada tuleks võimalikult vähe liikumisandureid (näiteks jalakäijate teele igasse uue teega ristumise kohta).

Teisalt sõltub süsteemi maksumus suuresti pimedal ajal tänavatel liikumisest. Talveperioodil on see tihedam õhtupoolikul, kuid öisel ajal väga vähenenud. Sisse-väljalülitamisega peaks siiski säästma 70% elektrienergiast.

Energiatootmise ja -tarbimise vahelise tasakaalu leidmiseks tegime analüüsi ning sobiva installeeritud monokristallinpaneelide süsteemi võimsus peaks olema u 21 kW. Selleks, et energiabilanss oleks tasakaalus, tuleb päikesepaneelide süsteem installeerida vastavalt tabelis 3 esitatud parameetritele.

Tabel 3. Installeeritud päikesepaneelide vajalik võimsus liikumisanduritega süsteemi korral.

Table 3. Necessary capacity of installed solar panels in the case of system with motion sensors.

Päikesepaneelide nominaalvõimsus, kW	21,00
Süsteemi omavoolutarve	2,99%
Kasulik toodetud nominaalvõimsus, kW	20,37
Installeeritud päikesepaneelide pindala, m ²	210
Süsteemi installeerimise maksumus vati kohta, kr/W	46,94
Süsteemi paigaldamise maksumus ilma liikumisanduriteta	985 736 kr
Süsteemi paigaldamise maksumus koos liikumisanduritega	1 045 736 kr

Liikumisandurite hind lisandub süsteemi maksumusele. Arvestama peab arvutustes ka seda, et liikumisandurid tarbivad energiat (~2W), kuid eeldatavasti pole liikumisandurite poolt tarbitud energia määrava tähtsusega. Pigem on oluline optimeeritud valgustite kasutamine. Hinnanguliselt ei lähe ühe liikumisanduri paigaldamine lambi kohta koos lülitusmehhanismidega kallimaks kui 3000 krooni. Liikumisandurite voolutarve on arvestatud süsteemi omatarbe sisse.

Kokkuvõtteks

Selleks, et toita tänavavalgusteid taastuenergiaga ning saavutada n-ö nullenergiavalgustid, tuleks üldine elektrivõrk süsteemiga ühendada. Veel parem lahendus oleks kasutada liikumisanduritega nullenergiapostide süsteemi, mille abil võib installeeritud süsteemi maksumust kordades alandada. Saarelahendust käesoleva artikli raames detailsemalt ei analüüsitud, kuid see vajab tegelikult korralikku läbimõtlemit, sest teatud üldise võrgu tingimuste ja valgustite kasutusaja korral oleks saarelahendus kindlasti hea alternatiiv.

Kasutatud kirjandus

- European solar radiation map. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php#>. (10.10.2010)
- Sun or Moon Rise/Set Table for One Year: Locations Worldwide (2010). Naval Oceanography Portal. <http://www.usno.navy.mil/USNO/astronomical-applications/data-services/rs-one-year-us> (10.10.2010)

DESIGNING SOLAR STREET LIGHTNING

THE CASE OF RÕUGE HAMLET

Priit Pikk, Tiit Pikk

The article about street lightning for Rõuge hamlet handles the different versions of street lightning solutions and finds out the most cost-effective one.

The article brings out important base information and analyses different strategies for renewable energy systems (RES) as a zero energy street and an island solution. The energy consumption for the RES is found according to the number of dark hours in the region and the number of electric lamps in the system. The produced energy and size of RES is found according to the consumption of the different strategies. Finally, the author is comparing cost-effectiveness of the RES of the different strategies.

TASAPINNALISE PÄIKESEKOLLEKTORI FM-S UURIMINE

Veli Palge, Erkki Jõgi, Margus Arak
EMÜ tehnikainstituut, Kreutzwaldi 56, Tartu
veli.palge@emu.ee

Päikesekollektori FM-S lühiiseloostus.

Tehnikainstituudi katusele paigaldatud veesoojenduse komplekti TiSUN SWS 2,5W/BE200 koostiseks on

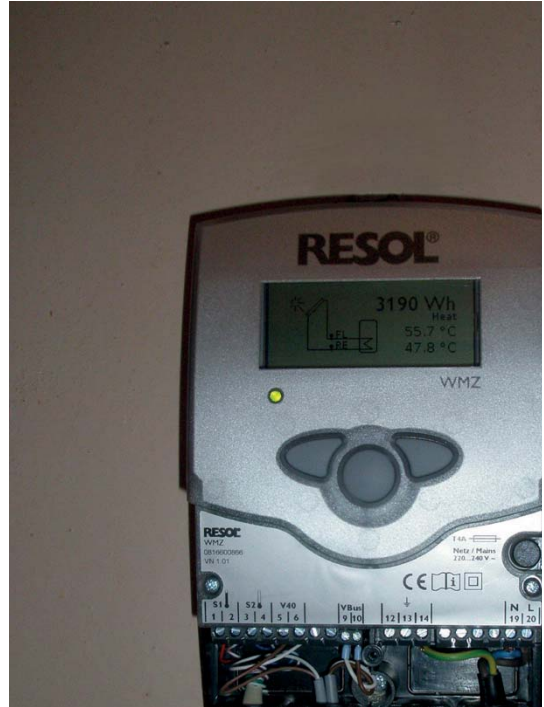
- päikesekollektor (joonis 1) FM-S, 2160 x 1180 mm, kogupind 2,55 m², kasulik pind 2,35 m², mass 49 kg;
- kahe torusoojusvahetiga soojustatud soojaveepaak (joonis 3 vasakul) BE-SSP, 204 dm³, kõrgus koos alusega 1297 mm, läbimõõt soojusisolatsiooni pealt 610 mm, maksimaalne veerõhk 10 bar, maksimaalne lubatav veetemperatuur 95 °C (lühiajaliselt kuni 120 °C), soojusülekandevõime pindala (0,8+1) m², mass 75 kg;
- solaarjaam SD25-RD koos pumbaga Wiko Star ST20/6 (joonis 3 paremal);
- kahe paagisensori ja kahe välissensoriga elektrooniline temperatuurierinevuste kontroller kaheringilistele päikeseküttesüsteemidele N-DUPLEX (joonis 3 vasakul);
- soojusarvesti RESOL WMZ (joonis 2).

Veesoojenduse komplekti käitumist fikseeriti mõõtesüsteemiga, mis registreeris paneeli siseneva ja paneelist väljuva soojuskandja temperatuure, paneeli klaasi alust temperatuuri, välisõhu temperatuuri ja päikesekiirguse intensiivsust. Samuti registreeriti soojuse salvestamist soojaveepaaki. Loetletud temperatuuride mõõtetulemuste kogumiseks kasutati mõõtemuundurit Picolog TC08, mille toel saab arvutiga temperatuure registreerida 0,01-kraadise eraldusvõimega. Mõõtetulemusi saab jälgida ka mõõtvat arvuti ekraanil reaalselt.

Huvilistel on võimalik jälgida paneeli tööd veebilehe <http://en209.eau.ee/picolog/> vahendusel. Sellel veebilehel esitatakse reaalselt (graafikute tel-



Joonis 1. Päikesekollektori eestvaade. Ülal vasakul on näha päikesekiirguse andur, paremal klaasi alt „kumab“ heleda joonena klaasialuse temperatuuri andur.
Figure 1. Solar collector from front view.



Joonis 2. Soojusarvesti RESOL WMZ.
Figure 2. Caloric meter.



Joonis 3. Vasakul on kahe torusoojusvahetiga 200 dm³ soojustatud soojaveepaak BE-SSP: paagi esipinnal on näha solaarjaam SD25-RD koos kontrollieriga N-DUPLEX, millest vasakul asuvad tema paagis olevate andurite asetuskohad. Paremal on solaarjaama esipaneeli all asuvad täiturseadmed koos pumbaga Wiko Star ST20/6.

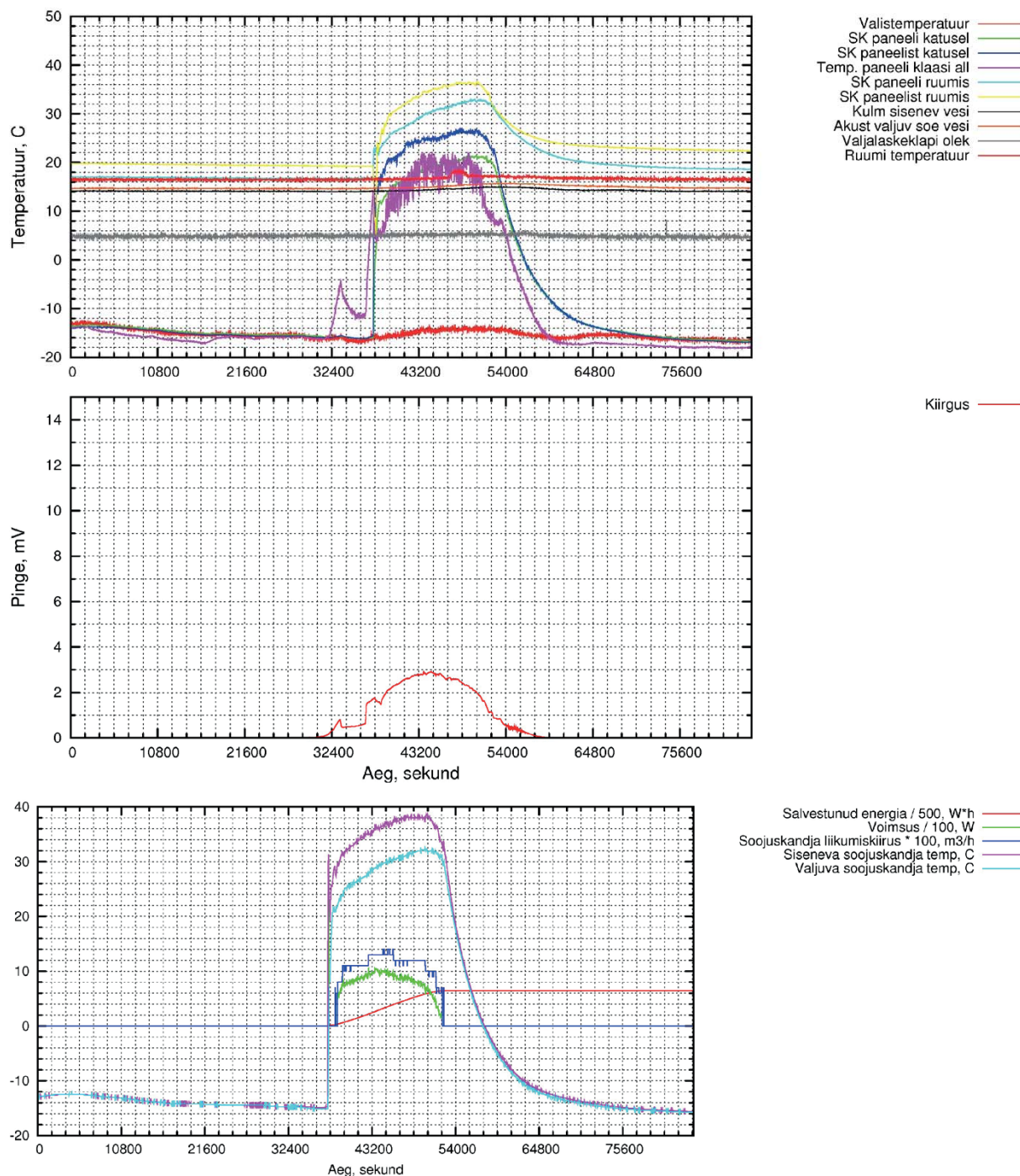
Figure 3. Heat exchanger (left) and filling equipment with pumps (right).

gedel on aeg esitatud sekundites, iga kolmanda täistunni juures on numbriline väärtus) arvutipõhise mõõtesüsteemi poolt kogutud andmete alusel koostatud graafikuid. Graafikutel on näha järgmiste parameetrite muutusi: välistemperatuur, paneeli juures väljas asuva soojuskandja torustiku pinnalt (soojusisolatsiooni alt) mõõdetud temperatuurid, paneeli klaasi aluse ruumi temperatuur, soojusakumulaatori juures soojuskandja torude pinnalt mõõdetud temperatuurid, akusse siseneva külma vee ja soojusakumulaatorist väljuva sooja vee temperatuurid, vee väljalaskeklapi olek ja aku asukoharuumi temperatuur. Graafikutel on temperatuurid eristatavad graafiku kõrval asuvate joonte värvuste selgituste alusel.

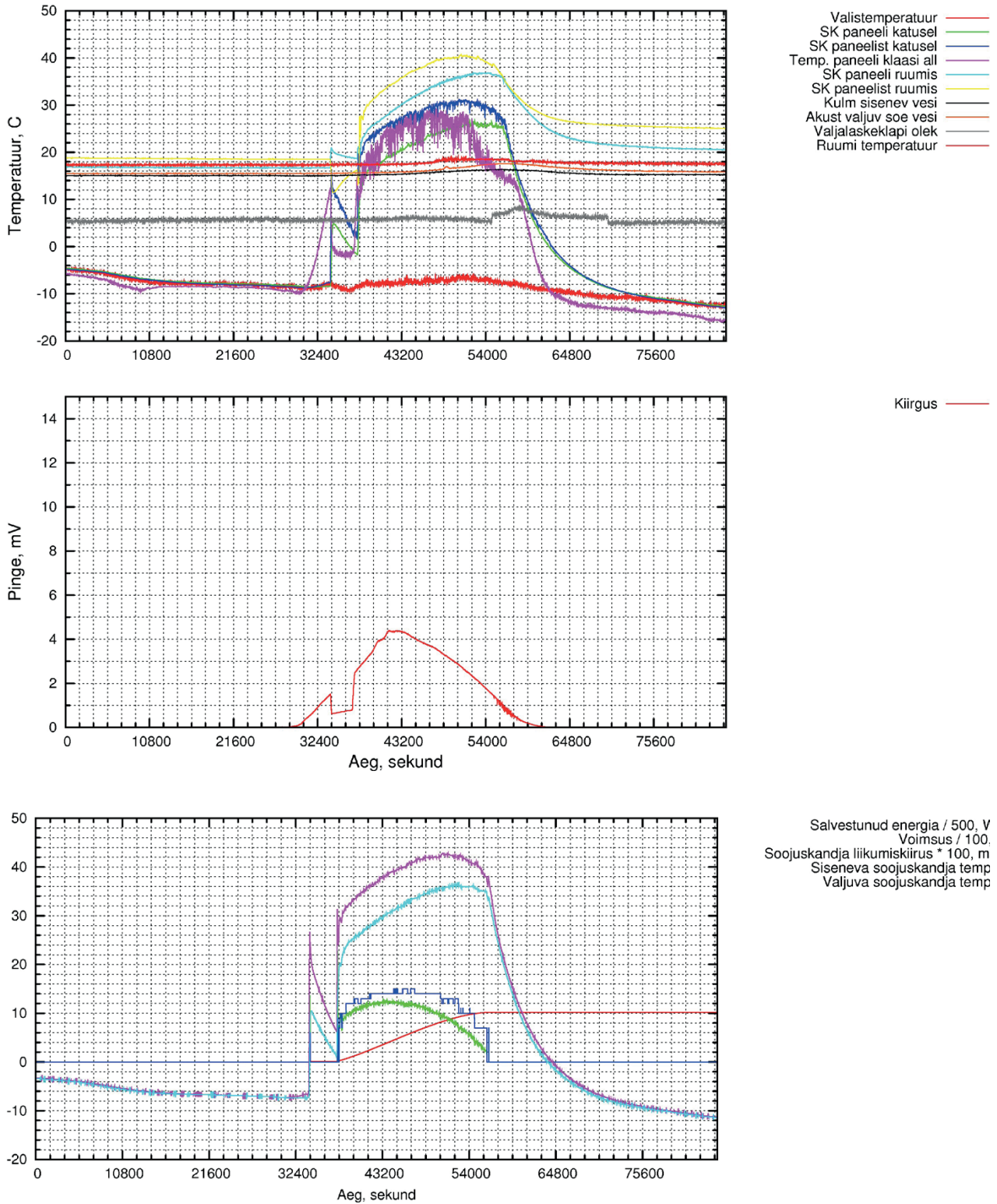
Samuti on selgitustes antud mastaabitegurid. Mastaabitegurite kasutamise tingib mõõdetud väärtuste arvandmete iseloomustussuuruste väga erinev väärtus. Temperatuuride muutusi kirjeldavate kõverate jaoks ei ole vaja mastaabitegureid kasutada. Salvestunud energia kõvera saamiseks jagati $W \cdot h$ -des mõõdetud tulemus 500-ga, vattides mõõdetud salvestusvõimsuse tulemus jagati 100-ga ja soojuskandja (graafikutel kasutatud lühendit SK) m^3/h mõõdetud voolukiiruse tulemus korrutati 100-ga. Lugejal on vaja arusaadavate ja õigete tulemuste saamiseks graafikutelt telje skaalalt loetud suurustega teha kirjeldatud operatsiooni pöördtehe: energia saamiseks $W \cdot h$ -des tuleb graafikult loetud väärtus korrutada 500-ga ($kW \cdot h$ -des tulemuse saamiseks korrutada 0,5-ga), akusse vattides salvestusvõimsuse saamiseks loetud väärtus korrutada 100-ga (kW -des võimsuse saamiseks tuleb lugem jagada 10-ga) ja voolukiiruse m^3/h saamiseks jagada loetud väärtus 100-ga.

Joonistel 4, 5 ja 6 on esitatud graafikud meie jaoks huvitavamate perioodide kohta: vastavalt 19. jaanuari, 6. veebruari ja 16. märtsi kohta. Graafikuid ühendavaks jooneks on miinustemperatuuride olemasolu väljas. Vaatamata sellele tõuseb soojuskandja temperatuur vee soojendamiseks piisavalt kõrgele. Kuna päev on jaanuaris lühike, siis 16. jaanuaril salvestus veepaaki ainult natuke üle 3 $kW \cdot h$ soojusenergiat. Veebruaris on päev juba pikem ja vastavalt sellele salvestus 6. veebruaril veepaaki 5 $kW \cdot h$ soojusenergiat. Kuna päikesepaneel on kevadisel pööripäeval sellises

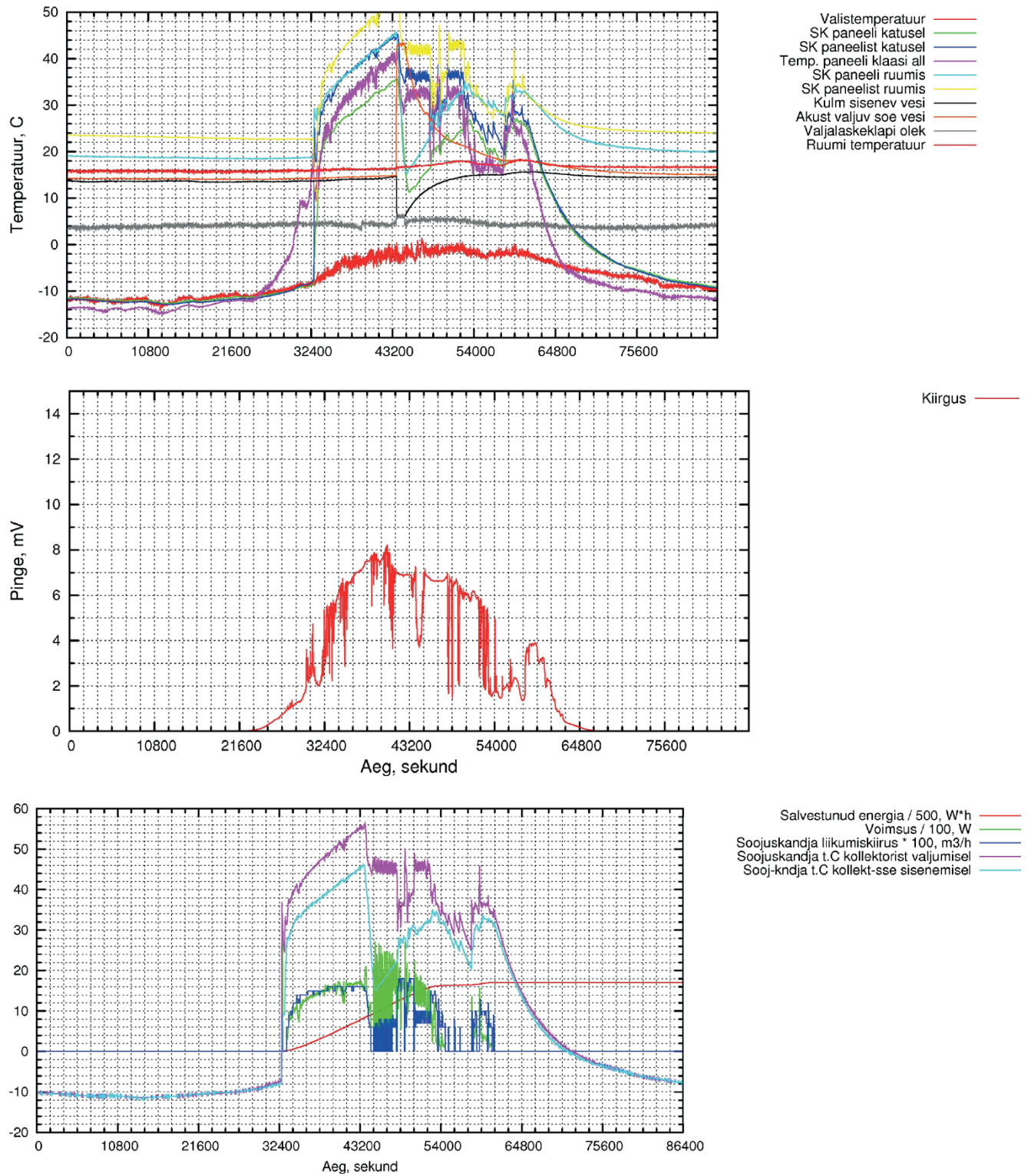
asendis, et keskpäeval langevad päikesekiired pika aja kestel paneeli pinna risti, siis neeldub paneelile langev kiirgus maksimaalselt. 16. märtsil salvestus veepaaki 8,25 kW·h soojusenergiat.



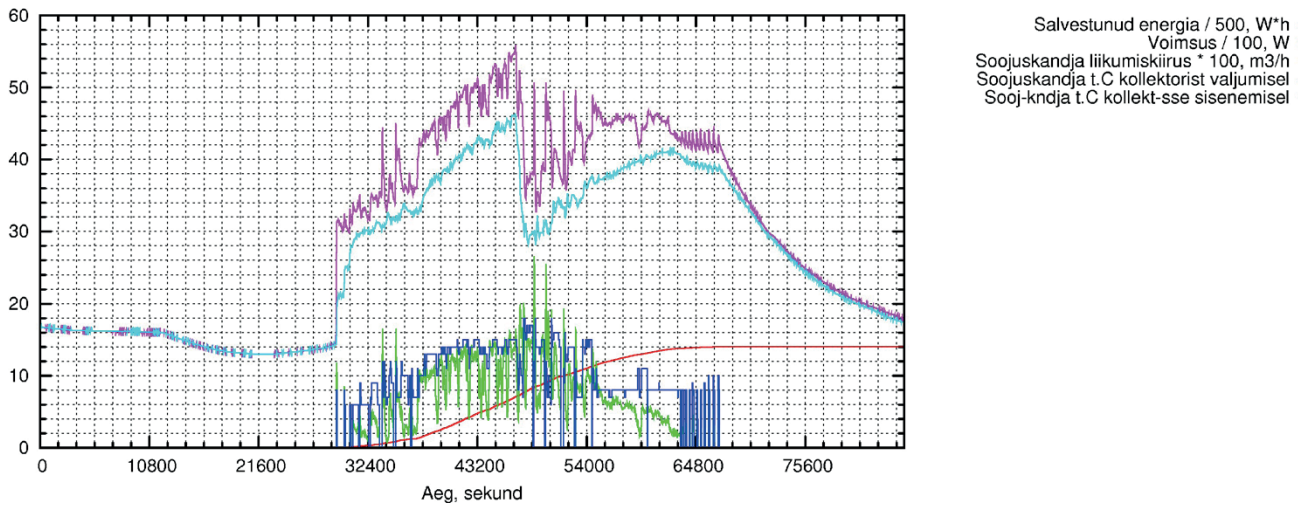
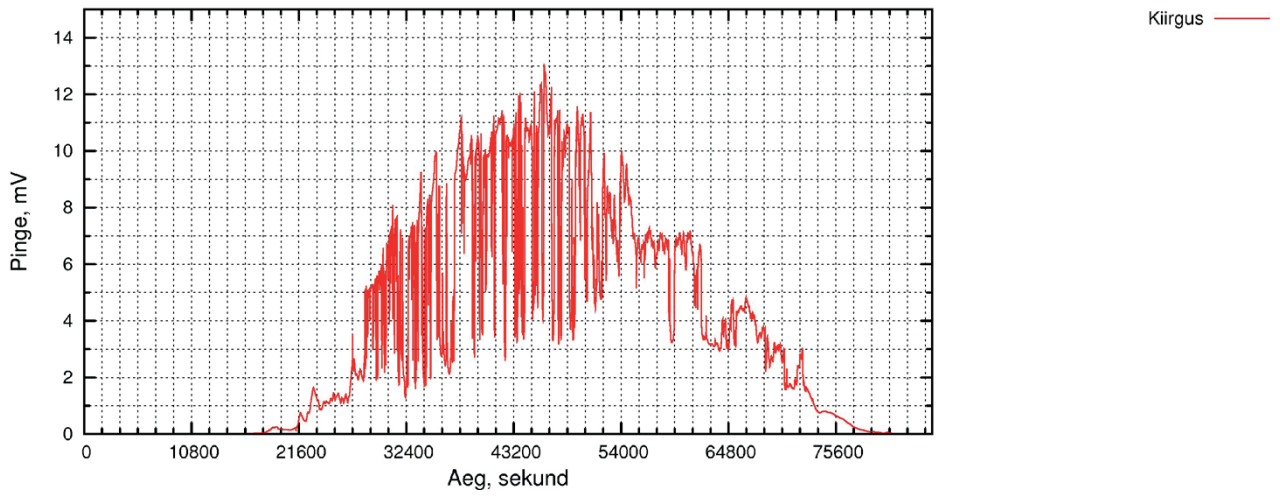
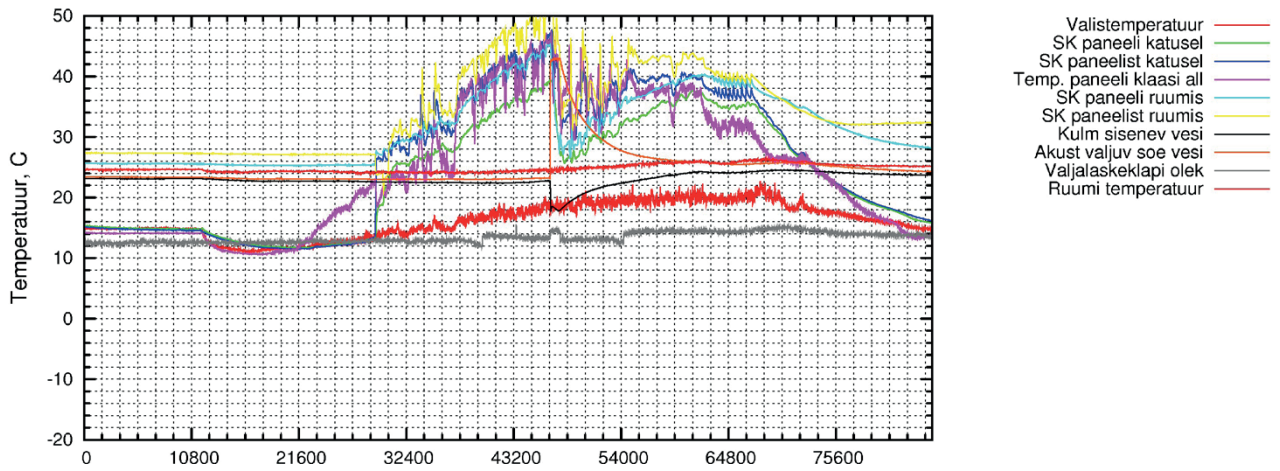
Joonis 4. Päikesekollektori tööd iseloomustavad graafikud 19. jaanuaril 2010.
Figure 4. Solar panel graphs from 19th January 2010



Joonis 5. Päikesekollektori tööd iseloomustavad graafikud 6. veebruaril 2010.
 Figure 5. Solar panel graphs from 6th February 2010



Joonis 6. Päikesekollektori tööd iseloomustavad graafikud 16. märtsil 2010.
 Figure 6. Solar panel graphs from 16th March 2010



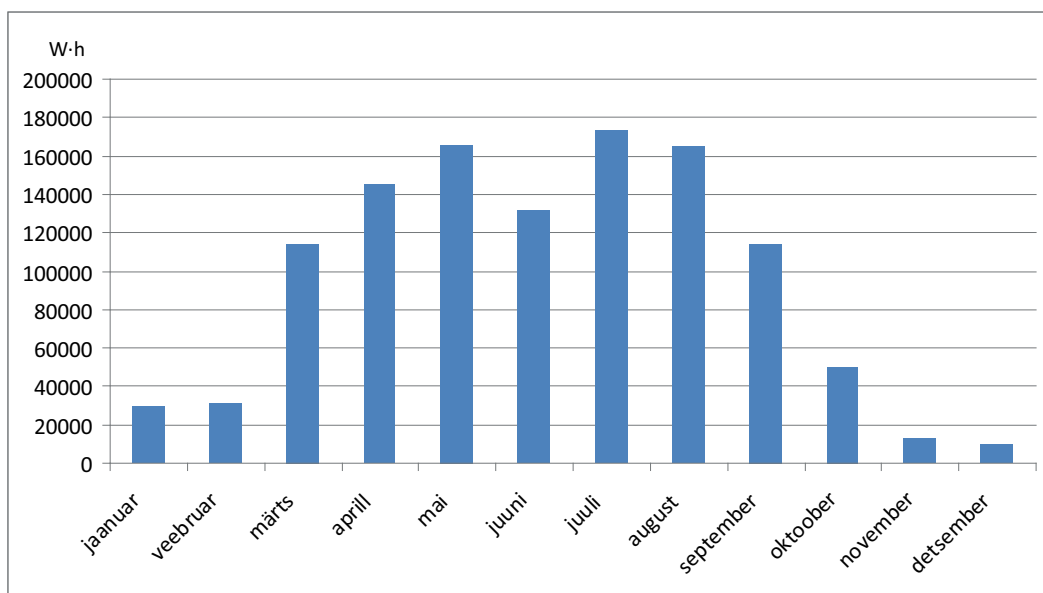
Joonis 7. Päikesekollektori tööd iseloomustavad graafikud 20. juunil 2010.
 Figure 7. Solar panel graphs from 20th June 2010

2009. aasta juunis esines palju pilvitust ja see on näha ka juunikuu päeva iseloomustaval kiiritustiheduse muutumist väljendaval graafikul (joonis 7). Pilvituse esinemise tõttu salvestus sellel päeval veepaaki ainult 7 kW·h soojusenergiat. Lisamärkusena võib mainida, et parematel päevadel salvestus veepaaki umbes 10 kW·h soojusenergiat.

Veepaagist saadud sooja vee kogus ei ole võrdeline salvestunud soojusenergiaga. Põhjus on veepaaki siseneva külma vee temperatuuris. Talvel oli veepaaki siseneva külma vee temperatuur umbes 9 °C, suvel aga tänu pikale torustikule umbes 14 °C.

Tuleb lisada, et graafikud kirjeldavad päikesepaistelisi päevi. Täispilvituse korral veepaaki energiat ei salvestu, sest päikesepaneeli energiat neelava pinna temperatuur peaaegu ei tõuse üle väliskeskkonna temperatuuri.

Joonisel 8 on esitatud andmed soojusenergia salvestumise kohta ajavahemikul 1. juuni 2009 kuni 1. juuni 2010. Kokku salvestati sellel ajavahemikul 1142,62 kW·h. Tundus sobivam esitada graafikul andmed jaanuari algusest kuni detsembri lõpuni. Seetõttu on graafikul vasakul 2010. aasta



Joonis 8. Energia salvestus ajavahemikul juuni 2009 kuni juuni 2010 (graafikul on 2010. aasta andmed esitatud 2009. aasta andmetest eespool).

Figure 8. Table 1. Stored energy from June 2009 to June 2010.

andmed ja paremal 2009. aasta andmed. 2009. aasta juuni oli pilvisem ja see kajastub ka energia salvestumise tulemustes. Seega sõltub päikesepaneelilt saadav energia oluliselt pilvituse esinemisest. Soodsate pilvitus-tingimuste korral võib ka väljas valitsevate miinustemperatuuride korral saada tuntava koguse energiat (vaata jooniseid 5 ja 6).

Tabel 1. Energia salvestus ajavahemikul juuni 2009 kuni juuni 2010 (tabelis on 2010. aasta andmed esitatud 2009. aasta andmetest eespool).

Table 1. Stored energy from June 2009 to June 2010.

Kuud	W·h
jaanuar	29739
veebruar	30919
märts	114296
aprill	145076
mai	165522
juuni	131687
juuli	173512
august	165177
september	113905
oktoober	50253
november	12778
detsember	9760

Lisaks on saadud kogemuste põhjal võimalik teha järeldus, et kasuks tuleb nii soojuskandja torustiku kui ka akupaagi täiendav soojuslik isoleerimine.

STUDY OF PLANAR SOLAR COLLECTOR FM-S

Veli Palge, Erkki Jõgi, Margus Arak

Institute of Technology of Estonian University of Life Sciences installed solar collector TiSUN SWS 2,5W/BE200 to the roof of the institute in August 2008. Current article presents and analyses data recorded from June 2009 to June 2010. The panel's real time data can be accessed here: <http://en209.eau.ee/picolog/>.

