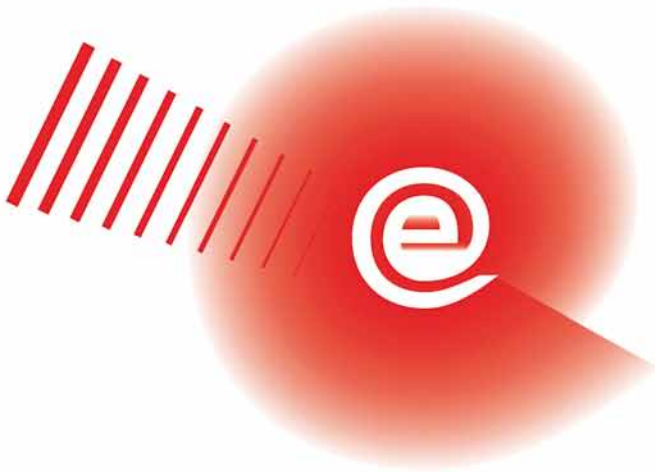


# **TEUK XI**

## **TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE UURIMINE JA KASUTAMINE**

ÜHETEISTKÜMNENDA KONVERENTSI KOGUMIK



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

TARTU, ESTONIA, 2009

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

Toimetus 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

© 2009

Eesti Maaülikool  
Estonian University of Life Sciences  
All Rights Reserved

ISBN: 978-9949-426-74-4

## Sisukord

Eessõna.....	5
Taastuvatest energiaallikatest elektri tootmise võimalused Eestis Leo Rummel.....	6
Taastuenergia tehnoloogiate arendamine ning rakendamine Energia ja Vee Sõltumatu Küla näitel Harald Kitzmann, Anna Balaš, Silja Valler .....	16
SEI-Tallinna europrojektide kogemused energia säästmisel Veljo Kimmel, Tiit Kallaste.....	22
Elektriliste valgusallikate keskkonnasäästlikust valikust Endel Risthein .....	33
ENPOS – energeetiliselt sõltumatu talu Väino Poikalainen jt.....	45
Projekt „RADAR“ - teerajaja Setomaal Ülo Kask, Martin Kikas .....	57
Suvila või väiketalu elektrienergiaga varustamise alternatiivsetest võimalustest Lõuna-Eestis Arvi Olkonen .....	67
Efektne energiatootmine GE Jenbacheri biogaasimootoritega Tiit Kollo .....	74
Igamehe päikesekuivati: väiksemõdulise heliokuivati rakendatavusest puidu kuivatamisel Eesti tingimustes Andres Ansper.....	81
Biomassi eeltöötlemise tehnoloogiad biogaasi ja teiste kütuste tootmiseks Andres Menind, Rainer Olesk.....	89
Anaeroobse kääritamise tehnoloogia ja juhtimise arendamine Eestis piloot- seadmetega Argo Normak jt. ....	96
Bioetanoolkütuste kasutamine sädesüütega sisepõlemismootoris Arne Küüt jt.....	102
Noorte hübridhaava- ja arukasekultuuride tootlikkuse võrdlus Arvo Tullus jt. ....	113
Päideroopõldude saak ja kvaliteet bioenergia tootmiseks Katriin Heinsoo jt. ....	122
Tuuleenergia arengutest eestis viimastel aastatel tootja seisukohalt Kaupo Toom jt.....	131
Halupuude energia arvestus väikemaja kütmisel Mart Hovi, Külli Hovi.....	138
Pilvede <i>Cumulus Humilis</i> seos päikeseenergeetikaga Teolan Tomson .....	142
Pelletid, turg ja koostööprojekt “PELLETs@las” Wolfgang Hiegl, Maria Habicht ja Marek Muiste.....	153
Energeetika sügiskool „Alternatiivne särts“ .....	164

## EESSÕNA

Eesti Maaülikoolis toimub 12. novembril 2009.a. järjekordne konverents TEUK-XI. Taastuvenergia valdkonna järjest suurem tähtsustamine maailmas ja eriti Euroopa Liidus, on suurendanud ka Eestis taastuvate energiaallikate teemadega tegelevate teadlaste ja praktikute hulka. Konverentsil käsitletavate teemade ring on üsna lai, tuues kuulajateni infopuidu, energiakultuuride, tuule- ja päikseenergia ressursiuuringutest ning muundamistehnoloogiast. Puudutamata ei jää ka energiasäästu teema ning konverentsil on neli huvitavat ettekannet kohalikest energeetilisest lahendustest.

Päevakavas on planeeritud aega kahele erinevale diskussioonile. Enne lõunat kuulame ettekandeid energiasäästust ja säästulampidest ning sellele järgnevalt arutame teemal - kas säästupirn on keskkonnasõbralik säästumeede? Peale lõunat pöörame suuremat tähelepanu energiavarustusele ja -tehnoloogiatele ning teeme kokkuvõtte viimaste kuude arengutest diskussioonis - kuhu areneb Eesti energeetika?

2009. aasta alguses võeti vastu kaks olulist dokumenti: „Energiamajanduse riiklik arengukava aastani 2020“ ja „Eesti elektrimajanduse arengukava aastani 2018“. Mõlemad näevad ette põlevkivienergeetika osakaalu vähenemist (alla 30% energiabilansis) ja taastuvate energiaallikate osakaalu suurendamist. Üheks meetmeks on “Taastuvenergia tegevuskava” koostamine, mis määrab potentsiaalsed piirkonnad taastuvenergia tootmiseks ning annab suunised taastuvenergia potentsiaali paremaks ärakasutamiseks. Loodame, et see kava saab üheks valitsuse prioriteediks ja äratub elule ka Biomassi ja bioenergia kasutamise edendamise arengukava, mis on täna “külmutatud” seoses riigieelarve raskustega.

Huvitavaid ettekandeid ja arutelusid!

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 12<sup>th</sup> of November 2009. The increasing relevance of renewable energy field in the whole world and especially in the European Union has increased the number of Estonian scientists and practioners engaged. The range of topics of the conference is quite wide, dealing with forestry, energy cultures, wind and solar energy resource and energy conversion studies. We also touch topics on energy saving and decentralised renewable energetic solutions.

In the agenda we have reserved time for two discussions - in the forenoon we will hear presentations on energy conservation and energy-efficient bulbs and afterwards have the opportunity to discuss whether compact fluorescent light bulbs are environmentally friendly energy saving method. In the afternoon we will focus on energy supply and technologies and will conclude the day with a discussion about ongoing developments in Estonian energetics sector.

In the beginning of 2009 two important documents came into force - “National Development Plan of the Energy Sector until 2020” and “Development Plan of the Estonian Electricity Sector until 2018”. Both of them target reduction of oil-shale energetics (as far as less than 30% in energy balance) and increase of renewable energy. One of the methods to achieve the targets is composing “Renewable Energy Development Plan”, which determine local renewable energy resources and give directions for effective use of the potential. We sincerely hope that “Renewable Energy Development Plan” will become one of the priorities of our government despite the difficulties with national budget.

I wish you interesting presentations and discussions!

Argo Normak

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

# TAASTUVATEST ENERGIAALLIKATEST ELEKTRI TOOTMISE VÕIMALUSED EESTIS

Leo Rummel

Eesti Energia AS-i elektritootmise arendamise osakond, lrummel@hot.ee

## **Annotatsioon**

Artikkel põhineb autori 2008. aasta kevadel kaitstud bakalaureusetööl „Taastuvatest allikatest elektri tootmise võimalused Eestis“ (juhendaja prof Aadu Paist), mille eesmärgiks on pakkuda välja võimalused Eestis alates 2016. aastast tekkiva tootmisvõimsuste defitsiidi katmiseks elektri tootmisega taastuvenergiast, nii et Eesti suudaks aastast toota sama palju elektrit, kui ta tarbib. Vaadeldakse ajaperioodi 2008–2020. Artikkel annab ülevaate uurimistöös kasutatud materjalist ja meetodikast, Eesti taastuv-energeetika olukorrast praegu, lähiaja arengutest, täiendavatest taastuv-energia ressurssidest ning täiendavatest võimalikest taastuvenergiast elektri-rijaamadest.

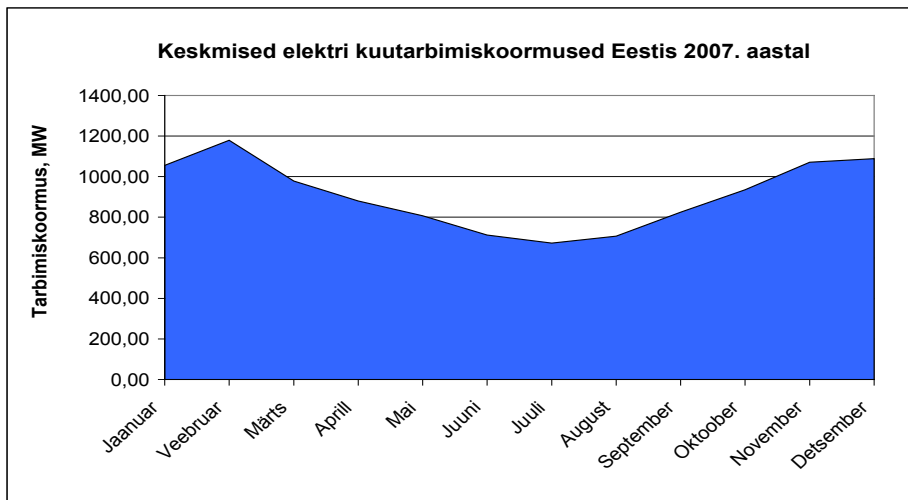
*Märksõnad: taastuvenergia, Eesti elektritootmine, tuuleenergia, biomassienergia, hüdroenergia, päikeseenergia.*

## **Sissejuhatus**

Praegusesse põlevkivist elektri tootmisesse täiendavate investeeringute ärajäämisel tekib Eestis 2016. aastast tootmisvõimsuste defitsiit. See osa tarbimisest oleks võimalik katta elektri tootmisega taastuvenergiast, nii et Eesti suudaks aastast toota sama palju elektrit, kui ta tarbib. Eesti igakuine elektri keskmine tarbimiskoormus 2007. aastal on ära toodud joonisel 1. Erinevalt töös kasutatud prognoosist on 2009. aastal Eesti elektritarbimine seoses majanduskriisiga langenud ligikaudu 2007. aasta tasemele.

Töö esimeses osas uurib autor taastuvenergiast elektri tootmise olukorda Eestis praegu ja lähiaja arenguid. Teises osas antakse ülevaade Eesti täiendavatest taastuvenergia ressurssidest, mida saaks rakendada elektri tootmiseks. Kolmas osa käsitleb vastava riikliku eesmärgi seadmisel ja vajalike meetmete, nagu täiendavad maksud ja toetused, kasutuselevõtul maksimaalselt saavutatavat taastuvenergiast toodetava elektri osakaalu,

arvestades selle eesmärgi tehnilist saavutatavust, juba rajamisel ja hiljuti rajatud tootmisvõimsusi ning minimaalset elektri omahinda.



Joonis 1. Eesti elektri tarbimiskoormus kuude kaupa 2007. aastal (Allikas: Eesti Energia)

Figure 1. Estonian monthly electricity consumption per months in 2007 (Source: Eesti Energia)

Eeldatud on, et madalama omahinnaga taastuvelektrit (biomassil koostootmisjaamad ja hüdroelektrijaamad) toodetakse maksimaalses võimalikus mahus ja tootmisvõimsuste puudujääk kaetakse omahinna suuruse järgi järgmiste taastuvelektri tootmisvõimsustega (kompenseeritud elektrituulikute võimsused). Vaadeldakse ajaperioodi 2008–2020. Töös ei nähta ette 2004. aastal tööd alustanud kahe uue keevkihttehnoloogial põlevkiviploki sulgemist ja asendamist taastuvelektri tootmisvõimsusega, kuna need plokid vastavad 2016. aastal kehtima hakkavatele karmimatele EL-i keskkonnanõuetele heitgaaside kohta ja kaasaegset tehnoloogiat kasutavaid plokkide ei ole ratsionaalne sulgeda enne nende arvestusliku ekspluatatsiooniperioodi lõppu.

## **Materjal ja metoodika**

Info rajatavate ja plaanitavate taastuenergiat kasutavate elektrijaamade kohta Eestis on kogutud 2008. aastal autori praktika ajal Eesti Energia Taastuenergia Ettevõtte ja ajakirjandusest. Andmed täiendavate taastuenergiat ressurside kohta Eestis pärinevad erinevatest avalikuks kasutamiseks mõeldud uuringutest ja konverentside „Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine“ artiklite kogumikest (vt kasutatud allikad).

Täiendavate võimalike tootmisvõimsuste välja pakkumisel on lähtunud erinevatest juba mujal maailmas teostunud taastuenergeetika projektidest ja tehnoloogiate osas tehtud uurimistöödest. Töös välja pakutud täiendavate tuuleparkide koguvõimsus ei ületa plaanimisel tuuleparkide koguvõimsust, andmed pärinevad Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioonilt. Andmed Tallinna soojustarbimise kohta on saadud Tallinna Küte AS-ilt.

## **Eesti taastuenergeetika olukord praegu ja lähiaja arengud**

Seoses Narva jaamadele seatud nõuetega lämmastikheitlemete osas väheneb ilma lisainvesteeringuteta elektri toodang olemasolevates plokkides 3600-le GWh-le 2016. aastal. Samal ajal aga tõuseb taastuvatest allikatest toodetava elektri hulk. Hetkel on Eestis taastuvatest allikatest elektri tootmise võimsusi 155 MW, mis on vastavalt energiaallika tüübile ära toodud tabelis 1.

Ehitamisel taastuvelektrivõimsused on toodud tabelis 2. Ehitatavate võimsuste valmimisel 2010. aastal kasvab koguvõimsus 186 MW-le, arendatavate võimsuste valmis saamisel 456 MW-le ja tuuleparkide koguvõimsuse tõusmisel 750 MW-ni 920 MW-le. Ennustatav taastuenergia osakaal mainitud võimsuste juures on 9,5%, 24,9% ja 35,2% tarbimisest, koos kadudega prognoositavate tarbimiste juures 8100 GWh 2009. aastal, 8800 GWh 2012. aastal ja 9800 GWh 2016. aastal. Elektri kogutarbimise ja taastuvelektri osakaalu prognoos mainitud aastatel ja 2020. aastal on ära toodud joonisel 2.



Tabel 1. Eestis olemasolevad taastuvelektri tootmisvõimsused (Allikas: Eesti Energia)

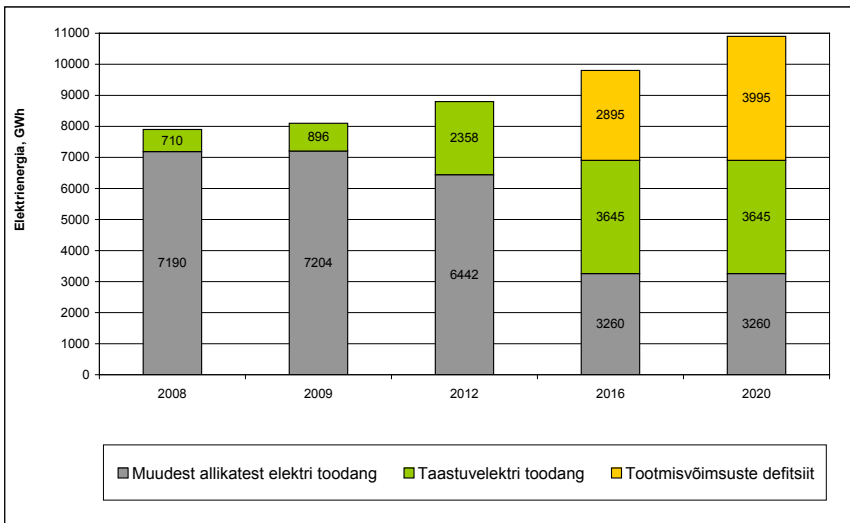
Table 1. Existing capacities for generation of electricity from renewable energy in Estonia (Source: Eesti Energia)

	Võimsus, MW	Plaanitav aastane toodang, GWh
Aulepa TP	39	105
Viru-Nigula TP	24	65
Pakri TP	18.4	50
Esivere (Rõuste) TP	8	22
Sikassaare TP	4.25	11
Virtsu TP	2.4	6
Üdibe (Läätsa) TP	3	8
Nasva TP	1.2	3
Peerna (Torgu) tuulikud	0.45	1
Ülejäänud tuulikud	0.59	2
<b>Tuuleenergia kokku</b>	<b>101.3</b>	<b>273</b>
Linnamäe HEJ	1.1	4.4
Kunda HEJ	0.4	2.4
Ülejäänud HEJ-d	4.1	26.8
<b>Hüdroenergia kokku</b>	<b>5.6</b>	<b>33.6</b>
Väo biomassi CHP	23	195
Tartu biomassi CHP	23	195
Muu biomass	1.6	13.5
<b>Biomassi el kokku</b>	<b>47.6</b>	<b>403</b>
<b>KOKKU</b>	<b>154.5</b>	<b>710</b>

Tabel 2. Ehitamisel olevad taastuvelektri tootmisvõimsused

Table 2. Renewable electricity generating capacities under construction

	Võimsus, MW	Plaanitav aastane toodang, GWh	Valmib aastal	Arendaja
Pärnu biomassi CHP	22	186	2010	Fortum Termest AS [5]
<b>Biomassi el kokku</b>	<b>22</b>	<b>186</b>		
<b>KOKKU</b>	<b>22</b>	<b>186</b>		



Joonis 2. Eestis toodetava taastuvelektri, muudest allikatest toodetud elektri ning tootmisvõimsuste defitsiidi prognoos aastateks 2008-2020  
 Figure 2. Electricity generated in Estonia from non-renewable, renewable energy and prognosis for deficit of capacities for years 2008-2020

See osa tarbimisest, mida Narva jaamad ja taastuenergia tootmisvõimsused katta ei suuda, tuleb importida. Olgu veel mainitud, et kui ehitatavate ja arendatavate projektide puhul annavad kõige suurema osa toodangust biomassil põhinevad jaamad, siis koos meretuuleparkidega on suurim osakaal tuuleenergiat.

Euroopa Liidu keskkonnanõuded vanadele plokkidele ja nende lõplik amortiseerumine sunnivad meid igal juhul jätkama mingil uuel, praegusest erineval viisil. Üks võimalus on vanu plokkke uuendada, viies nad uutele normidele vastavaks, kuid praeguse ELi CO2-kvootide poliitika jätkudes muutuvad need juba peagi turul konkurentsivõimetuks. Enne 2020. aastat pole Eestisse tuumajaama rajamine võimalik. Võttes arvesse pikaajalisi arengusuundi, oleks palju mõttekam investeerida taastuenergia tootmisse.

### Täiendavad taastuenergia ressursid Eestis

Kõige väiksem potentsiaal täiendavatest taastuenergia ressurssidest on hüdroenergia, kõige suurem aga tuulel, kuid seda ainult kompenseerimis-

võimsuste olemasolul. Päikeseenergiat tööstuslikuks elektritootmiseks kasutada ei ole praeguste päikesepaneelide hindade juures veel majanduslikult põhjendatud. (Krunks 2007)

Küllaltki suur on Eestis biomassi teoreetiline ressurss, millest moodustab omakorda suurima osa (u 50%) kasutamata maaressurss. Üpris suur on ka kasutamata puiduressurss, kuid selle kasutusele võtmiseks peavad aastased lubatavad raiemahud 73%-lt juurdekasvust tõusma 100%-ni juurdekasvust. Tagasihoidlikumad on olmejäätmete ja põllumajanduses tekkiva biomassi ressursid, kusjuures kogu olmejäätmete ressurss võetakse plaanitavate ja arendamisel projektide valmides kasutusele. (Muiste 2007)

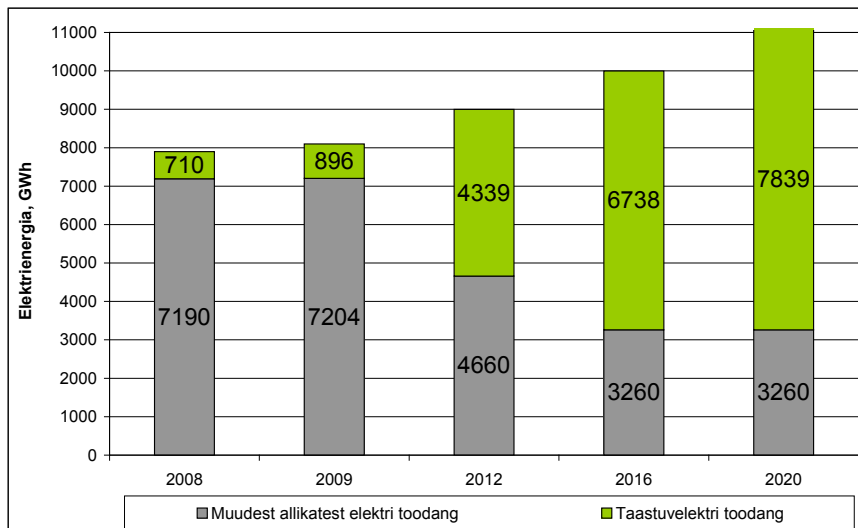
Põllumajanduses tekkivast kasutuseta ressursist moodustab enamuse põhk (Muiste 2007). Kui Eesti turbaressurssi vaadelda ainult aastase juurdekasvu kontekstis, on see küll ka arvestatav ressurss (Ilomets 2003), kuid juba täies ulatuses kasutuses. Teiste toodud ressursside kasutamist oleks võimalik aga märgatavalt suurendada. Millised tootmisvõimsused oleks vaja nende ressursside kasutuselevõtuks rajada?

### **Võimalikud täiendavad taastuvelektri tootmisvõimsused Eestis**

Võimalikest täiendavatest taastuvelektri tootmisvõimsustest suurima osa moodustab tuuleparkidest ja energiat salvestavast pumpelektrijaamast (PEJ) koosnev elektri tootmise süsteem. Prognoositava CO<sub>2</sub>-kvoodi hinnana 40 EUR/t juures on selle kooslusega toodetud stabiilne elektrivõimsus (u 600 MW 2000 MW tuuleparkide ja 1000 MW PEJ korral) konkurentsiõimelisema hinnaga kui uutest põlevkiviplokkides toodetud elekter. (Kruup 2006).

Veel on täiendava taastuvelektri tootmises tähtis osa uutel biomassil koostootmisjaamadel (Combined Heat and Power - CHP) koguvõimsusega 89 MW. Lisaks viiele väiksele põhupõletamise CHP-le kuulub nende hulka ka suur, 80 MW elektrivõimsusega Lääne-Tallinna CHP, mis toodab elektrist 50% puitkütustest ja 50% põhust.

33 MW võimsust annavad ka täiendavad hüdroelektrijaamad, sh suurima osa (30 MW) Narva veehoidla ja Kreenholmi vahelisel rõhutorul baseeruv hüdroelektrijaam.



Joonis 3. Taastuvelektri osakaal Eesti prognoositavast tarbimisest kõigi arendatavate taastuvelektri projektide teostumisel koos antud töös pakutud täiendavate jaamadega

Figure 3. The share of renewable energy of prognoses for Estonian electricity consumption in case of completion of all the projects together with additional capacities proposed in this work

Kõigi nende võimsuste kasutuselevõtuks oleks vajalik täiendav investeering 25 miljardit krooni ilma tuuleparkidesse tehtavat investeeringut arvestamata ja 50 miljardit krooni koos tuuleparkidesse tehtavate täiendavate investeeringutega. Täiendavate võimsuste rajamisel prognoositav taastuvelektri osakaal kogutarbimisest 2008., 2009., 2012., 2016. ja 2020. aastal on ära toodud joonisel 3.

## Järeldused

Töös pakutud tootmisvõimsuste kiirel rajamisel ei tekiks Eestis lähiaastal elektritootmisvõimsuste defitsiiti ja puuduks vajadus elektriimportiks.

Taastuenergia osakaal tarbimisest tõuseks praeguselt tasemelt 3% Eesti tarbimisest 47%-ni 2012. aastaks, 67%-ni 2016. aastaks ning 70%-ni 2020. aastaks, mis teeks Eestist maailmas täiesti enneolematult kiiresti oma energeetika keskkonnaaenukust keskkonnasõbralikuks ümber struktureerinud „energiatiigri“.

Seega on antud töö edukalt täitnud püstitatud ülesande pakkuda välja lahendus Eestis lähitulevikus tekkivale tootmisvõimsuste puudujäägile täiendava taastuvelektri tootmise kaudu. Uurimistööd on juba rakendatud Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi Eesti elektrimajanduse arengukava ja sellega seotud dokumentide (keskkonnamõtjude strateegiline hindamine, kliimastrateegia) väljatöötamisel ning loodame, et ta võiks olla abiks ka Eesti elektritootmise arendamisel tulevikus. Tööga on lähemalt võimalik tutvuda Internetis Eesti Tuuleenergia Assotsiatsiooni kodulehel:

[http://www.tuuleenergia.ee/uploads/File/Taastuvatest allikatest elekt-ri%20tootmise võimalused Eestis bak too Leo Rummel.pdf](http://www.tuuleenergia.ee/uploads/File/Taastuvatest_allikatest_elekt-ri%20tootmise_võimalused_Eestis_bak_too_Leo_Rummel.pdf)

### **Kasutatud allikad**

- Estivo AS. 2006. Eesti erinevate piirkondade eeluuring koostootmisjaama ehitamiseks.
- Estivo AS. 2007. Puiduliste kütuste kasutamise edendamine ja keskkonnamõtju hindamine. Puiduliste kütuste kasutamine soojatootmises. Tallinn.
- Ilomets, M. 2003. Mille arvel kaevandame turvast. Eesti Loodus, 02-03/6. [http://www.loodusajakiri.ee/eesti\\_loodus/index.php?id=282](http://www.loodusajakiri.ee/eesti_loodus/index.php?id=282)
- Kippa, R., Liivaauk, P., Hein, P. 2007. Ülevaade Eesti biokütuste turust 2006. aastal. Eesti Konjunktuuriinstituut, Tallinn.
- Krunks, M. 2007. Õhukesekilelised päikesepatareid pihustuspürolüüsi meetodil. Tallinna Tehnikaülikooli (TTÜ) materjaliteaduse instituut.
- Kruup, M. 2006. Pumpelektrijaama ehitamine Eestisse. Idee ja esialgne informatsioon.
- Muiste, P., Astover, A., Padari A., Roostalu, H., Kukk, L., Suuster, E., Ostroukhova, A., Melts, I. Maaressurss. EMÜ, Tartu.

- Muiste, P., Padari, A., Roostalu, H., Kriipsalu, M., Astover, A., Mitt, R., Pärn, L., Melts, I. 2007. Eestis olemasoleva, praeguse või juba kavandatud tootmise-tarbimise juures tekkiva biomassi ressursi hindamine. Eesti Maailikool (EMÜ), Tartu.
- Paist, A., Kask, Ü., Kask, L., Sihtmäe, M. 2003. Eesti biokütuste energeetilise ressursi hinnang. TTÜ Soojustehnika Instituut, Tallinn.
- Raesaar, P. 2005. Eesti veejõu kasutamisest. - Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Kuuenda konverentsi kogumik. Tartu, lk 10-16.
- Tompson, T. 2007. Eesti päikeseenergia näiv ja tegelik ressurs ning selle efektiivse kasutamise võtted. - Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Kaheksanda ja üheksanda konverentsi kogumik. Tartu, lk 102-109.

## **THE POSSIBILITIES OF GENERATING POWER FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES IN ESTONIA**

Leo Rummel

Eesti Energia AS Power Generation Development Department, lrummel@hot.ee

During the next few years, the power generation from oil shale, which currently generates 93% of Estonia's power, may drop from the current level of 7400 GWh per year to 3600 GWh per year in 2016. This is due to European Union NO<sub>2</sub> (and SO<sub>2</sub>) regulations, which first dictate to decrease production from older oil shale units and then to cease it for good. At the same time, power consumption according to prognosis increases from 7900 GWh in 2008 to 9200 GWh in 2016.

The power generation capacities from renewable sources will increase, since there are a lot of renewable energy projects under development and some are already under construction. The level in 2008 was 1.5% of generation, but already by the end of 2009, taking into account the new power plants to be completed then, it will presumably have increased to 9% of consumption, then to 24.5% in 2012 and to 35.2% in 2016. About half of the planned renewable power is generated from biomass and the other

half from wind energy, with a little bit of hydropower between them. Main additional renewable resources in Estonia are wind energy and biomass. About half of the theoretical biomass resource consists of possible biomass grown on unused farmland, which Estonia has plenty of – about 1/3 of total farmland. Other biomass resources are the wood resources, domestic waste, biomass generated in the agricultural sector (mainly hays) and also the (rather small) renewable resource of yearly increment of peat growth.

It would be possible to cover the deficit of power generation capacities in Estonia in the near future using only renewable sources. The majority of the deficit could be covered by a system consisting of 2000 MW of wind parks and 1200 MW of pumped storage power plant (PSPP). About a quarter of the deficit could be covered by biomass cogeneration and hydropower capacities. If all the possible renewable energy capacities have been constructed by 2020, 70% of Estonia's power consumption could be covered by renewable energy. The estimated total cost of the project is 3.2 billion EUR, for which additional state support is required.

# TAASTUVENERGIA TEHNOLOOGIATE ARENDAMINE NING RAKENDAMINE ENERGIA JA VEE SÕLTUMATU KÜLA NÄITEL

Harald Kitzmann<sup>1</sup>, Anna Balaš<sup>2</sup>, Silja Valler<sup>3</sup>

<sup>1</sup>TTÜ ärikorralduse teaduskond

<sup>2</sup>TTÜ elektroenergeetika teaduskond

<sup>3</sup>Copenhagen Business School

## **Annotatsioon**

Käesolevas artiklis tutvustatakse esiteks projekti “Salutaguse energia ja vee sõltumatu küla”, mis utiliseerib erinevaid lahendusi taastuvenergia valdkonnas, ja teiseks taastuvenergia kompetentsikeskuse kontseptsiooni, mis samuti on planeeritud Salutagusele. Artikli raskuskese ei ole suurtel tuule- või päikeseparkidel, vaid väiksematel detsentraliseeritud energia tootmise lahendustel.

*Märksõnad: taastuvenergia, keskkonnasõbralikud tehnoloogiad, pilootprojekt, taastuvenergia kompetentsikeskus.*

## **Sissejuhatus**

Euroopa Komisjon avalikustas 2008. aasta alguses kliimaplaani, mille kohaselt peab Eesti suurendama oma taastuvenergia tootmise osakaalu 2020. aastaks 25 protsendini. Selle eesmärgi täitmisele aitavad kaasa nii keskkonnasäästlike elektrijaamade (näiteks biokütusel töötavad jaamad) rajamine kui ka üha laialdasem taastuvenergia tehnoloogiate (tuuleturbiinid, päikesepaneelid, hüdrojaamad jne) kasutuselevõtt. Samuti on energiat säästev tarbimine üks viisidest, kuidas seda eesmärki saavutada. Väga oluline on, et taastuvenergia tehnoloogia valitakse konkreetse asukoha iseloomu ja eripära silmas pidades. Näiteks pole mõistlik panna tuuleturbiine kohtadesse, kus tuule kiirus on madal, või päikesepaneele sinna, kus päikesepaisteliste päevade arv aastas on väike. Detsentraliseeritud taastuvenergia tootmine on üks arvestatavatest alternatiividest komisjoni poolt määratud eesmärgi saavutamiseks.

## **Salutaguse küla kontseptsioon**

“Salutaguse energia ja vee sõltumatu küla” on pilootprojekt, mille



peamisteks eesmärkideks on uurida erinevaid taastuvenergia tehnoloogiad, neid arendada ning ka praktikas rakendada. Arenduse põhiideeks on kujundada Salutagusest Rapla maakonnas Kohila vallas ümbruskonna tunnusmärgiks olev kaasaegne äri-, tootmis- ja elamispark. Kõik kavandatavad ehitised ja rajatised on plaanis sobitada maastikuga, arvestades seejuures looduslikku keskkonda ja eluks vajalike ressursside (põhjavesi, energia) säästmist.

Piirkond on sobilik ühisevõrgust sõltumatu detsentraliseeritud energia tootmise jaoks, kasutades erinevaid taastuvenergia allikaid (biomass, tuul, päike ja hüdroenergia) koos pikaajalise energia salvestamise tehnoloogiatega, et tagada vajalik energiavarustus.

### **Kasutatavad tehnoloogiad**

Planeeritud on ehitada biojaam, mis kasutaks nii kohalike tööstuste biojätmeid (näiteks olemasoleva pärmitehase jätmed) kui ka majapidamiste orgaanilist prügi. Bioenergia tootmine sisaldab nii elektri kui ka soojuste tootmist.

Kasutamisele tulevad ka väiksemad tuulegeneraatorid, mis erinevalt suurtest tuuleturbiinidest sobivad paremini elamispiirkonda, kuna nende müratase on minimaalne. Need tuuleturbiinid on varustatud vertikaalrootoriga, mille abil on võimalik horisontaalse teljega turbiinidega võrreldes saavutada suuremat energiaefektiivsust. Kuna põhirootor on tuuleturbiinil paigaldatud vertikaalselt, alustab tuulik tööd juba tuule kiirusel 1,5 m/s ning on samas ka vastupidavam tugevamale tuulele.

Lisaks mainitud biojaamale ja tuulegeneraatoritele saab energia tootmiseks vajadusel kasutada ka päikeseenergiat. On planeeritud, et projektis kasutatakse parabolikujulisi valguskollektoreid. Päikesekollektor kujutab endast soojusenergia generaatorit, mille kuuma vee ja soojuste tootmiseks käivitab päikeseenergia. Täiendavalt kasutatakse energiavajaduste katmiseks ka hüdroenergiat. Selle jaoks rajatakse projekteeritavas alas

kunstlikud tiigid. Energia salvestamiseks kasutatakse Vanadium Redox Flow akusid, mis tagavad tarbijatele pideva ja usaldusväärse varustatuse ning täidavad ka puhverfunktsiooni.

Koos olemasolevate küttesüsteemidega planeeritakse kasutada uusi soojuslahendusi: infrapunakiirgusel põhinevad tehnoloogiad ja teised energiasäästlikud lokaalsed küttesüsteemid. Valgustus on samuti üks olulisematest uurimisvaldkondadest. Plaanis on kasutada LED-tehnoloogial põhinevaid valgusteid ja valgustuslahendusi, mida peetakse energiasäästlikumateks ja keskkonnasõbralikumateks.

Eesmärgiks on uurida ja määratleda iga eelmainitud tehnoloogia kasutamise võimalused selleks, et välja töötada süsteemne täislahendus piirkonna energiavajaduste rahuldamiseks.

### **Veemajandus**

Põhjaveet kui piiratud loodusvara tuleb kasutada võimalikult efektiivselt ja tõhusalt, et minimaalselt mõjutada ümbritsevat keskkonda. Piirkonnas on püstitatud eesmärk leida ja kasutada niisuguseid veemajanduse lahendusi, mis avaldavad minimaalset mõju keskkonnale ning toetavad põhjavee efektiivset kasutamist - rakendada lahendusi, mis võimaldavad vee taaskasutamist. Näiteks on plaanis rajada süsteem madala kvaliteediga vee (heit- ja vihmavee) kogumiseks ja talletamiseks. Seda vett võib puhastada ja ette valmistada kohapeal ja seejärel kasutada tarbeveena (WC, pesupesemine, duši all käimine). Põhjavee minimaalne kasutamine avaldab pikaajalises perspektiivis positiivset mõju nii kohalikule kui ka regionaalsele keskkonnale ja loodusele.

Kõik lahendused on avalikust võrgust sõltumatud, vähendades seeläbi avaliku võrgu koormust. Tehnoloogiad on keskkonnasõbralikud ning suurt tähelepanu on pööratud keskkonnasäästlikule ja looduslähedasele arengule.

### **Kompetentsikeskus**

Salutagusele on planeeritud rajada taastuenergia kompetentsikeskus

eesmärgiga koondada erinevad organisatsioonid, mis tegelevad taastuvenergia tehnoloogiate uurimise ja arendamisega. See projekt teostatakse koostöös Eesti ja rahvusvaheliste ülikoolide ning teadusasutustega. Samuti võtavad projektist osa ettevõtjad ja kohalikud omavalitsused. Selles kompetentsikeskuses uuritakse ja katsetatakse erinevaid tasakaalustatud tehnoloogilisi lahendusi nii taastuvenergia, keskkonnaohutuse kui ka looduse-, maa- ja veekasutuse valdkonnas.

### **Tehnoloogiate rakendamine**

Tõhus tootearendus eeldab tehnoloogia arendajate, tootjate ja tarbijate tihedat koostööd kõikides tootearendustsükli faasides. See tihe koostöö võimaldab saavutada sünergiaid ning tagab lühikese arendustsükli, jätkusuutlikkuse ja majandusliku otstarbekuse. Testimisfaas vajab sealjuures eriti suurt tähelepanu, kuna selles faasis tuuakse välja toote tugevused ja nõrkused, millest sõltub nii toote jätkusuutlikkus kui ka majanduslik otstarbekus. Kompetentsikeskuse eesmärgiks on seega luua keskkond, kus erinevatel huvigruppidel (tehnoloogia arendajad, tootjad ja tarbijad) oleks võimalik tiheda koostöö kaudu välja töötada parimaid taastuvenergiaalaseid lahendusi (peamiselt detsentraliseeritud lahendused).

	<b>Panus</b>	<b>Kasumlikkus</b>
Teadus- ja haridusasutused	- teadmised - uute tehnoloogiate ja toodete välja töötamine ja hindamine - keskkonnamõjude hindamine	- teaduslikud publikatsioonid - tudengite/spetsialiste väljaõpe
Ettevõtjad	- finantseerimine - tooteideed	- konkurentsivõimeline toode - valmis tehnoloogiline lahendus
Elanikud/ tarbijad	- kommunaalmaksud	- keskkonnasõbralik ja säästev elamine
Kohalik omavalitsus	- poliitiline toetus	- kasvav elanike ja töökohtade arv - positiivne maine

## **Majandusküsimused**

Jätkusuutlik majandamine energiavaldkonnas eeldab, et vaadatakse kõiki kulukomponente nii energia tootmises kui ka energia transpordis, mistõttu tuleb energiahinna arvestamisel iga tehnoloogia puhul arvesse võtta ka energiakadu. Detsentraliseeritud keskkonnasõbralike lahenduste eeliseks tsentraliseeritud lahendustega võrreldes on pikaajaline energiahinna stabiliseerimine madalale tasemele, mis on eriti huvipakkuv just lõpptarbijajaoks. Kompetentsikeskuse üks ülesannetest on toetada täpse energiahinna arvestamisel ning välja töötada metoodika majanduslikult tasuvate toodete ja tehnoloogiate arendamiseks.

## **Kokkuvõte**

Taastuvenergia osatähtsus on Eestis aasta-aastalt suurenenud, kuid areng selles valdkonnas ei ole olnud piisavalt kiire. Pidades silmas poliitilist diskussiooni, mis seisneb selles, et Euroopa energiapoliitika peab järgima säästva, konkurentsivõimelise ja kindla energiavarustuse eesmärki, on vaja leida alternatiive fossiilkütusele. Need alternatiivid peavad olema nii lühiajaliselt mõttekad kui ka pikaajaliselt jätkusuutlikud. Eesmärgiks on esitleda Eestit kui suure võimekusega head testimaad taastuvenergia valdkonnas, kus on võimalik rakendada teaduslikult välja töötatud taastuvenergia lahendusi (nn 0-seeria lahendused).

**THE DEVELOPMENT AND USE OF RENEWABLE TECHNOLOGIES. CASE STUDY OF VILLAGE WITH INDEPENDENT WATER AND ENERGY SYSTEMS**

Harald Kitzmann<sup>1</sup>, Anna Balaš<sup>2</sup>, Silja Valler<sup>3</sup>

<sup>1</sup>TUT Department of Business Administration

<sup>2</sup>TUT Electrical Power Engineering Department

<sup>3</sup>Copenhagen Business School

The importance of the renewable energy solutions in Estonia is continually growing, but the development in this area is not fast enough. With regard to political discussions related to the Energy Politics in Europe targeted towards sustainable, competitive and certain energy supply, it is necessary to find the alternatives to fossil fuel. These alternatives should be reasonable in short-term and sustainable in long-term. The aim of current study is to introduce Estonia as a good test land with large capability in the area of renewable energy, where is possible to apply the scientifically developed renewable energy solutions (so-called 0-series solutions).

# SEI-TALLINNA EUROPROJEKTIDE KOGEMUSED ENERGIA SÄÄSTMISEL<sup>1</sup>

Veljo Kimmel<sup>1</sup>, Tiit Kallaste<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Eesti Maaülikool, e-post: veljo@emu.ee

<sup>2</sup> Säästva Eesti Instituut, SEI –Tallinn, Lai tn 34, 10135 Tallinn, e-post: tiit@seit.ee

## Annotatsioon

Artikkel üldistab mitme Euroopa Komisjoni poolt rahastatud energiasäästule suunatud rahvusvahelise projekti tulemusi, milles Sihtasutus SEI-Tallinn on osalenud või osalemas. Aastatel 2006-2009 osaleti EK „Intelligent Energy Europe“ programmi projektis „Energy Trophy+“ , mis seadis eesmärgiks mitterahaliste või odavate vahenditega elektri ja soojuste säästmise osalevates 16 riigi kontorihoonetes. Aastal 2008 algas EL 7. raamprogrammi projekt „Changing Behaviour“ - *Contextualising behavioural change in energy programmes involving intermediaries and policymaking organizations working towards changing BEHAVIOUR*, mis kestab 3 aastat. Nende projektide teljeks on energia säästlikuma kasutamise teel saavutada loodusressursside kokkuhoidu ja ühtlasi kaasa aidata kliimamuutuste leevendamisele globaalses mastaabis. Need projektid pole suunatud rahalistele investeeringutele, vaid tegemist on inimeste käitumisharjumuste teadliku kujundamisega ning riigi tasemel vastavate õigusaktide loomisega, mis aitavad kaasa kas ressursisäästlikule tarbimisele või hoopis taastuvate energiaallikate kasutamisele uute tehnoloogiate levitamisel ning juurutamisel. Seega investeeritakse peamiselt inimeste teadvusesse, mis teadupärast lubab märksa kõrgemat ja järjepidevamat efektiivsust kui ükski teine investeering. Reeglina on energiasäästuga tegemist ka fossiilsete kütuste, millega kaasneb ka keskkonda paisatavate heitmete hulk, asendamisel taastuvate energiaallikatega (õigemini energiaressursside olulise säästuga).

*Märksõnad: energiasääst, taastuvad energiaallikad, tarbija käitumisharjumused, kujundamine, energiatarbimise juhtimine ja suunamine (DSM), kraadpäevad, mitterahalised vahendid energia säästmisel, välditud kasvuhoonegaasid.*

<sup>1</sup>Artikkel on kirjutatud EK IEE programmi projekti „Energy Trophy+“ ja EK 7.RP projekti „Changing Behaviour“ raames.

## Sissejuhatus

Inimkonna peamisi probleeme praeguse energiakasutuse juures on liigne keskendumine fossiilkütustele. Nende kasutamisega seonduvatest muredest võib lisaks varude piiratusele nimetada keskkonnaprobleeme, nagu kasvavate õhuheitmete mõjul toimuv kliima soojenemine, happevihmad jms. Probleemidega võitlemiseks ning tarnijast sõltuvuse vähendamiseks on Euroopa Komisjon 2005. aastal ilmunud nn rohelises raamatus energiatõhususest hinnanud, et Euroopal on 2020. aastaks võimalik 20% võrra kahandada energiatarbimist, kasutades energiasäästu (EK 2005). Valdavalt on säästu võimalik saavutada juba olemasolevate tehnoloogiatega ning tarbijate suunamise ja informeerimisega.

Eesti kohta on erinevates allikates viidatud, et kasutame toodangutihi ku kohta 3-4 korda rohkem energiat kui Euroopas keskmiselt (EK 2005 alusel isegi rohkem, kuid kuna aastani 2008 on energiakasutus jäänud samaks, aga toodang kasvanud, siis on vahe kahanenud). Eriti arenenud Skandinaavia riikidega võrreldes on see erinevus olnud isegi kümnekordne (sama raport). Suurte erinevuste põhjustena võib välja tuua meie majade halvema soojapidavuse (aastas tarbitakse üle 200 kWh energiat elamispinna ruutmeetri kohta, meist põhjapoolsemates Skandinaavia riikides on see näitaja alla 100 kWh/m<sup>2</sup> kohta). Samuti pöörati varasematel kümnenditel ehk sotsialismiajal vähe tähelepanu energiasäästule ja tarbimisharjumuste muutmisele. Energiakandjate järjekindel hinnatõus on sundinud kõiki tarbijaid otsima väiksema energiakuluga lahendusi, olgu see siis valgustuse või hoonete soojavarustuse vallas.

Ka Säästva Eesti Instituut on viimasel kümnendil laiendanud oma kliimamuutuste leevendamise ja energiasektori probleemidega tegelemise valdkonda eelkõige elektri ja soojuse ratsionaalsema kasutamise ehk teisisõnu energiasäästu suunas, osaledes mitmetes rahvusvahelistes projektides. Käesoleva artikli ainek on baseerub neist kahe tulemustel: 16 riigis toimunud kontorite energiasäästuvõistlusel „Energy Trophy+“, mis on EL IEE (ingl *Intelligent Energy Europe*) programmi projekt, ja EL 7. raamprogrammi projektil „Changing Behaviour“, mis käsitleb tarbijate käitumis-

harjumuste muutmist ja lõpptarbimise juhtimise (ingl *DSM*) võimaluste laialdasemat kasutamist.

Majanduskriisi tingimustes on mõlemate projektide tulemused olulised ning seda eeskätt nende praktilisuse poolest. Praktilisi uuringuid on siiani Eestis raske teha, sest teemad pole enamasti piisavalt teaduslikud ning samas puuduvad riigihalduses vahendid halduse kaasajastamiseks ja teaduspõhisemaks muutmiseks.

Üleeuroopalise energiasäästuvõistluse projekti „Energy Trophy+“ raames kasutati infovahetust käitumuslike harjumuste muutmiseks ning analüüsi säästuvõimalusi kontorites, kusjuures suured investeeringud ei olnud lubatud. Võistlus toimus esmakordselt 2004/2005. aastal 38 osalejaga kuuest riigist. Eelmise võistluse tulemusena juurutatud energiasäästu meetmed andsid keskmiselt 7% energia kokkuhoidu, võitja energiasääst oli aga üle 30%. Kõikide osalejate peale kokku vähendati ühe aastaga energiatarvet 3700 MWh ning selle tulemusena jäi atmosfääri paiskama 1885 tonni CO<sub>2</sub>. Rahaliselt säästeti ühe aasta jooksul enam kui 200 000 eurot. Saavutatud edu ja EK (2005) suunised sundisid arendama uut projekti aastatel 2006-2009 võistlusperioodiga 1. septembrist 2007 - 31. augustini 2008 156 ettevõtte-asutuse kontori vahel 16 Euroopa riigis.

*Tabel 1. „Energy Trophy+“ projektis osalenud Eesti kontorid ja nende näitajad*  
*Table 1. Characteristics of Estonian Offices participating in the “Energy Trophy+” project*

	Pindala, (ruutmeetrid)	Töötajate arv
AS Tallinna Vesi	1575	57
ÜhendkuningriikideSaatkond Tallinnas	356	27
AS Eesti Krediidipank	2700	180
AS Kunda Nordic Tsement	4264	71
AS Hansapank (nüüd AS Swedbank)	11950	480
Kokku	20745	815



Projekt keskendus märgatava energiasäästu saavutamisele inimeste käitumise muutmise teel, kuid lubatud olid väikese maksumusega energiasäästumeetmete rakendamine, näiteks säästulampide ja aegreleede (taimerite) kasutamine, energiaauditi läbiviimine ja amortiseerunud kontoritehnika vahetamine kaasaegsema vastu. Ausa võistluse ja objektiivse võrdluse tagamiseks said võistlusel osaleda ainult need kontorid ja bürood, kus rakendati väikese maksumusega energiasäästumeetmeid. Suuremahuliste säästualaste investeeringute (nt hoonete soojustamine, kütteviisi vahetamine vms) tegijad võisid küll osaleda, kuid võistluse lõppedes auhinnale kandideerida ei saanud.

Võistluse käigus peeti kõikides osalevates riikides seminare energiasäästu lihtsate võtete tutvustamiseks, vahendati oma häid kogemusi igas kuus regulaarselt trükitavate uudiskirjade abil. Osalejad korraldasid kontorites seminare ja arutelusid, milles pakuti riiklike koordinaatorite kaasabil säästuvõimalusi ja praktilisi lahendusi ning vahendati eri riikide kogemusi avalike esinemiste ja veebilehekülgede kaudu.

#### **Peamised kasutatud meetmed**

Tööruumide sisetemperatuuri alandamine mõõdukates piirides.  
Lõunapoolsete akende katmine päikesekiirgust takistavate ja soojust kinnihoidivate kiledega.  
Ventilatsiooni ja jahutuse korrastamine.  
Valgustuse korrastamine.  
Aegreleede abil kütte, valgustuse ja kontoritehnika väljalülitamine töövälisel ajal.  
Töötajate teadlikkuse tõstmine mitmesuguste stendide, humoorikate märgiste, seinalehtede ja temaatiliste üritustega.

Eestis olid peamised kasutatud meetmed järgmised: kuni paari kraadi võrra ruumide sisetemperatuuri vähendamine, ventilatsiooni korrastamine, kütte ja jahutuse seadistamine ühtsesse automaatselt toimivasse režiimi, ühiskasutuses olevate ruumide valgustuse seadistamine säästurežiimi lihtsate liikumisandurite abil ning töövälisel ajal elektriseadmete, nagu võrguprinterid, kohvimasinad, allikavee automaadid jms, väljalülitamine.



Joonis 1. „Energy Trophy+“ võistlusel kontorites kasutatud energiasäästu pro-pageerivad märgised  
 Figure 1. Examples of labels promoting energy saving, which were used during the “Energy Trophy+” campaign.

Jooniste tegemisel on oskuslikult kasutatud sõnamänge nn jalajälje visua-liseerimisega, tulevikule mõtlemiseks lapsi ja teisi pilkukõitvaid sõnumi-vahendeid.

Kuna suureks elektritarbijaks kontorites on kontoritehnika, mille kasuta-mine on seotud iga töötaja harjumustega, siis peeti oluliseks ka märgiste laialdast kasutamist. Märgiseid kasutati pigem seadmete väljalülitamise meeldetuletamiseks, kuid ka töötajate laialdasema teadlikkuse suurenda-miseks, sest tühivool moodustab suure osa seadmete energiatarbest. Uu-ringud, mille läbiviimisel said osalejad kasutada Saksa Keskkonnaagen-tuuri poolt saadetud tundlikke energiatarbimise mõõdikuid, kinnitasid, et suurimaiks tarbijaiks on joogi- ja toiduautomaadid, mis soojendavad või jahutavad vett või toitu. Mainitud seadmed suutsid tarbida ka mittekasutamise ajal mõnisada vatti energiat ehk võrreldava koguse tänapäeva-se arvutiga. Nende töövälisel ajal väljalülitamisega saavutati elektrikulu vähenemine kuni pooleni senisest tarbest. Ostetud taimeri tasuvusajaks

saadi mitmete seadmete korral vaid mõned kuud, mis on samuti üllatav tulemus. Kuna energiasäästu korral arvestatakse tihti aastatepikkuse tasuvusega, siis enamiku kontoriseadmete puhul annab tühi voolu vältimine suure efekti.

Mitmel pool Euroopas leiti, et töötajate kaasamiseks on mõistlik rõhuda ka põnevusele, koostööle, loova initsiatiivi tekitamisele. Näiteks ühes Belgia ettevõtte kontoriseadmete korraldati parima kampsuni päev, mille käigus säästeti soojema riietuse kasutamiseega märgatav kogus soojust ruumide kütmiseks.



Joonis 2. Parima kampsuni päev ühes Belgia ettevõttes, võistlusel hinnati nägusamaid kampsuneid.

Figure 2. "The Best Cardigan Day" in one of Belgium offices, with the competition of most handsome cardigans.

Kui elumajades ja tööstuses moodustab valgustus enamasti vaid tühisid protsendid energiatarbest, siis kontorites ulatub tema osakaal suurte ühis- pindade tõttu mõnekümnele protsendile (Kokkuhoid 2009). Lihtsaim valgustuse seadistamine seisnes tavaliste ruumide koridoridesse avanevate uste asendamises osaliselt klaasitud ustega, mistõttu kahanes märgatavalt koridorivalgustuse vajadus. Kuna võistluses olid lubatud ka odavad investeeringud, siis kasutati ka tavapirnide asendamist säästupirnidega, LED-valgustite või halogeenlampidega. Kuna enamikes kontorites ei mõeldeta eraldi valgustuseks kuluvat energiat, siis on iseloomustavaks arvnäitajaks hoopis AS Ekseko poolt tehtud valgustite vahetus, mille käi-

gus ööpäevaringselt põlevad halogeenlambid vahetati LED- lampide vastu. Oodatav tulu on algsest miljoniteni küündivast kulutusest hoolimata 6 miljonit ning võib energiahindade kasvades suureneeda (Kimmel 2009).

Energiasäästu hindamisel on kindlasti oluline saavutada võrreldav tulemus. Selleks kasutati võistluses eelmise 3 aasta senise tarbimise näite ning korrigeerimist kraadpäevadega (eri aastatel on kütmise või jahutamise vajadus sõltuvalt ilmastikust erinev), töötajate arvuga (sest valgustus ja kontoriseadmete kasutamine sõltub kasutajate arvust) ning põrandapindalaga (sest kütmise-jahutamise vajadus on seotud ruumi suurusega). Kuna nii mõnedki osalejad ei suutnud oma senise energiatarbe muutuseid põhjendada, siis lõppjärjestuses nad ei osalenud (Vares 2008).

Rahaline sääst ulatus erinevate meetmete rakendamisel keskmiselt enam kui 20 kroonini, parimatel isegi ligi 80 kroonini aastas iga ruutmeetri põrandapinna kohta. Selline sääst kestab muidugi pikemat aega, mistõttu kasutatud efekt tegevustest suureneb aasta-aastalt. Kuna suured investeeringud olid keelatud, siis saavutati nii hea tulemus põhjaliku läbimõtlemissa ja pideva tööga. Analüüs on näidanud, et kui võrreldes ettevõtete käibega pole võidetud rahasumma enamasti suurem kui mõni protsent käibest, siis kasuminumbrit on võimalik juba kümneid kordi rohkem kergitada (Rae-  
saar 2009).

Kokku säästeti Eesti kontorites 12 kuud väldanud võistluse käigus varasema 3 aasta energiatarbega võrreldes keskmiselt 11,8% energiat. Edukaimad olid kaks panka: AS Krediidipank ja AS Hansapank (nüüdseks AS Swedbank), kes suutsid ainuüksi nutikate lahendustega säästa vastavalt 28% ja 25% senisest energiatarbest. Üleeuroopalises arvestuses oldi oma kategoorias vastavalt auhinnalisel teisel ja viiendal kohal. Kokku säästeti viie Eesti osaleja poolt peaaegu 1 GWh energiat, millest veidi üle poole moodustas elektrienergia.

Hinnates riikliku statistika alusel osalenud viie kontori pinna ligilähedast saajandikuks olemasolevatest kontoripindadest ja sarnastest ruumi-

dest, saame kergesti vähendatavaks energia tarbimise koguseks umbes 100 GWh, millest veidi üle poole võiks moodustada elektrisääst. Samuti võimaldaks selline hõlpsasti saavutatav energiasääst vähendada atmosfääri paisatavat süsihappegaasi kogust umbes 60 000 tonni võrra ehk umbes 0,5% senisest Eesti heitkogusest.

Võistlus näitas, et energiasäästu saavutamiseks ei pea esialgu tingimata suuri kulutusi tegema, natuke nuputamist ja energiasääst ongi käes. Lähemalt saab projekti ja selle tulemuste ning informatiivsete uudiskirjadega säästualasest käitumisest eri riikides tutvuda SEI-Tallinna kodulehel, vt lähemalt <http://www.seit.ee/index.php?m=9&program=3>.

### **Energiatarbijate käitumise muutmise võimalused**

EK 7. raamprogrammi projekt „Changing Behaviour“ on pühendatud energia lõpptarbijate käitumisharjumuste muutmise võimalustele koostöös mitmesuguseid energiateenuseid pakkuvate vahendusfirmadega ning praktikas rakendatava lähenduse, käsitluse (ingl *toolkit*) väljatöötamisele üheksa Euroopa Liidu liikmesriigi - Holland, Saksamaa, Balti riigid, Ungari, Kreeka, Ühendkuningriik ja Soome - näitel. Lühidalt öeldes on selle projekti eesmärk uurida sügavamalt, kuidas suunata inimeste käitumist energiasäästlikkuse poole, pidades silmas eri riikides väljakujunenud kultuurilist ja institutsionaalset konteksti. Projekti juhib ja koordineerib Soome Riiklik Tarbimise Uurimise Instituut (ingl *Finnish National Consumer Research Institute*), kes koostöös projektipartneritega on loonud põhjaliku ja informatiivse kodulehe, vt projekti lähemat tutvustust ja mitmeid uudiskirju, mis on eksponeeritud veebiaadressil <http://www.energychange.info/about-the-project>.

Projekti esimeses faasis uuriti igas osalevas riigis ühise etteantud skeemi järgi kõige huvitavamaid ja paljulubavaid energiasäästule ja taastuvate energiaallikate laialdasemale kasutamisele suunatud projekte, selgitamaks välja ühiseid jooni tarbijate energiakasutuse võimalikuks nihutamiseks säästlikkuse suunas. Tarbimise poole juhtimist ja suunamist märgitakse traditsiooniliselt lühendiga *DSM* (ingl *Demand Side Management*)

ja see ei käsitle energiatootmisega seonduvaid küsimusi. Eestis oli vaatluse all KredExi projekt: korterelamute kompleksne energeetiline renoveerimine (EL „Interreg IIIB“ programmi parima projektinäitena projekt „Been“, ingl *Baltic Energy Efficiency Network*) Õismäel Paldiski mnt-l asuva viiekordse elamu näitel. Veel tuleb märkida selliseid projekte ja programme, nagu taastuvate energiaallikate laialdasemat kasutamist päikesekollektorite ja maasoojuspumpade ehitamisel (Rõuge Energiapark), vabariiklikku energiasäästu sihtprogrammi (Majandus- ja Kommunikatsiooniministerium), KredExi Energiasäästu Kompetentsikeskuse ettevõtmisi jt. Taolisi pilootküsitlusi tehti igas 13 osalevas partnerorganisatsioonis ning nende seast valiti välja üks kuni kaks sobivaimat, mida kirjeldati juba detailsemalt. Eesti puhul oli väljavalituks KredExi projekt Paldiski mnt korterelamu kompleksse energeetilise renoveerimise kohta.

Kogu projekti „Changing Behaviour“ peale kokku moodustus niiviisi esinduslik DSM-programmide andmebaas, mida kasutatakse järgnevate projektiülesannete täitmiseks. Praegu käibki nendest pakutud projektidest väljavalitud kuue projekti põhjalik analüüs ning üldistuste tegemine. Esimesed meetodilist laadi vahetulemused on publitseeritud (vt nt Heiskanen jt 2009), samuti on projekti laiemalt tutvustatud (Kallaste ja Heiskanen 2008). Lõplikest tulemustest on veel veidi ennatlik rääkida, kuigi need töötavad tulla huvitavad ja praktilist väärtust omavad.

Projekt lõpeb 2010 ning selleks ajaks on valimi põhjal leitud parimad võimalused tarbijate mõjutamiseks säästvama energiatarbimise mudeli poole. Arendatud võimaluste alusel koostatakse juhendmaterjal ka teiste tarbijate mõjutamiseks, mida SEI-Tallinn kavatseb ka Eestis laiemalt levitada.

Ülalkirjeldatud ja ka teiste käsilolevate energiasektorile suunatud projektide abil loodab Säästva Eesti Instituut kaasa aidata säästuvõimaluste propageerimisele ja otsusetegijate motiveerimisele energiasäästu saavutamisel.

## **Kasutatud kirjandus**

- Euroopa Komisjoni Roheline raamat energiatõhususest. 2005. - [http://www.kokkuhoid.energia.ee/failid/EL\\_Roheline\\_raamat\\_energiatõhusus.pdf](http://www.kokkuhoid.energia.ee/failid/EL_Roheline_raamat_energiatõhusus.pdf)
- Kallaste, T. and Heiskanen, E. Presentation on Nordic CleanTech Solutions seminar in Helsinki. “CHANGING BEHAVIOUR EC FP7 project. Research and development of energy saving practises in Finland and Estonia”. 12th of Sept. 2008. Helsinki. Web-published: <http://www.nordiccleantech.net/about-nets/material/>
- Büroo energiakasutus. - <http://kokkuhoid.energia.ee/?id=1355>
- Kimmel, V. Valguse juhtimine töökeskkonnas – suur võimalus energiasäästuks.- Eesti Keskkonnajuhtimise Assotsiatsiooni seminar 23. jaanuar 2009 Rahvusraamatukogus. - [http://www.eco-net.ee/static/custom/Kimmel\\_valgustus\\_23.01.09.pdf](http://www.eco-net.ee/static/custom/Kimmel_valgustus_23.01.09.pdf)
- Raesaar, P. Elektrienergia säästu võimalustest ettevõtetes.- Eesti Keskkonnajuhtimise Assotsiatsiooni seminar 23. jaanuar 2009 Rahvusraamatukogus. - [http://www.eco-net.ee/static/custom/Raesaar\\_23.01.09.pdf](http://www.eco-net.ee/static/custom/Raesaar_23.01.09.pdf)
- Heiskanen, E., Hodson, M., Kallaste, T., Maier, P., Marvin, S., Mourik, R., Rinne, S., Saastamoinen, M. & Vadovics, E. 2009. A rose by any other name...? New contexts and players in European energy efficiency programmes. In Act, Innovate, Deliver. Proceedings of the eceee 2009 Summer Study. Stockholm: European Council for an Energy Efficient Economy. pp. 247-257.
- Vares, V. Energiasäästuvõistluse hindamine.- Ettekanne seminaril 8.12.2008 - <http://www.seit.ee/failid/390.pdf>

## SEI-TALLINN'S EXPERIENCE FROM EU GRANTED PROJECTS ON ENERGY SAVING<sup>2</sup>

Veljo Kimmel<sup>1</sup>, Tiit Kallaste<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Estonian University of Life Sciences, Kreutzwaldi 1, Tartu 51014 Tel 7313 773 e-mail: veljo.kimmel@emu.ee

<sup>2</sup> Estonian Institute for Sustainable Development, SEI –Tallinn, Lai Str. 34, 10135 Tallinn, e-mail: tiit.kallaste@seit.ee

Paper describes NGO SEI-Tallinn's experience from projects granted by European Commission in the field of energy saving and conservation issues – namely Energy Trophy+ and Changing Behaviour. Energy Trophy+ was in fact a competition between offices of 16 countries to achieve energy saving without any significant investment or with low investments like installing timers, replacing light bulbs or office equipment. Project achieved in average 11,8 % of less energy consumed in offices during one year period. Importantly, the amount of avoided greenhouse gases emissions in Estonia was approximately 600 t for only 5 participants from Estonia. The total number of savings was 28% and 25% less energy consumed for 2 big banks – AS Eesti Krediidipank and AS Hansapank (today's Swedbank). Both achieved relatively very high rankings also in Europe - accordingly 2. and 5. place in *high energy consumption* category. Project produced a lot of useful materials for real estate managers available at pages <http://www.energytrophy.org> and <http://www.seit.ee/index.php?m=9&program=3>. A rough estimate shows a potential opportunity to save in offices and similar rooms up to 100 GWh energy corresponding to ~0,5% of less emissions of greenhouse gases of all the country.

The EC 7th Framework Programme project CHANGING BEHAVIOUR is developing even further analysing how the very average energy consumer behaves and what are the best options for influencing commonly accepted habits of energy consumption using intermediaries. Project will end in 2010 and will give a result in a form of a guidebook of best practices for changing people attitudes and habits in energy consumption in different cultural and economic conditions.

---

<sup>2</sup>This article has been written in the course of EC IEE Programme project EnergyTrophy+ and EC 7th FP project CHANGING BEHAVIOUR.



# ELEKTRILISTE VALGUSALLIKATE KESKKONNASÄÄSTLIKUST VALIKUST

Endel Risthein  
Tallinna Tehnikaülikool

Järjest suurenev energiatarbimine ja sellest tingitud muutused Maa atmosfääri koostises on endaga kaasa toonud Maa kliima ohtliku muutumise – globaalse soojenemise. Seetõttu on ühe vastuabinõuna hädavajalik energia tarbimist igal mõistlikul viisil piirata ja elektervalgustuses tähendab see vajadust üle minna energiatarbimise valgusallikate kasutamisele.

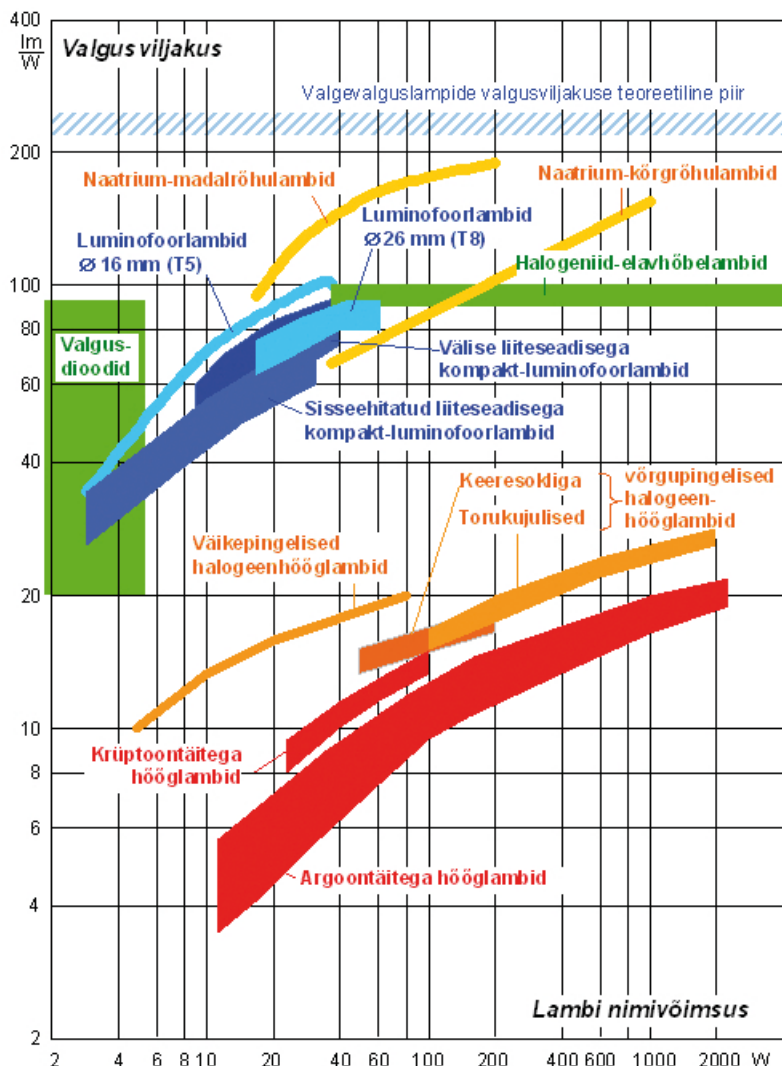
*Märksõnad: elektervalgustus, energiasääst, kliimamuutuste aeglustamine.*

## Sissejuhatus

Elektriliste valgusallikatena kasutatakse nüüdisajal peaaesjalikult kolme liiki lampe: hõõglampe, lahenduslampe ja valgusdiodlampe. Nende energiatarbimist iseloomustatakse eeskätt valgusvõimsusega – lambi valgusvoo ja tarbitava võimsuse suhtega lumenites vati kohta. Valget valgust andvate lampide korral on selle näitaja teoreetiline ülempiir ligikaudu 250 lm/W, kuid lampide tegelik valgusvõimsus on enamasti vahemikus 10 lm/W kuni 100 lm/W, olenevates lambitüüpides ja nimivõimsusest. Mõnede kõige enam levinud lambitüüpide kohta on selle näitaja olenevus lambi nimivõimsusest esitatud joonisel 1.

Endastmõistetavalt nõutakse lampidelt peale energiatarbimise veel

- sellist spektrit, mis valgustatavate esemete värve võimalikult vähe moonutaks,
- pikka tööiga,
- kiiret süttimist ja stabiilset ning võimalikult värelusvaba talitlust,
- lihtsat ja ohutut käsitsemist,
- mõõdukast maksumust.



Joonis 1. Mõnede lambiliikide valgusviljakus, olenevalt lambi nimivõimsusest.  
 Figure 1. Luminous efficiency of some bulbs, depending on nominal capacity.

### Lampide üldomadused

**Hõõglambid** on lihtsa ehitusega, väikeste mõõtmetega, pideva ning enamasti meeldivaks peetava soojatoonilise valgusspektriga, kiire süttimi-

sega, värelus- ja häiringuvabad, odavad ja hõlpsad kasutada ning tarbe korral saab nende valgusvoogu lihtsate vahenditega reguleerida. Nende põhipuudusteks on aga madal valgusviljakus (enamasti 10 lm/W kuni 30 lm/W) ja suhteliselt lühike eluiga (tavaliselt 1000 kuni 2000 tundi). Tavaliste **üldtarbehõõglampide** kolb on täidetud inertgaasiga (argooni või krüptooniga). Krüptoon kui raskem gaas aeglustab hõõgniidi aurustumist paremini ja võimaldab seega tõsta hõõgniidi töötemperatuuri, mistõttu krüptoonhõõglampide valgusviljakus on mõnevõrra parem kui argoonlampidel.

**Halogeenhõõglampide** kolb sisaldab peale inertgaasi vähesel määral halogeeni (tavaliselt joodi, harvem broomi), mis ühineb aurustunud volframiga ega lase sellel sadestuda kolvile. Selle tulemusel tekib lambis pärast süttimist volframiauru küllastus ja aurustumine lakkab. Hõõgniidi töötemperatuur võib olla tunduvalt kõrgem kui tavalise inertgaastäite korral, valgusviljakus aga seetõttu suurem ja talitlusiga pikem.

Väikepingelised halogeenhõõglambid (enamasti on need nimipingega 12 V) vajavad elektrivõrguga ühendamiseks liiteseadist (trafot või elektronpingemuundurit), mis võib olla mitmele lambile ühine.

**Lahenduslambid** põhinevad kaarlahendusel madala sulamistäpiga metalli (enamasti elavhõbeda või naatriumi) aurus. Selliste lampide valgusviljakus on tüübist ja võimsusest olenevalt enamasti vahemikus 40 lm/W kuni 150 lm/W, eluiga aga tavaliselt 5000 kuni 15 000 tundi. Ka võib lahenduslampides nt luminofooride kasutamise teel saada mitmesuguse, sealhulgas päevavalgusetaolise spektriga valgust, mis on eriti tähtis töövalgustuses, kui töö nõuab värvide õiget tuvastamist. Koduvalgustuses kasutataksegi seetõttu madalrõhulisi elavhõbe-luminofoorlampe, mis sellele nõudele päris hästi vastavad.

Kaarlahenduslampe ei saa lülitada otse võrgupingele, sest sel juhul hakkaks vool laviinilaadisel suurenema ja lamp põleks kohe läbi. Peale selle on kaare süütamiseks enamasti vaja võrgupingest kõrgemat pingeimpuls-

si. Seetõttu tuleb kõik lahenduslambid varustada liiteseadisega, mis tagab lambi süttimise ning stabiilse talitluse.

Liitsaim liiteseadis koosneb vahelduvvoolu korral induktiivtakistist (drosselist), mis ühendatakse lambiga jadamisi, ja impulsspingeallikast (süüturist). Nüüdisajal eelistatakse liiteseadisena aga sagedusmuundurit väljundsagedusega 20 kHz kuni 50 kHz, mis tagab

- lambi värelevaba talitluse,
- lambi kiire ja sujuva süttimise ilma spetsiaalsete süüturite kasutamiseta,
- väiksema energiakao (ligikaudu kaks korda väiksema kui drosseli kasutamisel),
- lambi pikema eluea ja kõrgema valgusviljakuse,
- liiteseadise väiksema massi.

Liiteseadis võib kujutada endast eraldi aparati, kuid nn **kompaktlampides** on see lambiga kokku ehitatud. Kompaktlampidel on enamasti samsugune keeresokkel nagu hõõglampidel, et energiasäästu eesmärgil saaks viimaseid lahenduslampide vastu probleemivabalt välja vahetada. Selle omaduse tõttu nimetatakse selliseid lampe ka **säästulampideks**.

Kui soovitakse lahenduslampide valgusvoogu reguleerida, tuleb nad varustada sellekohaste spetsiaalsete sagedusmuundur-liiteseadistega.

Alates aastast 2000 on peaaegu plahvatuslikult hakanud levima **valgusdiodide** kasutamine. Valgusdiod on väikepingeline (enamasti alalispingel 3 V kuni 7 V talitlev) väikesemõõtmeline (läbimõõduga enamasti 1 mm kuni 5 mm) pooljuhtseadis, mis on varustatud sisseehitatud nõguspeegli ja läätsuga ja mis seetõttu kiirgab valgust kitsama või laiema vihuna mingis ühes suunas. Neid saab valmistada nii värvilistena (punastena, kollastena, rohelistena, sinistena) kui ka valgetena. Süttimine on väga kiire (mõni mikrosekund), valgus on värelevaba.

Valgustuseks ettenähtud nn jõu-valgusdiodide üksikvõimsus on käesoleval

ajal 0,5 W kuni 5 W, nimipinge 3,6 V või 6,8 V, valgusviljakus 20 lm/W kuni 90 lm/W (on teatatud ka laboratooriumides saavutatud valgusviljakusest kuni 160 lm/W), eluiga kuni 40 000 tundi (väidetavasti isegi kuni 100 000 h). Väikese üksikvõimsuse tõttu valmistatakse mitmest valgusdiodist koosnevaid mooduleid, mida võidakse kujundada tavapäraste keeresokliga lampidena, aga ka valgusplaatidena või -lintidena.

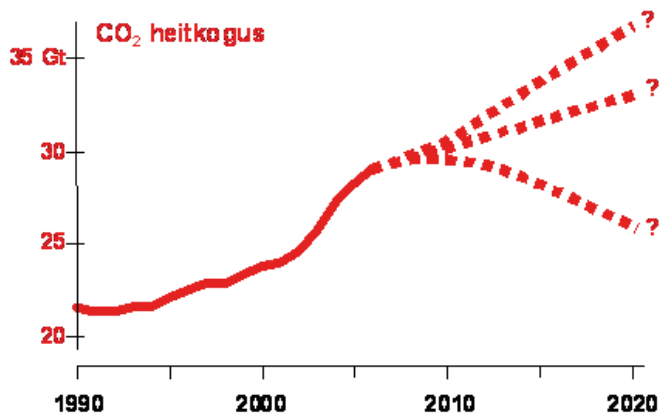
Valgusdiodlambid varustatakse liiteseadisega, mis tavaliselt koosneb trafost ja alaldist ja mis võib olla ka lampi sisse ehitatud; viimasel juhul saame kompakt-valgusdiodlampi. Tarbe korral saab liiteseadist suhteliselt lihtsalt valmistada reguleeritavana. Valgusdiodlampide praegune põhipuudus hõõg- ja lahenduslampidega võrreldes on nende kallim hind.

Lahendus- ja valgusdiodlampide kasutamisel ning hõõglampide asendamisel nende valgusallikatega tuleb arvestada asjaolu, et nende valgusvoog väheneb talitlusea jooksul pidevalt. Talitlusiga loetaksegi tavaliselt lõppenuks, kui lambi valgusvoog on vähenenud väärtuseni 70% nimivalgusvoost.

### **Lampide energiatarbimise toime keskkonnale**

Valgustuseks kulub maailma ulatuses ligikaudu 19%, Euroopa Liidus aga ligikaudu 14% kogu toodetavast elektrienergiast. Ligikaudu 2/3 sellest energiakogusest saadakse kütust põletavatest soojuselektrijaamadest, mis kütuste põlemissaadusena paiskavad õhku süsinikdioksiidi ( $\text{CO}_2$ ) ja muid põlemisgaase. Üha suurema hulga kütuste põletamine nii elektrijaamades kui ka hoonete kütteseadmeis, transpordivahendeis ja tööstuses on viinud selleni, et süsinikdioksiidi suhteline kogus õhus, mis kogu inimsivilisatsiooni ajaloo jooksul kuni 20. sajandi keskpaigani oli stabiilselt ligikaudu 0,028%, on 2009. aasta alguseks tõusnud väärtuseni 0,039%. Süsinikdioksiid koos muude kolme- ja enamaaatomiliste gaasidega neelab maapinna pikalainelist soojuskiirgust ja kutsus esile kasvuhooenenähtuse, mille pidev tugevnemine toob endaga kaasa Maa kliima ohtliku soojenemise. Maa keskmine temperatuur on viimase 50 aasta jooksul tõusnud ligi 1 °C võrra ja kui tõus peaks saavutama 2 °C, võivad tagajärjed Maa elu-

keskkonnale olla katastroofilised. Seetõttu on ÜRO eestvedamisel alanud mitmesuguste meetmete rakendamine süsinikdioksiidi ja muude kasvuhooonegaaside heitkoguse vähendamiseks. Joonisel 2 on kujutatud kolme võimalikku prognoosi süsinikdioksiidi heitkoguse muutumise kohta maailmas aastani 2020.



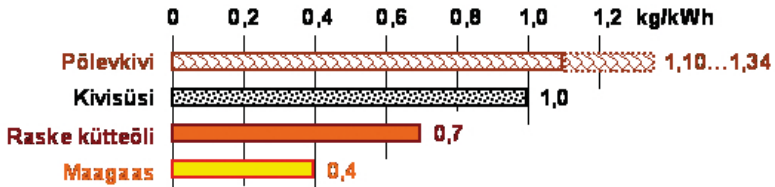
Joonis 2. Süsinikdioksiidi eraldumine Maa atmosfääri kütuste põletamise tagajärjel aastail 1990-2006 ja prognoos aastani 2020

Figure 2. Fuel combustion related CO<sub>2</sub> emission into atmosphere during 1990-2006 and prognosis until year 2020

Joonisel vastab

- ülemine kõver olukorrale, mil mingeid tõkestavaid meetmeid ei rakendata,
- keskmine kõver praeguste meetmete rakendamisele,
- alumine kõver uute meetmete juurdevõtmisele.

Süsinikdioksiidi teke elektrienergia tootmisel oleneb soojuselektrijaamades kasutatava kütuse liigist (joonis 3) ja soojuselektrijaamade osatähtsusest riigi energiasüsteemides.



Joonis 3. Süsinikdioksiidi teke elektrienergia tootmisel põletuskütuselektrijaamades. Põlevkivi puhul kehtib väiksem väärtus keevkihtkollete, suurem väärtus tolmkütuskollete kohta.

Figure 3. Formation of CO<sub>2</sub> during power generation in thermal power stations. In case of oil-shale there is lower value for fluidised bed incinerator and higher value for powder fuel furnace.

Elektervalgustuses saab energiatarbimist ja seega ka selle tagajärjel tekki-va süsinikdioksiidi heitkoguseid vähendada

- väiksema valgusviljakusega lampide asendamise teel energiatõhusamate lampidega,
- lahenduslampide ballasttakistite asendamise teel sagedusmuunduritega,
- valgustuse ratsionaalsema ning kokkuhoidlikuma kasutamise teel.

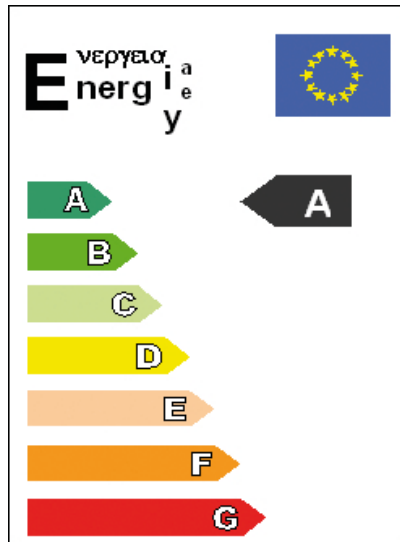
Euroopa Ühenduse ökodisainidirektiivi 2005/32/EÜ (1) rakendamismäärused näevadki ette

- suunamata valgusvooga hõõglampide järkjärgulist asendamist lahenduslampidega ja valgusdiodlampidega (mõnel juhul ka halogeenhõõglampidega),
- lahenduslampide valgusviljakuse suurendamist,
- lahenduslampide energiatõhusamate liiteseadiste (peaasjalikult sagedusmuundurite) kasutamist drossel- jm ballasttakistite asemel.

Määruste rakendamise teel loodetakse vähendada Euroopa Liidus aastaks 2020 elektrienergia tarbimist ligi 80 TWh võrra aastas. Ligikaudu samal viisil, kuid mõneaastase ajalise nihkega kavandatakse valgustuseks kuluva energia säästu ka nt USAs, Venemaal ja Hiinas.

## Hõõglampide asendamine energiatõhusamate lampidega

Ökodesainidirektiivi rakendamismäärus nr 244/2009 (18. märtsist 2009) (2) näeb ette hõõglampide kui kõige väiksema valgusviljakusega valgusallikate järkjärgulise väljavahetamise energiatõhusamate lampide vastu. Energiatõhusust hinnatakse seejuures Euroopa Komisjoni direktiivi 98/11/EÜ (3) järgi energiatarbivusklassiga, mida tähistatakse tähtedega A kuni G ja kujutatakse lampide pakenditel energiatõhusumärgistusena (joonis 4). Klassi A kuuluvad kõrgeima, klassi G aga madalaima valgusviljakusega lambid.



Joonis 4. Euroopa energiatarbivusmärgistus (*energy label*). Vormistusnäide käib lambi kohta, mille energiatarbivusklass on A.

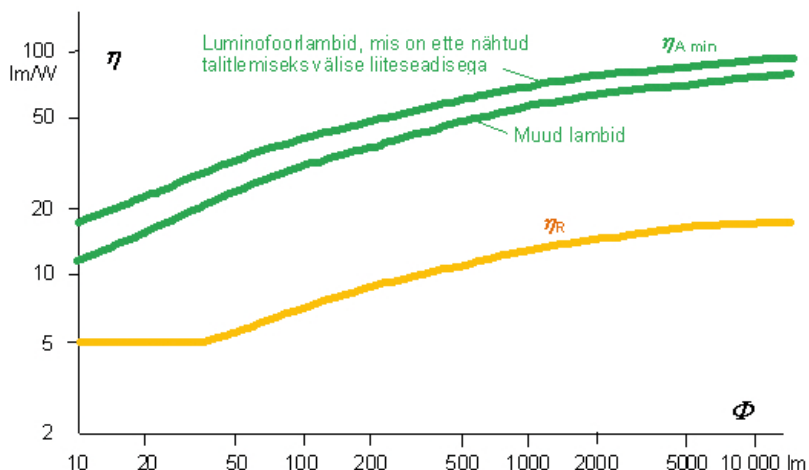
Figure 4. European Energy label. Design example for bulbs with energy consumption class A.

Direktiivis on esitatud valemid, mille järgi arvutatakse klassi A kuuluva lambi lubatav tarbimisvõimsus, olenevalt lambi valgusvoost. Teiste klasside jaoks sätestatakse nn alusvõimsus (referentsvõimsus), mis vastab ligikaudu klassile E. Lampide tegelikult tarvitava võimsuse suhet alusvõimsusse nimetatakse energiatõhususindeksiks (tähis E) ja selle alusel määratakse nende energiatõhususklassid järgmiselt:



Energiatõhususindeks	Energiatõhususklass
$E < 0,60$	<b>B</b>
$0,60 \leq E < 0,80$	<b>C</b>
$0,80 \leq E < 0,95$	<b>D</b>
$0,95 \leq E < 1,10$	<b>E</b>
$1,10 \leq E < 1,30$	<b>F</b>
$E \geq 1,30$	<b>G</b>

Ettekujutuse saamiseks eri klassidesse liigitatud lampide valgusviljakusest on joonisel 5 kujutatud A-klassi lampide vähim nõutav valgusviljakus ja muude klasside määratlemiseks kasutatav alusvalgusviljakus.



Joonis 5. A-klassi lampide vähim nõutav valgusviljakus  $\eta_{A \min}$  ja muude klasside määratlemiseks kasutatav alusvalgusviljakus  $\eta_R$ , olenevalt lampi valgusvoost  $\Phi$ .  
Figure 5. The minimal required luminous efficiency  $\eta_{A \min}$  for A-class bulbs and base luminous efficiency  $\eta_R$  of other bulb classes depending on the bulb's light surge  $\Phi$ .

Jooniste 1 ja 5 võrdlemisel saab teha järelduse, et klassi A nõudeid võivad täita üksnes lahendus- ja valgusdiodlampid, üldtarbehõõglampid kuuluvad aga enamasti klassidesse G või F. Suurima valgusviljakusega halogeenhõõglampid (nt ksenoontäitega ja infrapunast kiirgust tagasi peegeldava kolviga) võivad vastata enamalt klassi B nõuetele.

Eelnimetatud määruses nr 244/2009 on sätestatud konkreetset tähtjaid, millal üks või teine hõõglampiliik tuleb kasutusest kõrvaldada. Esimene etapp algas 1. septembril 2009, mil lõppes 100 W ja suurema võimsusega üldtarbehõõglampide ning kõigi matt- või piimkolviga hõõglampide tarnimine kaubandusvõrku. Edasised etapid on kujutatud alljärgnevas tabelis. Tuleb aga arvestada, et tabeli nõuded ei käi peegellampide ega eriotstarbeliste lampide kohta.

*Tabel 1. Lampide nõutavad energiatõhususklassid aastail 2009 kuni 2016 (× – tarnimine lõpetatud)  
Table 1. Energy efficiency classes of different bulbs in 2009-2016 (×-production is finished)*

Tähtaeg	Matt- ja piimkolblambid		Klaarkolblambid						
	Kõik hõõglambid	Kompaktluminofoorlambid, valgusdiodlambid	Mittehaloogenhõõglambid ja tavahaloogenhõõglambid				Haloogenhõõglambid klass C	Haloogenhõõglambid klass B	Valgusdiodlambid
			≥ 100 W	≥ 75 W	≥ 60 W	< 60 W			
1.9.2009	×	A	×	E	≥E	≥E	C	B	Sätes-tamata
1.9.2010	×	A	×	×	≥E	≥E	C	B	
1.9.2011	×	A	×	×	×	≥E	C	B	
1.9.2012	×	A	×	×	×	×	C	B	
2013	Kehtestatakse uus tõhususnõuete aste								
2014	Kokkuvõtete tegemine ja tõhususnõuete võimalik revideerimine								
2016	×	A	×	×	×	×	C eri-sokliga	B	Sätes-tamata

Hõõglampide asendamisest saadav ligikaudne energiasääst on esitatud alljärgnevas tabelis.

Lambi liik	Energiatõhususklass	Sääst %
Üldtarbehõõglamp	E, F, G	0
Tavahaloogenhõõglamp 230 V	D, E, F	0...15
Tavahaloogenhõõglamp 12 V	C	25
Ksenoontäitega haloogenhõõglamp	B	45
Väliskolviga kompaktluminofoor- või valgusdiodlamp	B	65
Väliskolvita kompaktluminofoor- või valgusdiodlamp	A	80

Veel suuremat energiasäästu annab hõõglampvalgustite asendamine valgustitega, milles kasutatakse T5- või T8-luminofoorlampe (vt joonis 1). Tuleb märkida, et hõõglampide asendamine nt kompaktluminofoorlampidega on ka majanduslikult tasuv. Vastavad arvutused näitavad, et praeguste hinnasuhete juures on tasuvusaeg kodumajapidamises enamasti üks kuni kaks aastat.

### **Kokkuvõte**

Elektrienergia säästmist ei tule lugeda üksnes rahaliste kulude vähendamise meetmeks. Nüüdisajal on see kujunenud eeskätt tähtsaimaks keskkonnakaitseviisiks. Kui väheneb elektrikulu, väheneb ka kütuste põletamine elektrijaamades ning süsinikdioksiidi ja muude põlemissaaduste paiskumine atmosfääri. Sellega aeglustuvad ohtlikud kliimamuutused, mille tagajärjed on juba praegu selgelt tunda.

Võrreldes tööstusprotsesside ja veondusega, on valgustuse osa energia-kulutuses ja seega ka säästu võimalikus koguses suhteliselt väike, kuid ka seda võimalust energia kokkuhoiuks ei tohi praeguses küllaltki kriitilises keskkonnaolukorras kasutamata jätta.

### **Kasutatud kirjandus**

Euroopa Liidu Teataja nr 48, 2005, L191, lk 29-58. - Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2005/32/EÜ, 6. juuli 2005, mis käsitleb raamistiku kehtestamist energiat tarvitavate toodete ökodisaini nõuete sätestamiseks ja millega muudetakse nõukogu direktiivi 92/42/EMÜ ning Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiive 96/57/EÜ ja 2000/55/EÜ

Euroopa Liidu Teataja nr 52, 2009, lk 3-16. - Komisjoni määrus (EÜ) nr 244/2009, 18. märts 2009, millega rakendatakse Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2005/32/EÜ, seoses kodumajapidamises kasutatavate suunamata valgusvooga lampide ökodisaini nõuetega

Official Journal of the European Communities 41, 1998, L 71, p. 1-8.  
- Commission Directive 98/11/EC of 27 January 1998 implementing Council Directive 92/75/EEC with regard to energy labelling of household lamps.

## **ABOUT ENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE OPTIONS OF ELECTRICAL LIGHT SOURCES**

Endel Risthein

Tallinn University of Technology

With regard to the energy conservation, the luminous efficacy and other qualities of household electrical light sources are compared. Requirements of the European Ecodesign Directive 2005/32/EC and the Commission Regulation No 244/2009 on the replacing of general services non-directional incandescent lamps with compact fluorescent and other more efficient lamps are explained.

## ENPOS – ENERGEETILISELT SÕLTUMATU TALU

Väino Poikalainen<sup>1</sup>, Eugen Kokin<sup>1</sup>, Imbi Veermäe<sup>1</sup>, Jaan Praks<sup>1</sup>, Juri Frorip<sup>1</sup>,  
Merrit Noormets<sup>1</sup>, Jukka Ahokas<sup>2</sup>, Hannu Mikkola<sup>2</sup>, Mikko Hautala<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eesti Maaülikool, Kreutzwaldi 1, 51014 Tartu, Estonia

<sup>2</sup>Helsinki Ülikool, Põllumajandustehnika osakond, P.O. Box 28, FI-00014, Soome  
eugen.kokin@emu.ee

### Annotatsioon

Projekt „ENPOS“ (*Energy Positive Farm*) on Helsingi Ülikooli ja Eesti Maaülikooli ühine töö programmi „INTERREG IV A“ raames, mis sai positiivse hinnangu ning rakendub 2009. a sügisest. Projektiga on seotud ka MTT Agrifood Research Finland.

Projekti raames planeeritud uuringuid teostatakse väljavalitud taludes (farmides) Eestis ja Soomes. Helsingi Ülikoolil on katsefarm Helsingis, MTT Agrifood Research Finland ehitab energiatootmisfarmi Kesk-Soomes. Lisaks nendele on valitud viis farmi erinevates piirkondades Soomes ja sama palju Eestis.

Talude suurused ja tootmisharjumused on Eestis ja Soomes paljuski erinevad. Soome talud on peamiselt väiksed peretalud. Eestis toimub peamine tootmine suurtes kommertstootmisüksustes. Erisuguste tootmisüksuste võrdluse aluseks saab olla üksikute tootmisprotsesside, farmide ja talude energiatootlikkus.

*Märksõnad: efektiivsus, energiatootlikkus, energiavoog, talu, biokütused.*

### Sissejuhatus

Kaasaegses põllumajanduses kasutatakse suurtes kogustes fossiilseid kütuseid energiavajaduste katteks. Põhiline fossiilse energia tarbimine on seotud mitteorgaaniliste väetiste tootmisega ning põllumajandustehnika kütusekuluga maa harimisel. Lisaks sellele on Põhjamaades ja Eestis seotud ka teravilja kuivatamine suure energiatarbimisega. Põllumajanduses kasutatavat fossiilset energiat on võimalik asendada bioenergiaga, mis on toodetud kohapeal. Biomassi efektiivsemalt kasutades (nt sõnnik, asulate heitvesi) ja sobivaid taimeliike valides (lämmastikku siduvad taimed,

kattetaimestik) on võimalik asendada mitteorgaanilise väetise kasutust. Teravilja kuivatamisel on võimalik kasutada biokütuseid: biogaas, tahked kütused, teraviljajäägid. Energiakulu saab vähendada ka soojusenergia taaskasutusseadmete ja efektiivsemate juhtimissüsteemide abil.

Fossiilsed kütused, mida kasutavad põllumajandusmasinad, on asendatavad esimese või teise põlvkonna vedelate biokütustega. Tarbitava energia hulka saab vähendada ka ratsionaalsemaid mullaharimismeetodeid rakendades, näiteks vähendades kündmise osakaalu. Energia- ja põllumajandusprodukti toodang peavad olema integreeritud optimaalsesse süsteemi selliselt, et kõik võimalikud tootmiselemendid on kasutatud maksimaalse efektiivsusega. Lisaenergia vajaduste katteks on kasutusele võetavad ka tuule- ja päikeseenergia lokaalsed tootmisressursid. Sellise põllumajandustootmise süsteemi arendamine vähendab oluliselt ka negatiivset mõju keskkonnale.

Kõigi nende tootjate ühiseks omaduseks on ka see, et nende tootmisjäägid jõuavad lõpuks Balti merre. Seega on heitproduktide vähendamine kasulik mõlemale riigile.

### **Energia põllumajanduses**

Energia, mida põllumajanduslikud süsteemid tarbivad, jaguneb kaheks suureks osaks. Esimese nendest moodustab päikeseenergia, mis on vabalt kättesaadav, kuid mille hulk erineb piirkonniti. Teise osa moodustab muu energia, sealhulgas ka taastuvenergia ja meie poolt kasutatavad kohalikud kütused, millel on maksumus ning mis võivad ka otsa saada (joonis 1).

Selle lisatava energia hulka kuuluvad inimeste ja loomade töö, traktorite ja muu tehnika valmistamiseks vajalik energia (Lepa jt 1990, Ahokas ja Mikkola 2007), fossiilsed ja kohalikud kütused, elektrienergia, mürkemiikaalide ja väetiste, söötade ning ehitus- ja muude materjalide tootmiseks kuluv energia.

Paljud inimesed arvavad, et põllumajandustootmise efektiivsus tõuseb

pidevalt: suureneb saagikus, kasvab mehhaniseerituse tase ning väheneb inimitöökulu põllumajandussaaduste tootmiseks. Kuid tegelikult need näitajad ei iseloomusta mitte tootmise efektiivsust, vaid produktiivsuse tõusu.

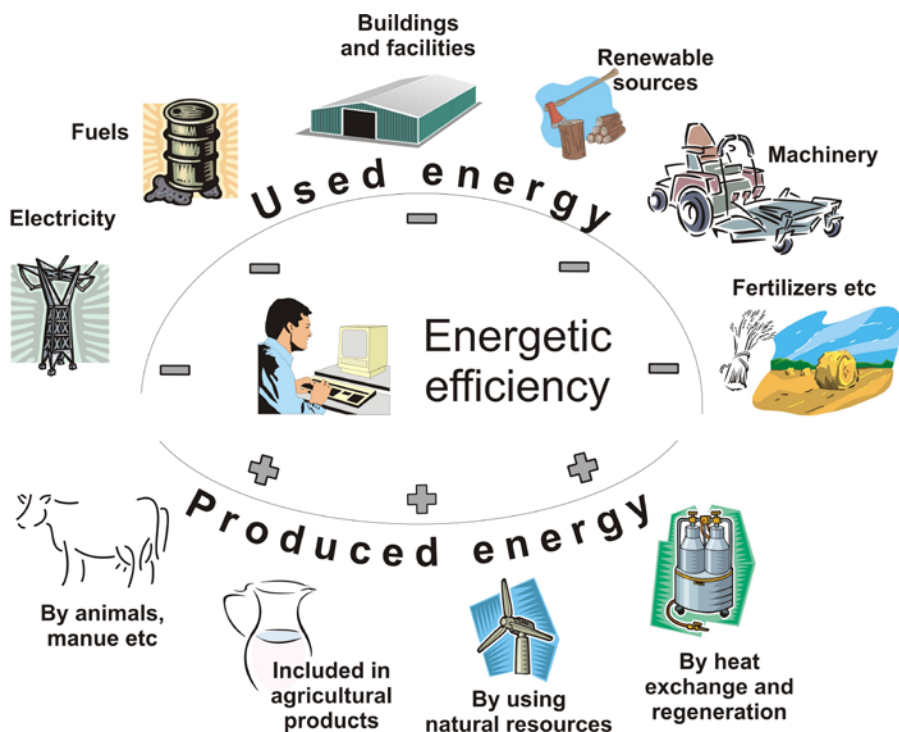
Produktiivsus ehk tootlikkus on töö või toodangu (ka energia) hulk kasutatud aja-, võimsuse-, energia-, massi-, pinna- või muu ühiku, töömasina või töötaja kohta. Efektiivsus ehk tõhusus on aga sisuliselt kasutegur, süsteemist saadud kogu energia või töö ja süsteemi sisestatud kogu energia või töö vaheline suhe ning on alati väiksem ühest, kuna ei eksisteeri reaalseid avatud süsteeme, millel puudub energiakadu.

Energia aspekti silmas pidades peab arvestama, et põllumajandusliku tootmise produktiivsuse kasv nt ühe inimese kohta ei pruugi olla seotud ratsionaalsema energia kasutamisega ning toodetud energia hulk sisestatud energia suhtes võib hoopis väheneda.

Tavaliselt vaadeldakse põllumajandustootjate analüüsi käigus mitut objekti ning nende võrdlusel võetakse arvesse ainult osa energiavoogudest, jättes välja need suurused, mis eksisteerivad üheaegselt kõigil uuritavatel farmidel. Selliseks väljajätavaks suuruseks võib olla näiteks päikeseenergia, mille hulk on antud piirkonnas asuvate farmide korral võrdne. Teine põhjus, miks mõnda suurust ei arvestata, on see, et vastavat komponenti arvatakse avaldavat suhteliselt väikest mõju summaarsele energiabilansile, näiteks inimese tööjõukulu (Darlington 2009).

Kuid juhul, kui osa energiasisendeid on bilansist kõrvaldatud ning ei arvestata ka osa toodetud energiast (nt sõnnik loomapidamises, taimede mulla sisse jäävad osad teraviljakasvatuses), ei saa me nimetada saadavat tulemust efektiivsuseks (kasuteguriks, tõhususeks), vaid ainult tarbimisproduktis sisalduva ja selle tootmiseks kulunud energia suhteks – osaliseks väljund-sisendsuhteks ehk kasuliku energia tootlikkuseks. Arvestades seda, et kõrvaldatava sisendi osakaal võib olla väga suur (päikeseenergia), on saadav tulemus erinevalt kasutegurist tunduvalt suurem ühest.

Kasutades väljund-sisendsuhte mõistet, on mitmed autorid (Conforti ja Giampietro 1997, Steinhart ja Steinhart 1974, Leach 1976) võrrelnud põllumajandustootmist erinevates riikides ja ka põllundussüsteemides. Võrdluse tulemused näitavad, et suhte väärtused on 156 kuni 0,41. Selle skaala kohaselt kasutatakse põllumajanduslikke energiaressursse kõige paremini sellistes riikides, nagu Ghana, Nigeeria, Uganda jt, kus suhte väärtus on 30 ja enam. Arenenud riikides on energia väljund-sisendsuhe põllumajandustootmises alla kahe. Kõige halvema energia väljund-sisendsuhtega põllumajandustootmise haruks on aga intensiivne lihaveiste kasvatus, kus suhte väärtus näiteks Inglismaal ei ületa 0,08 (Darlington 2009).



Joonis 1. Põllumajandusliku tootmissüsteemi energiavood  
Figure 1. Energy flows of agricultural system



Praeguseks ajaks on välja kujunenud mitmesugused põllumajanduslike tootmisüksuste energia kasutamise ja tootmise analüüsi variandid ning lähenemisviisid. Suurem osa uurijatest piirduvad farmi „väravaid” läbivate energiavoogude analüüsiga. Samas on teadlasi, kes leiavad, et selline lähenemisviis ei ole korrektne ning et tuleb arvestada ka põllumajandustoodangu töötlemise süsteemide ning transpordiga.

Ei saa jätta välja ka inimtööjõu kulu, kuna selle taastamisele ja taastootmisele kuluvat energiat arvestades on see suurim energiakulu komponent tootmisahelas. Kui ka mainitud vähearenenud riikides oleks inimtööjõud sama energiakulukas kui arenenud riikides, oleks energia kasutamise väljund-sisendsuhe tunduvalt madalam.

Intensiivne energia ressursside kasutamine ei saa kesta lõpmata kaua, kuna suurem osa fossiilseid kütuseid on juba lõpukorral. Inimkonna üleliigne energia kulutamine võib mõjutada ka kliimamuutusi. Seejuures on ainsaks päikese energiat konserveerivaks protsessiks maakeral fotosüntees, mille võimsus on piiratud.

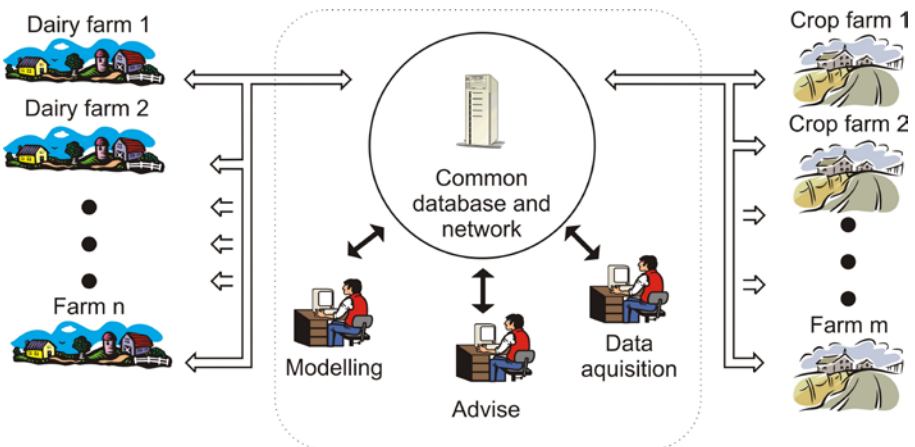
Mõned radikaalsemalt meelestatud teadlased arvavad, et inimkond peaks muutma oma harjumusi ja vähendama liha tarbimist ning seega ka tootmist, suurendades teravilja kasvatust, mis on energeetiliselt kuni kümme korda efektiivsem. Kuid see nõuab ilmselt pikemat arutelu.

Kõiki neid aspekte arvesse võttes võib järeldada: selleks, et iga talunik saaks rohkem tulu oma tootmisest ja samas ei koormaks liigselt oma tegevusega Maa ressursse, ei piisa töö intensiivsuse tõstmisest, vaid on vaja vähendada sisseostetava energia hulka ning püüda suurendada energia tootmist, valides sobivamaid toodanguliike ning rakendades kohalike ressursside muundamist energiaks. See aga pole lihtne, sest hõlmab nii materiaaltehnilisi (tehnika ja tehnoloogia, maa, materjalid, energia), organisatsioonilisi (tootmise korraldus ja juhtimine) kui ka sotsiaalmajanduslikke aspekte (inimkapital, motivatsioon). Üha tähtsam tegur on ka informatsioon.

## Informatsiooni haldamine

Informatsiooni olemasolu tehnoloogiliste protsesside kulgemise ja töomasinate töörežiimide kohta, loomade toodangu hulga, tervisliku seisundi ja elukeskkonna kohta, taimede kasvu- ja hoiutingimuste, saagikuse, väetiste ja herbitsiidide vajaliku hulga ja põllul täpse mulla sisse viimise koha kohta jne võimaldab langetada õiged otsused tootmise tulemuslikkuse suurendamiseks ja ka kasuliku energia tootlikkuse parandamiseks.

Infotehnoloogia saavutused võimaldavad talunikul olla kursis oma valdkonna majandusliku olukorraga, saada vajalikku nõu tootmisalastes küsimustes, tellida kaupu ja seadmeid, teostada finantsilisi operatsioone. Reaalajas laekuvate mõõteandmete olemasolul tehnoloogiliste tootmisprotsesside kohta saab operatiivsemalt reageerida tekkivatele ebasoovitavatele kõrvalekalletele ning vältida suuremaid kahjusid. Farmisisesse infosüsteemi olemasolul saab tagada ka mitmesuguste spetsialistide ja teadlaste osalemise keerukamate probleemide lahendamisel ja uuemate ning paremate töövõtete väljatöötamisel. Käivituvas projektis „ENPOS“ on automaatsel andmehõivel oluline koht (joonis 2).



Joonis 2. Põllumajandustootjate seosed andmebaasidega ja teadusasutustega  
Figure 2. Agricultural producer connections to databases and scientific advisors

### **Kohalikud bio- ja muud energiaallikad**

Talu energeetilise sõltuvuse vähendamiseks sisseostetavatest kütustest ja lõpuks energiat tootvaks üksuseks kujundamiseks on vaja kõigepealt minimeerida põhilise põllumajandustoodangu tootmisel tekkivaid energia- kadusid ning maksimaalselt võtta kasutusele tootmise kõrvalproduktid. Kuna ainult nendest meetmetest ei piisa, tuleb energiat toota just energiatootmise eesmärgil, kasutades põhilisi kohalikke ressursse. Selleks on mitmeid võimalusi.

**Puit.** Nii Eestis kui ka Soomes on halu- ja hakkepuut peamiseks traditsiooniliseks kohalikuks energiaallikaks, mis on kättesaadav suhteliselt väikeste lisakuludega. Metsa ülestöötamisel on võimalik kasutusele võtta kõik kütuseks sobiv puit, kaasa arvatud oksad ja kännud, mida peenestatakse hakkeks.

**Energiavõsa ja -hein.** Energiavõsa kasvatamine ei ole Eestis veel eriti levinud, kuna selle istutamine, koristamine ja töötlemine on kulukas ning õigustab ennast ainult suuremahulise tootmise korral, mistõttu on esialgu üle jõu käiv üksikule talunikule oma tarbeks energia tootmisel (joonis 3). Peale selle on meie kliimatingimustes biomassi juurdekasv siiski



Joonis 3. Võsakoristuskombain CLAAS Jaguar (CLAAS Europe 2009)  
*Figure 3. Wood-chopper CLAAS Jaguar (CLAAS Europe 2009)*

kordades väiksem, võrreldes lõunapoolsemate riikidega, kus see tehnoloogia populaarne on (Itaalia, Iirimaa – raieringid keskmiselt kaks aastat).

Energiaheina kasvatamise tehnoloogia on sarnane söödakasvatusega, kui mitte arvestada pilliroo kasvatamist. Seetõttu võib selline energia saamise viis osutuda sobivaks paljude talude puhul. Küll nõuab see vastavaid lahendusi hoiustamisel ja seadmeid põletamiseks.

**Biodiisil.** Paljudes EL-i riikides, USA-s ja mujal toodetakse juba aastaid õlikultuuride seemnetest biodiislikütust (biodiisil), mida kasutatakse nii traktori- kui ka automootorites. Rapsiseeme on ja jääb ka tulevikus Eestis põhiliseks põllukultuuriks, millest saab toota kvaliteetset biodiislikütust. Rapsiseemnetest biodiislikütuse tootmise kõik kõrvalproduktid on samuti suure väärtusega: šrott (külmpressimisel on selle osakaal 70%) on proteiini- ja energiarikas loomasööt, glütserool on aga pärast puhastamist nõutud tooraine ravimitööstusele.

Biodiislikütust saab toota kohalikust toorainest (rapsiseemned ja toitlustus- ning toiduainetööstuse ettevõtete rasvajäätmed). Selle tootmine võimaldab taaskasutusse võtta sööti jäänud põldusid. Biodiislikütuse põletamisel vabaneb ainult see CO<sub>2</sub>, mille taimed olid võtnud varem atmosfäärist, seega ei mõjuta biodiislikütuse kasutamine kliimat. Biodiisliil on väga väike mootori emissioon (heitgaaside hulk) ning põlemisgaasid on praktiliselt väävlivabad.

Rapsiseemnest biodiislikütuse tootmise kõik kõrvalproduktid on samuti suure väärtusega: šrott (külmpressimisel on selle osakaal 70%) on proteiini- ja energiarikas loomasööt, glütserool on aga pärast puhastamist nõutud tooraine ravimitööstusele. Biodiislikütust saab toota ka toitlustus- ning toiduainetööstuse rasvajäätmetest.

Kõige suuremaks puuduseks biodiisli tootmisel on tehnoloogiliste seadmete keerukus ja suur maksumus, mistõttu on tootmine efektiivne ainult suurte tootmismahtude korral.

**Bioetanool.** Üheks alternatiivseks kütuseliigiks, eriti transpordis, on kindlasti bioetanool. Bioetanool on olemuselt tavaline etanool ehk etüülalkohol. Tänapäeval toodetakse suurem osa bioetanoolist põllumajandusest saadud toormest, nagu mais, nisu, suhkruroog ja suhkrupeet.

Suurimad bioetanooli tootjad on Ameerika Ühendriigid ja Brasiilia. USA energia- ja põllumajandusvalitsuse aruanne näitab, et biomassi hulkselluloosist etanooli tootmiseks on piisavalt suur, et asendada ligikaudu 40% sealsest bensiinikasutusest. Kui põllumajanduses tekkivad jäätmed töödelda ümber etanooliks, oleks sellest märgatav kasu keskkonnale. Peale etanooli on kõrvalsaaduseks kiudaine, mis sobib soojuse ja elektri tootmiseks ning tselluloosist saadud etanooli kasutamisel väheneks kasvuhoonegaaside paikamine keskkonda bensiiniga võrreldes 90% (IOGEN Corporation 2009).

**Biogaas.** Biogaas on igas talus potentsiaalne taastuv energiaallikas. Biogaas on anaeroobse kääritamise teel saadud gaasiline kütus, mis koosneb 50-70% ulatuses metaanist ( $\text{CH}_4$ ), 30-40% süsinikdioksiidist ( $\text{CO}_2$ ) ja teistest komponentidest, nagu  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ . Biogaasi on võimalik saada loomuliku protsessi käigus soodest, rabadest ja prügilatest ning spetsiaalseid kääriteid kasutades sõnnikust, reoveest, rohtsest biomassist ja teistest biolagunevatest jäätmetest. Saadud biogaasi kütteväärtus jääb enamasti vahemikku  $5-7 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ , sõltuvalt metaanisisaldusest, mis omakorda sõltub kääritatava materjali toitainetesisaldusest, niiskusest ja jäätmete tüübist.

Hea näide biogaasi tähtsusest on Austria linn Güssing (umbes 4000 elanikku), kus asub Euroopa taastuvate energiaallikate uurimiskeskus (Europäisches Zentrum für Erneuerbare Energie). Keskuse eesmärk on 2010. aastaks viia kogu linna soojusmajandus ja elektrivajadus üle taastuvatele energiaallikatele.

Biogaasijaam, mis on rajatud 2005. aastal, toodab nii elektri- kui ka soojusenergiat, jaama tootlikkus on vastavalt 500 kW ja 535 kW. Seega on

aasta kogutoodang 4250 MW·h elektri- ja 4500 MW·h soojusenergiat. Gaasi tootmiseks kasutab antud kompleks kohalikke põllumajandusressursse: muru („energiamuru-hein“), maisi, ristikut ja päevalille. Aastase toormassi vajadus on umbes 11 000 t (250 ha). Saadud elektrienergia tariif on paika pandud 13 aastaks: 0,145 €/kW·h ~ 80,69 senti/kW·h. Jaama kogupindala on 4350 m<sup>2</sup>, silode maht 15 000 m<sup>3</sup>, käärimismahuti maht 1500 m<sup>3</sup>, käärimismahuti gaasikogumismembraani pindala 300 m<sup>2</sup>, gaasi tootlikkus 230 m<sup>3</sup>/h. Farmide korral on vajalik võimsus ja vastavate seadmete maht tunduvalt väiksem.

**Tuuleenergia.** Põllumajanduse tarbeks saab kasutada veel ühte lokaalset ressursi – tuuleenergiat. Antud energiaallikas on väga universaalne: ta ei sõltu talu suurusest, kasvavatest kultuuridest, saagikusest jne. Tootmisprotsess on üheastmeline ning sõltub ainult tuule olemasolust ehk ilmastikust. Eestis on üsna head tingimused tuuleenergia kasutamiseks, kuna on palju rannikualasid. Kõige paremad tingimused on Lääne-Eestis, seal on pea kaks korda tuulisem kui teistes Eesti piirkondades. Mereäärsetel aladel on tuul ka stabiilsem. Sisemaal on tuulekiirused madalamad, mistõttu enamik tuulegeneraatoreid nende alade jaoks ei sobi, sest need ei tööta tuulekiirusel alla 4 m/s, nimivõimsuse saavutavad aga alles 13 m/s tuulega.

Väiksema võimsusega generaatorid omavad suuremat kasutegurit madalamatel tuulekiirustel, kuid ka nende puhul peab arvestama, et tuulekiirus kasvab kõrguse suurenemisel. Tuulikute abil toodetud elektrienergiat on kõige lihtsam muundada soojuseks, sest energia salvestamise võimalused on väga piiratud. Tuule tippkiirustel toodetud energiat võib olla liiga palju kohalikuks tarbimiseks, sellisel juhul võib selle lepingu alusel suunata elektrivõrku, kuid sellise võimaluse kooskõlastamine on keerukas.

**Päikeseenergia.** Ka päikese energia on vabalt kättesaadav kohalik ressurss, kuid meie laiuskraadil, eriti talvisel ajal ja ilmastikutingimusi arvestades on praeguste tehniliste lahenduste korral saadav energiahulk tagasihoidlik. Ka siin on saadud energiat kõige parem muundada soojuseks, kuid peamine aasta jooksul toodetava energia osa langeb suvisele

perioodile, kui tegelikult oleks seda rohkem vaja talvel.

### **Kokkuvõte**

Talude energiatootlikkuse tõstmine omab suurt tähtsust põllumajanduse säästva arengu tagamiseks. Selleks on vaja juurutada täppispõllumajanduse elemente, optimeerida toodangu valikut, vähendada tootmisprotsesside energiakadusid energia korduvkasutusele võtmise teel, rakendada tehnoloogiaid kohalike taastuvate energiaressursside kasutamiseks – rohkem toota energiat kohapeal ja vähem osta seda sisse. Nende eesmärkide saavutamise tagamiseks tuleb analüüsida farmisiseseid ja -väliseid energiavoogusid, uurida erinevate tehnoloogiate energiatootlikkust ning töötada välja soovitusel ja vastavad meetmed põllumajandustootjate jaoks.

### **Kasutatud kirjandus**

- Ahokas, J. and Mikkola, H. 2007. A method to include machine manufacturing energy in energy balance analysis. NJF Report. Vol 3, No 4. CLAAS Europe. JAGUAR Wood chopping. Kättesaadav: [http://www.claas.com/countries/generator/cl-pw/en/products/forage\\_harvester/salix/start,lang=en\\_EU.html](http://www.claas.com/countries/generator/cl-pw/en/products/forage_harvester/salix/start,lang=en_EU.html) [27.09.09].
- Conforti, P. and Giampietro, M. 1997. Fossil energy use in agriculture: an international comparison, Agriculture, Ecosystems and Environment vol. 65.
- IOPEN Corporation. Cellulose Ethanol. Kättesaadav: [http://www.iogen.ca/cellulose\\_ethanol/benefits/index.html](http://www.iogen.ca/cellulose_ethanol/benefits/index.html) [27.09.09].
- Darlington, D. What is Efficient Agriculture? The use of land, labour and energy. Vegan Organic Network. Kättesaadav: [http://www.veganorganic.net/index.php?option=com\\_content&task=view&id=52&Itemid=65](http://www.veganorganic.net/index.php?option=com_content&task=view&id=52&Itemid=65) [27.09.09].
- Leach, G. 1976. Energy and Food Production. IPC Science and Technology Press, Guildford, UK.
- Lepa, J., Jürjenson, K., Peets, T. 1990. Põllumajandusliku tootmise energeetiline analüüs. Energiavarustus ja -sääst. Informatsiooniseeria 16. Tallinn, nr 6.
- Steinhart, J. S. and Steinhart, C. E. 1974. Energy history of the U.S. food system. Science, vol. 184.

## ENPOS – ENERGY POSITIVE FARM

Väino Poikalainen<sup>1</sup>, Eugen Kokin<sup>1</sup>, Imbi Veermäe<sup>1</sup>, Jaan Praks<sup>1</sup>, Juri Frorip<sup>1</sup>,  
Merrit Noormets<sup>1</sup>, Jukka Ahokas<sup>2</sup>, Hannu Mikkola<sup>2</sup>, Mikko Hautala<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Estonian University of Life Sciences, Kreutzwaldi 64, 51014 Tartu, Estonia*

<sup>2</sup>*Department of Agrotechnology, P.O. Box 28, FI-00014 University of Helsinki, Finland*

eugen.kokin@emu.ee

Project ENPOS (Energy Positive Farm) is a joint work of Department of Agrotechnology, University of Helsinki and Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Estonian University of Life Sciences in INTERREG IV A framework. It has been approved and starts in the autumn, 2009. The partners to this project are also MTT Agrifood Research Finland and researchers from Institute of Veterinary Medicine and Animal Sciences and Institute of Technology, both from Estonian University of Life Sciences.

The project research is planned at the selected farms in Finland and Estonia. Helsinki University has animal research farm in Helsinki region, MTT Agrifood Research Finland is building energy producing farm in Mid-Finland. In addition to these five farms in different parts of Finland and the same amount in Estonia are selected.

The size of farms and the production technology and routines differ considerably in Finland and Estonia. Farms in Finland are generally small-sized family farms. In Estonia the agricultural farms are more commonly large commercial units. The basis for different production units comparison may be the energy productivity of individual production processes, production units (milk farm, pig farm etc.) and entire farms.

To satisfy the energy needs of farms, additional energy production systems based on bio-energy and other renewable sources should be applied locally.



# PROJEKT „RADAR“ - TEERAJAJA SETOMAAL

Ülo Kask<sup>1</sup>, Martin Kikas<sup>2</sup>  
<sup>2</sup>MTÜ Piiriäärne Energiaarendus  
<sup>1</sup>Tallinna Tehnika Ülikool, Soojustehnika Instituut

## **Annotatsioon**

RADAR projekt – taastuvate energiaallikate alase teadlikkuse tõstmine agro-energeetilise ahela mudelite arendamise abil - oli seitsme partnerriigi 11 partneri koostööprojekt mida kaasrahastati Euroopa Liidu programmist Intelligent Energy–Europe (IEE). Projekt, mis aitab kaasa EL eemärkide „20%-20%-20%“ täitmisele, tõstab kohaliku kogukonna teadlikkust taastuvate energiaallikate kasutamisel.

Projekti tulemusena valmisid kõigis partnerriikide pilootpiirkondades koostöös kolme erineva ülikooliga kohalikku biomassi toormena kasutatavad energiatootmise ahela mudelid.

Artiklilis tutvustatakse detailsemalt Eesti pilootpiirkonnas tehtud tööd. Teiste osalevate riikide vastavad tööd on kättesaadavad projekti kodulehel <http://www.radarproject.eu>. Artiklis kasutatud andmed on võetud projektipartnerite ettekannetest ja raportitest.

*Märksõnad: taastuvenergia, keskkonnateadlikkus, energiatootmisahel.*

## **Sissejuhatus**

Euroopa Liidu programmist Intelligent Energy–Europe (IEE) osaliselt rahastatavas projektis RADAR – taastuvate energiaallikate alase teadlikkuse tõstmine agro-energeetilise ahela mudelite arendamise abil – osales seitse riiki: Itaalia, Suurbritannia, Rootsi, Eesti, Läti, Horvaatia ja Bulgaaria.

Projekti juhtpartner oli Marche Regiooni põllumajanduse-, metsanduse- ja kalanduse osakond (Itaalia), Sviluppo Marche S.p.A (arendusagentuur, Itaalia), Setomaa Valdade Liit (Eesti), Riia Ärijuhtide Kool (Läti), Marche maakonna Energiaagentuur (Suurbritannia), Arenguagentuur North (Horvaatia), Kagu energiaagentuur (Rootsi), Plovdivi energiaagentuur

(Bulgaaria), Marche Polütehniline Ülikool (Itaalia), Tallinna Tehnikaülikool (Eesti), Plovdivi Põllumajandusülikool (Bulgaaria).

Igast riigist valiti välja pilootpiirkond: Bulgaariast Pazardjiki regioon, Lätist Viļāni ja Sokolki vallad ning Viļāni linn, Rootsist Kalmari maakond, Itaaliast Alta Vallesina maakond, Inglismaalt Lõuna-Shropshire West Midlandi maakonnast, Horvaatiast Põhja regioon.

Eestis sai selleks Setumaa - Meremäe, Mikitamäe, Misso ja Värska vallad ning Vastseliina vald väljastpoolt Setumaad.

Projekti tulemusena kaardistati ja kirjeldati pilootpiirkonnas biomassi ressursid ning arendati välja nn agro–energeetilise tootmisahela mudel, mille toimimiseks kasutatakse toorainena kohalikku biomassi.

Käesoleva artiklis käsitletakse mõiste „agro–energeetiline ahel“ all põllumajandusest ja metsandusest saadava biomassi muundamist energiaks mitmete omavahel tihedalt seotud tegevuste (etappide) jooksul.

Projekti kodulehekülje aadress on: <http://www.radarproject.eu>.

### **Projekti eesmärgid**

Projekt eesmärgiks oli kaasa aidata Euroopa Liidu mitmetes direktiivides püstitatud eesmärkide saavutamisele järgnevate tegevuste abil:

- **kodanikualgatuse** mõtte levitamine energiamajanduse valdkonnas;
- **jätkusuutliku energiamajandusega** kogukondade loomine (R-SEC – *Rural Sustainable Energy Communities*) vähearenenud maapiirkondades;

**taastuvate energiaallikate kasutuselevõtmise ja energiatõhususe** meetmete rakendamisele kaasaaitamine projektis osalevates kohalikes omavalitsustes;

- kohalike ettevõtjate ja omavalitsuste spetsialistide/juhtide mobiliseerimine **taastuvate energiaressursside** kasutamise (RES-*Renewable Energy Sources*) ja **energiatõhususe** (RUE-*Rational Use of Energy*) valdkonna arendamiseks ja pinnase ettevalmistamiseks suuremahulisteks investeeringuteks;

- **kohaliku energiaturu** rajamiseks ja energiateenuste osutamiseks soodsate tingimuste loomine, et saavutada piirkonna arenguks vajalik **kriitiline mass**;
- **teadlikkuse, kogemuste ja oskusteabe ülekandmise** edendamine suurema kogemusega piirkonnast väiksema kogemusega piirkonda, koostades selleks **arengukavasid (strateegiad)**, mis kindlustaksid jätkusuutliku arengu kõigis kaasatud maapiirkondades;
- **arendustöö ja taastuvate energiaallikate laialdasema kasutamise** abil energiamajanduse efektiivsuse kasvu soodustamine.

Täiendavalt laiematele keskkonna- ja energiapoliitilistele eesmärkidele oli projektis ka praktilisemad eesmärgid mis toetavad EL energiamajanduse valdkonna direktiivides toodud suundumusi ja tagavad arengut ning lisavad väärtust kogukonnas.

Üks olulisim projekti eesmärk oli piirkonna energiamajanduses tegevusgrupi ehk jätkusuutliku maakogukonna tegevusgrupi (R-SEC, Rural Sustainable Energy Community) moodustamine kõigis partnerriikides ja nendevahelise võrgustiku loomine.

Teise olulise eesmärgi täitmiseks töötati välja üks konkreetne kohalikku tooret (biomassi) vääristav agro–energeetilise tootmisahela mudel. Eelnevalt tuli kõikides pilootpiirkondades kaardistada biomassi ressursside paiknemine, analüüsida nende struktuuri ja mahtu ning kirjeldada põhjalikult piirkonna olukorda. Agro- energeetilistele tootmisahelatele pidi koostama tasuvusanalüüsid.

## **Projekti tulemused**

**Pilootpiirkondade kirjeldus** koosneb pilootala üldistest statistilistest ja energiamajanduse üldandmetest ning biomassi ressursside kirjeldusest, mahtudest ning paiknemisest.

Projekti partnerite erineva metoodika ja kogutud andmete tõttu oli ühtses stiilis ülevaatliku tabeli koostamine võimatu. Riikide detailsed raportid on saadaval projekti kodulehel.

Eesti pilootalal tehtud ressursside uuring on avaldatud ajakirjas „Eesti põlevloodusvarad ja –jätmed“ nr 1-2, 2009, artiklis: Ü. Kask, L. Kask, P. Muiste, A. Padari, A. Astover), „Setumaa ja Vastseliina valla energeetilise biomassi varu“.

Pilootala kirjeldus oli aluseks ka agro-energeetilis(t)e ahela(te) mudeli väljatöötamiseks ja arendamiseks. Agro-energeetilised ahelad valiti vastavalt biomassi liigi olemasolule ning piirkonna vajadustest lähtuvalt. Tähtis oli, et kasutusele võetakse kohalik seni vähekasutatud biomass ning energiatootmise meetod ja tehnoloogia oleksid majanduslikult tasuvad. Ahela valikul on olulisel kohal ka sotsiaal-majanduslikud aspektid (piirkonna tööhõive, kohaliku ressursi vääristamine kohalike ettevõtjate poolt jne).

### **Agroenergeetilised ahelad**

Kolm partnerit - Eesti, Läti ja Suurbritannia - valisid biogaasi ahela, neli partnerit aga puiduenergia ahela.

Soojuse ja elektri koostoomisjaama (SEK) tehnoloogiat ja seadmeid kasutavad neli partnerit - kõik biogaasijaamu arendavad partnerid ja Itaalia (SEK aurutsükli baasil) ning Horvaatias arendati välja puitkütuse termilise gaasistamise tehnoloogia (seadmestik kavatsetakse osata Austriast). Rootsi ja Bulgaaria arendavad puitu ja puitjätmeid kasutavat soojatootmise ahelat. Alltoodud tabelis 1 esitatakse piirkondades valitud ahelad ja energiatootmise viisid ahelates.

*Tabel 1. Ahelate valik ja liigid*  
*Table 1. Selection and classes of agroenergetic networks*

	Puidu- ja energiaahel	Biogaasiahel	Soojatootmine	Koostootmine
Itaalia	X			X
Bulgaaria	X		X	
Läti		X		X
Rootsi	X		X	
Inglismaa		X		X
Eesti		X		X
Horvaatia	X			X

## **OÜ Kimeko biogaasijaama tasuvusanalüüs**

Tasuvusanalüüsi mudeli ja OÜ Kimeko analüüsi koostas Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituudi töörühm eesotsas Ü. Kask'iga. Eestis valitud biogaasiahel töötati välja koostöös OÜga Kimeko ja kohaliku energiamajanduse arendamise kogukonnaga (R-SEC) ning selle esialgseks asukohaks valiti Meremäe küla. Biogaasi tooraineks kasutatakse OÜ Kimeko sigala sõnnikut (ei ole läga, vaid kuiv sõnnik koos allapanuga) ja kohalikel põldudel kasvatatavast rohtsest biomassist valmistatavat silo. Energia toodetakse biogaasist 0,84 MW<sub>el</sub> (elektrilise)võimsusega koostootmisjaamas. Saadud elekter müükase põhivõrgu ettevõttele ja soojus kasutatakse 30% ulatuses omatarbeks ning kohapealses ettevõtluses või müüakse kaugküttevõrku, kui otsustatakse taastada kas Meremäe või Obinita küla kaugküttevõrk. Elektritootmisel tekkiva jääsoojuse kasutamiseks on plaanis ehitada kasvuhooned (kuni 1 ha) köögivilja kasvatamiseks, mis toob piirkonda veel töökohti. Kääritusjääki kasutatakse rohtse biomassi põldudel väetisena.

OÜ Kimeko farm on töötanud 7 aastat ja seal on ametis 8 töötajat. Aastas võetakse vastu 13 000 põrsast. FIRMAL on plaanis rajada ka teine sigala 14 000 loomale Obinita, 7 km kaugusele Meremäest. Farmil on 140 ha maad, millel saaks kasvatada energiakultuure (rohtset biomassi) ja lisaks on võimalus rentida 210 ha juurde. Vajadusel saaks tulevikus veel 200 ha lisaks rentida. Maad asuvad 7-10 km raadiuses kavandatavast biogaasijaamast. Aastaks 2011 on kavas üles kasvatada 100 pealine piimalehmade kari (biogaasi tooraine hulgad tabelis 2).

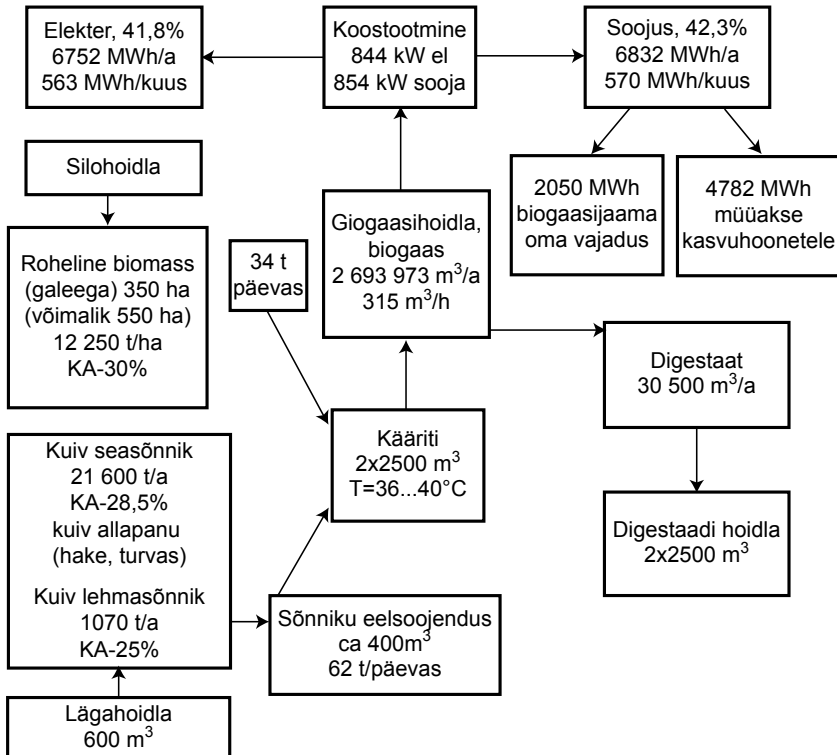
Kavandatavas biogaasijaamas kääratakse tooraine anaeroobses mesofiilses protsessis (35– 37°C) ja saadava biogaasi metaanisisisaldus jääb vahemikku 53-60%. Enne kääritamist segatakse kokku sõnnik ja rohtse biomassi silo. Käärimisprotsess kestab 24-28 ööpäeva. Saadav biogaas juhitakse soojuse ja elektri koostootmiseladmesse, mille elektriline võimsus on 0,844 MW ja soojuslik võimsus 0,854 MW (kasutatakse ottomootorit Jenbacher 412 koos generaatoriga). Muundamise kasutegur on 84% (vt skeemi joonisel 1).

Table 2. Kimeko biogaasijaama tooraine kogused ja saadav biogaasi hulk  
 Table 2. Amount of raw material and acquired biogas in Kimeiko biogas plant

	Tooraine kogus aastas	Biogaas ( m <sup>3</sup> )
Seasõnnik *	21 600 t/aastas	995 653 m <sup>3</sup>
Lehmasõnnik **	1070 t/aastas	81 320 m <sup>3</sup>
Rohtne biomass (silo) oma maadelt	4900 t/aastas	646 800 m <sup>3</sup>
Rohtne biomass (silo) renditud maadelt	7350 t/aastas	970 200 m <sup>3</sup>

\*Meremäe ja Obinita sigalate sõnnik koos allapanuga 50% kogusest

\*\*6 kuud laudas olnud sõnnikust 50% kasutatav



Joonis 1. Kimeko biogaasil koostootmisjaama põhimõtteskeem koos biomassi ja energiavoogudega. (Allikas: Ü. Kase ettekanne TTÜ STI poolt teostatud tasuvusanalüüsist)

Figure 1. Circuit diagram of Kimeiko biogas CHP, including biomass and energy flows (Author: Ü.Kask)

Projekti investeeringu maksumuseks koos projekteerimise ja ehitamisega kalkuleeriti 2,6 mln eurot ehk 40,7 mln krooni, aastaseks jaama käidukuludeks 0,18 mln eurot ehk 2,8 mln krooni ja biomassi varumiseks 0,23 mln eurot ehk 3,6 mln krooni aastas. Aastased käidukulud kokku on 0,41 M€ ehk 6,4 MEEK.

Majandusarvutuste põhivariandi (tabel 3) eelduseks võeti, et 50% ulatuses investeeringust saadakse riigitoetust (KIKi meede), 30% laenatakse, 20% ulatuses kasutatakse omakapitali.

Majandusarvutuste puhul eeldati põhivariandis, et saadakse 50% riigitoetust (KIKi meede), 30% laenatakse, 20% ulatuses kasutatakse omakapitali.

*Tabel 3. Kimeko biogaasijaama majandusarvutused*  
*Table 3. Economic calculations of Kimeiko biogas plant*

<b>Elektri hind</b>	<b>IRR</b>	<b>NPV</b>	<b>tasuvusaeg</b>
EEK/ kWh	%	EEK/ MEUR	aasta
115	8,5	3 988 397 / 0,255	10
133	16,8	14 758 105/ 1,135	7

Lisatingimused: pangalaen 12 aastat, intressimäär 8,15% ja inflatsiooniks võeti 3% aastas.

### **Kokkuvõte**

Kõigi partnerite agro- energeetiliste ahelate elluviimise korral hoitakse aastas ära 22 408 tCO<sub>2</sub> paiskumine atmosfääri, luuakse 37 otsest töökohta ja 296 kaudset töökohta.

Partnerite ahelate tasuvusanalüüside olulisemad tulemused esitatakse tabelis 4.

Koostatud tasuvusanalüüside põhjal võib väita, et projekti „Radar“ käigus arendatud ahelad on jätkusuutlikud, majanduslikult tasuvad ning ellu rakendatavad.

Table 4. Projekti „Radar“ partnerite ahelate näitajad  
Table 4. Network indicators of the “Radar” project partners

Näitaja	Ühik	Itaalia	Bulgaaria	Läti	Rootsi	Inglismaa	Eesti
Välitud CO <sub>2</sub> emissiooni	t CO <sub>2</sub> /aastas	1053	1500	940	113	11 577	7225
Loodud otsete töökohtade arv	arv	16-17	9	4	4	1	2
Loodud kaudsete töökohtade arv	arv	15-25	250	5	0	8	8
Toodetud energia installeeritud võimsuse kohta	MWh/MW	8057	680	8000	420	6895	7944
IRR	%	31,8	33	18,06	-	14,5	8,5
NPV	MEUR	4	2,9	0,97	-	1,64	0,26
Piirkonda jääv raha	MEUR/aastas	0,08	0,74	0,59	0,015	0,71	0,43

### Kasutatud kirjandus

RADAR project application Form.

Ü. Kask, 2009. Agroenergeetilise ahela mudelite alase teadlikkuse tõstmine. Teostatavuse uuring Eesti näitel.- Esitlus „Radari“ lõpukonverentsil.

Ü. Kask. Comparison of Agro-Energetic Chain Models elaborated on the basis of Indicators results. – Esitlus „Radari” lõpukonverentsil.

Projekti „Radar” partnerite raportid.

## PROJECT RADAR- PATHFINDER IN SETOMAA

Ülo Kask<sup>1</sup>, Martin Kikas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tallinn Technical University

<sup>2</sup>NGO Borderland Energy Development

RADAR - Raising Awareness on renewable energy Developing Agro-energetic chain models - has been approved in the framework of the Horizontal Key Actions of the IEE program.

General aim of project is implementation of activities on raising awareness about renewable energies through the creation of Rural Community for the Sustainable Energy (R-SEC) in the Pilot Area.



Project partners are: the Marche Region Agriculture, Forestry and Fisheries Department (Italy), Sviluppo Marche SpA (Italy), Union of Rural Municipalities of Setomaa (Estonia), Riga School of Managers (Latvia), Marches Energy Agency (Great Britain) , Development Agency North (Croatia), South – East Energy Agency (Sweden), Energy agency of Plovdiv (Bulgaria), Marche Polytechnic University, Tallinn University of Technology (Estonia), Agricultural University of Plovdiv (Bulgaria).

Specific aims of RADAR project are:

- To promote the energy citizenship setting up *Rural Sustainable Energy Communities* (Rural SEC) on restricted area and to favor the transfer of knowledge and experience from more experienced communities;
- To favor the establishment of favorable condition for local energy markets and services to reach critical mass;
- To mobilize the local energy actors in order to give significant improvements in the existing levels of RES and RUE and prepare the way for large scale investments;
- To promote the increase of energetic efficiency through the development, the strengthening of renewable energies.

Some practical aims are: to set-up *Rural Sustainable Energy Communities* (Rural SEC) in every pilot area.; to define the Agro-energy chain models on the basis of the data collected during the survey activities; to compose feasibility study which allowed the evaluation of the human, financial and facility resources necessary for the future implementation of the Models.

Project pilot areas where activities was implemented are: Alta Vallesina – Marche Region – IT; South Shropshire - West Midlands – UK; Varaztin County – HR; Vilani town - Rezekne District – LV; Setomaa – EE; County of Kalmar – SE; Region of Pazardjik – BG. All projects outputs are in project website <http://www.radarproject.eu>.

In the article a short description of Feasibility study of Estonian bio-energy chain model for Kimeko farm is given. Kimeko farm has been operating 7 years and there are 8 employees. Farm is receiving 13 000 pigs during a year. Kimeko Ltd is planning to have 14 000 pigs more 7 km away in Obinita village. Farm has land part of which 140 ha could be used for growing energy plants for silage and in addition 210 ha would be rented (in the future 200 ha more could be rented). This land is situated within 7 km from planned biogas plant. By the year 2011 there should be also 100 milk cows. Produced electrical energy would be sold with the higher price of 7.4 Euro cents per kWh to national grid, produced heat would be used for biogas plant (up to 30%) and in greenhouses that would be built by Kimeko Ltd., which would bring extra benefit to the farm and the whole region would have extra jobs or to district heating system which would provide heat to consumers around 1 km away.

With support from State 50% and price of electricity is 7.4 euro cent/kWh like feed-in tariff today the project can achieve to 8.5% internal rate of return and the NPV ~4 MEEK (0.255 MEUR). Discounted payback period is 10 years. As hereinabove was described, there are such incentives schemes in Estonia to get state grant up to 50% from investments cost to bio-energy projects with installed electrical capacity not more than 2 MW. This is the main case of current feasibility study. The results of economical calculations for Kimeko biogas station in Table 3 are presented. Summary of all partners' project indicators is shown in Table 4. In conclusion as shown by feasibility studies of partners all models of agro-energetic chain are sustainable and feasible.

# SUVILA VÕI VÄIKETALU ELEKTRIENERGIAGA VARUSTAMISE ALTERNATIIVSETEST VÕIMALUSTEST LÕUNA-EESTIS

Arvi Olkonen

Väiketalu pidaja, Koigu küla, Otepää vald, Valga maakond

## **Annotatsioon**

Väikese ööpäevase elektritarbega (2-6 kWh) suvilas või väiketalus on võimalik elektrivõrgu toite puudumisel luua autonoomne elektriga varustussüsteem, mis koosneb päikesepaneelidest ja tuulegeneraatorist ning varuna kas bensiini- või diislegeneraatorist.

*Märksõnad: tarbija ööpäevane elektrienergia vajadus, tuulegeneraator, päikesepaneelid, akupank, inverter, bensiini- või diislegeneraator, elektri kWh-hind.*

## **Sissejuhatus**

Juhul, kui suvilas või väiketalus on ööpäevane elektritarve väike (2-6 kWh), elektrivõrgu toide aga puudub või esinevad sagedased häired, tekib elektriga varustamisel vajadus kasutada alternatiivseid võimalusi. Mõningatel juhtudel on alternatiivne ja autonoomne lahendus suvila või väiketalu omanikule sobivam, võrreldes liitumisega Eesti Energia süsteemiga. Arukal tarbimisel peaks keskmine majapidamine saama valguse tupp, veepumba, külmiku, TV ja arvuti tööle tuuliku (2-3 kW) ja päikesepaneelide poolt toodetud elektrienergiaga.

Tõsi, programmi „Valgus tupp“ raames (1) on võimalik taotleda liitumistasu toetust hajaasustuse piirkondade püsielanikel, kellel puudub elektrivarustus. Seejuures on eelistatud need, kellel on vähemalt üks alla 18-aastane laps, kes elab taotlejaga koos. Enne otsuste tegemist kontrollitakse, kas elektrita majad on kõlblikud aastaringseks elamiseks ning kas ehitusregistri andmed elamu kohta vastavad tegelikkusele.

Liitumistasu suurus sõltub soovitud kaitsme suurusest ja liitumispunkti kaugusest lähimast 6–20 kV pingega keskpingeliinist. Kuni 400 meetri kaugusel 6–20 kV liinist saab liituda hinnaga 2100 krooni ampri kohta

(sisaldab käibemaksu). Seega näiteks 20-amprilise kaitsme korral 42 000 krooniga, millele lisanduvad kulud liitumiskilbi paigaldamiseks olemas-olevale liinile ja projektitööd, kui on vajalik uue liini ehitus. Juhul, kui liitumispunkt on 6-20 kV liinist kaugemal kui 400 meetrit, siis sõltub liitumistasu ja peakaitsme suurendamise tasu võrgu väljaehitamiskuludest, milles sageli sisaldub ka tarbija osalustasu alajaamas ning madalpinge liini ehitus ja liitumiskilp koos projekteerimistöödega, moodustades kokkuvõttes sageli poole miljoni krooni ulatuses kulusid.

### **Autonoomne elektriga varustamise süsteem**

Sagedasemad autonoomse elektriga varustamise süsteemi seadmed (2) on esitatud joonisel 1.

Nagu jooniselt nähtub, vajavad sagedasemad alternatiivsed elektrisüsteemid kombinatsiooni järgmistest seadmetest:

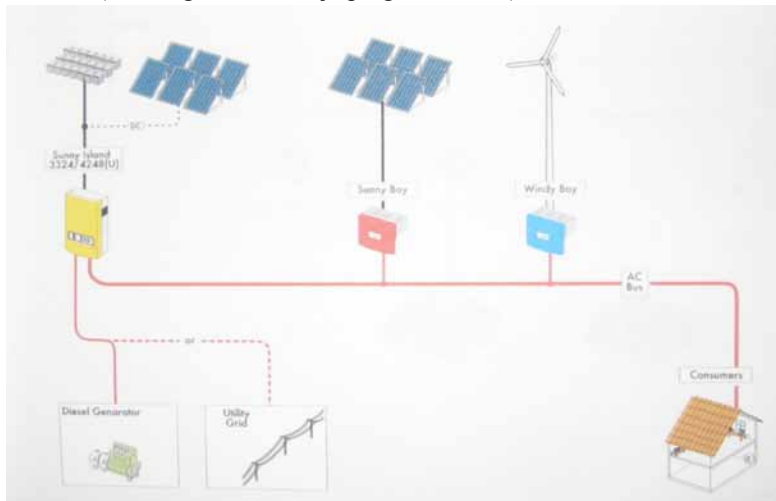
bensiini- või diiielektrigeneraator,

tuulegeneraator koos kontrolleriiga (750-1000 W),

päikesepaneelid koos kontrolleri ja laadijaga (nt 4 x 65 W),

akupank (2-4 spetsiaalakat, 200-400 Ah),

inverter alalisvoolu (nt 24-voldiliselt pingelt) muundamiseks vahelduvvooluks (meil sagedus 50 Hz ja pinge 220 volti).



Joonis 1. Autonoomse elektrienegiaga varustamise süsteemi seadmed

Figure 1. Schematic drawing of alternative sources of electrical energy supply

Minu majapidamine asub Otepää metsasel kuppelmaastikul, kus esinesid sageli elektriliini riketest tingitud elektrivarustuse häired, mis tingis vajaduse uurida ka autonoomseid elektrivarustuse võimalusi.

Sobivate seadmete valikuks on vaja arutada majapidamise ööpäevane elektrienergia kulu. Minu väiketalus tarbivad elektrit järgmised seadmed: majavalgustuse säästulambid 0,4 kWh, külmkapp 3,5 kWh, televiisor 0,5 kWh, raadiotelefon ja arvuti 0,8 kWh ning veepump 0,5 kWh. Kokku see-ga 5,7 kWh ööpäevas (170-180 kWh kuus). Oluliselt vähendaks muidugi elektrikulu väiksem või ökonoomsem külmik.

Minu talu elektrisüsteem on ühenduses Eesti Energia elektrivõrguga ja lisaks on loodud autonoomne elektrivarustuse süsteem. Maja toitekilbist on võimalik lülitada maja elektrisüsteem ümber kas tavalisse (50 Hz 220 V) vooluvõrku või oma ehitatud alternatiivse autonoomse elektrivarustuse süsteemile.

Minu talu alternatiivne elektriga varustamise süsteem koosnebki järgmistest seadmetest ja lisatud on ka nende orienteeruvad soetamishinnad.

1. Varasematel aastatel on soetatud kasutatud diisielektrigeneraator (4,5 kW) hinnaga 18 000 kr (joonis 2).



Joonis 2. Honda mootoriga diislegeneraator (4,5 kW), millel on akutoitega käivitusstarter

*Figure 2. Diesel electric generator 4,5 kW with starter*

2. Tuulegeneraator Fortis Passaat (3), 1000 W, koos kontrolloriga (toodetud Hollandis). Masti kõrgus peab olema vähemalt 15 m, sest 10 m mast ei kindlusta vajalikku tuule tugevust, kuna tuuliseid päevi napib niigi. Soetushind 30 000 kr. (Joonis 3, 4)



Joonis 3. Tuulegeneraator Fortis ülesse tõstmise ja alla laskmise toega vasakul all  
*Figure 3. Windturbine Fortis*



Joonis 4. Tuulegeneraatori kontrolleri, mis paremas näidikus näitab laadimist amprites ja vasakus näidikus laadimist ja aku täituvust voltides  
*Figure 4. Controller for windturbine*

3. On soetamisel kuus 175-vatist päikesepaneeli (kokku 65 000 kr) koos kontrolleri- ja laadimisega (hinnaga 15 000 kr). Nende asemel on võimalik tellida mõne tuhande krooni võrra odavamad ja nõrgemad paneelid S4-80W, kuid neid peaks olema vähemalt 14.

4. Akupank (700 A/h) hinnaga 10 000 kr (joonis 5).

Minu akupank (700A/h) koosneb kuivakudest ja alajaamades kasutatavatest 2-voldistest happeakudest, kuid otstarbekam oleks kasutada spetsiaalrakusid nagu kaatritel.



Joonis 5. Akupank  
*Figure 5. Batteries*

Meil on tarvilusel autodel kasutatav inverter (4) võimsusega 3000 W (7500 kr) (joonis 6), kuid otstarbekam oleks kasutada tööstuslikke invertereid, mis tagavad sobiva elektrivoolu kõikidele elektrimootoritele.



Joonis 6. Autodel kasutatav inverter võimsusega 3000 W, mis muundab alalisvoolu vahelduvvooluks  
*Figure 6. Car inverter 3000 W*

## **Kokkuvõte**

Arvestades seadmete amortisatsiooniajaks 15 aastat, kujuneb autonoomse süsteemi seadmete abil toodetud elektri ühe kWh hinnaks u 4 kr, mis on ligi kolm korda kallim Eesti Energia kWh-hinnast. Kuid teatud juhtudel on taoline tehniline lahendus suvila või väiketalu omanikule siiski sobivam, kui üldvõrgu liini vedamine, millele lisandub liitumistasu.

Minu tuuliku generaatori puudusteks on väike võimsus (1 kW, aga peaks olema 2-3 kW) ning mõningane müra ja labade pöörlemisest tingitud valgusefekt, mis maal üldreeglina probleeme ei põhjusta.

Arukal tarbimisel peaks keskmine majapidamine saama valguse tupp, veepumba, külmiku, TV ja arvuti tööle tuuliku (2-3 kW) ja päikesepaneelide poolt toodetud elektrienergiaga.

Mulle teadaolevalt katsid Otepää kuppelmaastikul paiknevas suvilas, kus puudub üldine elektrivõrk, päikesepaneelid (4 x 65 W) märtsist novembrini 90% voolutarbest.

PRIA pakub põllumajandustootjatele elektrisüsteemide ehitamiseks ning sinna juurde kuuluvate seadmete ostmiseks ja paigaldamiseks investeringutoetust (5).

## **Kasutatud kirjandus**

Oll, S. Elekter pärast 18 aastast võitlust. Maaleht nr 38 (1145), 17. sept 2009.

Innovation in Systems Technology for the Success of Photovoltaics SMA.

Kuikman, J. 1996. Instructions for assembly of Fortis windturbines.

Instruction Manual output power:3000W.

Mikropõllumajandusettevõtte arendamise investeeringutoetus. - Eesti maaelu arengukava 2007-2013. PRIA, meede 1.4.1, 2007, lk 32.



## **ALTERNATIVE SOURCES OF ELECTRICAL ENERGY SUPPLY FOR SUMMER COTTAGE OR SMALLHOLDINGS IN SOUTH ESTONIA**

Arvi Olkonen

Väiketalu pidaja, Koigu küla, Otepää vald, Valga maakond

The article shows a positive example of how it is possible to create autonomous electricity supply system in summer house or cottage with small energy consumption (2-6 kWh/d). The system consists of solar panels and wind turbine and spare petrol or diesel generator.

With this kind of system, in case of depreciation of 15 years, the price of one kWh is 4 Estonian kroons, which is currently three times higher than the Eesti Energia price in the main grid. But in some cases, such solution is more suitable to the owner of small summer house or cottage as the connection to the main grid is very expensive.

Represented solution should provide enough electricity for lightening, water pump, refrigerator, TV and a computer if electricity is used wisely.

# EFEKTIIVNE ENERGIATOOTMINE GE JENBACHERI BIOGAASIMOOTORITEGA

Tiit Kollo  
AS Filter

## Sissejuhatus

Maailma kasvav energiavajadus, vähenevad fossiilkütuste varud ja mure energiapuudusele pärast on arenenud tööstusriike sundinud välja töötama toetusmehhanisme alternatiivsete energiaallikate kasutusele võtmiseks ja arendamiseks. Seetõttu on viimastel aastatel ulatuslikult suurenenud huvi taastuvenergia projektidesse investeerimise vastu. Lisaks tuule ja päikeseenergia kasutamisele pööratakse tõsiselt tähelepanu ka erinevatele biomassi gaasistamise ja biogaasist energia tootmise tehnoloogiatele.

*Märksõnad: Erinevad biogaasid, nende tootmine, biogaasi tootmise efektiivsus, kogemused paigaldatud jaamadest.*

## Erinevad biogaasid, nende tootmine

Biogaasi kasutamise maailmas võib gaasi tootmise seisukohalt jagada nelja suurde gruppi:

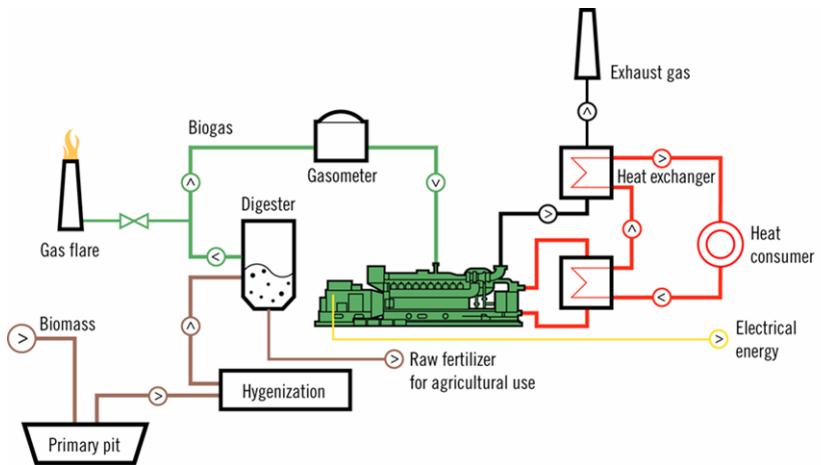
- biomassi anaeroobne kääritamine,
- olmeprügi ladustavates prügilates tekkiv biogaas,
- reovee puhastamise käigus tekkiv biogaas,
- toiduainetööstuse tootmisprotsessides tekkiv biogaas.

Kuna kaks esimest gaasitootmise meetodit on maailmas rohkem levinud kui ülejäänud, siis peatun pikemalt just nendel.

## Biomassi kääritamine

Biomassi võib jagada kaheks: energia tootmiseks kasvatatud taimne materjal ning biolagunevad jäätmed. Biolagunevaid jäätmeid tekib iga-päevaselt arvestatavalt suur kogus erinevates majandussektorites, näiteks põllumajanduses, toiduainetööstuses ning toitlustuses. Selliste jäätmete käitlemine on väljakutse kõikidele jäätmekäitlusettevõtetele. Heaks alternatiiviks komposteerimisele on anaeroobne kääritamine, mille käigus toodetakse biogaasi, mida on võimalik kasutada kütusena näiteks koostootmismootorile. Biogaasi tootmisprotsess koosneb kolmest osast:

biomassi kogumine, kääritamine ning tootmisjäätmete käitlemine. Kõigepealt kogutakse biojätmed mahutisse (*Primari Pit*), kus nendest hävitatakse kahjulikud bakterid. Seejärel transporditakse puhastatud biojätmed kinnisesse kääritusmahutisse (*Digester*), kus toimub anaeroobne käärimisprotsess. Käärimisprotsessi käigus tekivad biogaas ning käärimata jäägid, mida on võimalik kasutada väetisena põldudel. Tekkinud biogaas kogutakse gaasimahutitesse ning sellest toodetakse koostootmismootori abil soojus- ning elektrienergiat.



Joonis 1. Kääritusprotsessi abil toodetava biogaasi kasutamine energiatootmiseks  
Figure 1. Production of energy, using biogas produced using fermentation process

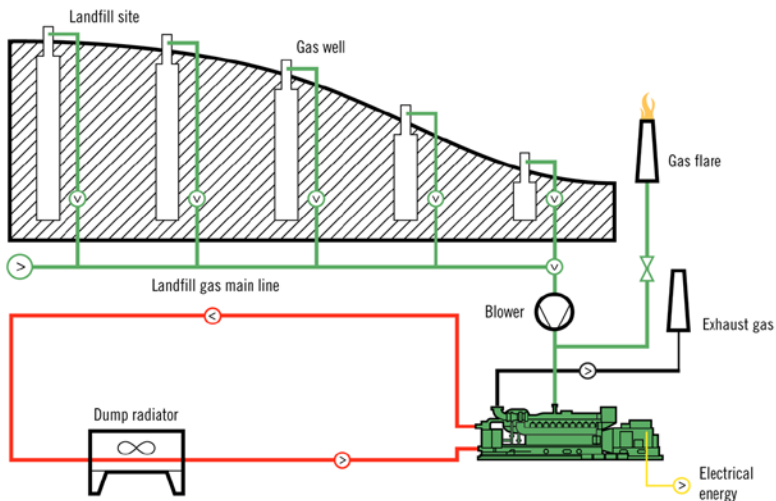
Kääritusprotsessist saadav biogaas koosneb keskmiselt 50-70% metaanist ning 30-50% süsihappegaasist. Kasutades kääritusprotsessi, on biogaasi võimalik toota väga erinevatest jätmetest (sulgudes olev number näitab umbkaudset biogaasi sisaldust  $\text{nm}^3/\text{t}$  niiskes biomassis):

- sõnnik (20-70),
- kodumajapidamistest kogutud biojätmed (10-200),
- taimne biomass, näiteks maisimass või toiduks mittekõlbulik teravili (180-300),
- reovee muda (80-150),
- biojätmed tapamajadest (100).

Sõltuvalt kääritusmahutite suurusest, arvust ning kasutada olevast biomassi kogusest on ühes jaamas võimalik toota väga erinevat biogaasi kogust. Vastavalt biogaasi kogusele on võimalik ehitada väga erinevate suurustega koostootmisjaamu, seega on elektritootmise piiriks praktiliselt ainult kääritamiseks kasutada oleva biomassi kogus.

## Prügilagaas

Olmeprügi sisaldab umbes 150-250 kg orgaanilist süsinikku tonni kohta ning selle ladustamisel hakkab õhu juurdepääsu puudumisel ning erinevate bakterite elutegevuse käigus tekkima prügilagaas. Stabiilse koostisega gaasi tekkimine võtab aega umbes kaks aastat ning seejärel on võimalik alustada prügilagaasi kasutamist kütusena. Gaasi kogumiseks paigaldatakse ladestatud materjali sisse filtertorustikud, millest transporditakse gaas kompressorjaama. Kompressorjaamas tõstetakse gaasi rõhk mootorile sobivaks ning samuti eraldatakse gaasist üleliigne niiskus, mis kondenseerudes põhjustab mootoris korrosiooni ning seeläbi rikkeid ja tööseisakuid.



Joonis 2. Prügilagaasi kogumine ja kasutamine energiatootmiseks  
Figure 2. Collection and usage of landfill gas for energy production

Prügilagaasi koostis ning selle kogus sõltuvad vägagi erinevatest teguritest, nagu prügilasse ladustatav materjal, ladustamiskihi paksus ning tihedus, veesisaldus, õhurõhk jne. Sõltuvalt nendest teguritest on võimalik ühest prügilast ammutada gaasi umbes 15-20 aastat, kuigi kasutatava gaasi kogus langeb pidevalt. Keskmiselt sisaldab üks tonn olmejäätmeid umbes 150-250 nm<sup>3</sup> prügilagaasi ning kui arvestada ühe keskmise prügila ladestusmahuks 1 000 000 t, on võimalik sellisest prügilast kasutada umbes 10 000 000 nm<sup>3</sup> prügilagaasi. Selline gaasikogus on piisav, et toita ära koostootismootor, mille elektriline väljundvõimsus on 1MW.

### **Võtmeküsimused efektiivsuse saavutamiseks biogaasil põhinevas koostootmisjaamas**

Kuna biogaasi tootmisprotsessi ei ole võimalik mootori planeeritud ja planeerimata seisakute ajaks peatada, tähendab iga mootori seisutund kaotust energias ning seeläbi ka rahas. Sellest tulenevalt on ääretult oluline biogaasist energia tootmiseks kasutatava mootori töökindlus ning kõrge kasutegur.

Järgnevalt toon paar näidet selle kohta, kuidas mootori töökindlus ning kõrge kasutegur mõjutavad koostootmisjaama rajamiseks tehtud investeeringute tasuvust.

Koostootmisjaamade planeerimisel võetakse tavaliselt aastaseks töötundide arvuks 8000. Kuid kuna reaalselt on aastas 8760 tundi, on võimalik rahaline võit töötundide arvu tõusust ühes aastas leida järgmise arvutuskäigu abil.

Näiteks on meil koostootmisjaam elektrilise väljundvõimsusega 1 MW. Seega toodab selline jaam iga töötunniga 1000 kWh elektrienergiat. Järelikult tähendab aastaste töötundide arvu tõus 8000-lt 8200-le energia- tootlikkuses võitu 200 000 kWh aastas. Võttes müüdava elektrienergia hinnaks 1,2 EEK/kWh, saame rahalise võidu 240 000 krooni aastas. Sama suur rahaline võit lisandub veel, kui planeerida ja rajada koostootmisjaam tagatud tööajaga 8400 ja enam töötundi aastas.

Lisaks pikemale tööajale aastas mõjutab jaama kasumlikkust otseselt ka kasutatava gaasimootori elektriline kasutegur. Kasuteguri mõju toodetavale energiakogusele on võimalik vaadelda järgmiselt.

Kui meil on jaam, millele biogaasiga antav sisendvõimsus on 2 MW, siis kasuteguriga 40% toodab see jaam tunnis 800 kWh elektrienergiat. Valides gaasimootori elektrilise kasuteguriga 41%, toodame samast biogaasikogusest igas tunnis elektrienergiat 820 kWh, mis aastas (8400 tundi) tähendaks toodetava energiakoguse suurenemist 168 000 kWh, mis omakorda tähendaks rahalist võitu 201 600 krooni aastas.

### **Kokkuvõte**

Kõrgeima efektiivsusega jaama rajamiseks tuleb valida kõrgeima elektrilise kasuteguriga ja maksimaalse tehasevalmidusega koostootmiseseadme ning kogemustega ja hästi toimiva hooldusorganisatsiooniga tarnija.

Näiteid rajatud jaamast.



Pilt 1. Digester ja gaasihoidla Panevezise veepuhastusjaamas  
Picture 1. Digester and gas holder in Panevezis WWTP



Pilt 2. GE Jenbacheri JMS208 gaasimootor Panevezise veepuhastusjaamas.  
Picture 2. GE Jenbacher JMS208 gas engine in Panevezis WWTP

## **EFFECTIVE ENERGY PRODUCTION WITH GE JENBACHER BIOGAS ENGINES**

Tiit Kollo  
AS Filter

Lately more and more people are worried about global warming and energetic safety, so developed countries are forced to workout more and more methods of using renewable energy. As an alternative to solar and wind energy growing area of technology is aimed to produce energy out of biogas.

There are various methods for producing biogas, but two most common methods are production of biogas by anaerobic fermentation of biomass and collection of landfill gas from existing landfills. Biomass can consist of for example biologic waste from agriculture, specially grown energy crops and all other kinds of biological material. Producing biogas by fermentation process gives stabile and high quality biogas, but it needs special facilities for fermentation of biomass. The upper limit of the fuel gas amount is the amount of accessible biomass in the nearby areas and

the size of gas production facilities. Land fill gas is generated in every landfill, which has existed more than three years. It has lower quality than fermentation gas and the quality is not that stable, but collection of landfill gas is cheaper, than building special facilities to produce biogas by fermentation process.

The next step in producing energy from biogas is the cogeneration plant. Two main factors of successful cogeneration plant are availability and high electrical efficiency. Reliable gas engine does not need many service hours and therefore can work more in a year. If it also has higher electrical efficiency, it produces more electric energy in a lifetime from the same amount of fuel gas.

GE Jenbacher gas engine provides you a most profitable biogas plant with best availability, high electrical and overall efficiency and lowest lifetime costs.



# IGAMEHE PÄIKESEKUIVATI: VÄIKSEMÕÖDULISE HELIOKUIVATI RAKENDATAVUSEST PUIDU KUIVATAMISEL EESTI TINGIMUSTES

Andres Ansper  
TÜ VKA, Posti 1, 71004 Viljandi

## **Annotatsioon**

See artikkel on päikeseenergia kasutamisest puidu kuivatamiseks. Antakse ülevaade tööstusliku tehiskuivatuse ning atmosfäärilise kuivatuse plussidest ja miinustest, põhjendatakse odava, energieetiliselt puhta ning väikeettevõtjale sobiliku puidu kuivatamise tehnoloogia vajalikkust ning pakutakse välja heliokuivati kui alternatiivne tehnoloogia. Tutvustatakse helioenergeetika kasutamist tehnoloogilise soojuse tootmiseks ning puidu kuivatamiseks Eestis ja mujal maailmas, heliokuivati tööpõhimõtet ning võimalikke kuivati efektiivsust suurendavaid parendusi.

## **Sissejuhatus**

Tööstuslikud puitmaterjali tehiskuivatamise tehnoloogiad põhinevad fossiilseid kütuseid kasutataval kuivatitel, on seetõttu kulukad (kuni 60% valmistoodangu hinnast võib moodustada kuivatamisele kuluva energia hind), taastumatuid ressursse raiskavad ja keskkonda kahjustavad. Kuigi paljudel juhtudel kasutatakse puidu kuivatamiseks vajaliku soojusenergia saamiseks puidujäätmeid ja selles osas võib neid tehnoloogiaid pidada puhtaks, siis seadmete käitamiseks vajaliku elektrienergia ning seadmetes sisalduvate suure energiamahukusega materjalide osas see nii ei ole.

Olemasolevad tehnoloogiad eeldavad suuri kapitalimahutusi ja toetavad seeläbi tsentraliseeritud suurtootmist, kahjustades nii füüsilist kui ka sotsiaalset keskkonda – esimest tsentraalse tootmise puhul möödapääsmatu transpordimahtude suurenemise kaudu ja teist väikeettevõtjate ja kohaliku majanduse võimalusi kärpides. Väikesi investeeringuid vajav, madalate käituskuludega ja lihtsalt opereeritav puitmaterjali kuivatamise tehnoloogia seevastu loob võimaluse kuivatada väiksemaid partiisid ja annab kohalikele väikeettevõtjatele, metsaomanikele, saakaatritele ja mitmesugustele puidutöötlejatele võimalusi.

Lisaks võimalusele tavapärasest saematerjali sortimenti ise vääristada muudab eelpool toodud tingimustele vastav kuivati tasuvaks ka saematerjali erisortimendi kuivatamise ning tavalise tootmisahela jaoks liiga väikestes kogustes esineva (vääris)puidu kasutuselevõtmise.

Väikemetsaomanike, saekaatrite ja puutöömeistrite kohapealne koostöö puitmaterjali kuivatamisel annab võimaluse laiendada nii puitmaterjali kui ka lõpptoodangu valikut ja tagada kõrget kvaliteeti.

Osaliselt vastab ülaltoodud nõuetele atmosfääriline kuivatus. Atmosfäärilise kuivatuse all peetakse silmas puitmaterjali kuivatamist vabas õhus (Thomassen 1999). Kuivatusviis on väikeste investeerimis- ja käituskuludega, võimaldab kuivatada väikeseid partiisid ja on lihtsalt opereeritav. Kuid atmosfäärilisel kuivatamisel on puuduseid, mis piiravad tema tegelikku rakendamist paljudes olukordades: kuivatamisprotsess ei ole või on väga vähesel määral kontrollitav ning sõltub keskkonningimustest, kuivatusaeg on pikk, kuivatusdefektide tekkimise oht on suur, võimalik madalaim lõppniiskus 20–25% ei vasta tiserikuivale (10-15% niiskust) ega mööblikuivale (6-10% niiskust) puitmaterjalile esitatavatele nõuetele (Reiska ja Meier 2008).

Tehislikud kuivatustehnoloogiad ei sõltu ilmastikutingimustest, kuivatusprotsess on kontrollitav, võimalik on saavutada madalat lõppniiskust, kuivatusaeg on lühem. Tehislike kuivatustehnoloogiate puuduseks on suured investeerimis- ja käituskulud ning taastumatute ressursside kulutamine. Seega oleks vajalik leida vahepealne tehnoloogia, mis võimalikult suurel määral ühendaks endas atmosfäärse ja tehiskuivatuse eelised ja ei sisaldaks kummagi tehnoloogia puuduseid.

### **Heliokuivati**

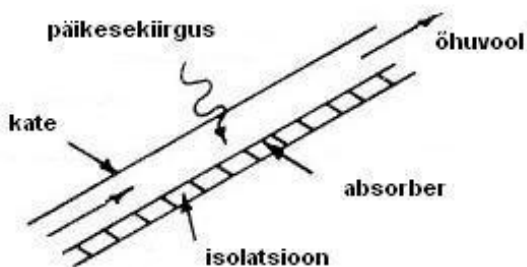
Selliseid omadusi võiks pakkuda tehnoloogia, mis laenab atmosfäärselt kuivatusest puhta ja taastuva energiaallika – päikesekiirguse – ning tehiskuivatusest kontrollitud kuivatuskeskkonna – kuivatuskambri. Tehnoloogiat võiks nimetada helioenergeetiliseks kuivatuseks ning seadet ennast

helio- ehk päikesekuivatiks. Järgnevalt kasutatud terminoloogia on inspireeritud Teolan Tomsoni tööst (Tomson 2000).

USAs on selliste tehnoloogiate uurimine toimunud juba alates 50ndatest aastatest (Wengert 1971) ja kestab tänaseni (Virginia... 2009), samas on paralleelselt toimunud ka heliokuivatite kasutamine ja arendamine praktikas nii USAs (Spring Green, *s.a.*) kui ka meile oluliselt lähemal Suurbritannias (Guest 2003).

Eestis on põhimõtteliselt sama tehnoloogiat päikeseenergia kasutamiseks tehnoloogilise soojuse tootmisel uuritud ja katsetatud heina ja teravilja kuivatamiseks 80ndate lõpus Jaan Miljani eestvedamisel (Miljan 1986, Miljan 1987) ning hiljem Mart Hovi poolt (Hovi *s.a.*), kuid ettepanekuid selle kasutamiseks puidu kuivatamisel ei ole tehtud.

Heliokuivati tööpõhimõte on sarnane konvektiivse kamberkuivati omaga: vee eemaldamiseks soojendatakse puitu kuuma õhuga, aurustunud vesi eemaldatakse kambrist, asendades kõrge niiskussisaldusega õhu madalama niiskussisaldusega õhuga. Põhimõtteline erinevus on selles, kuidas õhku soojendatakse – selleks kasutatakse otsest päikeseenergiat. Kõige lihtsam seade päikeseenergia kogumiseks on õhkkollektor.



Joonis 1. Kaetud plaadiga õhkkollektor. (Allikas: Active Solar Collectors for Farm Buildings. <http://extension.missouri.edu/publications/DisplayPub.aspx?P=G1971>)

Figure 1. Covered-plate type hot-air solar collector (Source: Active Solar Collectors for Farm Buildings. <http://extension.missouri.edu/publications/DisplayPub.aspx?P=G1971>)

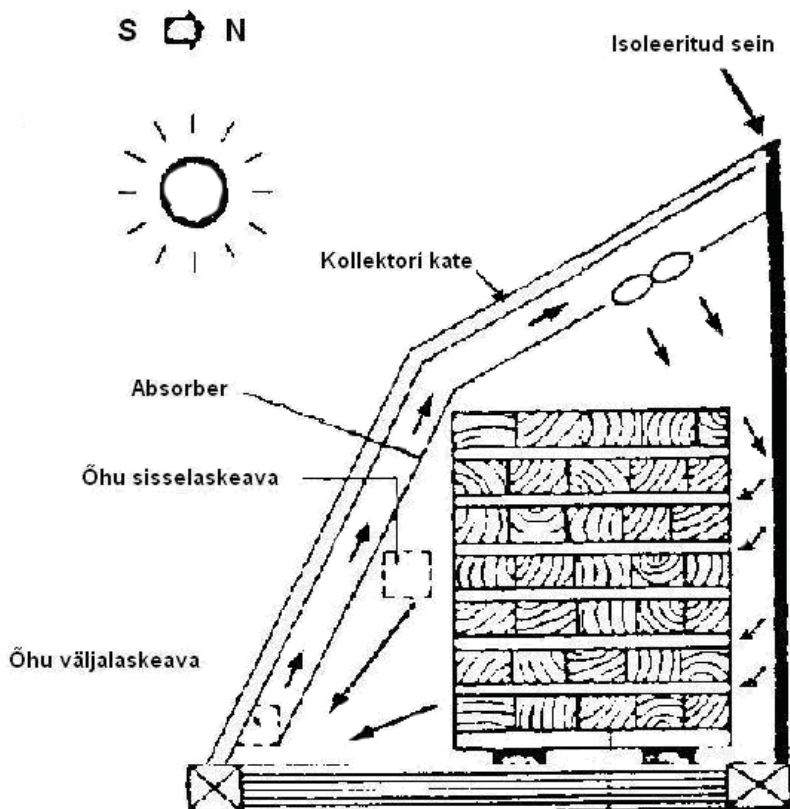
Kollektori välimine osa koosneb ühest või enamast läbipaistva materjali (klaas, kile, pleksiklaas) kihist. Selle osa ülesanne on läbi lasta võimalikult suur osa päikesekiirgusest ja vältida energia tagasikandumist keskkonda infrapunakiirguse ja konvektsiooni teel.

Kollektori sisemine osa on absorber, mille ülesanne on absorbeerida võimalikult suur osa päikesekiirgusest ja muundada see soojusenergiaks. Kõige lihtsam absorber on mustaks värvitud metall- või puitplaat. Energiakadude vältimiseks absorberi tagaküljelt see isoleeritakse. Kollektori välimise ja sisemise osa vahele jäävas kambris üle absorberi tsirkuleeritav õhk soojeneb absorberi mõjul ja see juhitakse kuivatuskambrisse.

Wengert ja Oliveira (*s.a.*) toovad andmed 31 erinevast heliokuivatist üle maailma ja jagavad nad kolme põhitüüpi.

- I. Kasvuhoone tüüpi kuivatitel toimivad kõik välispiirded kollektoritena. Suurte soojakadude tõttu läbi piirete on selliste kuivatite kasutamine mõeldav suure päikesenergia ressursiga kohtades.
- II. Poolkasvuhoone tüüpi (inglise keeles *semi-greenhouse*) kuivatitel toimivad kollektorina lõunapoolne katus ja/või sein. Ülejäänud piirded on isoleeritud, vältimaks soojakadusid. Kollektor on heliokuivati konstruktsiooniline osa: ühest küljest muudab see kuivati ehitamise odavamaks ja lihtsamaks, teisest küljest piirab see kuivati suurust ja jõudlust, kuna kuivatatava puidu kogus ja kuivatamise kiirus on seotud kollektori pindalaga.
- III. Kolmandat tüüpi kuivatitel ei moodusta kollektorid kuivati konstruktsioonilist osa, kõik kuivatuskambri piirded on isoleeritud, vältimaks soojakadusid. Kollektorid paiknevad kuivatuskambrist eraldi, kogutud soojusenergia juhitakse kambrisse soojusülekan-desüsteemi abil. Kuna kollektor ei ole kuivatuskambriga konstruktsiooniliselt seotud, on võimalik ehitada suuremaid ja suurema jõudlusega heliokuivateid ja kasutada lisakütteseadmeid. Samas on seda tüüpi kuivatid konstruktsiooniliselt oluliselt kallimad ja tehnoloogiliselt keerukamad. (Wengert ja Oliveira *s.a.*)

Kättesaadavate infoallikate põhjal on poolkasvuhoone tüüpi kuivati enim kasutatav. Ka kliimaatiliselt ja päikeseenergia ressursilt meile kõige lähemal asuv (Cardigan, Wales, Suurbritannia, 52° 5' 3.01" N, 4° 39' 28.51" W) ja töötav teadaolev kuivati on seda tüüpi (Guest 2003). Pean ka oma eesmärgi – igamehe heliokuivati - jaoks perspektiivikaimaks seda tüüpi kuivati. Esimest tüüpi kuivati ei ole Eesti päikeseenergia ressursi arvestades tõenäoliselt meil kasutatav, kolmandat tüüpi kuivati on tunduvalt keerukam ja kallim.



Joonis 2. Poolkasvuhoone tüüpi heliokuivati. (Allikas: Solar Drying Basics. <http://www.wvu.edu/~agexten/forestry/wooddr1.pdf>)

Figure 2. Semi-greenhouse dryer. (Source: Solar Drying Basics. <http://www.wvu.edu/~agexten/forestry/wooddr1.pdf>)

Igamehe heliokuivati all pean silmas kuivatit, mille ehitusmaksumus on väikeettevõtjale jõukohane, mille ehitamiseks vajalikke materjale on võimalik osta jaekaubandusvõrgust, mille ehitamiseks ja kasutamiseks etteantud jooniste ning juhendite järgi ei ole vaja eriteadmisi – sellega saab hakkama iga mees. Üldehituses levinud odavate materjalide kasutamine aitab alginvesteeringuid vähendada ja vastab seega igamehe kriteeriumile. Samas vähendab kõrgtehnoloogiliste seadmete ja materjalide mittekasutamine kuivati efektiivsust. Odava, kuid võimalikult efektiivse kuivati väljatöötamiseks on vaja erilist tähelepanu pöörata oluliste sõlmede disainile ja nende koosfunktsioneerimisele.

### **Kollektor**

Kollektori poolt toodetava energia hulk sõltub kollektori kattest, absorberist, kollektori suuruselt ja kaldenurgast. Esimesed kaks tegurit on universaalsed, nad ei sõltu kollektori geograafilisest asukohast ja nende valikul võib lähtuda mujal maailmas tehtud uurimustest. Viimased kaks tegurit on unikaalsed ja meie tingimustesse sobivaima lahenduse leidmiseks tuleb läbi viia vastavad helioenergeetilised arvutused. Kuna kollektor moodustab poolkasvuhoone tüüpi heliokuivati konstruktsioonilise osa, siis selle suurus ja kaldenurk määravad oluliselt kuivati disaini.

### **Ventilatsioon**

Kuivati efektiivsus sõltub kollektori poolt toodetud energia kasutamise efektiivsusest. Igamehe heliokuivati puhul kasutatakse soojuse edasikandmiseks kollektorist kuivatatava puiduni ning puidust eralduva niiskuse eemaldamiseks kuivatist õhku. Seega on tegemist ventilatsioonialase ülesandega. Esialgsel konsultatsioonil ventilatsiooniinsener A. Viilupiga on selgunud, et olemasolevate kuivatite (Wengert ja Oliveira *s.a.*) juures ei ole ventilatsioonilahendused hästi läbi mõeldud ja on võimalik leida kuivati efektiivsust suurendavaid lahendusi (eravestlus, september 2009).

### **Soojustus**

Kuivati efektiivsus sõltub sellest, kui hästi suudetakse vältida soojakadusid läbi kuivati seinte. Olemasolevate kuivatite puhul on rõhutatud seinte ja põranda isoleerimise tähtsust, kuid ühelgi juhul ei ole pööratud tähele-

panu kollektori isoleerimisele. Kollektori isoleerimine annab võimaluse soojakadude vähendamiseks ja kuivati efektiivsuse suurendamiseks.

### **Kokkuvõte**

Helioenergeetika kasutamist tehnoloogilise soojuse tootmiseks on Eestis vähe uuritud ja helioenergeetikat vähe kasutatud. Samas on meie helioressurss võrreldav kohtadega, kus helioenergeetikat sel eesmärgil edukalt kasutatakse, muuhulgas ka puidu kuivatamiseks. Igamehe heliokuivati aitaks kaasa kohalikele arengule, suurendaks väikeettevõtjate konkurentsivõimet, parandaks metsaressursi kasutust ja aitaks kaasa säästva ning loodushoidliku mõtteviisi levikule.

### **Kasutatud kirjandus**

- Guest, J. 2003. An introduction to drying wood using a Solar assisted kiln. [http://www.jonathan-guest.co.uk/Solar\\_Kiln\\_Presentation/Solar\\_Kiln\\_Presentation\\_2003\\_files/frame.htm](http://www.jonathan-guest.co.uk/Solar_Kiln_Presentation/Solar_Kiln_Presentation_2003_files/frame.htm) (27.09.09)
- Hovi, M. 2003 Päikeseenergia ja kuivatamine. <http://www.eau.ee/~mhovi/kuiv/paike/> (27.09.09)
- Miljan, J. 1986. Päikesekollektor heina kuivatama. - Sotsialistlik Põllumajandus nr 13, lk 19-20.
- Miljan, J. 1987. Päikesekuivati. - Sotsialistlik Põllumajandus nr 14, lk 17-18.
- Reiska, R., Meier, P. 2008. Puidu kuivatamine. Tallinn: TTÜ Kirjastus.
- Solar Cycle Lumber Dry Kilns s. a. Spring Green Timber Growers LLC. <http://www.timbergreenforestry.com/Solar%20Cycle%20Kilns.html> (27.09.09)
- Thomassen, T. 1999. Puidu kuivatamine: praktiline käsiraamat. Tallinn: Metsamet.
- Tomson, T. 2000. Helioenergeetika. Tallinn: Humare.
- Design and Operation of a Solar-Heated Dry Kiln. 2009. Virginia Polytechnic Institute and State University. [http://www.woodscience.vt.edu/about/extension/vtsolar\\_kiln/](http://www.woodscience.vt.edu/about/extension/vtsolar_kiln/) (27.09.09)
- Wengert, E. M. 1971. Improvements in solar dry kiln design. USDA Forest Service <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrn/fplrn212.pdf> (27.09.09)

Wengert, E. M., Oliveira, L.C. s.a. Solar heated, lumber dry kiln designs.  
[http://www.woodweb.com/knowledge\\_base/Solar\\_Kiln\\_Designs\\_1.html](http://www.woodweb.com/knowledge_base/Solar_Kiln_Designs_1.html) (27.09.09)

**IGAMEHE PÄIKESEKUIVATI: VÄIKSEMÕÕDULISE  
HELIOKUIVATI RAKENDATAVUSEST PUIDU KUIVATAMISEL  
EESTI TINGIMUSTES**

Andres Ansper  
TÜ VKA, Posti 1, 71004 Viljandi

This article is about using solar energy for drying wood. Overview is given on positive and negative aspects of industrial kiln-drying and atmospheric drying methods, necessity for method that is cheap, clean and suitable for small businesses is pointed out and solar wood dryer is proposed as alternative, intermediate technology. Overview is given on history of using solar energy for producing technological thermal energy and drying wood in Estonia and other countries, working principles of solar wood dryer and possible improvements in design of solar dryers.



# BIOMASSI EELTÖÖTLEMISE TEHNOLOOGIAD BIOGAASI JA TEISTE KÜTUSTE TOOTMISEKS

Andres Menind, Rainer Olesk  
EMÜ tehnikainstituut, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu  
e-post: andres.menind@emu.ee, rolesk@emu.ee

## **Annotatsioon**

Töös on välja toodud ja klassifitseeritud moodused biomassi ja energia-kultuuride eeltöötlemiseks, et saavutada nende kõrget kasutamiseefektiivsust. Mõnede lignotselluloosirikaste kütuste puhul on tarvilik materjali struktuuri lõhkumine ja fraksioneerimine. Kirjeldatud on mitut viisi biomaterjalide ettevalmistamiseks biogaasi ja bioetanooli tootmiseks, tahedad osised ehk niinimetatud presskook on sobilik briketeerimiseks. Samuti käsitletakse lignotselluloosirikka materjali eripära, töötlemisviiside mõju ja problemaatikat.

*Märksõnad: eeltöötlemine, lignotselluloos, biomass, efektiivsus, meetodid.*

## **Sissejuhatus**

Uuring on suunatud võrdlusele, selgitamaks välja erinevatest eeltöötlemise meetoditest sobilikemad ja efektiivsemad. Mööda ei saa eeltöötlemisel minna kalkulatsioonist, mis tooks välja saavutatud lisaväärtuse, võrreldes eeltöötlemiseks kulutatud väärtustega. Kuni 400 000 ha maad Eestis otseselt ei kasutata. Loomulikult ei ole kogu seda maad võimalik ega ka otstarbekas kasutusele võtta, kuid kindlasti leiaks kasutusvõimaluse korral rakenduse osale sellest, nagu ka sellele osale, millele on kulutused niiteks ja kogumiseks juba tehtud. Sellisteks maadeks on looduskaitsealade majandamisel olevad maad. Pool mittekasutatavast maast võiks leida kasutust. Kuna looduskaitsealade majandamise nõuetest (üks hiline niide) tulenevalt ja mõningatel juhtudel ka teised rohumaadelt kogutud biomaterjalid võivad olla suure lignotselluloosi sisaldusega, on tarvilik eeltöötlemine, et ära kasutada võimalikult suur osa sellise biomassi energiapotentsiaalset. Kohaliku materjali energiapotentsiaali ja omaduste täpseks kirjeldamiseks on tarvilikud katsed, mille läbiviimise baasi loomiseks on astunud rida samme.

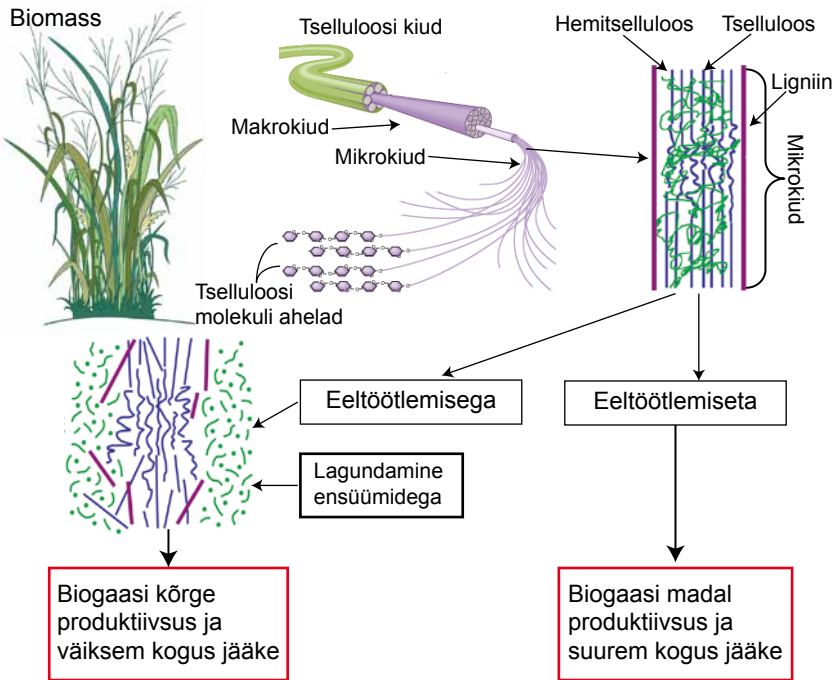
## Materjalide eripära, meetodid ning probleemid

Kuidas ära kasutada lignotselluloosirikkas materjalis sisalduvat energia-  
potentsiaali?

Vaatluse all on biomassi mehhaanilised, füüsilised, keemilised, bio-  
loogilised ja eelpoolnimetatud meetodite kombinatsioonidega töötlemise  
viisid.

### Tselluloosi kristallilisus

Tselluloosi mikrofiberstruktuuris sisalduvad nii kristalse kui ka amorfse  
struktuuriga piirkonnad. Peamine osa tselluloosist (umbes 2/3 kogu tsel-  
luloosist) esineb kristalsel kujul. Kristalsel kujul esinev tselluloosi osa  
on ensüümide poolt raskesti lagundatav. Lõhustades tselluloosi kristalse  
struktuuri, suurendame oluliselt selle kääritatavust.



Joonis 1. Lignotselluloosirikka materjali lagundamine eeltöötlemisega.  
Figure 1. Decomposing lignocellulosic material with pretreatment.

### **Eeltöötlemise ja lisandite vajalikkus**

Tselluloosirikka rohtse massi eeltöötlemine koos lisandite lisamisega suurendab biogaasi toodangut, vähendab jäätmeid, suurendab materjali lagunevust ja lõhustab selle jäika polümeerset struktuuri. Suureneb oluliselt mikroorganismide juurdepääs lagundatavatele ainetele.

### **Lignotselluloosirikka materjali töötlemise viisid**

Järgneval lehel toodud tabelis on loetletud töötlemisviisid, mis on võime- lised eraldama hemitselluloosi ja seoses sellega võimaldavad ulatusliku- mat ensümaatilist hüdrolyüsi.

### **Probleemid: tasuvus, toksilisus**

Eeltöötlemisele ja lisanditele tehtud kulutused peavad olema kaetud lisa- kasuga, mis saavutatakse lisandite ja eeltöötlemise tulemusena. Alustega töötlemisega võivad kaasneda mõningad probleemid: seebistumisprotses- sis võib tekkida toksilisi ühendeid.

### **Tselluloosi kättesaadavast eripindalast tulenev efekt**

Ulatusliku ensümaatilise hüdrolyüsi kindlustamise üheks võtmetegu- riks on tselluloosi kättesaadava eripindala suurendamine. See on või- malik vaid ligniini ning hemitselluloosi eraldamise ja purustamise läbi. Enamasti on kuiv tselluloosifiber väikeste mõõtmetega - ligikaudu 15-40 µm - ja omab seejuures arvestatavat välist eripindala, jäädes vahe- mikku 0,6-1,6 m<sup>2</sup>/g.

### **Ligniini ja hemitselluloosid**

Tselluloos ja hemitselluloos on struktuuris ühendatud ligniini kaudu. Ligniini ülesandeks on tagada taimes ühtsus ja struktuuri jäikus, samuti hoiab ligniin ära lignotselluloosi paisumise. Lagundamata ligniin toimib samuti inhibiitorina juurdepääsul ainetele, nagu tsellulaas, ksülanaas ja glükosidaas. Ligniini mõju inhibiitorina on erinevate ainete puhul mõneti varieeruv. Parema hüdrolyüsimäära saavutamine ligniini eraldamisel on seletatav materjali aktiivse eripinna suurenemisega ensüümide jaoks ja samuti on abiks materjali poorsuse kasv.

Table 1. Lignocelluloosirikka materjali töötlemise viisid  
Table 1. Pretreatment methods for lignocellulosic material

Eeltöötlemise meetod	Protsessid	Võimalikud muutused biomassis	Märkused
<b>Mehhaaniline</b>	<b>Purustamine Jahvatamine</b>	- ligipääsetava pinna pindala kasv	- nõuavad rohkelt energiat
<b>Mitte-mehhaaniline</b>	<b>Kiiritamine:</b> - elektroniirega kiiritamine - mikrolainetega kiiritamine <b>Muud:</b> - ultraheliga - elektriimpulssidega	- ligipääsetava pinna pindala ja pooride suuruse kasv - tselluloosi kristalsuse vähenemine - polümerisatsiooniastme vähenemine	- ei ole soovitatav kasutada tööstuslikuks rakendamiseks - need meetodid ei nõua üldiselt kemikaale
<b>Termiline</b>	<b>Eelsoojendamine Plahvatamine:</b> - auruga plahvatamine - AFEX <b>Kuuma veege eeltöötlemine</b>	- ligipääsetava pinna pindala kasv - osaline või täielik ligniini eemaldamine - polümerisatsiooniastme vähenemine - osaline või täielik hemselluloosi hüdroolüüs	- nõuab karme tingimusi - tavaliselt suur töötlemiskiirus - majanduslikult otstarbekas
<b>Keemiline</b>	<b>Leelisege eeltöötlemine Happege eeltöötlemine Oksüdeerivate ainetega eeltöötlemine:</b> - määrg oksüdeerimine - ülikriitiline määrg oksüdeerimine - osooniga töötlemine	- osaline/täielik ligniini eemaldamine - ligniini efektiivne lagundamine - polümerisatsiooniastme vähenemine - osaline või täielik hemselluloosi hüdroolüüs	- nõuavad kemikaale - tavaliselt suur töötlemiskiirus - need meetodid on kõige tõhusamad ning on paljutootavad tööstuslikuks rakendamiseks
<b>Biooloogiline</b>	<b>Ensüümide lisamisega Mikroorganismidega:</b> - seente ja kiirikseentega	- ligniini eemaldus - tselluloosi polümerisatsiooniastme vähenemine - osaline hemselluloosi hüdroolüüs	- madal energiakulu - ei nõua kemikaale - väga aeglane töötlemiskiirus - ei ole majanduslikult kasulik

Hemitselluloos on füüsiline barjäär, mis ümbritseb tselluloosifibrit ja kaitseb tselluloosi ensümaatilise töötlemise eest. Paljud eeltöötlemise viisid on võimelised eraldama hemitselluloosi ja seoses sellega tegema võimalikuks efektiivsuse olulise kasvu ensümaatilisel hüdrolüüsil.

### **Võimalikest tagasilöökidest eeltöötlemisel**

Peamisteks tagasilöökideks mõnede eeltöötlemismeetodite puhul, eriti madala pH korral, on erinevate inhibiitorite (karboksüülhape, furaanid, fenoolsed ühendid) tekkimise võimalus. Need ühendid ei pruugi ensümaatilist hüdrolüüsi mõjutada, kuid enamasti takistavad nad mikroorganismide kasvu ja kääritamist, mille tulemuseks on biogaasi või etanooli saagikuse langus. Seetõttu tuleks hapetega töötlemist kasutada põhjendatult ja kontrollitult, et vältida nende ühendite teket või vajadusel need redutseerida.

### **Kokkuvõte**

Saavutamaks tselluloosi ja ligniinirikaste materjalide eeltöötlemise puhul kirjeldatud eeliseid ning elimineerimaks töötlemise käigus tekkivaid võimalikke probleeme, peame hoolikalt valima sobilikke meetodeid ja läbi viima ka vajalikke katseid kohaliku materjaliga.

Efektiivne ja majanduslikult tasuv eeltöötlemine peab vastama järgmistele kriteeriumitele: tselluloosi ja hemitselluloosi liigest destruktureerimisest hoidumine; võimalike inhibiitorite, mis takistaksid ensümaatilist hüdrolüüsi ja hilisemat mikroorganismide elutegevust, tekke vältimine; minimaalsed eeltöötlemisele tehtud energiakulutused; töötlemisele, kulumaterjalidele ja eeltöötlemise seadmetele tehtud kulutuste katmine; jäätmevabadus võimalikult suurel määral; kemikaalide võimalikult vähene või sootuks mittekasutamine ning kemikaalide optimaalne maksumus.

Mitmete veskite kasutamisega kaasnevad suured kulutused mahukale energiatarbele ja samuti pole kõik kirjeldatud viisid piisavad, et purustada ligniini, mis tõkestab ensüümide juurdepääsu tselluloosile või aeglustab seda protsessi märkimisväärselt.

Viies läbi uuringut enim potentsiaali omavatel viisidel, nagu füüsilised, keemilised ja füüsilis- keemilised meetodid, on vajalik vaadelda ka materjali fraktsioneerumist ja materjali jaotust pressimisel; vedela osise keemilist kompositsiooni ja kääritatavust; presskoogi keemilist koostist, bri-keteeritavust ning põletatavust (tuha sulamise karakteristikud); erinevate töötlemisviiside efektiivsust ja tasuvust.

### **Kasutatud kirjandus**

- Taherzadeh, M. J., Karimi, K. 2007. Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: A review. *BioResources*, 2, 472-499.
- Taherzadeh, M. J., Karimi, K. 2007. Enzymatic-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: A review. *BioResources*, 2, 707-738.
- Ghosh, S., Henry, M. P., Sajjad, A., Mensinger, M. C., Arora, J. L. 2000. Pilot-scale gasification of municipal solid wastes by high-rate and two-phase anaerobic digestion (TPAD). *Water Sci. Technol.*, 41, 101-110.
- Buffiere, P., Loisel, D., Bernet, N., Delgenes, J. P. 2006. Towards new indicators for the prediction of solid waste anaerobic digestion properties. *Water Sci. Technol.*, 53, 233-241.
- Ha, M. A., Apperley, D. C., Evans, B. W., Huxham, I. M., Jardine, W. G., Victor, R. J., Reis, D., Vian, B., Jarvis, M. C. 1998. Fine structure in cellulose microfibrils: NMR evidence from onion and quince. *Plant J.*, 16, 183-190.
- Taherzadeh, M. J., Keikhosro, K. 2008. Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review, School of Engineering, University of Borås.
- Lavarack, B. P., Giffin, G. J., Rodman, D. 2002. The acid hydrolysis of sugarcane bagasse hemicellulose to produce xylose, arabinose, glucose, and other products. *Biomass Bioenerg.*, 23, 367-380.
- Taherzadeh, M. J. 1999. Ethanol from lignocellulose: physiological effects of inhibitors and fermentation strategies. - Ph.D thesis in Biotechnology, Chemical Reaction Engineering, Chalmers University of Technology.

- Palmqvist, E.; Hahn-Hägerdal, B. 2000. Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. II: Inhibitors and mechanisms of inhibition. *Biore-source Technol.*, 74, 25-33.
- McMillan, J. D. Pretreatment of lignocellulosic biomass. In *Enzymatic Conversion of Biomass for Fuels Production*; Himmel, M. E., Baker, J. O., Overend, R. P., Eds.; ACS: Washington DC, USA, 1994, 292-324.
- Tassinari, T., Macy, C. 1977. Differential speed two roll mill pretreatment of cellulosic materials for enzymatic hydrolysis. *Biotechnol. Bioeng.*, 19, 1321-1330.
- Yang, B., Wyman, C. E. 2004. Effect of xylan and lignin removal by batch and flowthrough pretreatment on the enzymatic digestibility of corn stover cellulose. *Biotechnol. Bioeng.*, 86, 88-95.

## **PRETREATMENT OF BIOMASS AND ENERGY CROPS FOR BIOGAS PRODUCTION AND OTHER FUELS**

Andres Menind, Rainer Olesk  
Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology  
Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu, Estonia  
E-mail: andres.menind@emu.ee, rolesk@emu.ee

The aim of the present research has been to determine ways for pretreatment of biomass and energy crops to get best efficiency using biomaterials, straight or fractionately, suitable for biogas and biofuels production. There are many ways to produce biogas and ethanol from lignocellulosic material. The following review of methods describes procedures of biogas and ethanol producing using different technics of pretreatment.

# ANAEROOBSE KÄÄRITAMISE TEHNOLOOGIA JA JUHTIMISE ARENDAMINE EESTIS PILOOTSEADMETEGA

A. Normak<sup>1</sup>, E. Jõgi<sup>2</sup>, T. Leydier<sup>1</sup>, M. Luna del Risco<sup>1</sup>, H-C. Dubourguier<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Eesti Maaülikool, Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

<sup>2</sup>Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut

Kreutzwaldi 1, 51014, Tartu, e-meil: argo.normak@emu.ee

## **Annotatsioon**

Artiklis antakse ülevaade anaeroobse kääritamise protsessi juhtimise alaseks teadustööks arendatavast aparatuurist Eesti Maaülikoolis. Arendatavad katseseadmed võimaldavad uurida biogaasi tootmise tehnoloogiat ning arendada selle juhtimist ja automaatikat väiksemahulistel pilootseadmetel. Projekti eesmärgiks on anaeroobse kääritamise tehnoloogia, juhtimise ja automaatika arendamine.

*Märksõnad: anaeroobne kääritamine, biogaas, protsessijuhtimine, automaatika.*

## **Sissejuhatus**

Anaeroobse kääritamise tehnoloogia on maailmas laialdaselt kasutatud biometaani tootmiseks, jäätmete ümbertöötlemiseks ja sõnniku neutraliseerimiseks. Viimasel ajal on palju tähelepanu pööratud anaeroobse kääritamise teel biometaani tootmisele ning selle muundamisele kaasaegsetes biogaasijaamades. Näiteks Saksamaal kasutatakse biogaasijaamades laialdaselt substraadiks (kääritav bioloogiline materjal) rohtset biomassi nt maisisilo ja sõnnikut. Välja on arendatud terve põllumajandusel baseeruv energeetika haru, mis muundab rohtse biomassi ja põllumajanduslikud jäätmed biogaasiks, mis omakorda sisaldab ca 60% energeetikas või transpordis kasutatavat gaaskütust metaani.

Anaeroobset kääritamist on uuritud aastakümneid, kuid probleemid protsessi jälgimise ja juhtimisega on siiani lahendamata. Põhjuseks on soodsa hinnaga usaldusväärsete mõteseadmete puudumine andmaks piisavalt infot protsessi biokeemiliste näitajate kohta. Anaeroobse kääritamise tehnoloogia efektiivsust saaks suurendada, leides võimalused protsessijuhtimise parandamiseks.

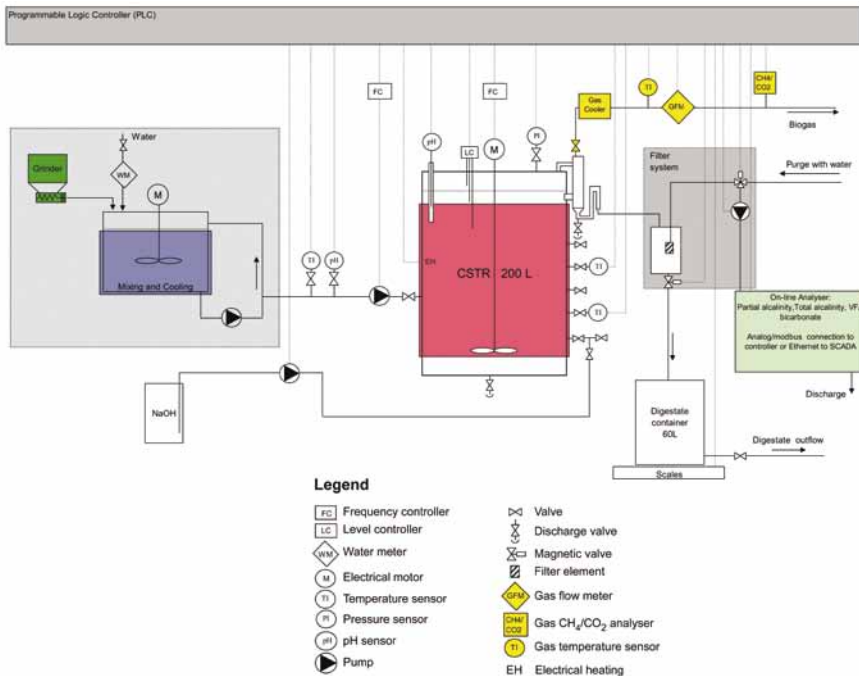


Vastavasisuliste uurimistööde läbiviimiseks alustati 2008. aastal Eesti Maaülikoolis biogaasi pilootseadmete projekteerimist ja laboratooriumi sisustamist. Loodi 200 liitrise aktiivmahuga kääriti prototüüp koos vajalike abiseadmete, juhtimisautomaatika ja mõõteinstrumentidega. Üks valminud mobiilse katseseadme komplekt on näidatud fotol 1. Seda tüüpi seadmeid on plaanis ehitada kolm komplekti, et panustada rakendusuuringutesse ning selgitada välja erinevate kääritite tehnoloogiliste lahenduste rakendamise võimalusi kohalike jäätmete ja energiakultuuride väärastamisel biometaaniks.



Foto 1. Biogaasi pilootseade Eesti Maaülikoolis  
Photo1. Biogas pilot in Estonian University of Life Sciences

Projekti eesmärk on luua anaeroobse kääritamise pilootkatseseadmed ning varustada need kaasaegsete abiseadmete, tööstusautomaatika ja SCADA (süsteemi juhtimise ja andmehõive süsteem) programmiga. Pilootseadme põhimõtteskeem on toodud joonisel 1.



Joonis 1. Biogaasi pilotseadme põhimõtteskeem.

Figure 1. Principal scheme of biogas pilot.

Katseseade koosneb paljudest erinevatest seadmetest, milleks on:

- kääriti;
- kääriti abiseadmed (segamisaparatuur, pumbad);
- tööstuslik universaalkontroller;
- SCADA tarkvara;
- andurid temperatuuri, rõhu, pH, taseme ja gaasi koostise määramiseks;
- titrimetiline pidevatoimeline (on-line) analüsaator.

Uurimistöös kasutatakse bioloogiline materjal (substraat) esmalt purustatakse (Grinder) ning lisatakse eelsegamismahutisse, kus ta segatakse veega ühtlaseks massiks ja säilitatakse temperatuuril  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$  vältimaks analüüsitava substraadi roiskumist. Vastavalt kontrolleris määratletud ajagraafikule lisatakse substraati kääritisse täpset doseerimist võimaldava pumbaga. Kääritisest temperatuuri hoitakse vahemikus  $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ , säilita-

des ka neutraalsed pH väärtust. Värske substraadi ja kääritis oleva muda segamiseks, kihistumise vältimiseks ning gaasi väljutamise hõlbustamiseks segatakse massi propellertüüpi segistiga kasutades erinevaid pöörlemissuundi. Dosaatorpumba töö kontrollimiseks kaalutakse väljundis kääritatud materjal e. digestaadi kogus.

Pidevalt mõõdetakse ja jälgitakse järgmisi parameetreid: tekkiva biogaasi kogus ja temperatuur, metaani ning süsihappegaasi protsentuaalne sisaldus, sisestatava ja kääritis oleva substraadi pH, kääriti ülemine ja alumine temperatuur, gaasiruumi rõhk, segisti ning dosaatorpumba lülituste ajaintervallid ja pöörlemiskiirused. Protsessi stabiilsuse hindamiseks mõõdetakse titrimetrilise analüsaatoriga kääritis oleva substraadi puhverduisvõimet ja vabade rasvhapete kontsentratsiooni. Kõik mõõtetulemused arhiveeritakse personaalarvutis asuvasse andmebaasi.

Katseseadme keskseks seadme on 200 liitrise aktiivmahuga anaeroobne kääriti, mis on toodud fotodel 1 ja 2 ning märgitud joonisel 1 tähisega CSTR. Kääriks on roostevabast terasest valmistatud mahuti, mis on varustatud spetsiaalse äärikuga segisti paigaldamiseks, küttegaabliga, vahueraldajaga ning toruühendustega andurite ja pumpade ühendamiseks. Katseseade on komplekteeritud vajalike abiseadmetega: eel-segamismahuti (600 l), tsirkulatsioonipump, dosaatorpump (0,08 – 0,80 l/min, sagedusjuhtimine), segisti (160 p/min, sagedusjuhtimine), kemikaalide dosaator.



Foto 2. Anaeroobne kääriti.  
Photo 2. Anaerobic digester.



Foto 3. Universaalkontrolleris loodud juhtimisüsteem.  
Photo 3. Interface of Programmable Logic Controller.

Katseseade töötab täisautomaatselt, juhtimist teostatakse puuetundliku ekraaniga varustatud tööstusliku universaal-kontrolleriga, mille juhtpaneeli näide on toodud fotol 3.

Paigaldatud kontrolleri tehnilised andmed on lühidalt järgmised:

- RS232, RS485, CANbus, Ethernet kommunikatsioonivõimalused
- 8 analoogsisendit (mA, V, TC)
- 6 analoogväljundit (mA, V)
- 16 digitaalsisendit
- 16 digitaalväljundit

Seadet on võimalik varustada kuni 4GB suuruse SD mälukaartiga teostamiseks täiemahulist andmehõivet side puudumise korral.

Kontrolleri valikul on lähtunud põhimõttest, et seadmega oleks võimalik juhtida nii laboratoorseid pilootseadmeid kui ka suuremõdulisi tööstuslikke biogaasi tootmise protsesse.

Lisaks kontrolleri poolt SCADA serverile edastatavale informatsioonile on kõik pilootseadmed varustatud sisemise veebiserveri e. WebSCADA mooduliga võimaldades saada protsessist ülevaate tavalise Interneti lehitseja abil. Hädaolukordadeks on seadmetele paigaldatud ka GSM modemid võimaldamaks mobiilside vahendusel protsessi kohta informatsiooni saamist ja ka juhtimistoimingute sooritamist.

Anaeroobse kääritamise tehnoloogia ja juhtimise arendamise põhieesmärkideks on arendada valdkonna kompetentsi Eestis uurides uuenduslikke tehnoloogiaid pidevtoimeliste mõõteseadmete vallas, biogaasijaamade protsessijuhtimist ja visualiseerimist ning arendades juhtimismudeleid Eesti oludele. Biogaasi tootmise tehnoloogia laialdasem rakendamine vähendab Eesti energiasõltuvust ning ettevõtete keskkonnamõju.

### **Tänuavaldus**

Anaeroobse kääritamise pilootseadmete labori ehitamise projekti „Biogaasi tootmise tehnoloogia ja juhtimise arendamine Eestis pilootseadmetega“ finantseerivad Eesti Maaülikool ja Keskkonnainvesteeringute Keskus. Autorid tänavad finantseerijaid ja ka kõiki teisi, kes on oma panuse andnud.

### **DEVELOPMENT OF ANAEROBIC DIGESTION CONTROL AND AUTOMATION WITH PILOTS IN ESTONIA**

A. Normak<sup>1</sup>, E. Jõgi<sup>2</sup>, T. Leydier<sup>1</sup>, M. Luna del Risco<sup>1</sup>, H-C. Dubourguier<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estonian University of Life Sciences, Institute of Agricultural and Environmental Sciences

<sup>2</sup>Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology  
Kreutzwaldi 1, 51014, Tartu, e-meil: argo.normak@emu.ee

In this article we give overview of pilot scale biogas laboratory equipment for anaerobic digestion research in Estonian University of Life Sciences. Biogas pilot laboratory is planned as following:

- three transportable digesters (200L);
- ICA (Instrumentation-Control-Automation);
- laboratory and on-site trials;
- on-line data acquisition;
- Internet access and control.

Aim of the project is to investigate instrumentation, control and automation of anaerobic digestion. The main objectives of the research are: rising of the competence in Estonia, introduction of advanced on-line analyzers, development of process control models and contributing to development of full scale biogas production.

# BIOETANOLKÜTUSTE KASUTAMINE SÄDESÜÜTEGA SISEPÕLEMISMOTORIS

Arne Küüt, Jüri Olt, Villu Mikita, Tõnu Sõõro, Kaie Ritslaid

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut

## **Annotatsioon**

Käesoleva uurimuse peamine eesmärk oli praktiliste katsete põhjal välja selgitada etanooli kasutamisest tulenevad iseärasused ottomootoris. Uurimistöö seisnes erineva etanoolisisaldusega kütuste katsetamises. Töö tulemuseks oli katsete meetodika väljatöötamine ja katsete läbiviimine laboritingimustes ja seda võimalikult samaväärselt tavakasutusega. Saadud katseandmete põhjal teostati analüüs ja anti selgitused, võrdlemaks kütetegurite kasutamisest tulenevaid erinevusi mootori töös.

**Märksõnad:** biokütused, bioetanool, sädesüütega mootor, elekter, pöördemoment, kütusetarve.

## **Sissejuhatus**

Naftasaaduste pidev hinnamuutus ja tarneraskused maailmaturul on tekitanud tõsise vajaduse alternatiivkütuste järele. Peamisteks alternatiivseteks mootorikütusteks on biokütused. Biokütuste eeliseks on taastootmise võimalus – piiramatult tooraine ressurs. Tõuke biokütuste tootmise juurutamiseks ja kasutamiseks annab ka nõue vähendada kütuste kasutamise protsessis (heitgaasides) eralduvate kahjulike ainete sisaldust. Biokütuste kasutuselevõtu üks argument on EL-i direktiiv 2003/30/EC biokütuste ja teiste taastuvate energiaallikate kasutamise kohta autotranspordis, mis võeti vastu 08.05.2003. Antud direktiiv sätestab, et biokütuste osakaal suureneks mootorsõidukite kütustes 5,75%-ni 2010. aastal. Samuti kehtivad biokütustele maksusoodustused (aktsiisivabastus), mis on välja antud Euroopa Komisjoni poolt 27.07.2005.

Sisepõlemismootori kütusena on biokütustest enim kasutust leidnud etanool ja seda juba aastast 1908 Ford-T jõuallikas. Etanooli e piiritust kasutatakse kas puhtal kujul või segatuna bensiini või diislikütustega erinevates vahekordades. Puhta etanooli kasutamist on praktiseeritud Brasiilias

1970-ndatest alates, mis aga tähendab eriprojekteeritud mootorite kasutamist. Tavamootorites on enamlevinud küttesegude kasutamine, sellisel juhul on nõuded (kulutused) mootorite ümberseadistamisele ja –ehitamisele väiksemad kui puhta etanooli kasutamisel.

Eestis on antud teemat veel vähe uuritud ja puuduvad praktilised kogemused etanooli kasutamisel. Seoses sellega ei ole etanooli kasutamine mootorikütusena Eestis laialdaselt levinud, kuigi tootmispotentsiaal maa kasutuse ja kohaliku tööhõive parendamise seisukohast on olemas. Probleemiks etanooli kasutamisel mootorites on kliimaatilised tingimused, mis pärsivad mootori käivitamist jahedama ilmaga. Samuti etanooli väiksem energeetiline väärtus, mis muudab selle omahinna märkimisväärselt kallimaks.

Kuna etanooli kasutamine on laialt levinud kogu maailmas, seda eriti teise põlvkonna bioetanooli (lignotselluloosist) tootmistehnoloogiaid arendades, siis mootorite edasiarendus (kohandamine) antud kütuseliigile on prioriteetne valdkond.

### **Materjalid**

Bioetanooli e etüülalkoholi kui sädesüütega mootorikütuse iseloomustamiseks on lihtsam ja otstarbekam võimalus võrrelda seda bensiiniga (tabel 1). Etanooli kütteväärtus on u 30% väiksem kui bensiinil, see aga tähendab 1/3 võrra suuremat kütusekulu.

Teisalt aga annavad bensiinist suurem detonatsioonikindlus ja kõrgem oktaaniarv võimaluse mootori suurema surveastme juures saada paremaid tulemusi võimsuses ja ökonoomsuses.

Keskkonnahoiu seisukohalt on etanool bensiinist loodussõbralikum kütus nii kasutuse kui ka keemilise koostise osas. Suurem hapnikusisaldus võimaldab bensiiniga võrreldes puhtamat põlemisprotsessi võrdlemisi madalal temperatuuril. Kuna põlemisprotsess on täielikum, siis tulemuseks on CO- ja NO<sub>x</sub>-sisalduse vähenemine heitgaasides. Etanool on ka väävlivaba kütus ja loodusesse sattudes ei tekita reostust.

*Table 1. Bensiini ja bioetanooli füüsikalised ja keemilised omadused (2)*  
*Table 1. The chemical and physical characteristics of bioethanol and gasoline (2)*

<b>Kütuse omadus</b>	<b>Bensiin</b>	<b>Bioetanool</b>
Tihedus kg/l 15 °C	0,75	0,80-0,82
Hapnikusisaldus massi- %	-	34,8
Kütteväärtus MJ/l	31	21,4
Aurumissoojus kJ/kg	180	930
Oktaaniarv (RON)	97	120
Oktaaniarv (MON)	86	102
Keemistemperatuur °C	30-190	78
Aururõhk kPa	75	16,5
Värvus	Kollane	Värvuseta
Stõhhiomeetriline õhk/kütus suhe kg õhku/kg kütust	14,7	9

Aururõhk on kütuse lenduvuse näitaja, mis on etanoolil väga madal. See viitab aeglasele aurustumisele ja väiksemale plahvatusohule. Samas on madal aurustumisrõhk ja konkreetne keemistemperatuur bioetanooli puuduseks, tekitades probleeme käivitusega madalamatel temperatuuridel (alla 10 °C) (1). Tabelist 1 on näha, et hapniku sisalduse tõttu on etanooli põlemissoojus 35-40% väiksem ja aurumissoojus üle viie korra suurem kui bensiinil. Suure etanoolisisaldusega kütuse kasutamisel on raskendatud mootori käivitamine, kuna töösegu temperatuur võib alaneda ligi 80 °C.

Autokütuseks kasutatava etanooli kvaliteedinõuded pole niivõrd ranged kui joogipiiritusele. Bioetanooli saab kasutada mootorikütusena nii puhtal kujul kui ka bensiini lisandina. Tuntumad segud bensiinist ja bioetanoolist on E10 ja E85, kuid kasutatakse veel ka segu E15 ning isegi E95, mis on laialt levinud Brasiilias. Põhimõte on neil kõigil ühine: tähis „E” ja sellele järgnev number näitab protsendilist bioetanooli sisaldust bensiini-bioetanooli segus. Näiteks E85 sisaldab 85% bioetanooli ja 15% bensiini (3).

Etanooli kasutamine on lihtsam mootorites, mis omavad elektroonilise sissepritsesga toitesüsteemi. Antud juhul täiendatakse auto elektrilist toite-



süsteemi mikroprotsessoril põhineva elektrooniliselt programmeeritava lisaseadmega etanoolkütusele. Seadme töö põhineb mootori normaalseks tööks vajamineva küttesegu koostise reguleerimisel, kasutades informatsiooni, mis saadakse väljalaskegaasidest lambdaandurilt. Saadud informatsiooni põhjal arvutab seade igal ajahetkel kütuse (etanool-bensiin) koostise, mida hetkel kasutatakse, ja määrab vajaliku kütusekoguse küttesegu moodustamiseks, mis edastatakse täiturseadmetele (pihustid). Seade ühendatakse mootori juhtploki (ECU) ja täiturseadmete vahelisse elektrisüsteemi.

Mootorid, mis ei ole projekteeritud etanooli kasutamiseks, on võimalik eelkirjeldatud seadme abil ümber seadistada, kuid takistuseks jääb etanooli lagundav (korrodeeriv) mõju erinevatele materjalidele, mis võivad tekitada kahjustusi süüte- ja küttesüsteemides. Etanool võib kahjustada plastmass- ja kummidetaile ning kiirendab alumiiniumi, valgevase, tsingi ning seatina korrosiooni.

Autotootjatepoolne huvi etanooli kasutamise vastu on suurenenud, kuna tootevalikusse on lisandunud sõidukid, mis omavad lisaseadmeid ja nende projekteerimisel on arvestatud materjali valikuga mootori ehituses. Nende sõidukite markeering on FFV (*Flexible Fuel Vehicle*) ja erinevad kasutatavad kütusesegud on tavalisest bensiinist kuni E85ni.

Käesoleval ajal on etanooli kasutamine mootorikütusena siiski vähe levinud ja seda eriti kasutatud sõidukite osas, kuigi turul on lisaseadmed ja materjalid sõidukite ümberseadistamiseks olemas. Tõenäoline on see, et antud valdkonnas ei ole piisavalt kogemusi ja puuduvad teaduspõhised katsetused ning analüüsid. Antud töö on teostatud eesmärgiga anda katsetel põhinevaid selgitusi.

### **Katsetoodika**

Katsetoodika väljatöötamisel oli peamiseks eesmärgiks saada informatsiooni, kuidas mõjutab erinevate kütusesegude kasutamine mootori töö iseloomulikke näitajaid. Mootori töö iseloomustamiseks erinevate

kütusesegude kasutamisel on peamised näitajad mootori võimsuslikud ja ökonoomsuslikud parameetrid ning heitgaaside koostis. Mootorite dünaamiliste ja ökonoomsuslike näitajate määramiseks erinevatel režiimidel (koormus- ja kiirusrežiimid) kasutatakse eksperimentaalsetel andmetel koostatud graafikuid (karakteristikud). Kiiruskarakteristiku kasutamine võimaldab iseloomustada mootori võimsuslike ja ökonoomsuslike parameetrite (efektiivvõimsus  $P_e$ , kütuse tunnikulu  $B_f$ , kütuse erikulu  $b_e$ , keskmine efektiivrõhk  $p_e$ , pöördemoment  $M_f$ ) suhet sõltuvalt vāntvōlli pōorlemissagedusest  $n_m$ . Saamaks kiiruskarakteristikut, pidurdatakse mootorit katsestendil maksimaalse võimsuse juures; karakteristikut, mis määratakse õhuklapi mingis osalise avatuse asendis, nimetatakse osaliseks kiiruskarakteristikuks (4). Karakteristikute saamiseks teostati praktilised katsed Audi A4 ADR mootoril, v.a. 1998 (joonis 1), kasutades bensiini, etanooli ja nende segusid erinevates vahekordades. Puhta etanoolkütuse ja segudega katsetamisel kasutati katsemootoril etanooli lisaseadet. Katsete käigus koormati mootorit Eesti Maaülikooli ja Eesti Lennuakadeemia ühisel mootorite katsetuse laboratooriumis stendil Dynas<sub>3</sub> LI 250 (joonis 1).



Joonis 1. Mootorite katsestend Dynas<sub>3</sub> LI250 ja katsetatav Audi A4 ADR mootor  
Figure 1. Engine test bench Dynas<sub>3</sub> LI250 and Audi A4 ADR engine

Juhtimisautomaatikat Schenk x-act kasutati katsemootori ja koormustendi juhtimiseks erinevatel katserežiimidel ning elektrooniliste andmete kogumiseks (vāntvōlli pōorlemissagedus  $n$ , min<sup>-1</sup>; mootori pōordemoment

$M$ , N·m; võimsus  $P$ , kW ja õhuklapi avatus %). Andmed kulutatud kütuse kohta saadi, kasutades elektroonilist kaalu roostevasest terasest anumaga ( $V = 25$  liitrit). Heitgaaside koostist mõõdeti seadmega Bosch BEA 350. Mõõdeti süsinikdioksiidi ( $\text{CO}_2$ ), süsinikoksiidi ( $\text{CO}$ ), põlemata süsivesinike ( $\text{HC}$ ), lämmastikoksiidide ( $\text{NO}_x$ ) ja hapniku ( $\text{O}_2$ ) sisaldust heitgaasides. Lisaks võimaldas seade mõõta ka õlitemperatuuri, väntvõlli pöörlemissagedust ning liigõhutegurit ( $\lambda$ ).

### Katsetamine

Tehaseandmetel on Audi A4 ADR mootori maksimaalne pöördemoment 173 N·m, 3950 min<sup>-1</sup> juures. Eelnimetatud väntvõlli pöörlemissagedusel oli koormuse puudumisel õhuklapi avatus 34%. Seetõttu valiti ka üheks katsetamise režiimiks õhuklapi avatus 34%. Iga uuritava kütusega teostati järgmised katsed osalise kiiruskarakteristiku saamiseks:

- õhuklapi avatus 34% juures konstantne ning muudeti mootori pidurdamisega väntvõlli pöörlemissagedust kindlates vahemikes  
 $n = 1350\text{-}3950$  min<sup>-1</sup>;
- õhuklapi avatus 29% juures konstantne ning muudeti mootori pidurdamisega väntvõlli pöörlemissagedust kindlates vahemikes  
 $n = 1350\text{-}2720$  min<sup>-1</sup>.

Katsete käigus suurendati koormust mootorile, kuni väntvõlli pöörlemissagedus langes piirini, millal mootor töötas veel stabiilselt. Mõõdeti kümnel erineval väntvõlli pöörlemissagedusel järgmised parameetrid: pöördemoment  $M_p$ , kütusekulu  $m_p$ , katse kestus  $\tau_p$ , õhurõhk  $p_{env}$ , õhuniiskus  $\varphi_{env}$ , õhutemperatuur  $t_{env}$ , väljuvate gaaside temperatuur  $t_{egt}$ , pihustite avatusaeg  $\tau_p$ , eelsüütenurk  $\alpha_p$ , õhukulu  $V_a$ , jahutusvedeliku temperatuur  $t_w$ .

Saadud andmete põhjal arvutati järgmised parameetrid: efektiivvõimsus  $P_e$ , kütuse tunnikulu  $B_p$ , tegelik õhukulu  $B_a$ , kütuse erikulu  $b_e$ , efektiivkatsutegur  $\eta_e$ , efektiivrõhk  $p_e$ .

Koormuskarakteristik võimaldab iseloomustada kütuse tunni- ja erikulu sõltuvust mootori koormusest. Iga uuritava kütusega teostati järgmised katsed, muutes õhuklapi avatust 30-70%-ni:

- 1) konstantsel väntvõlli pöörlemissagedusel  $n = 2900 \text{ min}^{-1}$ ;
- 2) konstantsel väntvõlli pöörlemissagedusel  $n = 2375 \text{ min}^{-1}$ ;
- 3) konstantsel väntvõlli pöörlemissagedusel  $n = 1850 \text{ min}^{-1}$ .

Katsetel muudeti õhuklapi avatust 5%-lise astmega ja mõõdeti seejuures eelnimetatud õhuklapi avatustel järgmised parameetrid: pöördemoment  $M_p$ , kütusekulu  $m_p$ , katse kestvus  $\tau_p$ , õhurõhk  $p_{env}$ , õhuniiskus  $\varphi_{env}$ , õhutemperatuur  $t_{env}$ , väljuvate gaaside temperatuur  $t_{egt}$ , pihustite avatusaeg  $\tau_p$ , eel-süütenurk  $\alpha_p$ , õhukulu  $V_a$ , jahutusvedeliku temperatuur  $t_w$ . Saadud tulemuste põhjal arvutati järgmised parameetrid: efektiivvõimsus  $P_e$ , kütuse tunnikulu  $B_p$ , tegelik õhukulu  $B_a$ , kütuse erikulu  $b_e$ , efektiivkasutegur  $\eta_e$ , efektiivrõhk  $p_e$ .

Heitgaaside katseandmete saamiseks teostati mõõtmised mootori töötamisel tühikäigu pööretel ( $800 \text{ min}^{-1}$ ) ja kõrgendatud tühikäigu pööretel ( $2300 \text{ min}^{-1}$ ).

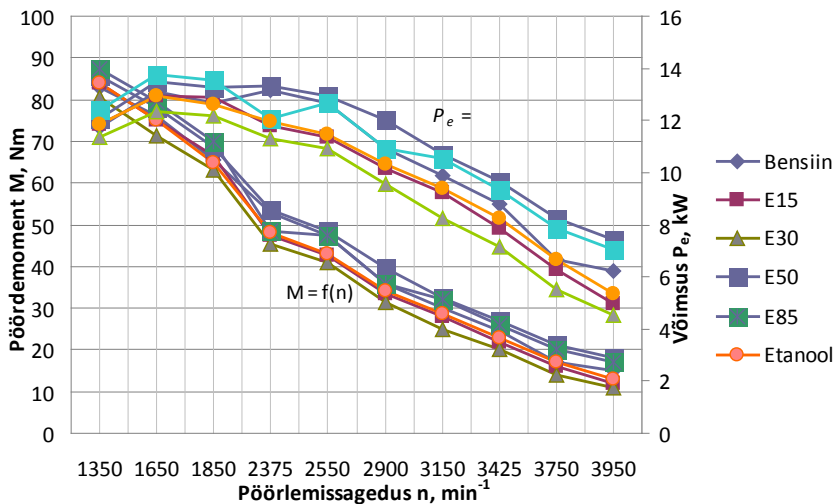
Katsetel kasutatavad kütused olid bensiin 95, bioetanool E85 ja nende segud ning piiritus (96,3%). Bensiin 95 ja bioetanool E85 osteti AS Eesti Statoilist ning nende segud E15, E30 ja E50 valmistati segamisel katselaboris.

### **Katsetulemused**

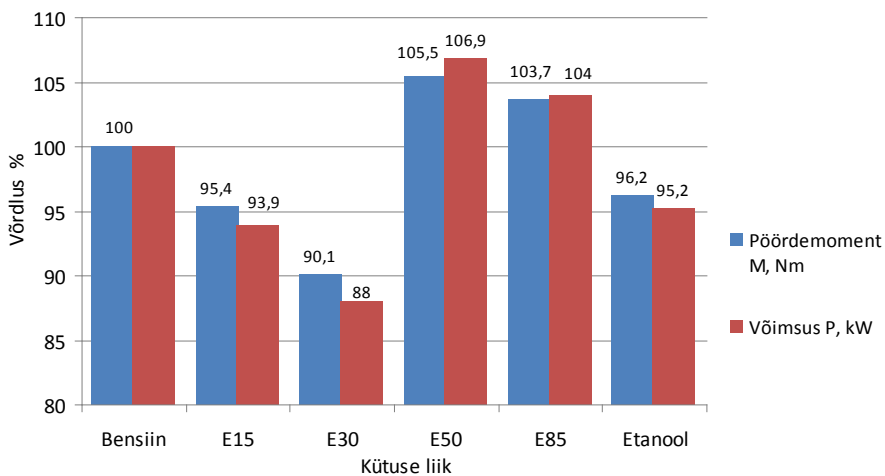
Katsetulemuste põhjal osalist kiiruskarakteristikut analüüsides saadi järgnevad võimsuslikud parameetrid, mis on ära toodud joonisel 2.

Kütuste paremaks iseloomustamiseks on võetud käsitletavate parameetrite keskmised kogu osalise kiiruskarakteristiku ulatuses ( $n = 1350\text{-}3950 \text{ min}^{-1}$ ) ja esitatud graafiliselt joonisel 3.

Kõige suurema võimsuse andis E85 väntvõlli pöörlemissagedusel  $n = 1650 \text{ min}^{-1}$ . Samas, võrreldes keskmist suurimat võimsust bensiiniga, osutus parimaks kütuseks E50 ja seda 6,9% võrra. Kõige väiksema võimsuse andis kütus E30 (88%) ja seda kogu mõõtepiirkonna ulatuses. Võrreldes



Joonis 2. Mootori kiiruskarakteristik (osaline), õhuklapp avatud 34%  
 Figure 2. Engine speed characteristics (throttle is 34% open)



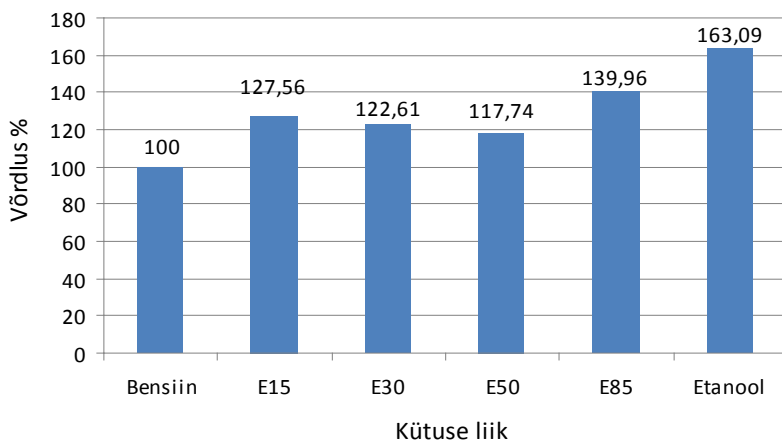
Joonis 3. Etanoolkütuste võrdlus bensiiniga (õhuklapp avatud 34%)  
 Figure 3. Bioethanol fuels compared to gasoline (throttle is 34% open)

bensiiniga, osutus E30 võimsus 12% väiksemaks. Etanooli võimsus jäi ligilähedaseks bensiinile (4,8% väiksem).

Pöördemomendi võrdlusele bensiiniga andsid etanoolkütustest parema tulemuse kütused E50 (105,5%) ja E85 (103,7%). Madalaim tulemus saadi, kasutades kütust E30 (90,1%, võrreldes bensiiniga). Kütustel E15 ja etanool oli pöördemomendi langus vastavalt 4,6% ja 3,8%.

Keskmine kütuse erikulu kasvas katse jooksul bensiiniga võrreldes alljärgnevalt (joonis 4):

bioetanoolil E15	27,6%;
bioetanoolil E30	22,6%;
bioetanoolil E50	17,7%;
bioetanoolil E85	39,9 %;
etanoolil	63,1%.

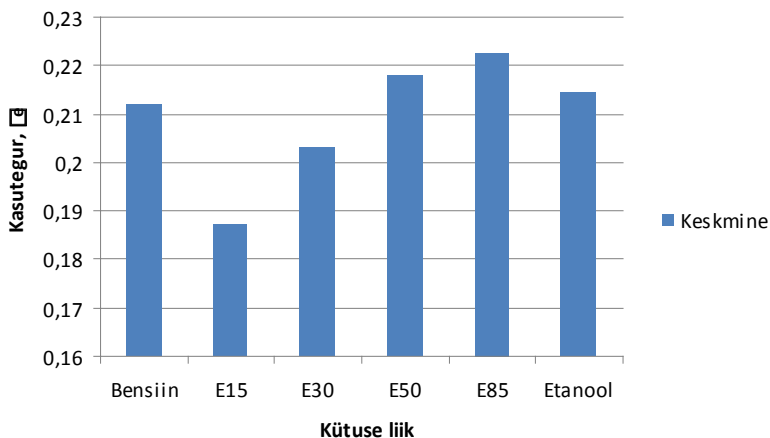


Joonis 4. Etanoolkütuste erikulu, võrreldes bensiiniga  
Figure 4. Specific fuel consumption compared to gasoline

Seega on kõige suurem kütuse erikulu erinevus bensiinist etanoolil ja kõige väiksem kütusel E50, kuigi madalamatel väärtustel (n = 1350-1850 min<sup>-1</sup>) andis bensiiniga ligilähedase tulemuse kütus E15.

Analüüsid kütuseid mootori efektiivkasutegur (joonis 5) alusel, selgus, et bensiinist väiksem tulemus saadi E15 (88,3%) ja E30 (95,9%) kasutamisel. Parema tulemuse bensiiniga võrreldes andsid suurema etanoolisisaldusega kütused: E85 (105%), E50 (102,8%) ja etanool (101,1%).

Kahjulike ainete sisalduse poolest heitgaasides andis parema tulemuse kütus E85, sisaldades kõige vähem süsinikoksiidi (CO) ja süsivesinikke (HC). Väiksema etanoolisisaldusega kütustele E15 ja E30 oli iseloomulik suurem kahjulike ainete sisaldus heitgaasides.



Joonis 5. Mootori efektiivkasutegur sõltuvalt kütuse liigist  
Figure 5. Engine efficiency in case of different fuels

### Kokkuvõte

Uurimistöö tulemusena võib öelda, et etanoolkütuste kasutamine on põhjendatud, kuna paranevad mootori võimsuslikud ja ökonoomsuslikud parameetrid ning väheneb ohtlike ainete sisaldus heitgaasides. Kuigi tuleb ära märkida, et kasutades väiksema etanoolisisaldusega kütust, olid tule-

mused tunduvalt halvemad kui bensiinil. Sellest lähtuvalt on käesoleva katseseeria põhjal soovitatav kasutada bensiinimootoriga autodes, millel on lisaks paigaldatud bioetanooli seade, kütuseks ainult kas suure etanoolisisaldusega kütuseid või bensiini.

Et saada kinnitust toodud väitele, on vajalik teostada täiendav katsete seeria, mis tuleb läbi viia reaalsetes tingimustes (tänavakatsed), kasutades eelnimetatud kütuseid ja kütuse segusid.

### **Kasutatud kirjandus**

Nordic Energy Works OÜ. Bioetanool E85. Kättesaadav: <http://www.bioetanool.ee/e85> (06.01.2009).

Kruus, R. Transport-biokütuste tootmise potentsiaal – sobivad tehnoloogilised lahendused, võimsused, asukohad. Tallinna Tehnikaülikool. [http://demo.bestit.ee/bw\\_client\\_files//public/img/File/BE\\_AK\\_Uuringud/Transportbiokytuste\\_tootmise\\_potentsiaal.pdf](http://demo.bestit.ee/bw_client_files//public/img/File/BE_AK_Uuringud/Transportbiokytuste_tootmise_potentsiaal.pdf) (22.02.2009).

Wikipedia. E85. <http://en.wikipedia.org/wiki/E85> (12.03.2009).

Mikita, V. Mootorite katsetamine. Veotehnika. <http://veotehnika.pri.ee/katsetamine/index.html> (14.01.2009).

## **MIXTURES OF BIOETHANOL AS OTTO MOTOR FUEL**

Arne Küüt, Jüri Olt, Villu Mikita, Tõnu Sõõro, Kaie Ritslaid  
*Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology*

Main aim of this study was to identify the specific features of using ethanol as fuel for Otto motor, based on a practical experiment.

The study was based on the use of fuel mixtures with different ethanol and petrol ratio. The study resulted in development of test methods for using ethanol as fuel for Otto motor under laboratory conditions, similar to equivalent regular use of fuel mixtures. The analysis and comparison of test result identified differences in the operation of test engine due to use of different fuel mixtures.



# NOORTE HÜBRIIDHAAVA- JA ARUKASEKULTUURIDE TOOTLIKKUSE VÕRDLUS

Arvo Tullus, Endel Jänes, Hardi Tullus, Tea Soo  
Metsakasvatuse osakond, EMÜ metsandus- ja maaehitusinstituut, Kreutzwaldi 5, 51014  
Tartu, e-mail: arvo.tullus@emu.ee

## Annotatsioon

Võrreldi endistele põllumajandusmaadele rajatud 11 hübriidhaava- ja 10 arukasekultuuri kasvu üheksa aasta vanuselt. Hübriidhaavakultuurid ületasid statistiliselt usaldatavalt ( $p < 0,001$ ) arukasekultuuride keskmist kõrgust (haab 9,5 m, kask 7,5 m) ja tüve rinnasdiameetrit (haab 8,6 cm, kask 6,3 cm hektaritagavara). Kuna kasekultuurid olid hübriidhaavakultuuridest ligi kaks korda tihedamad, siis nende hektaritagavara oluliselt ei erinenud. Hübriidhaavakultuuride keskmine tüvede tagavara oli 35,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, varieerudes 18,1 ja 64,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> vahel, arukasekultuuride keskmine tagavara oli 34,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> varieerudes 11,5 ja 55,4 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> vahel. Võib teha järgmised järeldused: hübriidhaab on esimese 9 kasvuaasta jooksul Eesti tingimustes osutunud arukasest kiiremakasvuliseks. Majanduslikult on nii hübriidhaava kui ka arukasekultuure kõige otstarbekam majandada pikema raieringiga kui 9 aastat, mis annab lisaks okstest ja peenematest tüvedest saadavale energiapiidule ka väärtuslikumaid sortimente (paberipuit, palk, vineeripakk). Energiapiidu varumine on soovitatav pärast lageraiet tekkivast hübriidhaava juurevõsupõlvkonnast.

*Märksõnad: hübriidhaab, arukask, lühikese raieringiga metsandus, endiste põllumajandusmaade metsastamine.*

## Sissejuhatus

Paberi- ja energiapiidu nõudluse kasv ning kasutusest välja jäänud põllumajandusmaade suur pindala on nii Eestis kui ka naaberriikides suurenendanud huvi erinevate kiirekasvuliste lehtpuuliikide kasvatamise ja plantatsioonilise metsanduse ehk puupõldude rajamise vastu. Endistel põllumajandusmaadel peetakse lehtpuude eeliseks okaspuude ees eelkõige kiiremat kasvu noores eas. Hübriidhaava- ja arukasekultuuride rajamine on üheks võimaluseks endiste põllumajandusmaade taaskasutusele võtmisel (Asi jt 2004).

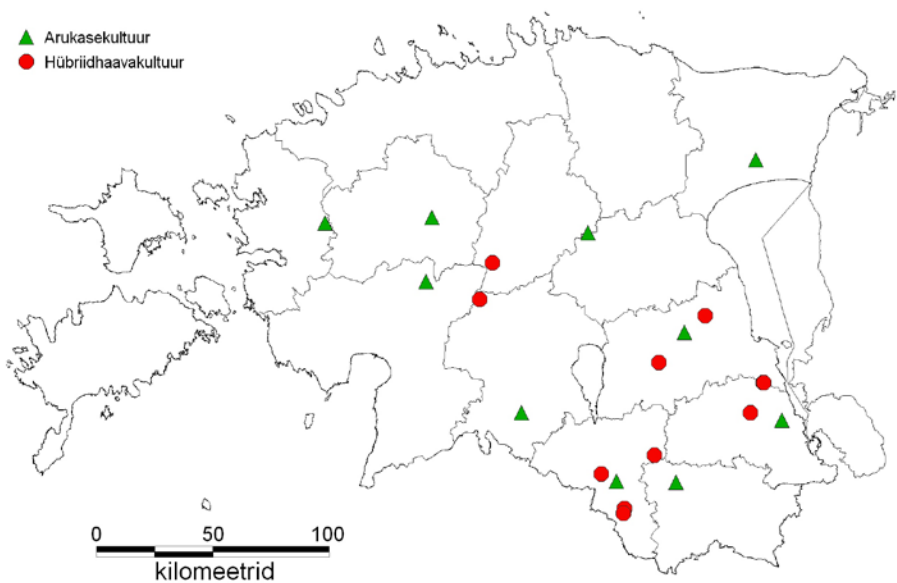
Hübriidhaavaks (*Populus x wettsteinii* Hämet-Ahti) nimetatakse hariliku haava (*Populus tremula* L.) ja ameerika haava (*Populus tremuloides* Michx.) kunstlikult saadud ristandit. Hübriidhaab on Balti- ja Põhjamaades osutunud noores eas väga kiirekasvuliseks lehtpuuks, ületades kasvunäitajate poolest oma lähteliike. Tänu kiirele kasvule, edukale uuenemisele juurevõsude kaudu ning sobilikele puidukiududele on hübriidhaab atraktiivne tselluloositööstusele (Rytter ja Stener 2005). Hübriidhaavapuitu saab toormaterjalina kasutada ka saetööstuses, tuletikutööstuses, vineeritööstuses, laastplaaditööstuses ja mööblitööstuses (Vares jt 2003). Heades kasvukohatingimustes võib lõppraieks 25 aasta vanuses kultuuris kasvada arvestavas koguses ka suure tüveläbimõõduga puid, mille tüvede alumisest osast saab saepalki. Laialdasemalt alustati Eestis hübriidhaavakultuuride rajamist 1999. aastal AS-i Metsind poolt (Reisner 2001). 2004. aasta sügiseks oli hübriidhaaba kultiveeritud ligikaudu 700 hektarile (Tullus jt 2007). Viimastel aastatel pole teadaolevalt erametsaomanikud ega ettevõtted suurel hulgal hübriidhaavakultuure juurde rajanud.

Kask (arukask ja sookask) on Eestis levinuim ja majanduslikult tähtsaim lehtpuu. 2007. aastal moodustasid kase enamusega metsad 30% metsade kogupindalast, olles seega männi järel teisel kohal (Aastaraamat Mets 2007). Kaske peeti pikka aega majanduslikult väheväärtuslikuks. Suhtumine temasse hakkas muutuma Skandinaavias 1980ndate keskel ja Eestis 1980ndate lõpul, kuna Põhjamaade paberitööstuses võeti laialdasemalt kasutusse kasepuidust paberitootmise tehnoloogia ja Eestis tekkis majanduslik huvi paberipuu ekspordi vastu. Samal ajal asuti ka näiteks Soomes istutama mahajäetud põllumaade metsastamiseks kaske ja arenes kiiresti kase seleksioon ning seemnekasvatus (Tullus 2009). Uurimused nii Eestis kui ka naaberriikides näitavad arukase head kasvuvõimet endistel põllumajandusmaadel. Lisaks kasepuidu kasutamisele paberitööstuses on see hinnatud tooraine ka saetööstuses. Kasepuitu kasutatakse mööblitööstuses ja ehituspuiduks, vineeri, transpordialuste ja painutatud detailide valmistamisel, trei- ja nikerdustöödel (Saarman ja Veibri 2006). Kuigi kasepuit on väärtuslik ja leiab laialdast kasutamist tarbepuiduna, on teadlaste hinnangul kiirekasvulist arukaske sobiv kasvatada ka energiapuuna (Vares ja Kund 2007).

Käesolevas uurimuses võrreldakse endistele põllumajandusmaadele rajatud hübriidhaava- ja arukasekultuuride kasvunäitajaid. Vaatluse alla võeti hetkel vanimad, s.o 1999. ja 2000. aastal rajatud hübriidhaavakultuurid ja sama vanad sarnastel põllumuldadel kasvavad arukasekultuurid. Hübriidhaava ja arukase näol on tegemist noores eas kiirekasvuliste lehtpuudega, mis mõlemad võiksid meie tingimustes rajatud kultuurides sobida alla 30 aastase raieringiga majandamiseks ning pakkuda alternatiivi puuliigi valikul endiste põllumajandusmaade metsastamisel. Arukase eeliseks antud võrdluses on asjaolu, et tegemist on kodumaise liigiga. Hübriidhaava üks lähteliik on võõrliik ameerika haab ning seetõttu tuleb hübriidhaava laialdasel kasvatamisel rohkem tähelepanu pöörata võimalikele keskkonnanariskidele, samuti on hübriidhaavakultuuri rajamine tunduvalt kulukam kui peamiste kodumaiste puuliikide kultiveerimine. Seetõttu peavad tema kasvuomadused olema piisavalt head, et õigustada hübriidhaava suuremamahulist kultiveerimist tulevikus. Uurimuse eesmärgid: 1) kirjeldada ja võrrelda puude peamisi takseertunnuseid (kõrgus, rinnasdiameeter) üheksa-aastastes endistele põllumajandusmaadele rajatud hübriidhaava- ja arukasekultuurides; 2) võrrelda üheksa-aastaste hübriidhaava- ja arukasekultuuride tüvepuidu tagavara. Töö peamiseks hüpoteesiks oli, et hübriidhaavakultuurid ületavad üheksa aasta vanuselt kasvunäitajate poolest arukasekultuure.

### **Materjal ja meetodika**

Puude takseertunnuste (kõrgus ja rinnasdiameeter) mõõtmised tehti pärast üheksandat kasvuaastat 10 püsikatsealal endistele põllumajandusmaadele rajatud arukase nädiskultuurides ja 11 püsikatsealal hübriidhaavakultuurides (joonis 1). Hübriidhaavakultuuride valikul lähtuti sellest, et need asuksid arukasekultuuridega võimalikult sarnastel muldadel ning et puuduks ulatuslik metsloomakahjustus. Kultuuride hektaritagavara leidmiseks kõrguse ja rinnasdiameetri kaudu kasutati metsa korraldamise juhendis (2009) haava- ja kasepuistutele soovitatud valemeid. Hübriidhaava ja arukasekultuuride kasvunäitajaid võrreldi t-testi abil.



Joonis 1. Hübriidhaava- ja arukasekultuuridesse rajatud katsealade asukohad  
 Figure 1. Locations of the experimental plots in hybrid aspen and silver birch plantations

### Tulemused ja arutelu

Pärast üheksandat kasvuaastat ületasid hübriidhaavakultuurid arukasekultuure usaldatavalt keskmise kõrguse, rinnasdiameetri ja tüvemahu poolest (tabelid 1 ja 2). Ühe hübriidhaava tüve keskmine maht ( $31,6 \text{ dm}^3$ ) oli ligi kaks korda suurem kui arukasel ( $16,0 \text{ dm}^3$ ). Kuna arukasekultuurid olid ligi kaks korda tihedamad, siis puistute keskmine hektaritagavara oli võrdne.

Kasvunäitajate põhjal võib järeldada, et arukask ja hübriidhaab on endistele põllumajandusmaadele rajatud kultuurides esimese üheksa kasvuaasta jooksul kasvanud hästi. Soomes oli nii hübriidhaabade kui ka arukaskede keskmine kõrgus üheksa-aastaselt natuke alla 10 m (Hynynen ja Karlsson 2002). Hübriidhaab oli meil samavanuselt kasvanud keskmiselt 9,5 m ning arukask 7,5 m kõrguseks. Sarnast kasvu Soome hübriidhaavakultuuridega on oodata ka meie parimatelt kultuuridelt, kuna Eesti

Tabel 1. Arukase- ja hübriidhaavakultuuride kasvunäitajad ( $H$  – kõrgus;  $D$  – rinnasdiameeter;  $M_{\text{puu}}$  – ühe puu keskmine tüvemaht;  $M$  – kultuuri tüvepuidu hektaritagavara)

Table 1. Growth traits in silver birch and hybrid aspen plantations ( $H$  – height;  $D$  – diameter at breast height;  $M_{\text{puu}}$  – mean stem volume of individual trees;  $M$  – stem volume per hectare)

Kultuur	Puude arv/ha	$H$ (m)	$D$ (cm)	$M_{\text{puu}}$ (dm <sup>3</sup> )	$M$ (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
<b>Arukasekultuurid</b>					
Tartumaa	1340	7,2	6,1	15,6	20,9
Valgamaa	1790	5,9	4,7	6,4	11,5
Võrumaa	1750	6,0	5,1	10,2	17,9
Põlvamaa	1960	7,3	5,7	12,8	25,2
Ida-Virumaa	2460	7,8	6,6	17,3	42,6
Järvamaa	1840	7,5	6,7	17,5	32,2
Raplamaa	3070	8,6	6,7	18,0	55,4
Läänemaa	2000	8,9	8,1	26,8	53,5
Pärnumaa	2950	7,3	5,7	12,6	37,2
Viljandimaa	2130	8,4	7,6	22,7	48,3
<b>Keskmine</b>	2129	7,5	6,3	16,0	34,5
<b>Hübriidhaavakultuurid</b>					
Orandul	1060	9,3	8,1	26,2	27,7
Jaaska2	910	9,3	9,1	34,4	31,3
Sikka3	1060	8,5	7,4	20,2	21,4
Kauru	900	9,3	7,7	24,2	21,8
Mooste1	1150	8,4	8,2	24,3	28,0
Sikka1	1050	7,6	7,1	17,2	18,1
Uniküla1	1210	11,1	10,0	46,6	56,3
Nässu	1340	8,8	7,9	23,9	32,1
Muruoja	1050	10,8	10,5	51,0	53,6
Mägra2	1340	11,6	10,0	48,0	64,3
Laaska3	1280	9,5	8,6	31,2	39,9
<b>Keskmine</b>	1123	9,5	8,6	31,6	35,9

hübriidhaavakultuurides on istutusmaterjalina kasutatud Soomes aretatud hübriidhaava kloone (Tullus jt 2007). Noores eas väga kiirekasvulise halli lepa kultuuris on üheksa-aastaselt keskmiseks kõrguseks mõõdetud 9,5 m ja rinnasdiameetriks 6 cm, endisele põllumajandusmaale looduslikult tekkinud arukaasikus on puude keskmiseks kõrguseks mõõdetud 7,6 m ja rinnasdiameetriks 3,4 cm (Aosaar ja Uri 2008). Seega on arukased

kultuuris kasvanud jõudsamalt kui tihedas looduslikus puistus, halli lepa ja hübriidhaava pikkuskasv on olnud sarnane, kuid rinnasdiameeter on suurem hübriidhaaval, järelikult võib sarnase puude arvu juures eeldada hübriidhaava suuremat tootlikkust. Kirjanduse põhjal peaks hübriidhaava intensiivne kõrgus- ja pikkuskasv kestma kauem kui hallil lepal ja seega ka hübriidhaava mahuline küpsus saabuma hiljem.

*Tabel 2. Arukase- ja hübriidhaavakultuuride keskmiste kasvunäitajate võrdlus t-testi abil*

*Table 2. Comparison of mean growth traits (t-test) in silver birch and hybrid aspen plantations*

<b>Tunnus</b>	<b>Arukasekultuurid (keskmine ± st. viga)</b>	<b>Hübriidhaava- kultuurid (keskmine ± st. viga)</b>	<b>t-statistik</b>	<b>p</b>
<b>Puude arv/ha</b>	2129 ± 172,5	1123 ± 46,8	5,875	<b>0,00001</b>
<b>H (m)</b>	7,5 ± 0,32	9,5 ± 0,37	-4,027	<b>0,00072</b>
<b>D (cm)</b>	6,3 ± 0,33	8,6 ± 0,35	-4,756	<b>0,00014</b>
<b>M<sub>puu</sub> (dm<sup>3</sup>)</b>	16,0 ± 1,88	31,6 ± 3,58	-3,736	<b>0,00140</b>
<b>M (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	34,5 ± 4,88	35,9 ± 4,71	-0,205	0,83951

Rootsis läbi viidud uurimused näitavad, et 20–25-aastase raieringiga ma-jandatavates hübriidhaavakultuurides võib keskmine aastane juurdekasv heades kasvukohatingimustes ilma väetamise ja niisutamisetä ületada 20 m<sup>3</sup> tüvepuitu ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Rytter ja Stener 2005). Käesolevas töös analüüsitud hübriidhaavakultuuride aastane keskmine tagavara juurdekasv ulatus 7 m<sup>3</sup>-ni ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Samas jooksev aastane juurdekasv on vaatlusperioodi lõpus tunduvalt suurem. Näiteks 10-aastastes hübriidhaavakultuurides on see juba 13,1–22,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Jänes 2009). Seega võib ennustada, et lõpp-raieks akumuleerub Eesti hübriidhaavakultuurides puitu sarnaselt Soome ja Rootsiiga 300–350 (400) m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Arvestades seaduspära, mille järgi oksad moodustavad ligikaudu 1/5 kogu puu mahust, võib järeldada, et keskmiselt oli 9-aastaste hübriidhaavakultuuride kogu maapealne tagavara (oksad ja tüvi) 45 tm, ulatudes 80 tm-ni, ja arukasekultuurides 43 tm, ulatudes 69 tm-ni. See on arvestatav puidukogus, kuid hõreda seadu ja kalli rajamiskulu tõttu on istutatud hüb-

riidhaava- ja arukasekultuure mõttekam majandada pikema raieringiga kui 9 aastat, mis tagaks kallimahinnalisi sortimente (paberipuit ja palk) lõppraiel. Energiapuidu varumine tuleks kõne alla pärast lageraiet juure-võsudest uuenenud hübriidhaavikust, kus suure puude arvu tõttu on biomassi produktsioon esimestel aastatel väga suur (Rytter 2006).

### **Kokkuvõte**

Peamine hüpotees, et hübriidhaab ületab noores eas kasvukiiruselt arukaske, leidis kinnitust kõrguse, rinnasdiameetri ja ühe puu keskmise tüvemahu võrdlemisel. Hoolimata arukasekultuuride kaks korda suuremast tihedusest, oli üheksa-aastaste hübriidhaava- ja arukasekultuuride tüvepuidu tagavara sarnane. Kõige suuremaks üheksa-aastase arukasekultuuri tagavaraks mõõdeti 55,4 tm ha<sup>-1</sup> ning hübriidhaavakultuuril vastavalt 64,3 tm ha<sup>-1</sup>. Seega on mõlemad lehtpuud endistele põllumajandusmaadele rajatud kultuurides osutunud esimese üheksa kasvuaasta jooksul tootlikuks ja omavad perspektiivi Eesti tingimustes lühikese raieringiga metsanduse viljelemiseks.

### **Tänu sõnad**

Uurimust toetas Eesti Teadusfond (grant nr 7298).

### **Kasutatud kirjandus**

- Aastaraamat Mets 2007. 2008. Keskkonnaministeerium. Metsakaitse- ja Metsauuenduskeskus, Tartu, 217 lk.
- Aosaar, J., Uri, V. 2008. Halli lepa, hübriidlepa ja arukase biomassi produktsioon endistel põllumaadetel. – Metsanduslikud Uurimused (Forestry Studies), 48, 53–66.
- Asi, E., Kõlli, R., Laas, E. 2004. Põllumaadetel metsastamine. Tartu, 83 lk.
- Hynynen, J., Karlsson, K. 2002. Intensive management of hybrid aspen in Finland. –Hynynen, J., Sanaslahti, A. (eds.). Management and utilization of broadleaved tree species in Nordic and Baltic countries – birch, aspen and alder. Proceedings of the Workshop held in Vantaa, Finland, May 16 to 18, 99–100.

- Jänes, E. 2009. Hübriidhaava- ja arukasekultuuride kasvukäik. Magistri-  
töö metsamajanduse erialal. Eesti Maaülikool, metsandus- ja maa-  
ehitusinstituut, metsakasvatuse osakond. Tartu, 48 lk.
- Reisner, Ü. 2001. Hübriidhaavast ning tema istandustest Eestis – mine-  
vik, hetkeseis ja perspektiivid. – Lehtpuistute kasvatamine Eestis.  
Akadeemilise Metsaseltsi toimetised XIV. Tartu, 115–122.
- Rytter, L., Stener, L.-G. 2005. Productivity and thinning effects in hybrid  
aspen (*Populus tremula* L. x *P. tremuloides* Michx.) stands in sout-  
hern Sweden. – *Forestry*, 78 (3), 285–295.
- Rytter, L. 2006. A management regime for hybrid aspen stands combi-  
ning conventional forestry techniques with early biomass harvests to  
exploit their rapid early growth. – *Forest Ecology and Management*,  
236, 422–426.
- Saarman, E., Veibri, U. 2006. Puiduteadus. Tartu, 560 lk.
- Tullus, H. 2009. Lehtmetsade kasvatamine. Tartu, 64 lk.
- Tullus, A., Tullus, H., Vares, A., Kanal, A. 2007. Early growth of hybrid  
aspen (*Populus x wettsteinii* Hämet-Ahti) plantations on former ag-  
ricultural lands in Estonia. – *Forest Ecology and Management*, 245,  
118–129.
- Vares, A., Kund, M. 2007. Noored põllumaakaasikud kasvavad jõudsalt.  
– *Maaleht*, 25. jaanuar 2007, *Metsaleht*.
- Vares, A., Tullus, A., Raudoja, A. 2003. Hübriidhaab: ökoloogia ja majan-  
damine. Tartu, 112 lk.



## **COMPARISON OF THE GROWTH TRAITS IN YOUNG HYBRID ASPEN AND SILVER BIRCH PLANTATIONS**

Arvo Tullus, Endel Jänes, Hardi Tullus, Tea Soo

Department of silviculture, Institute of Forestry and Rural Engineering, Estonian University of Life Sciences, Kreutzwaldi 5, 51014 Tartu, e-mail: arvo.tullus@emu.ee

Growth traits of 11 hybrid aspen and 10 silver birch plantations on abandoned agricultural lands were compared at age of nine years. The mean height (9.5 m) and diameter at breast height (7.5 cm) of hybrid aspen plantations exceeded significantly ( $p < 0.001$ ) the corresponding values in silver birch plantations (7.5 m and 6.3 cm). While birch plantations were two times denser than hybrid aspen plantations then the total stem volume was similar in both plantation types. The mean stem volume in hybrid aspen plantations was  $35.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , varying between 18.1 and  $64.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , the mean stem volume in birch plantations was  $34.5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , varying between 11.5 and  $55.4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Nine years after planting hybrid aspen has proved to be faster growing than silver birch in Estonian conditions. It would be economically reasonable to manage both hybrid aspen and silver birch plantations in longer rotations than nine years, which would provide in addition to energy wood from branches and small stems also more valuable assortments (pulpwood and logs). Production of energy wood in very short rotations is thinkable from the regenerating root sucker stand of hybrid aspen.

# PÄIDEROOPÕLDUDE SAAK JA KVALITEET

## BIOENERGIA TOOTMISEKS

Katrin Heinsoo<sup>1</sup>, Katre Hein<sup>1</sup>, Indrek Melts<sup>1</sup>, Bert Holm<sup>1</sup>, Rene Aavola<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Kreutzwaldi 5, 51014 Tartu  
katrin.heinsoo@emu.ee, katre.hein@emu.ee, indrek.melts@emu.ee, bert.holm@emu.ee  
<sup>2</sup>Jõgeva Sordiaretuse Instituut, J. Aamisepa 1, 48309 Jõgeva  
e-post: rene.aavola@jpbi.ee

### Annotatsioon

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja uurida ja hinnata päideroosortide 'Palatoni', 'Pedja' ja 'Venture' saagikust turvas- ja mineraalmullal erinevate lõikusaegade ja väetiste korral ning keemilist koostist sõltuvalt kasvupinnasest ja koristusajast aastatel 2008 ja 2009. Päideroogu (*Phalaris arundinacea*) peetakse paraseadmetesse sobivaimaks mitmeaastaseks energia- kultuuriks. Päideroo saagikuse ja kvaliteedi andmed on oluliseks infoks põllumajandus- ja bioenergiatootjaile, hindamiseks selle tooraine sobivust bioenergia tootmiseks.

*Märksõnad: bioenergia, biomass, päideroog (Phalaris arundinacea), tootmine, kvaliteet.*

### Sissejuhatus

Tänapäeval varustab Eesti energiatööstust biomassiga peamiselt metsandussektor. Kuna sellel toormel on mitmeid kasutusvõimalusi, võib see energiatootmiseks osutuda liiga kalliks või defitsiitseks. Samas on põllumeestel vaja oma toodangu turgu mitmekesistada, kaitsmaks ennast toitaite hinna hooajaliste languste eest. Seetõttu on kogu Euroopas laienemas energiakultuuride tootmine põllumaadel. Seni ajani on selleks otstarbeks kasvatatud põllukultuuridest olnud olulisimad üheaastased suhkur- ja õlirikad taimed (mais, suhkruroog, raps jms), millest valdavalt on toodetud bioetanooli ja -diisli. Järjest rohkem on aga hakatud tähelepanu pöörama spetsiaalsete nn teise põlvkonna biomassikultuuride (nt kiirekasvulised lehtpuud ja mitmeaastased heintaimed) aretamisele. Sealjuures eeldatakse, et nende saagikus on suurem ja kasvatamiseks kulutatud energiahulk väiksem. Seetõttu on käesoleva töö objektiks mitmeaastane kõrreline päideroog (*Phalaris arundinacea*), mis kasvab Eestis ka loodus-

likult ning mida peetakse parasvöötmes energiakultuurina kasvatamiseks kõige sobivamaks.

Päideroo kasvatamist energiakultuurina on kõige põhjalikumalt katsetatud Soomes, kus aastal 2006 kasvatati kõnealust kultuuri 17 000 hektaril (VAPO OY 2007). Enamik põlde on rajatud ammendatud freesturbaväljadele (Pahkala 2007). Eestis on päideroogu loomasöödakultuurina kasvatatud aastakümneid, mistõttu on aretatud meie tingimustesse sobiv sort 'Pedja'; sööda- ja seemnepõlde esineb mitmes maakonnas. Aastal 2007 rajas Jõgeva Sordiarituse Instituut AS Tootsi Turbale kuuluvale ammendatud freesturbaväljale Pärnumaal Lavassaares ligikaudu üheksa hektari suuruse tootmiskatseala. Välitöid tehti ka Eesti esimestel energiatootmise otstarbel rajatud päideroopõldudel, mille külvas 2007. aastal OÜ Starfeld. Käesoleva töö autorid on tänulikud kõigile nimetatud ettevõtetele ja talunikele, kes lubasid välitöid oma põldudel läbi viia ning andsid vajadusel lisainformatsiooni.

Käesoleva töö eesmärkideks oli: 1) selgitada välja, milline on päideroo saagikus Eesti põldudel ning kuidas see sõltuvalt koristusajast muutub; 2) analüüsida päideroo saagikuse sõltuvust kasvukoha mullast; 3) hinnata erinevate päideroosortide saagikust Eestis; 4) teada saada, milline on erinevate päideroosortide keemiline koostis sõltuvalt kasvupinnasest ja koristusajast, andmaks informatsiooni bioenergia tootjaile selle tooraine sobivusest bioenergia toorainena.

### **Materjal ja meetodika**

Päideroo maapealne biomass koguti kolmel erineval aastaajal: 2008. aasta suvel (8., 9. ja 16. juuli), sügisel (14. ja 16. oktoober) ning 2009. aasta kevadel (13. ja 14. aprill). Juulis lõigati biomassi kõigilt uuritavatelt põldudelt. Spetsiaalselt energiakultuurina kasvatatavatelt päideroopõldudelt oli võimalik koguda biomassi ka sügisel ning kevadel. Uuritud seemnepõldudel niideti päideroog maha peagi pärast suvist proovide võtmist.

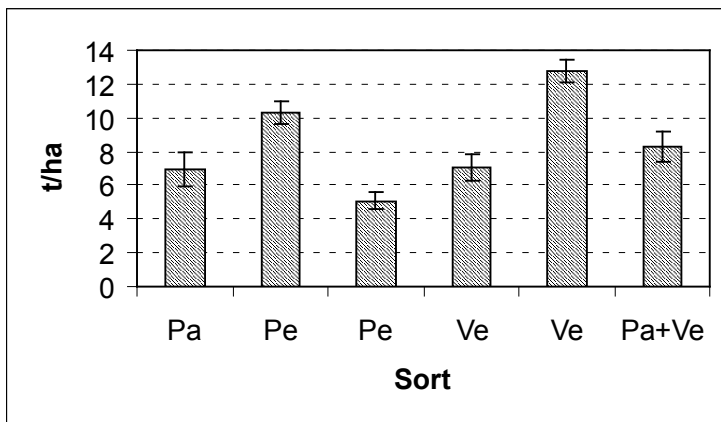
Põldude valiku aluseks oli nende huvipakkuvus teadusuuringuteks. Lisaks

energiakultuurina kasvatatavatele päideroopõldudele Lavassaares ja OÜ Starfeldis külastati mitmete talunike PRIA-toetusi saavaid päideroopõlde üle Eesti. Kahjuks osutusid mitmed söödaks kasvatatud päideroopõllud segakooslusteks teiste taimeliikidega. Samuti ei olnud mitmel juhul võimalik saada lisainfot põlluharimise (eeskätt väetamise) kohta. Seetõttu on käesolevas töös toodud arvandmed vaid nende talunikele kuuluvate põldude kohta, mille kohta kogu vajalik info (külvi aasta, sort, agrotehnilised võtted viimase kolme aasta jooksul) oli kättesaadav. Selline piirang kahandas küll mõnevõrra töö valimit (nt kõikide mineraalmuldadel asuvate põldude mullatüüp oli leostunud või leetjas), kuid võimaldas tulemuste omavahelist võrdlust. Väetamise mõju sai uurida ainult turbamuldadel seoses Lavassaares varem läbi viidud päideroopõldude väetuskatsesga. Mineraalmuldadel paiknevatest põldudest väetati uuringuaastal vaid ühte talunikule kuuluvat seemnepõldu. Uuritud põldudel kasvas kolm erinevat päideroosorti: 'Palaton', 'Pedja' või 'Venture'. Ühele põllule oli külvatud ka sortide 'Palaton' ja 'Venture' segu.

Igal uuritava põllul valiti liikumiseks kindel transekt, millel iga järgmine prooviring paiknes eelmisest 20-30 sammu kaugusel. Igalt põllult võeti kokku 20 prooviringi (ringi pindala 0,07 m<sup>2</sup>), mille seest lõigati kääridega maapinnast umbes 5 cm kõrguselt kõik rohunid, k.a umbrohud. Kui prooviring sattus kohale, kus maapind oli kaetud veega või kus taimed olid vee all lamandunud, valiti uus proovivõtukoht. Igast prooviringist kogutud biomass pandi eraldi jõupaberist kotti ja transporditi sama päeva õhtuks laborisse, kus proovid kuivatati. Biomassiproove kuivatati 80 kraadi juures 72 h. Saagikuse uuringuks kasutati kolmel erineval aastaajal kogutud 1000 biomassiproovi.

### **Tulemused ja arutelu**

Juulis kogutud proovide tulemused näitasid, et mineraalmuldadel andis kõige suuremat saaki sort 'Venture' (12,8 tonni kuivmassi hektarilt) (joonis 1). Samas oli teisel uuritud 'Venture' põllul saak väiksem kui sordi 'Pedja' parimal põllul (10,3 t/ha). Üheks selle 'Pedja'-põllu suure saagi põhjuseks on kindlasti asjaolu, et põldu oli samal aastal väetatud (kõiki

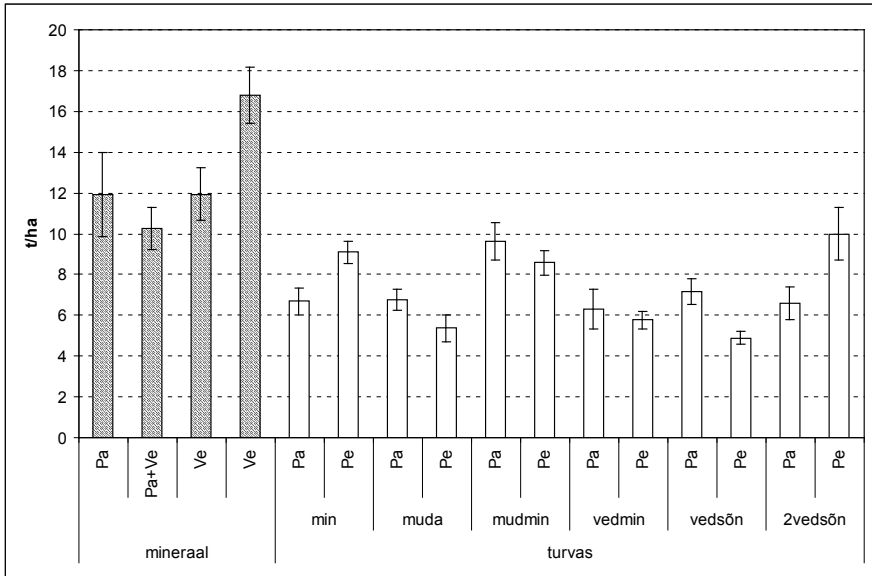


Joonis 1. Päideroo saagikus mineraalmullal asuvatel põldudel juulis 2008. Sortide nimed on lühendatud järgmiselt: 'Palaton' - Pa; 'Pedja' - Pe; 'Venture' - Ve. Vertikaaljoon tulpadel tähistab keskmist viga.

Figure 1. Yield of reed canary grass on mineral soil fields in July 2008. Names of varieties are shortened as follows: 'Palaton' - Pa; 'Pedja' - Pe; 'Venture' - Ve. Bars on columns indicate standard deviation.

teisi mineraalmullal asuvaid põlde olid viimati väetatud aasta enne uurin-  
gud). Lisaks oli see põld rajatud aasta varem, võrreldes teiste mineraal-  
mulladel asuvate kultuuridega. Kirjanduse andmetel (Pahkala jt 2005)  
suureneb päideroopõllu saagikus oluliselt alates kolmandast aastast peale  
külvamist. Seega võib oletada, et 'Venture'- ja 'Palaton'-põllud polnud  
oma täisküpsust saavutanud ning nende saagikus suureneb veelgi.

Sügiseks oli päideroo biomass kõikidel uuritud põldudel suvega võrreldes  
kasvanud. Jätakuvalt oli suurim tootmine mineraalmullal kasvanud  
sordil 'Venture' (16,8 t/ha). Kõikidel turbamullal kasvatatud päideroopõl-  
dudel oli biomass väiksem kui mineraalmullal asuvatel, sõltumata sel-  
lest, et esimesi oli väetatud (joonis 2). Turbamullal kasvanud 'Palatoni'  
ja 'Pedja' sortide keskmine saagikus omavahel oluliselt ei erinenud, kuigi  
poolte väetusrežiimide korral oli 'Palatoni' saagikus statistiliselt oluliselt  
kõrgem. Sorti 'Venture' kahjuks nendele põldudele külvatud polnud.  
Kõige suurem oli saagikus aladel, mida oli väetatud mineraalväetise ja  
reovee komposteeritud jääkmuda seguga. Kõige madalamaks jäi saagikus  
põldudel, mida oli väetatud ainult vedelsõnnikuga või sõnniku ja mine-



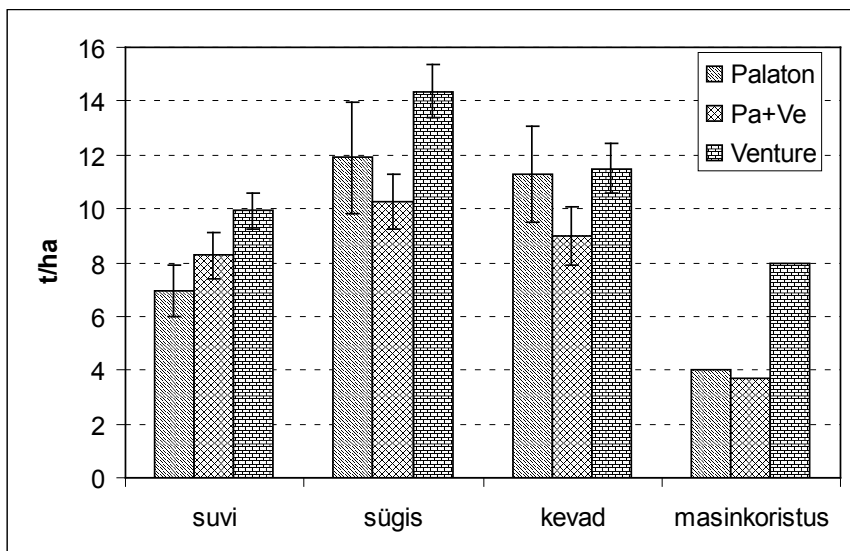
Joonis 2. Päideroo saagikus mineraal- ja turvasmullal oktoobris 2008. Sortide nimed on lühendatud järgmiselt: 'Palaton' - Pa; 'Pedja' - Pe; 'Venture' - Ve. Väetamine: min – mineraalväetis; muda – reovee komposteeritud jääkmuda; mudmin – kahe eelmise segu; vedsõn – vedelsõnnik; 2vedsõn – topeltkogus vedelsõnnikut; vedmin – vedelsõnniku ja mineraalväetise segu. Vertikaaljoon tulpadel tähistab keskmist viga.

Figure 2. Yield of reed canary grass on mineral and organic soil in October 2008. Names of varieties and fertilizers are shortened as follows: 'Palaton' - Pa; 'Pedja' - Pe; 'Venture' - Ve and min – mineral fertilizer; muda – sewage sludge; mudmin – combination of mineral fertilizer and sewage sludge; vedsõn – liquid manure; 2vedsõn – double quantity of liquid manure; vedmin – combination of liquid manure and mineral fertilizer. Bars on columns indicate standard deviation.

raalväetise seguga. Kuna suurem kogus vedelsõnnikut tõstis oluliselt päideroo saagikust, siis võib oletada, et vähene mõju oli tingitud madalast toitainete kontsentratsioonist vedelsõnnikus (vastavalt 33 kg, 7 kg ja 22 kg omastatavat lämmastikku, fosforit ja kaaliumi hektari kohta).

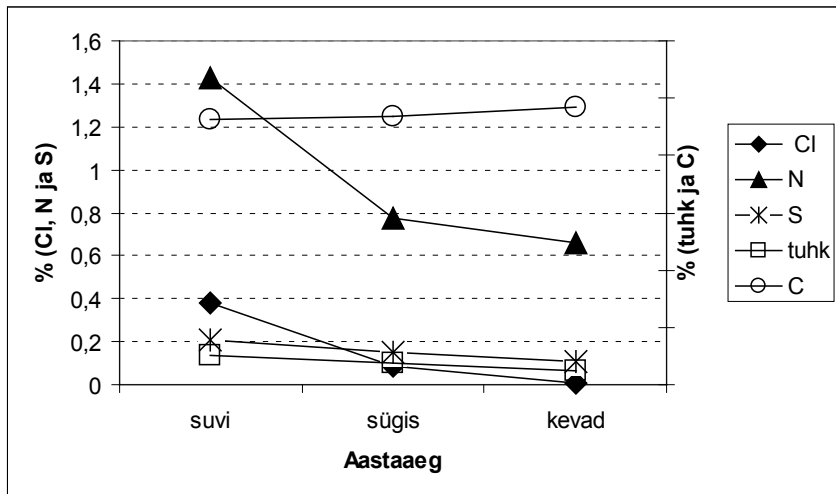
Potentsiaalse saagikuse võrdlus mineraalmuldadel näitas, et suvest sügiseni muutus oluliselt nii sordi 'Palaton' kui ka sordi 'Venture' saagikus (kahe sordi seguga põllul oli muutus statistiliselt mitteoluline). Biomassi kadu sügisest kevadeni ei olnud statistiliselt oluline. Selle põhjuseks võis osaliselt olla tööks kasutatud proovide kogumise meetoodika, mis

nägi ette ka lumikatte tõttu täielikult lamandunud päideroovarte proovi kogumist. Samas näitavad meie tulemused, et lehtede kõdunemisest ning varisemisest tingitud biomassi kadu sügisest kevadeni oli väiksem kui Rootsi teadlaste poolt hinnatud 25% saagikadu (Luger 1997). Vähemalt kolmandik potentsiaalsest saagist jäi 2009. aasta kevadel masinkoristuse ajal põldudelt koristamata (joonis 3, masinkoristusest T. Starke suulised andmed). Veelgi enam, seoses ebasoodsate ilmastikuoludega jäid sellel aastal koristamata kõik uuritud põllud, mis paiknesid turbamuldadel ning üks kõige madalamal jõeluhul asunud OÜ Starfeldi põldudest. Sellest võib järeldada, et suurema biomassikoguse saamise huvides tuleks saaki varuda sügisel või siis täiustada koristustehnoloogiat.



Joonis 3. Päideroo põldude potentsiaalne saagikus erinevatel aastaegadel ning reaalne saak kevadisel masinkoristusel. Vertikaaljoon tulpadel tähistab keskmist viga.

Figure 3. Potential yield of reed canary grass in different seasons and production of reed canary grass harvested in spring by machinery. Names of varieties are shortened as follows: 'Palaton' - Pa; 'Pedja' - Pe; 'Venture' - Ve. Bars on columns indicate standard deviation.



Joonis 4. Erinevate keemiliste elementide kontsentratsioon päideroo maapealses biomassis sõltuvalt aastajast  
 Figure 4. Concentration of different chemical elements in biomass of reed canary grass depending on season

Kõige suuremad probleemid sügisel varutud rohtse biomassi põletamisega katlamajades on seotud biomassi suure tuhasisaldusega ning katelde korrosiooni põhjustavate keemiliste elementide (nt Cl, S) kõrgema kontsentratsiooniga, võrreldes kevadel koristatud saagiga (nt Burvall 1997). Käesoleva töö käigus tehtud analüüsid näitasid, et kevadeses biomassis oli sügisesele võrreldes oluliselt vähem nii tuhka, väävlit kui ka kloori (joonis 4). Juhul, kui sügisese biomassi ebasoovitavate ainete sisaldus ei vasta kasutatava katla kütuse nõuetele, on võimalik vähendada nende ainete kontsentratsiooni, segades rohtset biomassi vähemprobleemaatilise puikütusega. Samas tuleb kindlasti jätkata uuringuid selgitamiseks, kas sordiaretusega või agrotehniliste võtetega on võimalik sügisese päideroo kvaliteeti põletamiseks parandada. Väga järsk lämmastikusisalduse muutus päideroo biomassis suve teisel poolel viitab vajadusele niita varakult need päideroopõllud, mille saaki tahetakse kasutada loomasöödaks või biogaasi tootmiseks. Stabiilne süsinikusisaldus lubab aga oletada, et päideroog talve jooksul oluliselt ei lagune ning omab sarnast kütteväärtust aastaajast sõltumata.



## **Kokkuvõte**

Päideroo kõrge produktioonipotentsiaal Eesti põldudel viitab võimalusele kasutada seda kultuuri bioenergiaallikana. Põllu saagikus sõltub külvatud sordist ning mullast. Kõige kõrgemat saakki andis sort 'Ventura' mineraalmuldadel. Kuna taimede lämmastikusisaldus suve teisel poolel oluliselt väheneb, tuleb biogaasi tootmiseks päideroopõlde varakult koristada. Kõige suurema saagi saaks päideroopõllult sügisel, kuid selle kasutamist põletamiseks võib takistada küttekoldeid kahjustavate elementide kõrge kontsentratsioon. Kevadeks nende elementide sisaldus biomassis langeb ning teoreetiline biomassi saagikus pole sügisest oluliselt väiksem. Samas, päideroo kevadist saagikust võivad vähendada kaod biomassi koristamisel või ilmastikuolud, mis ei võimalda masinatel põllule minna.

## **Kasutatud kirjandus**

- Burvall, J. 1997. Influence of harvest time and soil type on fuel quality in reed canary grass (*Phalaris Arundinacea L.*). – Biomass and Bioenergy, 12(3), 149-154.
- Luger, E. 1997. Energy crop species in Europe. [[http://www.blt.bmlfuw.gv.at/vero/veroeff/0732\\_Energy\\_crops\\_species\\_e.pdf](http://www.blt.bmlfuw.gv.at/vero/veroeff/0732_Energy_crops_species_e.pdf)] (09.09.2009)
- Pahkala, K., Isolahti, M., Partala, A., Suokannas, A., Kirkkari, A.-M., Peltonen, M., Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E., Flyktman, M. 2005. Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. [<http://www.mtt.fi/met/html/met1b.htm>] (07.09.2009)
- Pahkala, K. 2007. Reed canary grass cultivation for large scale energy production in Finland. - NJF Seminar 405 Production and Utilization of Crops for Energy, Vilnius, Lithuania, 25-26 September 2007, 51-55.
- VAPO OY. 2007. Local fuels – backbone of Finland's national security of supply. [<http://www.vapo.fi/filebank/3277-localfuels07final.pdf>] (10.09.2009)

## **YIELD AND QUALITY OF REED CANARY GRASS FOR BIOENERGY PRODUCTION**

Katrin Heinsoo<sup>1</sup>, Katre Hein<sup>1</sup>, Indrek Melts<sup>1</sup>, Bert Holm<sup>1</sup>, Rene Aavola<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estonian University of Life Science, Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Kreutzwaldi 5, 51014 Tartu

<sup>2</sup>Jõgeva Plant Breeding Institute, J. Aamisepa 1, 48309 Jõgeva

Reed canary grass (RCG), (*Phalaris arundinacea*) is considered to be the most suitable perennial energy crop for conditions of temperate region. In Finland delayed harvested RCG is used to produce heat, thus it has excited interest in Estonia as well.

This work was done firstly to evaluate the yield of RCG depending on a variety (*Palaton*, *Pedja*, *Venture*), soil type (mineral or organic), harvesting time and fertilizer. The second purpose was to estimate the quality of RCG depending on a soil type, harvesting time and variety.

The study was carried out during the years 2008-2009. RCG samples were taken from different fields in summer, autumn and spring, dried, weighted and measured the content of ash, C, N, S and Cl. Additionally the theoretical yield based on the samples and the yield obtained by harvesting machinery was compared.

The yield of RCG was highest on mineral soil in autumn (variety *Venture*, 16,8 t/ha). On organic soil the most productive variety was *Palaton*, fertilized with combination of mineral fertilizer and sewage sludge. The average yield loss during the winter ranged was less than 25 %. Production of RCG harvested in spring using conventional large-scale machine was about half of what was predicted by samples. There was observed that concentration of Cl, S and ash of RCG decreased from summer to spring. It is valuable effect of spring harvesting to use RCG for heating. There was also decreased concentration of N. If use the RCG for forage or for biogas production it will be better to harvest before end of summer.

# TUULEENERGIA ARENGUTEST EESTIS VIIMASTEL AASTATEL TOOTJA SEISUKOHALT

Kaupo Toom<sup>1</sup>, Silver Kuusik<sup>2</sup>, Andres Annuk<sup>2</sup>, Jaan Lepa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Elering OÜ, Kadaka tee 42, 12915 Tallinn, e-post: kaupo.toom@elering.ee

<sup>2</sup>Eesti Maaülikool, Kreutzwaldi 1, 51014 Tartu, e-post: silver.kuusik@emu.ee,  
andres.annuk@emu.ee, jaan.lepa@emu.ee

## **Annotatsioon**

Tuuleenergia tähtsus taastuenergiaallikana on maailma mastaabis viimase kümne aastaga tõusnud ligikaudu kümme korda. Selleks, et pildil püsida, tuleb ka Eesti teadlastel pidevalt ennast täiendada. Käesolev ettekanne käsitleb tootjate suhteid seadusandlusega tuuleenergeetikas, Eesti Vabariigi üldpoliitilist suhtumist tuuleenergeetika arendamisse. Välja on toodud olulisemad kitsaskohad tuuleenergia tootmisel.

*Märksõnad: tuuleenergeetika, seadusandlus, prognoos.*

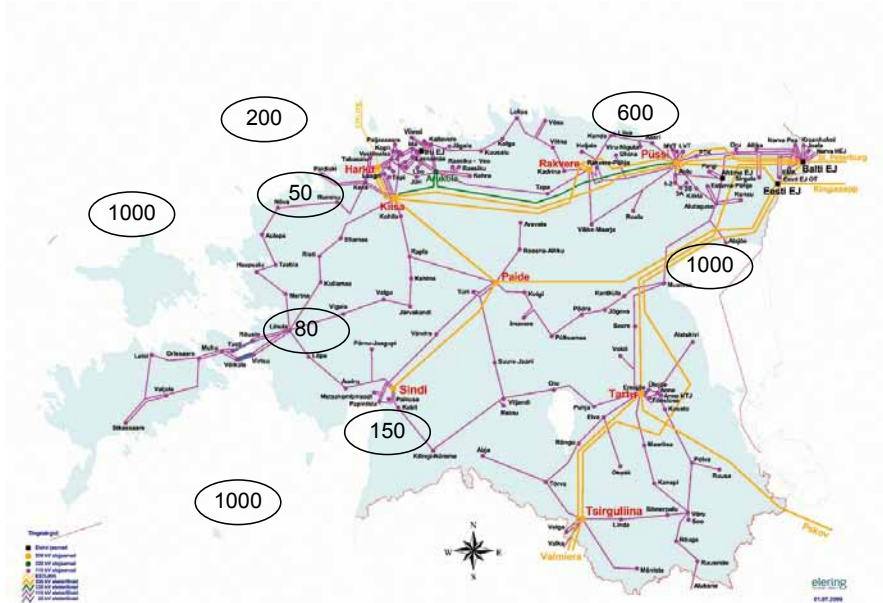
## **Sissejuhatus**

Eesti on oma pika rannikuribaga sobiv tuulegeneraatorite paigaldamiseks. Seda enam, et tuuleenergia leiab maailmas üha enam kasutamist just nimelt kui üks kõige konkurentsivõimelisemaid taastuenergia liike. Tuuleenergia laiem kasutamine aitaks kaasa nii Eesti kui ka Euroopa Liidu energiapoliitika peamistele eesmärkidele: energiaturu liberaliseerimine, energiatootmise hajutamine ning riiklik julgeolek läbi varustuskindluse. Tuuleparkide rajamisega kaasneksid ka märkimisväärsed välismaised otseinvesteeringud, mis kindlustaks Eestile maine kui positiivse investeerimiskeskonnaga progressiivsest ja säästlikult mõtlevast riigist. (2)

## **Tuuleparkide energeetiliste võimsuste kasvu prognoos**

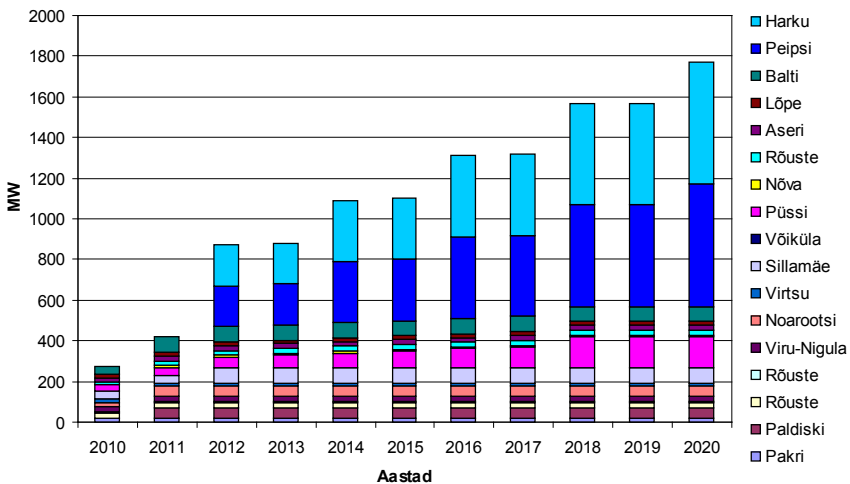
Hetkel on Eesti energiasüsteemis tuulikuid töötamas koguvõimsusega 108 MW. Umbes 200 MW on ehitusjärgus. Avaldusi liitumiseks on tehtud juba üle 4000 MW. Nii suurt hulka tuulikuid kindlasti ei ehitata.

Joonistelt 2, 3 ja 4 on näha, et konservatiivse ja optimistliku prognoosi vahe lähemaks 10 aastaks on enam kui kolmekordne. Väga kiire võimsuste kasv on ennustatav kuni aastani 2012, sealt edasi on trend kasvu



Joonis 1. Tuuleparkide paiknemine ja võimsused (MW) perspektiivis 2020 ja hiljem. (1, H. Agabus 2009)

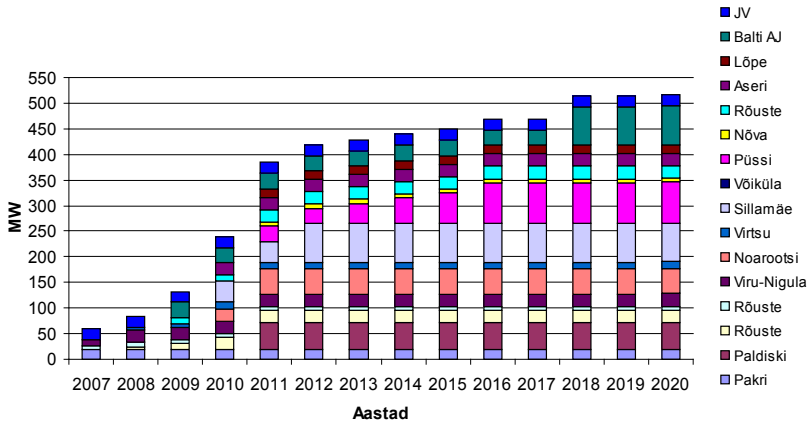
Figure 1. Windparks possible locations and their output (MW) perspective of 2020 and later. (1, H. Agabus 2009)



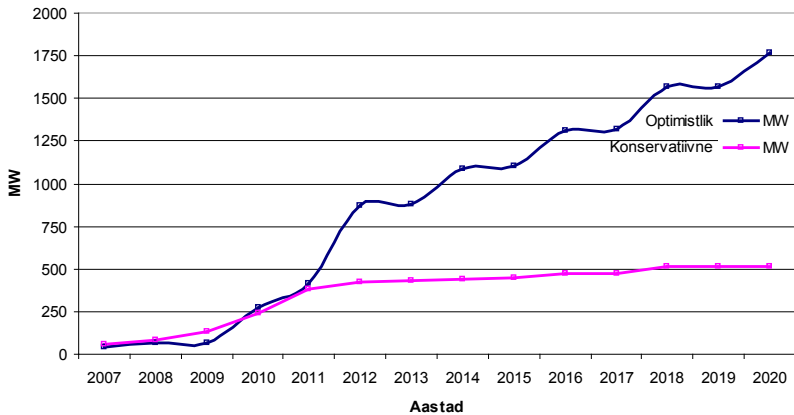
Joonis 2. Tuuleparkide installeeritavate tootmisvõimsuste konservatiivne prognoos  
Figure 2. Windparks install conservative estimate of capacity

suunas mõeldukam. Joonistelt võib järeldada, et teoreetiline maksimaalne tuuleparkide installeeritud koguvõimsus Eesti territooriumil ja rannikumeres on suurusjärgus 4000 MW. Sellega on kõik võimalikud tootlikumate tuultega kohad Eesti territooriumil kaardistatud.

Joonised 2, 3 ja 4 on koostatud Elering OÜ-le esitatud taotluste ja lepingute alusel.



Joonis 3. Tuuleparkide installeeritavate tootmisvõimsuste optimistlik prognoos  
Figure 3. Wind parks install optimistic estimate of capacity



Joonis 4. Optimistliku ja konservatiivse prognoosi võrdlus  
Figure 4. Comparison Optimistic and Conservative forecast

## **Tuuleparkide rajamine**

Tuulikute ja tuuleparkide rajamisel tuleb kõvasti planeerida ja eeltööd teha, et üldse tuuliku püstitamiseni jõuda. Selleks tuleb jälgida erinevaid seadusi, teha mitmeid uuringuid jne. Näiteks täpsed tuuleandmed on vajalikud maksimaalse täpsusega energiatoodangu väljaarvutamiseks ja õige võimsusega turbiini valikuks. Ebatäpsed arvutused võivad põhjustada olukorra, kus valitakse tegelikku tuulepotentsiaali arvestades liiga võimas turbiin, mis vaid harvadel juhtudel jõuab oma nimivõimsuseni, või tehakse liiga optimistlikud majanduskalkulatsioonid ning hiljem ei suudeta võetud laene tagasi maksta.

Kui on leitud sobiv koht, kuhu tuulikud paigaldada, tuleb teha vajalikud uuringud (asukoht, meteoroloogilised uuringud jms), saada erinevatelt ametiasutustelt vastavad load (kohalikud omavalitsused, maavalitsused, rannainspeksioon, lennundus jne), teha tuuleturbiini jaoks hanked ja tarne ning lõpuks teostada erinevad ehitustööd.

Kui on jõutud elektrivõrguga ühendamiseni, on väga palju tehnilisi tingimusi ning kõikidele nendele vastavat tuuleparki ehitada pole nii lihtne, kui esialgu paistab. Elektrituulikute elektrivõrku ühendamisel võib nende talitus mõjutada püsitalitluspinget võrgus. Selle mõju hindamiseks tuleb sooritada püsiseisundi arvutused veendumaks, et elektrituulikud ei põhjusta pinget väljumist lubatavatest piiridest. Vooluharmonoonid ei tohi põhjustada pinget tõusu liitumispunktis. Mõningaid nõudeid on veel välja toodud tabelis 1. Põhiline, mida võrku ühendamisel peab järgima, on elektrituruseaduse § 42 lõike 2 alusel kehtestatud määrus – võrgueeskiri. Tuulikute puhul veel lisaks Eesti Energia AS-i ettevõttestandardit EE 10421629 ST 7:2001 „Tehnilised nõuded elektrituulikute liitumiseks elektrivõrguga”.

Kõige suuremat probleemi on viimasel ajal tekitanud tootjatele automaatika ja releekaitsele esitatavad nõuded. Põhilised probleemid on ühefaasilise lühise katsed, erinevad sideprobleemid SCADA-ga (*Supervisory Control And Data Acquisition*).

**Tabel 1. Tuulikutele esitatavaid nõudeid Eestis (4)**  
**Table 1. Requirements for Windmills in Estonia (4)**

Tuuliku võimsus		200kW-5MW	üle 5 MW
Tolerants üle sageduse ulatuse		jah	jah
Sagedus	Sageduse kontroll	1-5 MW, ilma täpse reguleerimis-karakteristikuta	Kõik
	MW Piiramine	jah	jah
	Maximum Ramp Rates	-	<10% P/min, ramprate peab olema muudetav
Pinge	Pinge kontroll	jah	jah
	Reaktiivvõimsuse kontroll	jah	jah
Pinge kvaliteet	Kiire pinge variatsioonid	<4% (DS)	<3% (TS)
	Short Term Flicker Severity	<=0,35	<=0,35
	Long Term Flicker Severity	<=0,25	<=0,25
	Harmonic Compability Levels	Specific levels	Specific levels
	THD	<5%	<5%
<i>Fault ride-through</i>	<i>Fault duration</i>	Ei ole nõutud	370 ms
	Min pinge	-	olenevalt liitumis-punktist 0% või 25% Un
	Taastumisaeg	-	0,5 s
	Pinge profiil	-	1,2,3-ph
<i>Black-stardi võimalus</i>		Ei ole nõutud	Ei ole nõutud
Signaalid, kommunikatsioon, mõõtmine ja juhtimine	Valmisolek	jah	jah
	Aktiivvõimsuse väljund	jah	jah
	Reaktiivvõimsuse väljund	jah	jah
	MW piiramine	jah	jah
	Sageduse kontroll	Ei ole nõutud	jah
	Võimsuslüliti asend	Ei ole nõutud	jah
	Meteoroloogiline info, tuule tugevus, tuule kiirus, õhurõhk ja temperatuur	Osaliselt nõutud	jah

Samuti peab Eleringiga liitunud elektrituulikute park kõigis talitlusolukordades olema võimeline ilma stabiilsuse kaotamiseta taluma järgmisi rikkeid: kolmefaasiline lühis juhuslikul liinil või transformaatoril ühenduse püsiva katkemisega, ilma taaslülitamiseta; kahefaasiline lühis juhuslikul liinil ebaeduka taaslülitusega. Elektrituulikute park peab taluma vähemalt kolme riket kahe minuti kestel, ilma et ühendus katkeks. Selle tingimuse peamine eesmärk on tagada elektrituulikutele piisavalt häirekindel abitoide.

Kõik karmid nõuded lükkavad aga tuuleparkide õigeaegset ja planeeritud käikulaskmist edasi ning mõjutavad ju selgelt tootja toodangut ja kasumit. Selge on see, et väga palju ei saa tehnilisi nõudeid lõdvemaks lasta, aga mujal maailmas selliseid probleeme nii palju ei esine ja tuulepargid saavad lihtsamalt võrku liituda. Samas on eestlased tuntud igasugu kummaliste euronõuete äärmiselt täpse täitmise poolest. Positiivne on muidugi suurema kontrolli puhul kindlasti see, et igasuguste hilisemate võrgu ja seadmete tõrgete ja probleemide korral on Eesti elektrisüsteem jälle stabiilsem.

### **Kokkuvõte**

Kuigi aastate jooksul on tuulikutele esitatavaid nõudeid pisut karmistatud, on seaduseid tuuleparkide rajamiseks jälle paremaks tehtud just tootja seisukohalt. Sinna alla kuulub ka loomulikult luba ehitada tuuleparke merepõhja. Kui vahepeal oli tuuleparkide kavandamine väga aktiivne, siis majanduslangus ja tuuleenergiast pisut vähendatud energia hind on kavandamise ja ehitamise hoogu maha võtnud.

Rohelise energia ehk suures jaos tuulikutelt tuleva energia tarbimine on tehtud lihtsaks, seda saab teha klienditeeninduses, telefoni teel ja Internetis. Alati on oodatud, et inimesed toetaksid rohelisemat energia tarbimist ja tootmist. Toetamine tähendab siinjuures elektri eest põhipaketis suurusjärg 18 s/kWh rohkem maksmist. Aga parema keskkonna nimel võiksime seda siiski teha. (5)



## **Kasutatud kirjandus**

- Agabus, H. 2009. Large-Scale Integration of Wind Energy into the Power System Considering the Uncertainty Information. TTÜ, doktoritöö. Tallinn.
- Kümme põhilist sammu isikliku tuuleturbiini püstitamiseni. Kättesaadav: <http://www.tuuleenergia.ee/?path=0x137x138> [15.09.2009]
- Palu, I. 2009. Impact of Wind Parks on Power System Containing Thermal Power Plants. TTÜ, doktoritöö. Tallinn.
- Tehnilised nõuded elektrituulikute liitumiseks elektrivõrguga. Kättesaadav: [http://www.energia.ee/uploads/media/tehnilised\\_nouded\\_tuulikute\\_liitumiseks.pdf](http://www.energia.ee/uploads/media/tehnilised_nouded_tuulikute_liitumiseks.pdf) [03.09.2009]
- Rohelise energia hinnakiri. Kättesaadav: <http://www.rohelineenergia.ee/index.php?id=57> [15.09.2009]
- Tšernobrovkin, O. 2008. Hiiumaa tuuleparkide võrguühenduse loomise tehniliste võimaluste analüüs. TTÜ, magistritöö. Tallinn.

## **WIND ENERGY DEVELOPMENTS IN ESTONIA IN PAST FEW YEARS FROM MANUFACTURERS POSITION**

Kaupo Toom<sup>1</sup>, Silver Kuusik<sup>2</sup>, Andres Annuk<sup>2</sup>, Jaan Lepa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Elering OÜ, Kadaka tee 42, 12915 Tallinn, e-mail:*

<sup>2</sup>*Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology, e-mail*

The importance of wind power as renewable energy source has increased in the world approximately ten-fold in the last ten years. In order for our country to stay in the picture, the field must constantly be supplemented by the Estonian scientists. This article concerns the relations between producers, wind energy legislation and general policy approach to wind energy development of the Republic of Estonia. The most important bottlenecks are strict legislation and standards in wind energy production.

# HALUPUUDE ENERGIA ARVESTUS VÄIKEMAJA KÜTMISEL

Mart Hovi, Külli Hovi  
EMÜ tehnikainstituut, hovi@emu.ee, 51 24 422

## Annotatsioon

Käesolevas töös käsitletakse väikemaja halukatla kütusemajandust ja primaarenergia arvestamisega seonduvaid probleeme. Kuna puidukoguse hindamine on tihti subjektiivne, on raske hankida andmeid tegelikult tarbitud energia kohta. Tülikaks muudab selle ka käsitsi teenindatavate väikekatelde madal kasutegur ja kütuse ebaühtlane kvaliteet. Käesolevas artiklis pakutud lahendus on olemuselt lihtne ja realiseeritav väikese kuluuga.

## Sissejuhatus

Soojusenergia tootmisel moodustab põhilise kulu kütus ja selle ettevalmistus. Puitkütuseks on käsitsi teenindatavatel kateldel võimsusega kuni 50 kW tihti halupuu, mille koguse hindamine on traditsiooniliselt subjektiivne. Arveldamisel kasutatakse mahumõõtu, mis võib sisaldada väga erineva koguse energiat. Käesolev meetodika tugineb mahu ja massi koosmääramisele. Halupuud seotakse kimpudesse, mille suuruse määrab sidumisnööri pikkus. Saadud partiklid on mugavalt käideldavad ja enamasti massiga 10-20 kg. Ühiku maht kuupmeetrites on määratav alltoodud silindri valemiga:

$$V = \frac{L \cdot \ddot{U}^2}{4\pi}, \text{ kus}$$

$\ddot{U}$  – kimbu übermõõt ehk sidumisnööri pikkus, m;

$L$  – halu keskmine pikkus, m.

Paigutades valemisse tegurid  $L = 0,5$  m ja  $\ddot{U} = 1$  m, saame tulemuseks

$$V = 0,5 \cdot 1^2 / \pi / 4 = 0,04 \text{ m}^3$$

Võttes saadud tulemusest pöördväärtuse, selgub, et üks ruumimeeter selliselt pakitud halupuitu koosneb 25 kimbust.

Massi määramiseks on mugav kimbud rippkaaluga (joonis 2 vasakul) enne kasutamist üle mõõta ja kanda saadud tulemus küttepäevikusse. Kuna kaks aastat kaetud virnas seisnud puit on saavutanud oma tasakaaluniiskuse (umbes 20% kogumassi suhtes), saab tarbimisaine alumise kütteväärtuse lihtsalt määrata. Seega on ka soojusenergia tootmisel kasutatud primaarenergia kergesti leitav.



Joonis 1. Nööriaga fikseeritud halupuit - 0,04 ruumimeetrit

Figure 1. Rope fixed fuelwood - 0,04 cubicmeters

### **Kütuse säilitamisest ja kasutamisest**

Eelpoolmainitud viisil seotud puukimpude (joonis 1) ladustamisel jääb kimpude vahele küllaltki suur õhuruum, mis soodustab kuivamist. Kui hoiustada puit ruutmeetrisel põhjapindalaga virnadena, on saadud virnas ühe ruumimeetri kohta 18 kimpu ehk 3/4 puitu ja 1/4 õhku.

Kolde täitmisel tuleb arvestada, et kõrge lendosasisaldusega kütuse puhul on leegile vajalik teatud põlemisruum. Näiteks malmkatla DAKON 36 DOR kolle võimaldab sinna korraga asetada umbes 0,02 m<sup>3</sup> puitu, mis vastab poolele eelkirjeldatud kimbust. Klassikalise umbkoldega ahju täitmisel peaks piirduma 1/3 kimbuga.

Puidu niiskuse saab määrata ahjus kuivatades. Ka materjali elektrilise juhtivuse kaudu võib orienteerivalt hinnata niiskust ja seeläbi arvutada kütteväärtust. Niiskuse määramiseks saab kasutada selleks valmistatud seadet, mis on kujutatud joonisel 2 paremal. Kütmisel võiks vältida puitu, mida on hoitud vähem kui kaks suve, kuna ülemäärane niiskus vähendab kütuse põlemisomadusi, kütteväärtust ja raskendab selle süütamist kolde.



Joonis 2. Puidu massi saab määrata rippkaaluga ja niiskust elektrijuhtivuse kaudu

Figure 2. Mass of wood can be weighted and moisture content by electric conductivity

### **Andmetöötlus**

2008. aasta sügispoolaastal kasutatud 200 kimbu mõõtmistulemuste analüüs näitas, et kimbu keskmine mass oli 14,9 kg. Vähima kimbu mass oli 7 kg ja raskeimal 22 kg.

### **Kokkuvõte**

Eeltoodust võib järeldada, et üksnes mahu põhjal tarbitud kütuse koguse hindamine võib anda väga suure vea. Töös pakutud meetodikat on autorid kasutanud viimased kuus aastat. Kogutud andmed võimaldavad analüüsida hoone primaarenergia tarvet erinevate katelde, ilmastikuolude ja energiavajaduse korral.

## **FUEL WOOD ENERGY MEASUREMENTS FOR HEATING**

Mart Hovi, Külli Hovi,  
hovi@emu.ee, 51 24 422

In this work the problems related to wood boiler's fuel management and primary energy valuation are handled. Due to the fact, that the valuation of wood's amount is often subjective, it is hard to acquire the actual data of consumed energy. It is made inconvenient by the low efficiency of manual feeding small boilers and the different quality of fuel. In this article the suggested solution is essentially simple and feasible at low cost.

# PILVEDE *CUMULUS HUMILIS* SEOS PÄIKESEENERGEETIKAGA

Teolan Tomson

Tallinna Tehnikaülikooli materjaliteaduse instituudi vanemteadur

teolan@staff.ttu.ee

Eesti energiasüsteem ja energiasüsteem üldse ei salli eriti järske energiovoo kõikumisi, olgu need positiivsed (tarbimine) või negatiivsed (tootmine). Arvestades fotoelektriliste (PV) päikesefarmide inertsi puudumist, on siirdeprotsessid päikeseelektri tootmisel määratud otseselt pilvevarjude vaheldumisega sekundilises ajapiirkonnas. See vahelduvus on suurim madalalt ja kiirelt liikuvate pilvede *Cumulus Humilis* puhul, mida on ka uuritud. Uurimuse esimeses faasis 2008. aastal konstrueeriti ja rakendati tööle spetsiaalne aparaat, mis tundis ära vaid kiirelt vahelduva päikese kiiritustiheduse ja käivitas 1s sampimisintervalliga automaatsalvestuse. Suvesesoonil toodeti niimoodi 186 mitmesuguse pikkusega faili (üle 500 000 näidu). 2009. aastal mõõdeti katsepõlügenil pilvevarjude liikumiskiirust maapinnal. Selgus tuule märgatav turbulentsus pilvedes, kusjuures varjude kiiruste skaala oli küllalt lai: suurusjärgus  $0,5 \dots 20 \text{ ms}^{-1}$ . Nimeetatud kiirusi on vaja teada selleks, et arvutada hajutatud päikesefarmide siluvat toimet elektrisüsteemile.

*Võtmesõnad: Cumulus Humilis, kiiritustiheduse automaatregistreerimine, pilvevarju liikumiskiirus maapinnal.*

## Sissejuhatus

Eesti energiasüsteem ja energiasüsteem üldse ei salli eriti järske energiovoo kõikumisi, olgu need positiivsed (tarbimine) või negatiivsed (tootmine). Arvestades fotoelektriliste (PV) päikesefarmide inertsi puudumist, on siirdeprotsessid päikeseelektri tootmisel määratud otseselt pilvevarjude vaheldumisega sekundilises ajapiirkonnas. Lisaks võimsuse muutusele mõjutab päikesekiirguse vaheldumine ka kasutatavate materjalide eluiga, väsitades neid materjale soojuspaisumise tõttu. See vahelduvus on suurim madalalt ja kiirelt liikuvate pilvede *Cumulus Humilis* puhul (joonis 1).

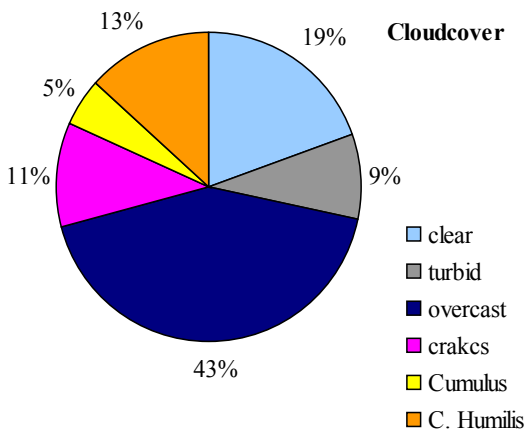


Joonis 1. Ühekihilised Cumulus Humilis pilved  
 Figure 1. Example of the single layer Cumulus Humilis

Nende pilvede dünaamikale pühendatud uurimus koosneb kolmest osast ja viidi läbi Tallinna Tehnikaülikoolis aastatel 2008 ja 2009 Eesti Teadusfondi uurimisraha (grant 7332) toel.

### Pilvede visuaalne vaatlus

Vaatlus viidi läbi kahe pilvitust sõltumatult hindava vaatleja poolt 2008. aasta suvesesooni igal keskpäeval. Pilvitust hinnati selle dünaamilise käitumise seisukohast ja see erineb tavalisest atmosfäärifüüsika klassifikatsioonist (joonis 2).



Joonis 2. Pilvkatte „dünaamiline“ klassifikatsioon vaatluse alusel  
 Figure 2. Dynamic quality of clouds by observation

Sektorite tähendus on järgmine: „clear“ – selge, pilvitu taevast; „turbid“ – hägune, vähesel läbipaistvusega päikeseline taevast; „overcast“ – lauspilves taevast. Need kolm pilvkatet (energiasüsteemi) dünaamika mõttes probleeme ei tekita. „Cracks“ – üksikute pragudega üldiselt pilves taevast; „Cumulus“ – kõrged rümpilved, mis järskude servade tõttu põhjustavad järskede kiiritustiheduse muutusi (inkrementide). Mõlemad neist põhjustavad harva kiiritustiheduse muutusi. „C. Humilis“ – selgitatud ülalpool. Joonisel esitatud protsent näitab nende suhtelist esinemist vaatlushetkel, mitte kogu valge päeva vältel. Visuaalne vaatlus on käepärasem, aga ühtlasi selgus, et ühest vaatlusest päevas jääb väheks ja vaatlajate subjektivism on suur. Need asjaolud selgusid võrdluses kiiritustiheduse automaat-registreerimisega.

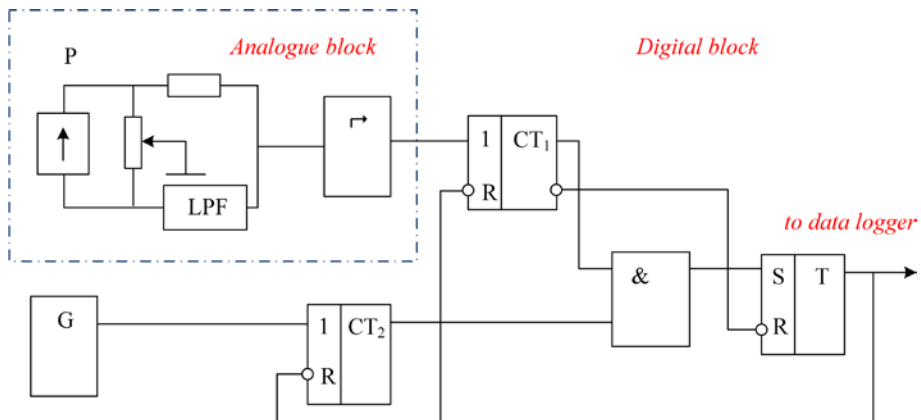
### **Kiirelt vahelduva päikese kiiritustiheduse automaatregistreerimine, aparatuur**

Senised päikesekiirguse kiirete protsesside mõõtmised ja analüüs on tehtud 1 minuti keskväärtuste järgi, mida toetab BSRN (Baseline Surface Radiation Network)-metoodika, mida on rakendatud ka Tartu Observatooriumis Tõraveres (Tomson jt 2008). See näeb ette 10sekundilise intervalliga mõõtmisi, mida andmestikus esitatakse ühe minuti keskväärtusena. Allpool näidatakse, et see pole kiirelt liikuvate pilvede *Cumulus Humilis* puhul piisav. Seepärast kasutatakse käesolevas töös 1 s intervalliga mõõtmisi. Pidev sellise intervalliga mõõtmine ei ole mõistlik, sest andmestik kujuneks tohutu „raskeks“ ja sisaldaks palju uurimuse jaoks ebavajalikke andmeid.

Lahendus leiti spetsiaalse aparadi ProCumulus konstrueerimisega, mis tunneb ära kiirelt vahelduva kiiritustiheduse ja salvestab andmelogerisse (GRAPHTEC Corporation Midilogger GL200) andmeid ainult seni, kuni vahelduv kiirgus kestab. Seadme plokk skeem on kujutatud joonisel 3.

Seade koosneb analoog- ja numbrilisest osast. Analooosas võrreldakse püranomeetri P väljundi hetkväärtust tema keskväärtusega (madalpass-filtri LPF väljund). Kui kiiritustiheduse muutumise kiirus ületab ette an-





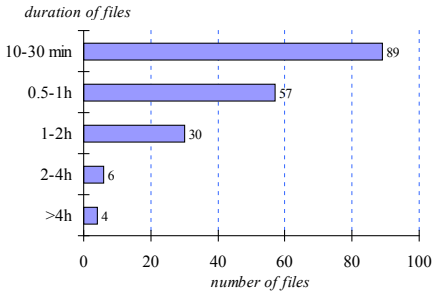
Joonis 3. Kiirguse ebastabiilsuse anduri ProCumulus plokskeem  
 Figure 3. Flow-circuit of the sensor "ProCumulus" to detect fastly alternating radiation

tud läve ( $\sim 100 \text{ Wm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), siis rakendub läveseadet „ $\rightarrow$ “ ja annab impulsi numbrilisele osale. Need impulsid ( valida 2 või 4) salvestatakse loenduris  $CT_1$ .

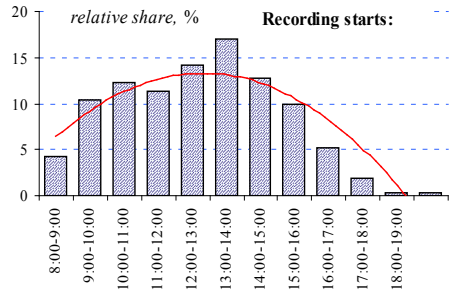
Generaator G ja loendur  $CT_2$  formeerivad kontrollintervalli ( $\sim 9$  minutit). Kui  $CT_1$  on täitunud, toimib kontrollintervalli signaal trigerile T, seda asendisse „1“ viies ja avades andmete salvestamise. Kui mitte, jääb triger T asendisse „0“, mis blokeerib andmete üleskirjutamise.  $CT_2$  täitumine (kontrollintervalli lõpp) tagastab  $CT_1$ . Triger T tagastatakse, kui järgmine kontrollintervall on „tühi“, s.o  $CT_1$  pole vahepeal rakendunud. Seega toimub andmete salvestamine 1 s intervalliga seni, kuni vahelduv kiirgus kestab.

### Kiirelt vahelduva päikese kiiritustiheduse automaatregistreerimine, tulemus

Sesooni kestel (mai – august) registreeriti 186 faili (lühikesed, 9minutilise kestusega failid, mis ei sisaldanud kasulikku informatsiooni, kustutati) üle 500 000 üksiknäiduga. Failide pikkuste jaotus on kujutatud joonisel 4 ja nende failide algusajad joonisel 5.



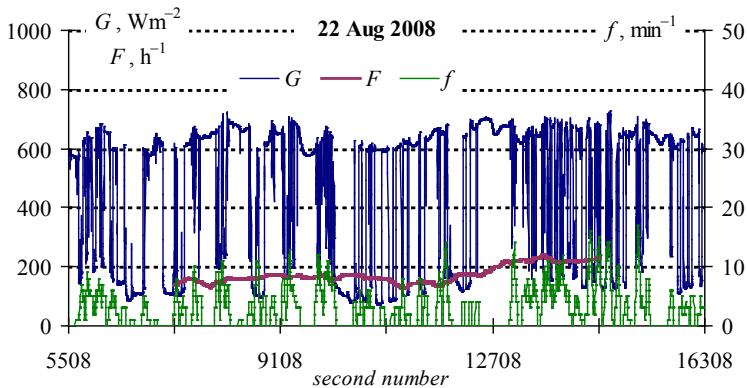
Joonis 4. Andmefailide pikkuseline jaotus  
 Figure 4. Distribution of recorded files by their duration



Joonis 5. Salvestuse alguse jaotusdiagramm  
 Figure 5. Distribution of the daily moment of start of the recording

Näeme, et keskpäev on vaatluse tegemiseks tõepoolest parim aeg, aga küllalt palju uuritavaid juhusid jääb sellise meetodikaga vahele.

Joonisel 6 on esitatud näide kiirelt vahelduva kiirgusega päeva kohta.



Joonis 6. Kiirelt vahelduva päikesekiirguse näidis  
 Figure 6. Example of the recorded fast-alternating irradiance

## Kiirelt vahelduva päikese kiiritustiheduse dünaamika hindamise kriiteeriumid

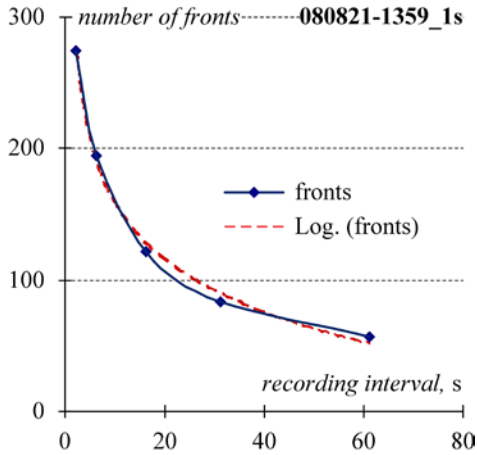
Et iseloomustada vahelduva päikesekiirguse dünaamilisi omadusi, võib kasutada järgmisi näitajaid.

1. Standardhälve kogu andmestiku kohta või selle jooksev väärtus valitud libiseva ajaühiku kohta. See on kergesti arvutatav ja kõrvutatav suurus. On oluline, mille järgi see on leitud: hetkväärtuste järgi (ja millise sampimissageduse juures) või keskvärtuse järgi. Viimane silub protsessi ja annab oluliselt väiksema väärtuse (Tomson ja Hansen 2010). Seepärast ei saa BSRN-metoodikat kiirete dünaamiliste protsesside jaoks sobivaks pidada.
2. Inkrementide jaotusseadus, mis on eksponentsiaalsele jaotusseadusele lähedane. Seda on tülilikam leida, aga selle abil on võimalik arvutada mitme PV-farmi koosmõju energiasüsteemile.
3. Frontide (mõistagi juhuslik) sagedus, s.o nende arv ajaühikus, näit minutis või tunnis. „Frontid“ definitsiooni on raske anda siirdeprotsesside mitmekesisuse ja ebamäärasuse tõttu. Näiteks loeme frondiks monotoonse kiiritustiheduse sellise muutuse, mis sisaldab vähemalt ühe inkrementi väärtusega  $\Delta G \geq 100 \text{ Wm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Väiksemad inkrementid võime klassifitseerida kiirguse fluktuatsioonide hulka, mis eksisteerivad alati, ka selge ilmaga. See pole ainuke võimalik definitsioon. Teiseks võimaluseks on defineerida fronti kui kiiritustiheduse hetkväärtuse siiret üle tema (libiseva) keskvärtuse. Selle tehtega viiakse reaalne kiiritustiheduse diagramm üle digitaalseks (juhuslikuks telegraafisignaalsiks) nivoode 1 ja 0 vahel.

Joonisel 6 on kujutatud vahelduva päikesekiirgusega salvestuse näide. Sinine täisjoon „G“ on kiiritustiheduse diagramm 1 s sampimisintervalli juures. Roheline markeritega joon „f“ on frontide sagedus minutis. Tume-punane poolpaks joon „F“ on sama, kuid tunni kohta.

Võime veenduda, et viimane peegeldab kiirguse muutuvat struktuuri kõige vähem adekvaatselt. Omakorda on vahe selles, kas frondid on leitud hetkväärtuste järgi või ühe minuti keskvärtuste järgi. Frontide sagedus

sõltub valitud sampimisperioodist (sagedusest). Joonisel 7 on kujutatud analüüsitud näitel leitud frontide arv sõltuvalt sampimisperioodi pikkusest. Diagramm tugineb kiiritustiheduse mõõdetud hetkväärtustele, kui kasutada 1 minuti keskvaartusi (60 sek asemel), siis väheneb leitud frontide arv veelgi.

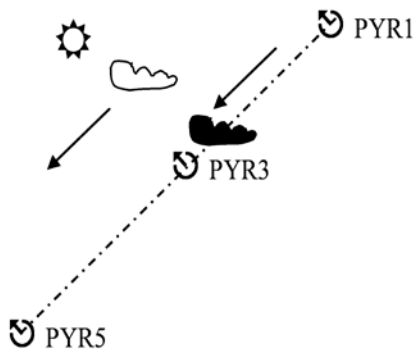


Joonis 7. Frontide arv näidises, sõltuvana sampimisintervalli pikkusest  
Figure 7. Dependence of recorded fronts depending on the sampling interval

### Pilvevarjude liikumiskiirus maapinnal

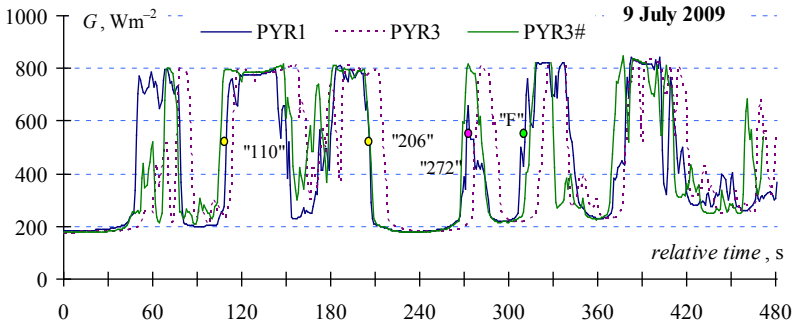
PV-moodulite poolt genereeritud summaarne võimsus elektrivõrgus on mõnevõrra silutud, sest elektriline võimsus liitub hetkeliselt, kuid päikesekiirguse frondid ei esine erinevates paikades (näiteks PV-farmi äärtel) üheaegselt. Et hinnata silumise efekti suurust, on vaja teada pilvevarjude liikumiskiirust maapinnal. Sellele on suunatud 2009. aasta uurimused, mis on selle artikli kirjutamise hetkel veel lõpetamata.

Mõõtmisemetoodika on järgmine: avatud maastikugapolügoonil (uurimisel rakendati Pääsküla renoveeritud prügimäe) rajati pilvede liikumise suunal 100 m pikkune baas (joonis 8) ja salvestati 1 s sampimisintervalliga kolme püranomeetri (PYR) näidud. Neist keskmine on kontrolliks. Diagrammi nihke järgi äärmiste vahel on arvatav pilvevarju liikumiskiirus, mis kümne mõõteseansi andmetel varieerub küllalt suurtes piirides  $0,5 \dots 20 \text{ ms}^{-1}$ .



Joonis 8. Pilvevarjude liikumiskiiruse mõõteskeem maapinnal  
 Figure 8. Measurements of the speed of cloud's shadows

Püranomeetrite numbrid on omistatud vastavalt kasutatud andmelogeri kanali numbritele. Kuna andmetöötlus on veel pooleli, ei saa analüüsi lõplikest tulemustest rääkida. Võib teha vaid esialgseid märkusi. Mõõtmiste täpsus ei ole suur, tõenäoselt on viga  $\pm 10\%$  piirides. Esimene põhjus: baasi mahamärgitud suund on veega pilvevarjude liikumise suunale. Pilved ei tarvitse olla frondiga risti liikumissuunale ja maapinnal näiv varju liikumissuund erineb pilvelaama tegelikust keskmisest liikumissuunast. Pilvelaama keskmine liikumissuund muutub, pooletunnise seansi jooksul sageli kuni 30 kraadi. Kaablite mahapanek, üleskorjamine ja tagasipanek võtab rohkem aega kui pilvelaama suunamuutus ja seda ei jõua jälgida. Seega eksisteerib suunaviga. Teiseks on raske defineerida pilvelaama kiirust, sest pilvesisese turbulentsuse tõttu varju kiirus varieerub ja seda selgitame diagrammiga joonisel 9. Segavalt mõjub ka sageli esinev teine pilvekiht, mis maa pealt silma ei paista, aga erineva kiiruse ja suuna tõttu moonutab kiirguse diagramme püranomeetrite erinevatel aadressidel. Lõplikku meetodikat, kuidas pilvevarju liikumiskiirust määrata, ei ole veel. Esialgu on meetodika järgmine: erinevaid diagramme nihutatakse (näiteks viivitatakse) nii kaua, kuni kujutised suuremas osas kokku langevad. Ülaltoodud põhjusel esineb täielikku kokkulangevust vaid üksikjuhtumitel. Leitud viite suurus ja baasi pikkus on aluseks kiiruse  $u$  arvutamisel:  $u = 100/T_d$ ,  $\text{ms}^{-1}$ , milles  $T_d$  on diagrammide kokkulangevuse saavutamiseks vajaliku ajalise nihke suurus  $s$  ja 100 baasi pikkus  $m$ .



Joonis 9. Pilvevarjude kiiruse mõõtmine salvestatud kiiritustiheduse diagrammi abil

Figure 9. Measurement of the speed of cloud's shadows via diagram of the recording

Selgitame öeldut joonise 9 baasil. Joon PYR1 on „tuulepealse“, s.o enne-tuva püranomeetri diagramm. Joon PYR3 on „tuulealuse“ püranomeetri naturaalne diagramm, hilistuv eelmise joone suhtes. Joon PYR3# on ajas ettepoole nihutatud PYR3 diagramm, selline, et diagrammid ühilduksid ajahetkel „206“ (markeri tähis). Vajalik  $T_d = 9$  s ja pilvevarju kiirus  $u = 11,1$  ms<sup>-1</sup>. Markeri „110“ hetkel oleks diagrammide ühildumiseks vajalik  $T_d = 5$  s ja pilvevarju kiirus  $u = 20$  ms<sup>-1</sup>. Seega on pilve kiirus pooleteise minuti jooksul muutunud ligi kaks korda, mis viitab tugevale turbulentsusele pilvedes. Markeri „272“ juures on tähelepanev, et diagrammid ei lange kokku kas pilve kuju muutuse või teise varjatud (?) pilvekihi mõjutusel. Marker „F“ ajahetkel „~310“ viitab raskustele frondi defineerimisel. Positiivne front on ilmne, aga tegemist pole monotoonse kiiritustiheduse tõusuga. Kõik nimetatud nähtused teevad diagrammide tõlgitsemise komplitseerituks.

### Kokkuvõte

Pilvede visuaalne vaatlemine näitab kiirete *Cumulus Humilis* laadsete pilvede küllalt sagedast esinemist. Vaatlejate subjektivism on suur ja ühest vaatluskorrast päevas jääb väheseks.

Automaat, mis võrdleb kiiritustiheduse hetkväärtust tema libiseva kesk-  
väärtusega ja registreerib siirded kontrollintervalli jooksul, on efektiivne  
vahend kiirete kiirguse muutuste salvestamisel 1 s sampimisintervalliga.

Pilvede dünaamilist käitumist iseloomustavad kiiritustiheduse (libisev)  
standardhälve, kiiritustiheduse inkrementide jaotusseadus ja sagedus.  
Kiirete pilvede puhul pole BSRN-metoodika, mis registreerib ühe minu-  
ti keskvaartusi, piisav dünaamika kirjeldamiseks. Õigem oleks kasutada  
üheminutilise sampimissagedusega registreeritud hetkväärtusi.

On tehtud esimene katse mõõta pilve(varju)de liikumiskiirust ja märgatud  
tuulekiiruse suurt turbulentsust pilvedes.

### **Tänuavaldus**

Autor tänab SA Eesti Teadusfondi toe eest töö finantseerimisel, Tallin-  
na Keskkonnaametit loa eest kasutada Pääsküla renoveeritud prügimäge  
katsepolügoonina ja „meeskonna“ liiget Tartu Observatooriumi vanem-  
teadurit DSc Viivi Russakut, kes tagasihoidliku inimesena hoidus kaasau-  
torlustest, konsultatsioonide eest.

### **Kasutatud kirjandus**

Tomson, T., Russak, V., Kallis, A. 2008. Dynamic Behavior of Solar Ra-  
diation. Chapter 10 in the book: V. Badescu, Modeling Solar Ra-  
diation at the Earth's Surface Springer Verlag, Berlin-Heidelberg,  
257 – 281.

Tomson, T., Hansen, M. Fast changes of the solar irradiance. Eesti TA  
Toimetised, seeria: inseneriteadused. Toimetamisel.

## RELATION OF CLOUDS *CUMULUS HUMILIS* TO THE PRODUCTION OF PV-ELECTRICITY

Teolan Tomson

Tallinn University of Technology, dept. of Materials Science  
teolan@staff.ttu.ee

An energy system is affected by fast changes of generated capacity, what is especially important due peculiarities of the Estonian grid. Considering the zero value of transient process in PV-modules, the dynamic behavior of any PV-farm is assessed by shadows of clouds, which are alternating in time range of seconds. The alternation is higher in case of fast moving clouds *Cumulus Humilis*, which were investigated using sampling interval of 1 s. In 2008 was designed a special sensor, detecting fast changing of irradiance and which did control the datalogger. In the summer season was recorded such a way 186 files with over 500,000 registered values. In 2009 speed of cloud's shadows were measured on the ground. The range of velocities was significant  $0.5 - 20 \text{ ms}^{-1}$  and high level of the turbulence in clouds was discovered. The said velocities are important while calculating general impact of several PV-modules (or -farms), differently located on the ground.



## PELLETID, TURG JA KOOSTÖÖ- PROJEKT “PELLETS@LAS“

Wolfgang Hiegl<sup>1</sup>, Maria Habicht<sup>2</sup> ja Marek Muiste<sup>3</sup>

<sup>1</sup>WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs-KG, wolfgang.hiegl@wip-munich.de

<sup>2</sup>Lõuna-Eesti Taastuenergia Keskus, mari@irc.ee

<sup>3</sup>Eesti Maaülikool, Tartu Regiooni Energiaagentuur, marek.muiste@emu.ee

### **Annotatsioon**

Käesolev artikkel tutvustab puitpelletite osa kaasaegses energeetikas, vaatleb kohalikku pelletiturgu ja tutvustab rahvusvahelise koostööprojekti „Pellets@las“ tegevust.

*Märksõnad: pellet, segapellet, taastuvkütus, biokütus, puit, puidugraanul, energia, turg, Euroopa Liit.*

### **Sissejuhatus**

Pelletite tähtsus kütusena on Euroopa riikides nagu ka mujal maailmas järjest kasvamas. Tegemist on taastuvkütusega, mille ulatuslikum kasutamise aitab kaasa Euroopa Liidu taastuenergiaalaste eesmärkide, eelkõige taastuenergia ehk RES-direktiivi täitmisele. Kvaliteedinõuetele vastavaid pelletideid on lihtne kasutada energia tootmiseks nii väikse võimsusega kodukateldes kui ka suurtes koostootmisjaamades, mis omakorda soodustab koostootmisjaamade levikut. Rootsisis toodetud madala keskkonnamõjuga puitpelletid on energeetiliselt vääringult (EPR) võrreldavad Venemaalt imporditud loodusliku gaasiga, olles heaks alternatiiviks gaasijaamade arendamisele.

Viimane asjaolu võimaldab pelletite laiema kasutuse abil vähendada kütusevarustuse riske. Siiski tuleb sellesse väitesse suhtuda pisikese eelarvamusega, mis tuleneb eelkõige rahvusvahelisest puidu- ja puitkütuste kaubandusest. Siiani on olnud toorpuidu import Venemaalt Euroopa Liitu võrdlemisi intensiivne, seda eriti Balti riikidesse ja Soome, mis kõik on suured pelletitootjad (Eesti tootis 2007. aastal enim pelletideid *per capita* maailmas). Tänapäeval on kaubandusregulatsioonide ja maksude tõstmise tõttu küll toorpuidu impordimahud langemas ning Venemaa on tea-

tanud, et soovib edaspidi eksportida puitu tema väärindatud kujul. Üks selliseid on ka pelletid.



Joonis 1. Pelletid sobivad hästi kaasaegset energeetikaparadigmat (Verrastro & Ladislav 2007) illustreerivasse mudelisse, kuivõrd nende kasutamine aitab kaasa energeetika keskkonnamõju vähendamisele ning, suurendades energeetilist mitmekesisust, aitab vähendada kütuseriske. Majanduslikult mõttekaks muutub pelletite kasutamine paraku alles pikemas perspektiivis, eeldades selleks turu ja infrastruktuuri põhjalikku arendamist.

Figure 1. Pellets fit well into the model describing the modern energy paradigm [Verrastro & Ladislav 2007], as their use contributes to decreasing environmental effects of energy industry and the risks of fuel availability by increasing the diversity of energy supply. Economically meaningful will be using of pellets on longer term as for that it requires the development of market and infrastructure.

Kui üldiselt on teada pelletite tootmise ja tarbimisega seotud tehnoloogilised faktid, sellesisulist kirjandust on ilmunud ka eesti keeles (Vares *et al* 2005), siis vähem on võrreldud erinevate riikide kogemusi selles valdas. Rahvusvahelistel pelletiturgudel toimuvat uuris ja kaardistas projekt „Pellets@las“, kuhu muuhulgas kuulusid ka Eesti spetsialistid. Projekti fookuses olid küsimused riikide pelletitootmise ja -tarbimise statistikast, riikidevahelisest pelletikaubandusest, riiklikest eripäradest ning arengust selles valdkonnas. Kaudselt tõstatas projekt paljudel juhtudel küsimuse valdkondlike andmete kättesaadavusest ja ettevõtjate valmidusest koostööks. Eriti teravalt eraldusid selles osas Austria ja Saksamaa, kus pelletituru statistika kogumine on riiklik tegevus, ning Balti riigid, kus selline tegevus puudub või on ebaregulaarne. Eraldi näiteks on Põhjamaad (eriti Soome), kus energeetika on paljudel juhtudel riiklik äri ning andmeid heameelega kolmandatele osapooltele ei väljastata.

### **Projekt „Pellets@las“**

Lisaks üldisele pelletiturule tegeles oluline osa projektist ka segapelletituru uurimisega. Kui puitpelletite tootmises on Eesti maailma esirinnas, siis segapelleiteid ning nende tootmisvõimalusi alles uuritakse ja katsetatakse. Oluline on siinkohal Eesti Maaülikooli töörühmade tegevus, mis püüab leida võimalusi heintaimede, põllumajandussaaduste jm briketeerimiseks (Olt *et al* 2008). Kuid näiteks Saksamaal ja Soomes moodustavad segapelletid juba arvestatava osa igapäevasest pelletiturust (VTT andmetel Soomes ligi kolmandiku 2007. a turust).

Põhiraskuseks projekti elluviimisel oli riikide ja turgude erinev reguleeritus, mis tegi andmekogumise mõnel juhul lihtsaks, kuid mitmel juhul ülimalt keeruliseks. Töö edukus sõltus andmete õigeaegsest laekumisest ning nende andmete kvaliteedist. Paraku keeldusid paljud ettevõtted oma andmeid avaldamast, seda eriti regioonides, kus puudus riiklik regulatsioon nende andmete kogumiseks. Tabel 1 annab ülevaate Eesti, Läti ja Leedu turuosalistest, kes projektis kaasa löid.

*Tabel 1. Projektis osalenud turuosalised ettevõtted*  
*Table 1. Pellet market actors participating in the project*

	<i>Alustades</i>	<i>Töö käigus lisandunud</i>	<i>Kokku</i>	<i>Pelleti tootmise lõpetanud, kuid brikette toodab</i>	<i>Kütuse tootmise lõpetanud</i>	<i>Turul väljas</i>	<i>Osalemisest keeldunud</i>	<i>Töös</i>
Eesti	9	1	10	1		1	3	6
Läti	23	17	40	3	13	16	2	22
Leedu	40	7	47	12	10	22	7	18
<b>Kokku</b>	<b>72</b>	<b>25</b>	<b>97</b>	<b>16</b>	<b>23</b>	<b>39</b>	<b>12</b>	<b>46</b>

„Pellets@lase“ projekti südame moodustas Interneti kaudu hallatav andmebaas (joonis 2), mis sisaldab infot tootjariikide, seal paiknevate ettevõtete ja nende geograafiliste andmete kohta. Andmebaasi kasutajaliides võimaldab seda kasutada ka statistilise tööriistana, andes huvilistele võimaluse selekteerida andmeid riikide ja turuosaliste tüüpide (tooraine tarnijad, pelletitootjad, pelletitarnijad jne) kaupa.

Lisaks sisaldab andmebaas statistilist (riikide keskmist) hinnainfot, riiklike ülevaateid, analüüse, juhendmaterjali jne.

### **Eesti pelletiturg**

„Pellets@lase“ projekti raames koostati lühiülevaade Eesti, Läti ja Leedu pelletiturust (Habicht & Muiste 2009). Eesti on sarnaselt Läti ja Leeduga liitunud ÜRO kliimakonventsiooniga ning meie bioenergeetika valdkonna arengut mõjutab nii globaalne kui ka Euroopa Liidu keskkonnapoliitika. Taastuvkütuste osa meie kogutarbimises on u 18%, mis suuresti ületab Euroopa Liidu keskmise näitaja (8,5%). Pelletteid toodeti Eestis 2007. aastal 338 000 tonni. Peamine tootmismahd jaguneb kolme suure tootja vahel: AS Graanul Invest (aastane tootmisvõimsus 150 000 tonni), AS Hansa Granul (100 000 tonni) ja AS Kalvi Mõis (100 000 tonni). Eesti pelletitoodang elaniku kohta on maailma suurim: 2006. aastal oli see 225 kg *per capita*. Järgnesid Rootsi 160 kg ja Läti 153 kg *per capita* (Eesti Konjunkturiinstituut 2008). Keskmine hind kodutarbijale 2007. aastal oli 2830 kr tonn (hind sisaldab käibemaksu).

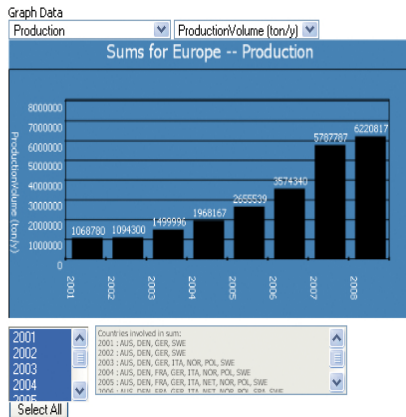
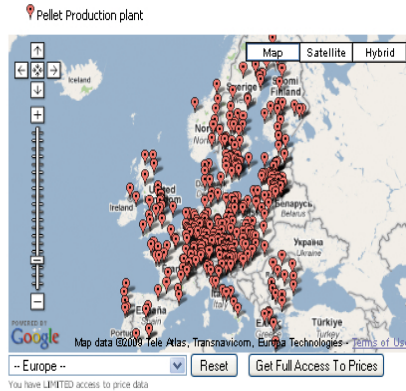


> Pellet Market Databases > Market Data

Market Data  
Search Guide

## Pellet Market Data

Market Actors



Joonis 2. „Pellets@lase“ veebitööriist, mis võimaldab ligipääsu Euroopa riikide turuandmetele  
 Figure 2. Online-tool of Pellets@las to access the market data of different European countries



**Analysis of the global pellet market**

Including major driving forces and possible technical and non-technical barriers

Deliverable 6.2  
February 2009

Martin Junginger  
Richard Sikkema  
André Faaij

Copernicus Institute, Utrecht University

With contributions from  
Alan Bulvik (Gratenau & Hesselbacher)  
Staffan Melin (Wood Pellet Association of Canada WPAC)  
Anton Ovsyanko (Russian National Bioenergy Union NBU)  
Olga Raktova (Russian National Bioenergy Union NBU)



Development and promotion of a transparent European Pellets Market  
Creation of a European real-time Pellets Atlas

**Pellet market overview report**

**EUROPE**



Intelligent Energy Europe



Development and promotion of a transparent European Pellets Market  
Creation of a European real-time Pellets Atlas

**Pellet market country report**  
**Baltic countries**

**ESTONIA / LATVIA / LITHUANIA**

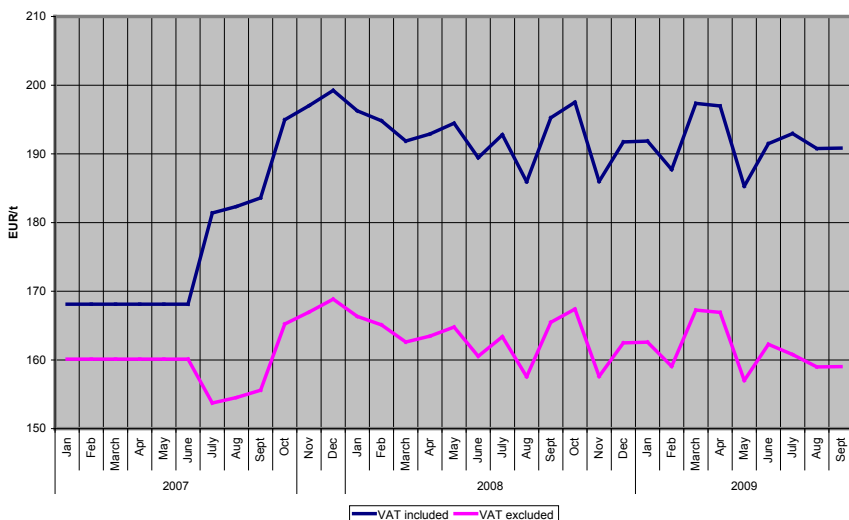


Intelligent Energy Europe

Joonis 3. Analysis of the global pellet market [Junginger et al 2009], PELLETS@LAS European Market Overview [Hiegl & Janssen 2009] ja Pellet Market Country Reports – Baltic countries [Habicht & Muiste 2009]; ülevaate andmine rahvusvahelisest, Euroopa ja üksikriikide pelletiturust oli üks „Pellets@lase“ projekti eesmärke.

Figure 3. Analysis of the global pellet market [Junginger et al 2009], PELLETS@LAS European Market Overview [Hiegl & Janssen 2009] and Pellet Market Country Reports – Baltic countries [Habicht & Muiste 2009]; overview of pellet market on global, European and country level is one of the goals of Pellets@las project.

Eesti maismaapindala on 4,37 mln ha ja sellest enam kui pool (50,6%) on kaetud metsaga. Suurimaks metsaomanikuks on riik, millele kuulub 0,8 mln ha metsa. Pool riigi omanduses olevast metsast ja kolmandik eramet-sadest on kaetud okaspuuga, mis on omakorda kvaliteetne toormaterjal pelletitööstusele. Plaanitud raiemahuks on käesoleval perioodil 13,1 mln tm, kuid reaalne raie on olnud 5,31 mln tm 2006. aastal ja 6,9 mln tm 2007. aastal (1,55 mln tm kütteks ja 1,1 mln tm jääke), seega jääb raiuma-ta ligikaudu pool aastasest raiemahust. Suurimaks takistuseks raiemahtu-de suurendamisel peetakse majanduslikku ebaotstarbekust, mis omakorda tuleneb vastavast riiklikust korraldusest. Teine oluline tegur on metsa-maade raske ligipääsetavus ja ebapiisav infrastruktuur. Aastaid importis kohalik puidutööstus kvaliteetset ja hea hinnaga puitmaterjali Venemaalt. Tänapäeval on see trend muutumas.



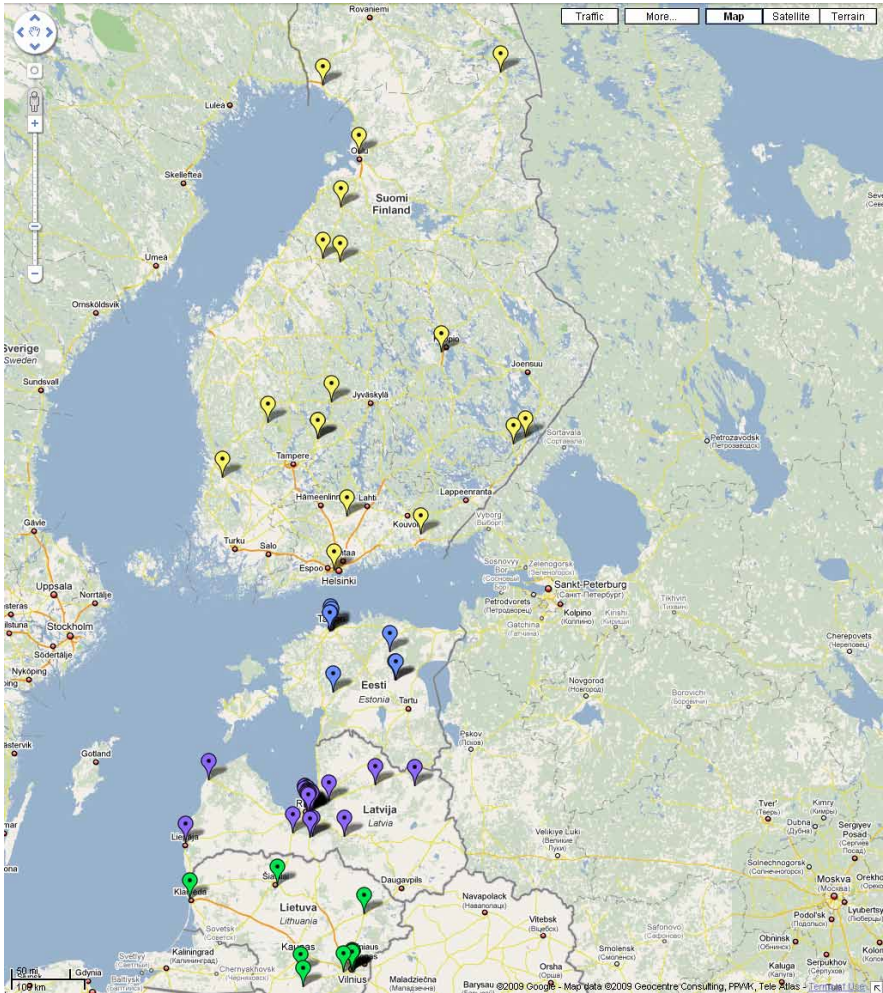
Joonis 4. Puidupelletite keskmine hind Eestis (käibemaksuga ja ilma). 2007.a. juulis tõusis kütuste käibemaks 5% 18%ni, juulis 2009 tõusis üldine käibemaksu tase 18%lt 20%ni [Eesti Konjunktuuriinstituut 2008].

Figure 4. Average prices of Estonian wood pellets (with and without VAT). In July 2007 VAT for fuels was increased from 5% to 18%, in July 2009 the general level of VAT in Estonia was increased from 18% to 20%. [Eesti Konjunktuuriinstituut 2008].

Tabel 2. Puidugraanulite ja puitbriketi tootmise ning tarbimise bilanss Eestis 2004.-2007. a. (tuh tonni) [Eesti Konjunktuuriinstituut 2008]

Table 2. The balance of wood pellets and briquettes production and consumption in Estonia 2004-2007. y. (1000 tons) [Eesti Konjunktuuriinstituut 2008]

Aasta	2004	2005	2006	2007
Varu aasta alguses	25	31	27	8
Toodang kokku	212	267	302	387
Import	0	0	0	0
<b>Kogu puidugraanulite ja puitbriketi ressurss</b>	<b>237</b>	<b>298</b>	<b>329</b>	<b>395</b>
Eksport	200	260	309	350
Kogu tarbimine siseturul	6	11	12	16
sh kogu tarbimine soojuseks	6	11	12	15
sh katlamajades	2	5	2	3
sh kodumajapidamistes	4	6	10	12
Muu tarbimine	0	0	0	1
Kogu eksport ja tarbimine	206	271	321	366
Varu aasta lõpus	31	27	8	29
<b>KOGU PUIDUGRAANULITE JA PUITBRIKEDI RESSURSSIDE KASUTAMINE</b>	<b>237</b>	<b>298</b>	<b>329</b>	<b>395</b>
Tarbimine siseturul kütteks ühe el kohta aastas, kg	4,4	7,4	8,9	11,9



Joonis 5. Pelletituru osaliste geograafiline paiknemine Soomes, Eestis, Lätis ja Leedus (Habicht & Muiste 2009). Balti riigid ja Soome on olnud traditsioonilised eksportturud, mille toodangu põhiosa realiseeritakse väljaspool neid riike. Seda soodustab ka nende riikide logistiliselt soodne asukoht ning ettevõtete paiknemine logistikatrajektooridel ja/või sadamapiirkondades.

Figure 5. Geographical locations of pellet market actors in Finland, Estonia, Latvia and Lithuania (Habicht & Muiste 2009). These states have been traditionally exporting markets and the main share of production of these countries has consumed outside of domestic market. The situation is also supported by the good logistical position and/or harbor areas.



Aastane raiekogus kütteks on olnud ajavahemikus 2002-2006 keskmiselt 1,7 mln tm, millest ligikaudu kolmandiku moodustab kuusk. Raiejääkidest jäi 2007. aastal metsa 922 000 m<sup>3</sup> ehk 72%, välja toodi 388 000 m<sup>3</sup>. Kokku tekkis 2007. aastal 2,9 mln tonni (1,583 mln tm) puidujäätmeid.

Eesti ekspordib enamiku toodetud pelletitest. 2007. aastal moodustas pelletite ja puitbriketi eksport 350 000 tonni ehk 89% toodangust (Eesti Konjunktuuriinstituut 2008).

### **Kas teate, et (kokkuvõtte asemel):**

- “Pellets@lase” projekti eesmärgiks on läbipaistva pelletituru arendamine ja tutvustamine, et tagada kütuse ühtlane kvaliteet, konkurentsivõimeline ja jätkusuutlik turg ning tõsta inimeste huvi nimetatud biokütuse vastu.
- Projekti käigus panustatakse valdkonda toetava seadusandluse väljatöötamise ja rakendamisse, andes omapoolseid soovitusi ning kommenteerides tähelepanekuid.
- “Pellets@lase” projekti koordinaatoriks on 1968. aastal asutatud insenerifirma WIP-München Saksamaalt, kelle tegevusvaldkonnaks on keskkonnatehnika ja taastuvenergia tehnoloogiaplaneeringud, arendusprojektid, tehnosiire, projektiarendamise ja –juhtimise teenused avalikule ja tööstussektorile ning osalemine rahvusvahelistes koostööprojektides. Ettevõtte geograafilisse haardesse mahuvad lisaks Euroopale mitmed Aafrika, Ladina-Ameerika ning Lõuna- ja Kagu-Aasia riigid.
- “Pellets@lase” projekti meeskonna moodustavad partnerid 12 riigist, sh Austriast, Belgiast, Eestist, Hollandist, Itaaliast, Kreekast, Poolast, Prantsusmaalt, Saksamaalt, Suurbritanniast, Taanist ja Ungarist, kuid projekti tegevused hõlmavad kõiki 27 liikmesriiki ning lisaks veel Norrat ja Šveitsi.
- “Pellets@lase” projekti Eesti-poolseks partneriks on Lõuna-Eesti Taastuvenergia Keskus, kes kogub infot ja viib läbi turuseiret lisaks Eestile veel Leedus, Lätis ja Soomes.
- Projekti otsese sihtgrupi moodustavad pelletitootjad, turustajad ja tarbijad. Laiem sihtgrupp hõlmab tooraine tootjaid ja tarnijaid, pel-

letitootmiseks vajalike seadmete tootjaid, energiavaldkonna konsultatsioonifirmasid, teadus- ja arendusasutusi, erialaliituseid ning poliitikuid.

- Otsene kasusaajate hulk on 2000-2500, üldisemalt puudutab projekt aga kõiki keskkonnateadlikke kütusetarbijaid üle Euroopa.
- Biomassist pelletite tootmine aitab kaasa mitmete energiapoliitiliste eesmärkide saavutamisele Euroopas, sealhulgas tarnekindluse suurendamisele ja CO<sub>2</sub>-heitmete vähendamisele. Pelletite turg Euroopas kasvab kiiresti.
- Projekti tulemusena loodetakse suurendada pelletite läbimüüki vähemalt 25%. Läbipaistvam turg peaks suurendama pelletitarbimist vähemalt 20%, transpordi ja ladustamisega seotud kulused loodetakse vähendada 5-10%.
- Probleemideks on nii turgu puudutav ebapiisav info kui ka pelletite erinev kvaliteet. Omamoodi pudelikaela moodustavad tarnekanalid ja -logistika.
- Projekti kohta leiab infot aadressil [www.pelletsatlas.info](http://www.pelletsatlas.info).
- Projekti läbiviimist ja käesoleva artikli valmimist toetab Euroopa Liit (EIE programm - EIE/06/020/SI2.448557).

### **Kasutatud kirjandus**

- Habicht, M., Muiste, M. 2009. Pellet market country report Baltic countries. Pellets@las 2009. <http://www.pelletcentre.info>
- Hiegl, W. (editor), Janssen, R. (editor). 2009. Pellet market overview report EUROPE. Pellets@las 2009. <http://www.pelletcentre.info>
- Junginger, M., Sikkema, R., Faaij, A. 2009. Analysis of the global pellet market. Pellets@las 2009. <http://www.pelletcentre.info>
- Kippa, R. (vastutav täitja). 2008. Ülevaade Eesti Bioenergia turust 2007. aastal. Eesti Konjunktuuriinstituut, Tallinn.
- Olt, J., Kivilo, A., Laur, M. 2009. Erineva biomaterjali briketeerimise kogemusi. -TEUK X konverentsi kogumik, Tartu. Pellets@las 2009. <http://www.pelletcentre.info>
- Pellet@lase kodulehekülg <http://www.pelletcentre.info>
- Pellet market data, <http://www.pelletcentre.info/cms/site.aspx?p=9138>

Pellet market actors, <http://www.pelletcentre.info/cms/site.aspx?p=9070>  
Vares, V., Kask, Ü., Muiste, P., Pihu, T, Soosaar, S. 2005. Biokütuste kasutaja käsiraamat. TTÜ.  
Verrastro, F., Ladislav, S. Autumn 2007. Providing Energy Security in an Independent World. - The Washington Quarterly.

## **PELLETID, TURG JA KOOSTÖÖPROJEKT “PELLETS@LAS”**

Wolfgang Hiegl<sup>1</sup>, Maria Habicht<sup>2</sup> ja Marek Muiste<sup>3</sup>

<sup>1</sup>WIP Wirtschaft und Infrastruktur GmbH & Co Planungs-KG, [wolfgang.hiegl@wip-munich.de](mailto:wolfgang.hiegl@wip-munich.de)

<sup>2</sup>Lõuna-Eesti Taastuvenergia Keskus, [mari@irc.ee](mailto:mari@irc.ee)

<sup>3</sup>Eesti Maaülikool, Tartu Regiooni Energiaagentuur, [marek.muiste@emu.ee](mailto:marek.muiste@emu.ee)

The importance of wood pellets for small and medium scale heat production and large scale power generation is continuously increasing across Europe. Pellet use can contribute substantially to renewable heat and electricity targets set by the EU Renewable Energy Directive. Besides the established national pellet markets (e.g. Sweden, Austria), which are still growing strongly, additional pellet markets are emerging across Europe. This diversity regarding market development stages is accompanied by the development of heterogeneous demand and trade structures.

The project Development and Promotion of a Transparent Pellets Market – Creation of a European Real-time Atlas (Pellets@las) has generated a framework for collecting the data and analyzing pellet market on global, European and country levels.

The outputs are: the database of pellet production, prices and consumption throughout Europe as well as the database of European pellet market actors; handbooks, reports, papers, posters and presentations.

The Pellets@las project is supported by the European Commission under the EIE programme (EIE/06/020/SI2.448557).

## **ENERGEETIKA SÜGISKOOL „ALTERNATIIVNE SÄRTS“**

Kas oled mõelnud, kust tuleb vool meie juhtmetesse siis, kui põlevkivi otsa lõppeb? Või milline elektritootmisviis oleks kõige keskkonnasõbralikum, kõige soodsam, kõige efektiivsem? Kõikidele nendele küsimustele aitab taas vastust leida Energeetikateaduskonna Üliõpilasnõukogu poolt korraldatav „Alternatiivne särts“, mis toimub juba teist aastat - sel korral 13.-15. novembril TTÜ Tartu Kolledžis. Kui eelmisel aastal oli teemaks põlevkivi, siis sel korral otsitakse meie põhilisele energiaallikale alternatiive.

Programm on mitmekesine, hõlmates nii ettekandeid, grupitöid, ekskursioone energiatootmisega tegelevatesse ettevõtetesse kui ka õhtust meelelahutust, samuti ei jää kellelgi kõht tühjaks. Kõigi eelnimetatud tegevuste kaudu läheneme alternatiivenergeetikale kui suhteliselt üldisele ja paljude jaoks ähmasele mõistele ning veendume, et selle alla mahuvad Eesti kontekstis nii järjest suurema tõenäosusega reaalsuseks saav tuumaenergeetika kui ka paljudele roheline energia sümboliks olev tuuleenergeetika. Lisaks eelnevatele käsitletakse ettekannetes veel turba- ja bioenergia kasutusvõimalusi ning tutvustatakse hetkel täieliku utoopiana tunduvaid valdkondi: vesiniku- ja fusioonienergeetikat. Kõnelejateks on parimad spetsialistid nii Eestist kui ka mujalt.

Peale ettekannete on alternatiivenergeetika võimalustega tutvumisel kindel osa grupitöödel, kus arutletakse teemal, milline võiks olla Eesti energiaportfell 20 aasta pärast. Lisaks tehnilistele küsimustele, mis valdavalt ettekannete käigus vastused leiavad, käsitletakse grupitööde käigus ka laiemat konteksti ehk erinevate energiaallikate majanduslikke, sotsiaalseid ja keskkonnamõjusid. Grupitöid peame eriti olulisteks, sest just läbi aktiivse osaluse ja diskussioonide on võimalik teemale kõige põhjalikumalt läheneda. Kõik see peaks leidma praktilise väljundi ekskursioonide käigus.

Et elektri- ja soojusenergia on midagi, mis puudutab meid kõiki ja haakub paljude teiste valdkondadega, ei oota me osalema vaid energeetikuid, vaid kõiki tudengeid, kes „särtsu“ oluliseks peavad. Kohtumiseni sügiskoolis!

Tutvu kindlasti ka meie blogiga aadressil [www.sygiskool.wordpress.com](http://www.sygiskool.wordpress.com). Sealt leiad nii värsket infot ürituse kohta kui ka muud huvitavat energeetika valdkonnast.

Liugupidamisega,  
Kaisa Kaasik  
TTÜ Energeetikateaduskonna Üliõpilasnõukogu