

**TEUK X**

**TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE**

**UURIMINE JA KASUTAMINE**

KÜMNENDA KONVERENTSI KOGUMIK



**INVESTIGATION AND USAGE OF**

**RENEWABLE ENERGY SOURCES**

TENTH CONFERENCE PROCEEDINGS

TARTU, ESTONIA, 2008

Toimetajad/ Compiled by: Elis Vollmer, Argo Normak

Keelelised toimetajad: Margit Lehis, Karin Veske, Merike Lillemägi

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

**ARCHIMEDES**  
s i h t a s u t u s



Euroopa Liit  
Euroopa  
Regionaalarengu Fond



Eesti tuleviku heaks

Trükitud: OÜ Paar

Printed by: Paar Ltd

Kirjastaja: Eesti Maaülikool

Publisher: Estonian University of Life Sciences

© 2008

Eesti Maaülikool

Estonian University of Life Sciences

All Rights Reserved

ISBN: 978-9949-426-58-4

## Sisukord - Contents

<b>Eessõna</b> .....	4
<b>Foreword</b> .....	5
<b>MÕÖDUNUT MEENUTADES, TULEVIKKU PIILUDES</b>	
Valdur Tiit .....	6
<b>EESTI ENERGIAMAJANDUSE RIIKLIKU ARENGUKAVA EELNÕU</b>	
Einari Kisel .....	20
<b>ERINEVA BIOMATERJALI BRIKETEERIMISE KOGEMUSI</b>	
Jüri Olt, Aare Kivilo, Mihkel Laur .....	27
<b>TUULEVÕIMSUSE STANDARDHÄLBEST</b>	
Teolan Tomson, Ants Erm, Raimo Pirksaar .....	40
<b> BIOGAASIJAAMADE ARENDAMINE JA MAJANDUSLIK TASUVUS EESTIS</b>	
Priit Mikelsaar .....	49
<b>HÜDROENERGEETIKA MEIL JA MUJAL</b>	
Jaan Lepa, Marek Muiste ja Andres Annuk .....	60
<b>BIOGAASIJAAMA INVESTEERINGU ANALÜÜS, TASUVUS JA SELLE PEAMISED MÕJURID</b>	
Andres Menind ja Jüri Olt .....	70
<b>TAIMEÕLI TOOTMINE JA KASUTAMINE MOOTORIKÜTUSENA</b>	
Arne Küüt, Jüri Olt .....	79
<b>POOLLOODUSLIKE ROHUMAADA ROHTSE BIOMASSI ENERGEETILINE POTENTSIAAL EESTIS</b>	
Indrek Melts jt. ....	88
<b>HYDROGEN FOR ELECTRICITY SUPPLY</b>	
Jochen Lehmann <i>et. al.</i> .....	97
<b>ENERGIAKULTUURIDE KASVATAMISE OTSEKULUDE JA ARVESTUSLIKE TULUDE KALKULAATOR</b>	
Liis Oper, Ülle Roosmaa .....	111
<b>SETOMAA TAASTUVENERGIA KOGEMUSED JA PLAANID</b>	
Martin Kikas .....	120
<b>SOLAR COOKERS FOR DEVELOPING COUNTRIES – A COMPETITIVE FORM OF ALTERNATIVE ENERGY SUPPLY?</b>	
Pia Otte .....	128

## **Eessõna**

Austatud lugejad! Hoiate oma käes juubelikonverentsi TEUK-X kogumikku, mis on silmapaistvaks tähiseks taastuenergia entusiastide 10 aasta tegemistele. TEUK konverentside korraldamise põhiliseks eesmärgiks alates idee sünnist on olnud kogemuste vahetamine ja avalikkuse teavitamine taastuenergia allikate alaste uurimistööde tulemustest ja kasutamise võimalustest. Usun, et see eesmärk on suudetud täita, sest konverentsid on olnud populaarsed ning konverentsi materjalid kõigile kättesaadavad. Julgen väita, et koos TEUK konverentsidega on sirgunud uus põlvkond energeetika spetsialiste, kes rakendavad saadud teadmisi oma igapäevases töös. Eesti Maaülikool jätkab koos heade partneritega traditsiooni kindlasti ka järgnevatel aastatel, et tulevikus saaksime tähistada veel suuremaid juubeleid ja vaadata tagasi arengule, mille tunnustajateks me oleme olnud.

TEUK-X toimub 13. novembril 2008.a. Eesti Maaülikoolis. Seekordne konverents on erakordne, kuna lisaks tavapärasele ettekannetele teeb konverentsi ellukutsuja Valdur Tiit ajaloolise tagasisaate, mis lõppeb tänukirjade üleandmisega taastuenergia allikate silmapaistvamatele uurijatele ja propageerijatele. Pärast meenutusi jätkatakse argisemate teemadega, milles käsitletakse Eesti riigi energiavarustuse arengukava, Eesti Energia arendustööd taastuenergia vallas ning tuule-, bio-, hüdro- ja päikeseenergia uurimistööde tulemusi. Ettekannete järgselt toimub diskussioon teemal „Taastuenergeetika arendamine Eestis“.

Kuna Eestis on praegu valikute tegemise aeg, siis on ülimalt oluline võtta osa diskussioonist, sest tänased otsused kujundavad meie ühiskonda ja Eestimaa loodust. TEUK konverents on hea võimalus oma arvamuse avaldamiseks neile, kes usuvad, et taastuenergia allikatel põhinev energiavarustus on üheks oluliseks säästva arengu võtmeks.

Tere tulemast konverentsile ja head lugemist!

Argo Normak

Eesti Maaülikooli taastuenergia keskuse juhataja

## Foreword

Dear readers! You are holding the proceedings of the jubilee conference TEUK-X, which is an outstanding signpost in the last 10 years' activities of the enthusiasts in the renewable energy field. The main goal of organising TEUK conferences since the birth of the idea has been exchange of experiences and informing the publicity on research results and usage possibilities of renewable energies. I believe that those goals have been accomplished – the conferences have been popular and the conference materials are public to everyone. I also dare to state that with the TEUK conferences a new generation of energetics specialists has been grown up, who will use their gained knowledge in their everyday work. Estonian University of Life Sciences with our partners will definitely continue this tradition in the following years so that in the future we could celebrate even higher jubilees and look back to the renewable energy development that we all have witnessed.

TEUK-X takes place on 13<sup>th</sup> of November 2008 in Estonian University of Life Sciences. This conference is extraordinary because in addition to regular presentations Mr Valdur Tiit, the initiator of the TEUK conference series, will make an historical retrospect of the last ten years, which will result in handing out Thank You letters to the most remarkable researchers and propagators of renewable energies. After the retrospect we will continue with more ordinary topics – Energy Sector Strategy for Estonia, Renewable developments in Eesti Energia, research in wind, solar, hydro and bioenergetics will be discussed. After the presentations an open discussion will take place on development of renewable energy sector in Estonia.

As it is time of making important decisions in Estonia then it is very important to participate in this kind of discussion, because the decisions of today shape the future of our society and Estonian nature. TEUK conference is a good opportunity for expressing an opinion for those who believe that energy supply based on renewable energy sources is one of the important keys in sustainable development.

Welcome to the conference and have an enjoyable reading!

Argo Normak

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

# MÖÖDUNUT MEENUTADES, TULEVIKKU PIILUDES

Valdur Tiit

Ilmatari 44, 51006 Tartu, e-post: vtiit@neti.ee

## **Annotatsioon**

Üheksa toimunud TEUK-konverentsi on muutunud ajalooks, ees seisab TEUK-X. Sel puhul on otstarbekas neid sündmusi meenutada ja püüda sealt leida ideid edaspidiseks paremaks tegutsemiseks. Arvestades ettekannete arvukust, toimunud arvamustevahetusi, loodud uusi isiklikke kontakte ja osavõtjate hulka, võib üritusi lugeda kordaläinuks. Allpool on toodud ülevaatlilikud arvilised andmed üheksa nõupidamise kohta. Samuti on nimetatud peamised järeldused, mille formuleerimisele aitasid kaasa seni toimunud TEUK-konverentsid.

*Märksõnad: taastuvad energiaallikad, konverentsid, energeetika areng*

## **Taastuvate energiaallikate kasutamisest**

Inimkond oma praeguse arvukuse ja kasvava elatustaseme juures vajab palju ja tulevikus järjest rohkem energiat. Seda saadakse senini peamiselt fossiilsetest energiakandjatest (nafta, kivisüsi, maagaas) ja reas riikides ka tuumaenergiana uraanist. Kõigi nende ainete varud on lõplikud ja saavad varem või hiljem otsa. Lisaks põhjustab (paljude arvates) nende kasutamisega kaasnev saastamine negatiivseid muutusi õhus, vees ja maapinnas ning ilmastikus.

Kuivõrd energiamajandus on kaasaegses elukorralduses väga tähtis, siis on ka mõistetav suur tähelepanu vanade tehnoloogiate täiustamisele ja uute võimaluste leidmisele.

Aastatuhandeid olid inimkonnal kasutada vaid taastuvad energiaallikad, mis võimaldasid saada soojust ja aitasid jõumasinate abil teha mitmesuguseid töid. Suhteliselt odavad fossiilsed kütused ja vajadus ning otstarbekus kasutada võimalikult suure energiatihedusega energiakandjaid andsid viimasel paaril sajandil neile eelised taastuvate energiaallikate ees. Kuid viimastel aastakümnetel levima hakanud säästva arengu ja keskkonnahoiu põhimõtete, aga ka ressurside piiratuse tunnetamine on muutnud taastuvate energiaallikate kasutamise probleemid aktuaalseks. Kokkuleppeliselt loetakse taastuvateks energiaallikateks

neid, mis baseeruvad päikesekiirguse kasutamisele kas otseselt või kaudselt. Viimaste hulka kuulub mitmesugune biomass, vee- ja tuulejõud, samuti lainete energia. Taastuvate allikate hulka võib lugeda ka Kuu (veidi ka Päikese) poolt põhjustatud tõusu-mõõna energia. Taastuvaid energiaallikaid iseloomustab see, et nad on hajutatud, esinevad ajas üsna korrapäraselt ja üldiselt on nende energiatihedus suhteliselt väike. Kuid nende summaarne energiakogus on väga suur, sest Päikeselt jõuab kiirgusena Maale oluliselt rohkem energiat kui inimkond praegu ja veel kaua tulevikus samal ajal kasutab (Annuk ja Lepa, 2005). Arvutuste kohaselt kiirgab Päike sama võimsusega veel 5 miljardit aastat. Kui inimkond suudab püsida elus nimetamisväärsigi osa sellest tohutust ajaintervallist, siis kas poleks õigem asuda energeetikas võimalikult pea täielikult üle minema taastuvate allikate kasutamisele? Looduslikud ressursid on olemas. Nende otstarbekaks kasutamiseks vajalikud tehnilised vahendid on osalt juba loodud ja käib tõsine töö uute paremate loomiseks. Ehk on see parim võimalus inimkonnale ja elukeskkonnale üldse.

### **Meenutusi Eestist seondvalt taastuvate energiaallikatega**

Eestis on aastasadu kasutatud soojuse saamiseks puitu ja, nagu paljudes teistes maades, ka vee- ning tuulejõudu (Lausmaa, 1996; Raesaar, 2005). Veidi üle saja aasta tagasi algas ka Eestis elektri võidukäik energeetikas. See avas perioodil enne II maailmasõda uued võimalused ka vee- ja tuulejõu kasutamiseks. Iseseisvunud Eestis propageeriti tuule- ja veejõu kasutamist, siin valmistati ka maailma tipptasemel väikesi elektrituulikuid. Need võimaldasid petrooleumilampidega võrreldes saada paremat valgust ja toita raadioid (vt joonist 1). Tervet riiki hõlmavat elektrivõrku alles hakati looma.

Vahetult pärast II maailmasõda aitasid elektripuudust leevendada mitmed uued jõgedele kiiresti rajatud hüdrojaamad (näiteks Leevaku, 100 kW, 1948; Saesaare, 150 kW, 1952). Ligilähedaselt sama võimsusega elektrituulikuid ei osatud siinmail siis veel ehitada. Seoses põlevkivienergeetika kiire arengu ja odava nafta saamisega polnud kauaks majanduslikke põhjendusi väikeste veejõujaamade

kasutamiseks. Väikesi elektrituulikuid (võimsus kuni 10 kW) ehtasid edasi vaid üksikud entusiastid (vt joonist 2).

**Uudis-  
maaraadiokuulajaile!**

Ilmus müügile

**AGLO  
väikelaadija**  
tüüp 2/0,3

Hind Kr. 28.—

AGLO väike tuulegeneraator töötab 2,0/3 laadib Teie radioakku pidevalt 0,1 kuni 0,3 ampeerilise vooluga ka radiokuulamise ajal. Tä täidab ilma kollektorita, ilma releeta ja ei sega sellega radiokuulamist. Kuna tema otseside vool on väiksem kui harilikku radioaparadi lampide kültevoolu tarvitus, siis ei ole karta lampide läbipõlemist isegi sel puhul, kui katkeb ühendus akku ja aparadi vahel.

AGLO väike tuulegeneraator hooldab Teie akku terveise eest ning võimaldab muretat radiokuulamist.

**ELEKTROTEHNIKA TEHAS  
AGLO**  
ins. N. KARUS  
TALLINN, PÄRNU MNT. 17  
TEL. 441-54

**ELEKTRI VALGUS**

AGLO patenteeritud  
**tuulegeneraatori**  
abil

Joonis 1. AGLO tuulegeneraatori reklaam

Figure 1. Advertisement of the AGLO wind generator



Joonis 2. Meinhard Kivikink valmistas ise 8 kW tuuliku Rakveres oma kodus (vasakul) ja Uno Illipe tegi sama Lüganusel (paremal)

Figure 2. Meinhard Kivikink constructed an 8 kW wind generator by his house in the town of Rakvere and Uno Illipe made the same in Lügane



Selle perioodi mõtetegevusest väärib märkimist lisaks hästi tuntud Georg Villemsi raamatule „Tuulemootorid” (trükiti 5200 eksemplari!) (Villems, 1946) ka Tallinna Polütehnilise Instituudi õppejõudude Aleksander Sivadi ja Oskar Silde uurimus vertikaalse teljega tuulemootorist, mille arvatatud kasuteguriks ideaalsel juhul saadi kuni 0,526 (Sivaldi ja Siirde, 1953).

Möödunud sajandi lõpukümnenditel suurenes oluliselt tähelepanu taastuvate energiaallikate kasutamisele. Sagedamini ilmusid teemat käsitlevad artiklid ja toimusid nõupidamised. Märkimisväärne on, et Eesti Teadus- ja Tehnikainformatsiooni ning Majandusuuringute Instituut avaldas 1988. a Georg Pobuli töö „Tuuleenergia kasutamise perspektiivid Eesti NSVs” (Pobul, 1988). Muu hulgas arvab selle autor, et „kaasaegsete tuuleelektrijaamade tootmiseks on otstarbekas luua Eesti-Taani ühisfirma”.

Oluliste taastuvenergeetika teemade propageerijatena võib nimetada Teolan Tomsoni ja Veli Palget päikesekiirguse (peamiselt), Vello Selga tuulejõu ja Peeter Raesaart vee-energia kasutamisel. Hinnatav on Ain Kulli poolt kaasaegsel tasemel Eesti tuuleatlaste koostamine (Kull, 1996). Nimetamist väärib Voldemar Enno tegevus möödunud aastakümnetel veejõu kasutamise taaselustajana. Tähelepanuväärne oli Moskva inseneride poolt paarikümne aasta eest Saaremaale Vätta poolsaarele tuulepargi rajamine, mis oli sel ajal suurim Nõukogude Liidus. Bioenergia otstarbeka kasutamise propageerimise eest hakkas aktiivselt tegutsema Tallinnas 1998. a mais asutatud Eesti Biokütuste Ühing, mida valiti juhtima Meeli Hüüs, Ülo Kask, Peeter Muiste, Enn Pärnamäe ning Jaan Akermann (Hüüs, 2000). Nõupidamiste reas võib ühe suurema avaliku üritusena nimetada 29. novembril 1995. a Tartus Eesti Põllumajandusülikooli (EPMÜ) korraldusel toimunud konverentsi „Tuuleenergia kasutamise võimalused Eestis”, kus peale Henn Elmeti avasõna esitati 13 ettekannet, toimus sisukas diskussioon ja võeti vastu edasisi soovitavaid tegevusi loetlev otsus (Tiit ja Mättas, 1996).

Väga oluline tähis Eesti energeetika arendamise kavandamisel oli Riigikogu poolt 18. veebruaril 1998. a vastu võetud „Kütuse- ja energiamajanduse pikaajaline riiklik arengukava” (Kütuse- ..., 1998). Selle alusel moodustas majandusminister Jaak Leimann 3. märtsil 1998. a käskkirjaga nr 56 komisjoni tuule- ja

hüdroenergeetika arendamise stimuleerimise kava väljatöötamiseks. Esimeheks määrati Valdur Tiit ja aseesimeheks Peeter Raesaar.

Komisjon asus Ruuben Posti (Eesti esimese kaasaegse 150 kW võimsusega tuuliku Hiiu maale püstitamise peamine organisaator) eestvõttel seisukohale, et tuuleenergia on Eesti rahvuslik rikkus ja seda tuleb kasutada ühistes huvides. Komisjon koostas oma seisukohad vajalike tegevuste osas tuule- ja hüdroenergeetika arendamisel ning tegi rea ettepanekuid esitamiseks valitsusele. Oma aruandes väljendas komisjon lootust, et „sihikindla tegevusega taastuvate energiaallikate kasutuselevõtul saab Eesti anda oma panuse terve elukeskkonna säilitamiseks Euroopas” (Tuule- ..., 1999).

Toimunud sündmused näitasid, et taastuvate energiaallikate kasutamise probleemid olid muutunud oluliseks teemaks Eesti energeetika arengu kavandamise aruteludel.

### **TEUK-konverentside lugu**

Eelkirjutatu toel tollaegset olukorda ette kujutades tundub loomulikuna, et Eestis oli vaja foorumit, kus inimesed saaksid rääkida energeetikaprobleemidest (eriti seonduvalt taastuvate energiaallikatega), esitada oma töö tulemusi, diskuteerida ja luua otseseid isiklikke kontakte. Samuti oli uutes ühiskondlikes oludes suurem tähtsus üldsuse teavitamisel energeetika ees seisvatest probleemidest ja nende võimalikest lahendusteedest. Sel eesmärgil esitas Valdur Tiit 05. veebruaril 1999. a oma kirjas Eesti Põllumajandusülikooli rektorile Henn Elmetile ettepaneku regulaarsete nõupidamiste TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE UURIMINE JA KASUTAMINE EESTIS korraldamiseks koos Majandus-, Põllumajandus- ja Keskkonnaministeeriumi ning võimalusel veel mõne teise asjast huvitatud organisatsiooniga. Kavandatud oli ka konverentsi ettekannete kogumiku avaldamine. Info paremaks levimiseks oli mõeldud eestikeelsetele ettekannete tekstidele lisada ingliskeelne kokkuvõte ja inglise (või mõne teise) keelsetele eestikeelne selgitus.

Rektor nõustus ettepanekuga ja seejärel algasid ettevalmistused konverentsi läbiviimiseks Tartus EPMÜ uues peahoones. Neisse lülitus aktiivselt Eesti Biokütuste Ühing (Meeli Hüüs), Eesti Turbaliit (Rein Veski) ja Stockholm

Keskonnainstituudi Tallinna Keskus (SKTK) (Tiit Kallaste). Konverentsi korraldamise kavasse suhtus positiivselt Majandusministeerium ja lubas rahaliselt toetada kogumiku väljaandmist. Seda on ministeerium teinud senini.

Nõupidamise ettevalmistused kulgesid hästi ja seetõttu pöördus Valdur Tiit 29. oktoobril 1999. a EPMÜ rektori Henn Elmeti poole uue kirjaga, et saada lõplik nõusolek konverentsi **TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE UURIMINE JA KASUTAMINE I** läbiviimiseks neljapäeval, 04. novembril 1999. a algusega kell 10.00 Eesti Põllumajanduslikooli peahoone aulas Kreutzwaldi 64 Tartus. Samas kirjas sisaldus ka ettepanek alustada **Eesti Taastuenergeetika nõukogu (ETEN)** moodustamist. ETEN-i ülesannete hulka kavandati järgmist.

- taastuenergeetikaalaste teaduslik-tehniliste uuringute ja arendustegevuste koordineerimine,
- vastavate teadus- ja arendus- ning sihtprogrammide kavandamine ja
- ettepanekute tegemine nende finantseerimise mahu ning viiside kohta.

Esimene TEUK-konverents toimus kavandatud ajal ja tema päevakorras oli 17 ettekannet (vt tabelit 1).

Toimunud diskussioonil väljendati soovi jätkata TEUK-ide korraldamist ja vahetati mõtteid ETEN-i moodustamise üle. Algsest veidi lühema nimega (Mari Koppeli soovitus) **Taastuenergeetika nõukogu (TEN)** moodustatigi majandusminister Mihkel Pärnpoja poolt 24. oktoobril 2000. a käskkirjaga nr 195. Dokumendis olid loetletud selle ülesanded, mis olid olulised taastuenergeetika arendamiseks (Kulbas, 2001). TEN töötas tulemuslikult ja esitas 2001. a mais aruande (Taastuenergeetika allikate ..., 2001).

Konverentsi TEUK-I ettekannete kogumik ilmus 2000. a kevadel. Seal oli avaldatud 17 artiklit kogumahuga 123 lk. Kõik üheksa eelmist TEUK-konverentsi on toimunud EPMÜ (nüüd Eesti Maaülikooli (EMÜ)) ruumides. Neid iseloomustavad peamised andmed on toodud tabelites 1 ja 2.

*Table 1. TEUK-konverentside ja -kogumike üldandmed*

*Table 1. General data of the TEUK-conferences and proceedings*

TEUK	Toimimisaeg	Osa-võtjaid	Kavandatud ettekannete arv	Toimunud ettekannete arv	Kogumiku ilmumisaeg	Artikleid	Autorite koguarv	Maht, lk
I	4.11.1999	250	17	16	2000	17	22	123
II	2.11.2000	165	30	28	2001	26	36	159
III	1.11.2001	149	33	32	2002	23	40	154
IV	2.11.2002	185	29	29	2003	23	38	168
V	6.11.2003	196	25	24	2004	22	41	148
VI	11.11.2004	162	27	27	2005	21	35	172
VII	13.10.2005	180	26	29	2006	24	35	178
VIII <sup>1</sup>	12.10.2006	172	20	20				
IX	15.11.2007	133	18	18	2007	16	31	128
Kokku		1592	225	223		172		1230

TEUK-II korraldajatega liitus Majandusministeerium ja on jäänud TEUK-ide ettevalmistamisel ning läbiviimisel tubliks toeks senini. Teise konverentsi ettevalmistuse organisatsioonilisest tööst jäid eemale Eesti Turbaliit ja SKTK, kuid toetasid tööd oma heade mõtetega edasi. Alates TEUK-III korraldamisest liitus organiseerijate hulka SA Archimedes (Maria Habicht) ja TEUK-VII alates Eestimaa Looduse Fond (ELF). TEUK-VIII korraldusse liitusid veel Põllumajandusministeerium ja Eesti Energia ning TEUK-IX puhul ka Maaelu Edendamise Sihtasutus. TEUK-I kuni TEUK-VII korraldamises esindas EPMÜ-d Valdur Tiit, alates TEUK-VIII ettevalmistamisest teeb seda Eesti Maaülikooli taastuenergia keskus (Argo Normak, Elis Vollmer jt).

TEUK-konverentsidest osavõtjate ja esinejate hulgas on olnud juhtivaid poliitikuid, sh Eesti presidentide esindajad, riigikogu liikmeid, ministeeriumide, omavalitsuste ja paljude teiste asutuste töötajaid. Osa on võtnud arvukalt üliõpilasi ja ka vanemate klasside õpilasi, samuti energeetika arendamise vastu huvi tundvaid teiste erialade inimesi. Ettekandjate hulgas on olnud ka esinejaid välismaalt (Soomest, Saksamaalt ja Euroopa Liidu (EL) keskusest Brüsselist). Kokku on üheksal esimesel TEUK-konverentsil osalejaid olnud ligi 1600. Üheksal esimesel konverentsil on esitatud 223 ettekannet peamiselt otseselt Eestiga seotud probleemidest. Kogumikes on avaldatud 172 artiklit kogumahuga 1230 lk.

<sup>1</sup> Ilmus ühine kogumik TEUK VIII & IX. Autori märkus.

Esimesed seitse kogumikku ilmusid pärast konverentsi. Raamatutes ilmunud tekstid (esimese seitsme puhul on kõrvaldatud leitud vead) on saadaval ka internetis EMÜ ning osaliselt ka Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi kodulehel (TEUK-kogumikud ..., 2007). Kokku on autoritena esinenud 156 inimest, kelle tubli töö andis konverentsidele sisu.

Tänu neile on konverentsidel räägitud paljudel teemadel, mis mahuvad käsitletava valdkonna hulka. Kuigi neis ettekandeis ei pruugi sisalduda n-ö lõplik tõde, kajastavad nad olukorda teatud ajal ja on seega kahtlemata väärtuslikuks materjaliks uutele töödele. Loodetavasti on neis sisalduv informatsioon vajalik ka energeetikat käsitlevate arengukavade koostajatele.



Joonis 3. Meenutus konverentsilt TEUK-III

Figure 3. Reminder from conference TEUK-III

Seitsme esimese kogumiku peatoimetaja oli Valdur Tiit. Toimetajad olid Sirlil Lember, Tiina Kivisäkk, Silvi Seesmaa (v.a viies). Kujunduse tegi Michael Walsh. Kaheksanda ja üheksanda konverentsi ühise kogumiku peatoimetaja oli Argo Normak, toimetajad Elis Vollmer, Marek Muiste ja Margit Lehis. Esimene kogumik trükiti OÜ-s Tartumaa Trükikoda, kõik järgnevad OÜ-s Paar.

Tabel 2. TEUK-konverentside ettekannete autorid

Table 2. Authors of the TEUK-conferences reports

Nr	Autor	Üksi	Kaas- autor	TEUK- kogumikud. Üksi/kaasautor							
				I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII -IX
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Aadu Paist		6			-/1	-/1	-/2	-/1	-/1	
2	Ain Kull		2						-/2		
3	Aleksei Lotman	1		1/-							
4	Alo Kivistik		1							-/1	
5	Alvina Reihan		1			-/1					
6	Anatoli Jegorov		1		-/1						
7	Ando Leppiman	1	1				-/1			1/-	
8	Andres Annuk		6				-/1	-/1	-/2	-/2	
9	Andres Koppel		1		-/1						
10	Andres Kuura		1								-/1
11	Andres Menind		1								-/1
12	Andres Tarand	1							1/-		
13	Anto Juske		3					-/1	-/1	-/1	
14	Anton Laur		7		-/1	-/1	-/1	-/2	-/1	-/1	
15	Ants Nõva		2		-/1	-/1					
16	Ants Saks		2			-/1	-/1				
17	Ants Veski		4			-/1	-/1	-/1		-/1	
18	Argo Normak	2				1/-					1/-
19	Arvo Järvet		1							-/1	
20	Avo Rosenvald	2			1/-	1/-					
21	Caroline Werner		1								-/1
22	Ebe Sild		1		-/1						
23	Elmu Potter			1/-							
24	Enn Kareda		1					-/1			
25	Enn Mellikov		1	-/1							
26	Erkki Jõgi		1								-/1
27	Feliks Miller		1								-/1
28	Hans Luik		2					-/1	-/1		
29	Hans-Dieter Pilz		1			-/1					
30	Harald-Adam Velner		2			-/1	-/1				
31	Heikki Kulbas	1			1/-						
32	Heino Rang		1				-/1				
33	Heiti Haldre	1	1		1/-					-/1	
34	Heli Laas		1						-/1		
35	Helle Kuura		1								-/1
36	Henn Elmet	1	1	-/1	1/-						
37	Henri-Charles Dubourguier	1									1/-
38	Herma Olak		1		-/1						
39	Hillar Toomiste	2									2/-
40	Ilona Vahter		1						-/1		
41	Indrek Sang	1								1/-	
42	Inge Roos	1	1	-/1				1/-			
43	Irina Bljahhina		1					-/1			
44	Ivo Palu	1								1/-	
45	Jaan Kivistik		5			-/1	-/1	-/1	-/1	-/1	
46	Jaan Leis		1								-/1
47	Jaan Lepa		8		-/2	-/1	-/1	-/1	-/1	-/1	-/1
48	Jaan Saar		1						-/1		

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
49	Joel Valge	1		1/-							
50	Josef Zeilinger		1			-1					
51	Jüri Kann		1				-1				
52	Jüri Olt		1								-1
53	Jüri Taal	1		1/-							
54	Jüri Tamm	2			1/-	1/-					
55	Kaie Ilves-Hion	1								1/-	
56	Kairi Kiivit		1					-1			
57	Karl Rebane	4			1/-	1/-	1/-	1/-			
58	Katrin Heinsoo		2		-1					-1	
59	Katrin Jürgens		1							-1	
60	Katrin Poell		2					-1	-1		
61	Kelly Joa		1						-1		
62	Kimmo Rintamäki	1							1/-		
63	Koidu Tenno		6			-1	-1	-2	-1	-1	
64	Kristjan Kruusement		3					-1	-1	-1	
65	Kristjan Oim		1			-1					
66	Kuldar Ivandi		1								-1
67	Kuno Jürjenson		2		-1			-1			
68	Kusta Rumma		1								-1
69	Küllli Hovi		1		-1						
70	Laine Tiikma		1				-1				
71	Lars Mach		1		-1						
72	Lauri Lutsar		1						-1		
73	Leevi Mölder	1								1/-	
74	Lembit Nei	1				1/-					
75	Livia Kask		7			-1	-2	-2	-1		-1
76	Maaris Nuutre		2			-1		-1			
77	Mae Juske		3					-1	-1	-1	
78	Maiis Merdikes		1			-1					
79	Maire Hansen		3		-1	-1		-1			
80	Malle Krunks		1	-1							
81	Mare Altsaar		1	-1							
82	Marek Muiste	1								1/-	
83	Margot Mäesaar		1					-1			
84	Mari Koppel		1	-1							
85	Maria Habicht		1							-1	
86	Mariliis Sihtmäe		2			-1	-1				
87	Markko-Raul Esop		1		-1						
88	Marko Kaasik	1						1/-			
89	Marko Lätt		1								-1
90	Mart Hovi		1		-1						
91	Martin Kruus		1							-1	
92	Mati Arulepp	1	1								1/1
93	Matis Miljan	1			1/-						
94	Matti Masing	1	1						-1	1/-	
95	Meeli Hüüs	2	1	1/-	1/-	-1					
96	Meelis Parijõgi		1						-1		
97	Merit Kindsigo	1					1/-				
98	Merlika Niidumaa		1					-1			
99	Michael Dörfel	1									1/-
100	Michael Wachendorf		1								-1
101	Mihkel Koel	2	1		1/-	1/-	-1				
102	Moonika Ani	1						1/-			
103	Märt Ots		1	-1							
104	Märt Puust		1			-1					
105	Natalia Vink		1					-1			

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
106	Natalja Prjadka		1				-/1				
107	Olavi Tammemäe	1									1/-
108	Olev Liik		1		-/1						
109	Olga Kovalenko		1			-/1					
110	Ott Fuchs	1		1/-							
111	Paul Leemet	1			1/-						
112	Peep Leppik	1									1/-
113	Peep Tobreluts		1						-/1		
114	Peeter Muiste		4	-/2				-/1			-/1
115	Peeter Raesaar	2							1/-	1/-	
116	Priit Hinto		1				-/1				
117	Raaja Aluvee		2			-/1		-/1			
118	Raido Liitmäe	1			1/-						
119	Raimo Pirksaar		2					-/2			
120	Reimo Olev		1						-/1		
121	Rein Kuusik		1				-/1				
122	Rein Veski	5	6	1/-	1/-	1/1	1/1	-/2	-/1	1/1	
123	Reinhold Stülpnagel		1								-/1
124	Risto Mitt		1								-/1
125	Rüdiger Grass		1								-/1
126	Siegfried Thomas		1			-/1					
127	Sulev Soosaar		2			-/1	-/1				
128	Taito Mikkonen	4					1/-	1/-	1/-	1/-	
129	Tanel Lukason	2			1/-				1/-		
130	Teet Parve		1					-/1			
131	Teolan Tomson	5	5	1/-	-/1	-/1	-/1	-/1	1/1	1/-	2/-
132	Thomas Fricke		1								-/1
133	Thomas Turk		1								-/1
134	Tiina Tammets	1					1/-				
135	Tiit Kallaste		3	-/1	-/1			-/1			
136	Tiit Varema		1	-/1							
137	Toivo Pangsep		1		-/1						
138	Toomas Frey	1						1/-			
139	Toomas Tiikma		4			-/1	-/1	-/1		-/1	
140	Tõnis Peets		2				-/1	-/1			
141	Tõnis Tamm		3		-/2	-/1					
142	Tõnu Lausmaa	3		1/-		1/-	1/-				
143	Urmas Peterson	1			1/-						
144	Valdur Tiit	7	5	1/1	1/1	1/-	1/-	1/1	1/1	1/1	
145	Veli Palge	3	4		1/2	-/1	-/1		1/-	1/-	
146	Vello Madiberk		1								-/1
147	Vello Selg	3	1		-/1		1/-		1/-	1/-	
148	Veronika Hartart		1								-/1
149	Viio Aitsam	1					1/-				
150	Vilja Palu		4					-/2	-/1	-/1	
151	Villu Vares		1				-/1				
152	Vitali Borovikov		3			-/1	-/1			-/1	
153	Voldemar Enno	2				1/-	1/-				
154	Ülo Kask	1	10	-/2		-/2	-/2	1/2	-/1		-/1
155	Ülo Laanoja	1								1/-	
156	Ülo Mets	4		1/-			1/-	1/-	1/-		



## **Kokkuvõte**

TEUK-konverentsid on kujunenud Eesti üheks suuremaks ja esinduslikumaks foorumiks oma valdkonnas. Neil konverentsidel on ette kantud informatsiooni päikese-, tuule-, vee- ja bioenergia ressursside ning nende kasutamise kohta. On pööratud tähelepanu ka jäätmete kasutamisele energeetikas. Kuigi esitatud ettekanded pole ehk suutnud kajastada kõiki taastuvenergeetika kui valdkonna olulisi küsimusi, siiski tohiks arvata, et Eesti kontekstis on enamusele neist pööratud tähelepanu.

Kõige olulisem järeldus, milleni ka TEUK-konverentsi ettekanded aitasid jõuda, on: **Eestis on küllaldaselt looduslikke taastavaid energiaressurse, et katta kõik maa vajadused nüüd ja etteaimatavas tulevikus.** Nende kompleksne kasutamine, arvestades majanduslikke, loodushoiu ja sotsiaalsed tingimusi, on tehniliselt võimalik juba kaasajal, aga kindlasti veelgi otstarbekam tulevikus. Ajas suhteliselt kiiresti kontrollimatult muutuvate energiavoogude kasutamine soovitava võimsusega väljundi saamiseks vajab kompenseerivaid süsteeme. **Nende käivitamiseks saab kasutada taastuvatest allikatest endist saadud ajutiselt salvestatud energiat.** Meil peaks jätkuma tahet ja oskusi lahendada selle eesmärgi saavutamiseks seotud probleeme mõistlikus rahvusvahelises koostöös. Väga vajalikud oleksid sellealased pilootprojektid ka Eestis.

Energeetikaga seonduvaid ülesandeid on õige käsitleda ja leida neile lahendusi **teaduslikele uuringutele omase korrektsuse ja erapooletusega**, kuigi mitmesugustel põhjustel on sel alal emotsioonidel arvestatav mõju.

Tahaks loota, et esitatud informatsioon ja põhjalikud argumenteeritud arutelud, mis saavad toimuda järgnevatel TEUK-konverentsidel või kaasnevatel üritustel, aitavad kaasa õigete, ühiskonna heale käekäigule sobivate otsuste tegemisele.

**Eestil on head looduslikud eeldused muutuda säästva arengu põhimõtetele ülesehitatud energeetikaga ühiskonnaks, kus on hea ja turvaline veel väga kaua aega elada.**

## Kasutatud kirjandus

- Hüüs, M. (2000) Ülevaade Eesti Biokütuste Ühingu tegevusest. Esimese konverentsi kogumik. Peatoim. Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 32–37.
- Juske, A. ja Raesaar, P. (2008) Tuulikud läbi aegade. Vali Press OÜ. Tallinn: 239.
- Koppel, M. ja Ots, M. (2000) Taastuvate energiaallikate kasutamine Eestis. Esimese konverentsi kogumik. Peatoim. Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 10–20.
- Kulbas, H. (2001) Majandusministeeriumi ettevõtmistest taastuvate energiaallikate kasutamise toetuseks. Teise konverentsi kogumik. Peatoim. Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 11–12.
- Kull, A. (1996) Eesti tuuleatlas. Magistritöö. TÜ geograafia instituut. Tartu: 95.
- Popul, G. (1988) Tuuleenergia kasutamise perspektiivid Eesti NSVs. Eesti Teadus- ja Tehnikainformatsiooni ning Majandusuuringute Instituut. Eesti Informatsiooni Instituut. EK „Bit“ rotaprint. Tallinn: 19.
- Sivadi, A. ja Silde, O. (1953) Voprosõ teorii bõstrohodnogo vetrodvigatelja s vertikalnoi osju i obtekajemõmi lopastjami (vene k.). Tallinna Polütehnilise Instituudi Toimetised. Seeria A, nr 44. Eesti RK. Tallinn: 18.
- Taastuvenergiaallikate majanduslikult põhjendatud rakendamine energia tootmiseks (2001) Majandusministeeriumi Taastuvenergeetika nõukogu. Esim. Vares, V. Tallinn: 45 (käsikiri).
- Vt ka <http://www.tuuleenergia.ee/?path=0x136x105>.
- TEUK-kogumikud internetis (alates a 2007).
- 1) Eesti Maaülikooli koduleht, taastuvenergia keskus, <http://www.emu.ee/328322>;
  - 2) Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi koduleht, konverentsid ja seminarid <http://www.mkm.ee/index.php?id=7374>.
- Tiit, V. ja Mättas, L. (1996) Tuuleenergia kasutamisevõimalustest Eestis. Eesti Põllumajandusülikooli teadustööde kogumik 189. Põllumajandustehnika ja energeetika. Kogumiku kolleegiumi esim. Heinloo, M. Tartu: 138–146.
- Tuule- ja hüdroenergeetika arendamise stimuleerimise kava (1999) Majandusministeeriumi komisjon. Esim. Tiit, V. Tallinn: 11 (käsikiri).

Kütuse- ja energiamajanduse pikaajaline riiklik arengukava. (1998) Riigi Teataja I, 19, 295.

## **REMEMBERING THE PAST, PEERING INTO THE FUTURE**

Valdur Tiit

*Ilmatari 44, 51006 Tartu, e-mail: vtiiit@neti.ee*

The article points out that before the Second World War there were hydro power plants and small wind generators (in addition to larger power plants) in Estonia. Immediately after the war more hydro power stations were built, but due to successful development of oil shale power industry and cheap petroleum that were economically more viable, the smaller stations were neglected.

The past decades have seen an increasing interest in the usage of renewable energy sources. In order to exchange information between the researchers and those applying the technology and to inform the society about renewable energy Estonian Agricultural University started to organise TEUK conferences in 1999. At the 9 conferences held so far there have been 223 presentations, of which 172 (1230 pages, 156 authors) have been published in the conference proceedings. All this is also available on the Internet. Based on the research we can conclude that renewable energy resources in Estonia meet the entire demand for energy now and in the foreseeable future.

Using energy flows from renewable sources that change uncontrollably relatively fast in time to achieve wattage at a desired output requires compensating systems. To start these systems temporarily stored energy from renewable sources can be used.

Energy-related tasks should be approached and solved with precision and impartiality that is characteristic to scientific research, although due to various reasons emotions tend to play a significant role in this field.

# EESTI ENERGIAMAJANDUSE RIIKLIKU ARENGUKAVA EELNÕU

Einari Kisel

*Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium, einari.kisel@mkm.ee*

## **Annotatsioon**

Eesti energiamajanduse arengukava eelnõu annab ülevaate Eesti energeetika hetkeseisust ning määrab prioriteetsed arengusuunad koos konkreetsete meetmete programmiga ja rahastamise allikatega. Eelnõu koostamise käigus on Majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi töörühm konsulteerinud paljude huvigruppide ja ettevõtjatega ning pidanud avalikke foorumeid.

Eesti energiamajandus on viimastel aastatel oluliselt muutunud. Oluliselt on vähenenud energiakaod ning ka soojuse tarbimine, samas mõjutab energiaturgude avanemine, Estlinki valmimine ning hindade tõus oluliselt ka energiaturgudel toimuvat. Erinevates rahvusvahelistes võrdlustes paistab Eesti energiasektor välja tarbimise poolest efektiivsena, tootmise poolelt tulenevalt põlevkivi kasutusest aga üsna energiamahukas.

Arengukava eelnõu näeb ette laiemat taastuenergia kasutust elektri ja soojuse tootmisel, põlevkiviõli tootmise tehnoloogiate arendamist, uue soojamajanduse arengukava koostamist, energiasäätualaste tegevuste rakendamist ja mitmeid muid energiavaldkonda arendavaid tegevusi.

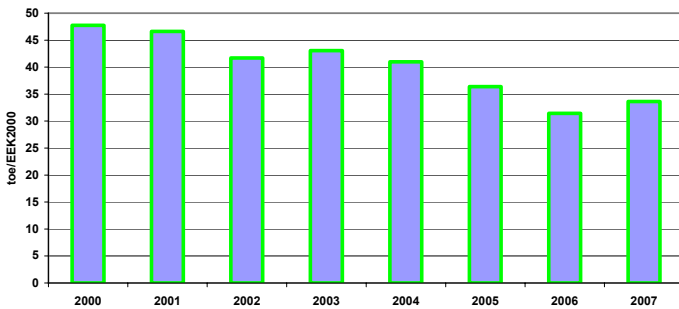
Energiamajanduse arengukava eelnõuga paralleelselt valmis ka elektrimajanduse arengukava eelnõu, mis annab olulised suunised elektritootmise ümberstruktureerimiseks lähiaastatel. Eesti elektritootmine peab 15 aastaiga muutuma mitmekesisemaks, põlevkivi kasutamine asendub osaliselt taastuenergia ning koostoomisega ja pikemas perspektiivis ka tuumaenergia kasutamisega. Nende kavade elluviimiseks on kavas planeeritud ka konkreetsete meetmed.

*Võtmesõnad: Energiamajanduse arengukava, energeetika*

## Ülevaade energiamajanduse olukorrast

Majanduse kiire areng on avaldanud mõju Eesti energiatarbimise suurenemisele: perioodil 2000 – 2007 kasvas energia lõpptarbimine 28% (samal perioodil kasvas SKP ligi 71%). Seetõttu on jätkuvalt kasvanud ka energiatootmine. 2007. aastal kasutati 230 318 TJ primaarenergiat, võrreldes 2000. aastaga on seda 17,1% rohkem. Eesti energiavõrgud on muutunud efektiivsemaks - võrreldes aastaga 2000 vähenesid elektrienergia ja soojusenergia kaod transportimisel, hoidmisel ja jaotamisel.

SKP energiamahukuse trend Eestis (EEK2000 vääringus)

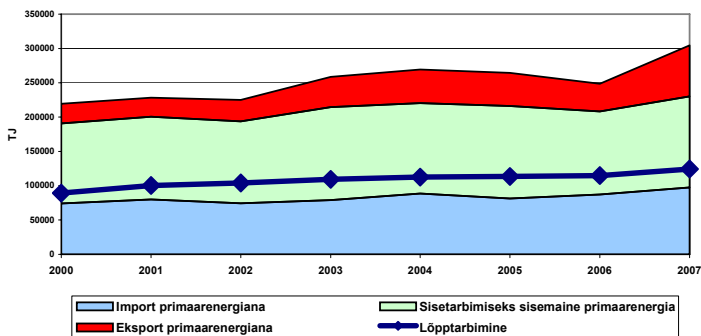


Allikas: arvutused Statistikaameti andmete baasil

SKP energiamahukus on Eestis väga kiiresti muutumas paremuse suunas, eriti viimastel aastatel. Selle suundumuse juures on tähelepanuväärne teinegi maailmas unikaalne trend: vaatamata väga kiirele majanduskasvule on Eesti primaarenergiatarbimine vähenenud.

Analüüsides selle trendi põhjuseid, võib näha, et Eestis on oluliselt viimastel aastatel hakanud vähenema soojusenergia tarbimine, aga ka energiakaod elektri- ja soojusvõrkudes. Seega investeeringud, mida on tehtud majade renoveerimisel ja uute soojapidavate majade ehitamisel ning eriti soojusvõrkude renoveerimisel, on oluliselt vähendanud energia kogunõudlust. Elektritarbimise kasv on olnud suhteliselt tagasihoidlik ning on suuresti sõltunud uute energiamahukate tööstuste tekkest.

### Eesti primaarenergia ekspordi/impordi saldo

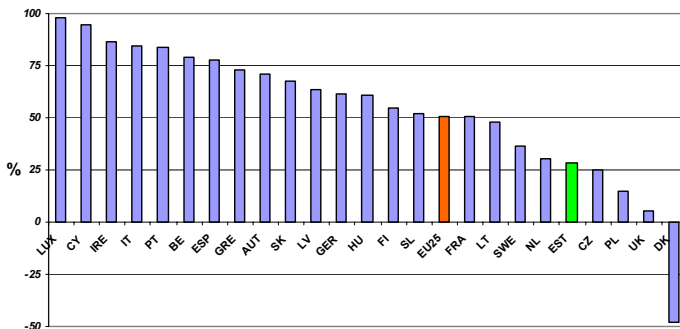


Allikas: arvutused Statistikaameti andmete baasil

### Eesti energiaspektori võrdlus teiste riikidega

**Energiasõltuvus.** Energiasõltuvus näitab energiaallikate netoimpordi suhet energia kogutarbimisse. Eesti on selle näitaja poolest üks sõltumatumaid riike EL riikide hulgas (5. kohal 2004. aastal 28,5% osakaaluga). Eestisse imporditakse maagaasi ja vedelkütuseid, eksporditakse puitkütuseid ja põlevkiviõli.

EL riikide energiasõltuvus 2004. aastal

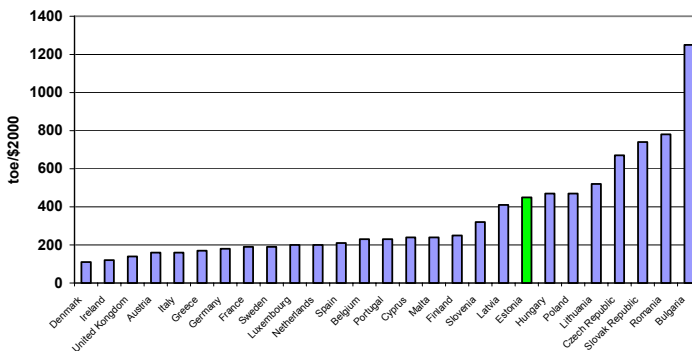


Allikas: Rahvusvaheline Energiaagentuur IEA

**Sisemajanduse kogutoodangu energiamahukus.** Sageli kasutatakse riikide energiasektorite omavahelises võrdluses sisemajanduse kogutoodangu energiamahukust. Energiaspektori efektiivsuse võrdleva mõõduna eri riikide vahel

ei ole SKP energiamahukust võimalik hästi kasutada, küll aga annab ta hinnangu riigi majanduse energiamahukusele.

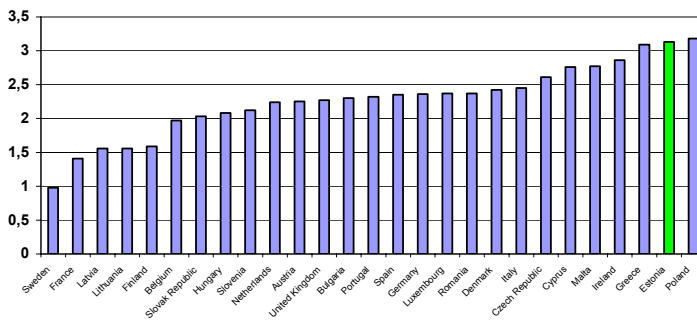
**SKP energiamahukus EL liikmeriikides 2005. aastal**  
(toe/SKP kohta \$2000 vääringus)



Allikas: Rahvusvaheline Energiaagentuur IEA

**Energiasectori CO2 intensiivsus** saadakse nende heitmete jagamisel primaarenergia kogusega. Eesti energiasektor on EL riikide hulgas üks CO2-mahukamaid.

**CO2 heitmed primaarenergia tarbimise kohta**  
EL riikides 2005. aastal



Allikas: Rahvusvaheline Energiaagentuur IEA

Samas tuleks siin andmete võrreldavuse huvides vaadata riikide kliimaalisi tingimusi, energiaallikate ekspordi/impordi suhet ja kasutatavate energiaallikate struktuuri. Nii näiteks on selles arvestuses parimad tuumariigid (Rootsi, Leedu, Prantsusmaa, Soome), suurte hüdroressurssidega riigid (Rootsi, Läti) ja elektrit importivad riigid (Läti, Soome) – kõikidel nendel juhtudel ei kaasne elektrinõudluse katmisega CO2 heitmeid.

### **Energia hinnad**

Viimastel aastatel on naftakütuste hinnad maailmaturul oluliselt tõusnud Aasia riikide kiire majanduskasvu ning Lähis-Idas ja Aafrikas esinevate pingete tõttu. Sellega seoses on oluliselt tõusnud ka teiste rahvusvaheliselt kaubeldavate energiakandjate (peamiselt maagaas, kivisüsi, puit) ning uute energiaseadmete hinnad. Olulist mõju on energiahindadele Euroopas avaldanud ka käivitunud heitmekaubandus.

Brenti toornafta hetkehinna muutused 1999-2008



Allikas: Nordea e-Markets

### **Eesti Energiamaajanduse arengukava meetmete programm**

Arengukava seab eesmärgiks tagada Eesti elanikele pidev, säästlik ja põhjendatud hinnaga energiavarustus. Tulenevalt Eesti energiasektori probleemidest ning lähtudes energiasektori poliitika missioonist ja visioonist, on energiamaajanduse arengukava eesmärgid ja meetmed järgmised:



*1. eesmärk: Eesti elanikkonnale on tagatud pidev energiavarustus*

**Meetmed:**

- 1.1. Energiavarustuse mitmekesistamine läbi uute ühenduste ehitamise ja energiabilansis energiaallikate ühtlasema jaotuse
- 1.2. Varustuskindluse-alase seadusandluse edasiarendamine
- 1.3. Kohalike omavalitsuste energeetika-poliitika koordineerimine
- 1.4. Koostöö teiste EL liikmesriikidega ühtse energeetika välispoliitika arendamise eesmärgil
- 1.5. Kütusevarude loomine

*2. eesmärk: Eesti energiavarustus ja -tarbimine on säästlikum*

**Meetmed:**

- 2.1. Energiasäästu arendamine
- 2.2. Põlevkivi kasutamise tõhustamine
- 2.3. Efektivsemate põlevkiviõli ja -gaasi tootmise tehnoloogiate rakendamine
- 2.4. Energiatehnoloogiate arendamine
- 2.5. Taastuvenergia tegevuskava koostamine
- 2.6. Soojamajanduse riikliku arengukava koostamine
- 2.7. Euroopa Liidu uute säästva energeetika alaste regulatsioonide rakendamine

*3. eesmärk: Tarbijatele on tagatud põhjendatud hinnaga energiavarustus*

**Meetmed:**

- 3.1. Energiaturu konkurentsivõime ja turumoonutuste kõrvaldamine
- 3.2. Energiaagentuuri loomine
- 3.3. Tuumaenergeetikaalase teadmuse loomine ja vastava seadusandluse ettevalmistamine
- 3.4. Ökomaksureformi mõjude analüüsimine
- 3.5. Energeetika valdkonna õppe- ja teadustöö edendamine

Detailselt on need meetmed lahti kirjutatud arengukava eelnõus. Arengukava eelnõu koostamisel aluseks olnud uuringud on toodud veebilehtedel <http://www.mkm.ee/index.php?id=8098>, <http://www.mkm.ee/index.php?id=321327> ning blogis [energiafoorum.blogspot.com](http://energiafoorum.blogspot.com)

## **DRAFT OF ENERGY SECTOR STRATEGY FOR ESTONIA**

Einary Kisel

*Ministry of Economic Affairs and Communications*

Drafted Energy Strategy for Estonia provides an overview about the current situation in Estonian energy market and defines directions for development with specified measures and financing sources. In the process of drafting the Strategy the Ministry of Economic Affairs and Communications consulted with several interest groups and companies, and held public forums.

Estonian energy sector has undergone several changes in recent years. Energy losses in grids and the heat consumption have decreased substantially, in the same time the liberalisation of energy markets, introduction of sub-marine cable Estlink and increase of energy prices are influencing clearly also the energy markets. In international comparison Estonia can be described as efficient in energy consumption, but quite energy intensive in energy production due to the use of oil-shale in power production.

Drafted Strategy foresees for the future wider use of renewables in energy production, further development of shale-oil production, development of the Heat Sector Strategy, encouraging energy efficiency measures, and other activities for further development of Estonian energy sector.

In parallel with the Energy Sector Strategy was also developed the Power Sector Strategy, which provides important directions for restructuring this sector in coming years. Within next 15 years Estonia must diversify its energy portfolio by replacing oil-shale based power production partly with renewables, CHP-s and in longer run also with nuclear power production. For introduction of these changes the strategy foresees also clear measures.

# ERINEVA BIOMATERJALI BRIKETEERIMISE KOGEMUSI

Jüri Olt<sup>1</sup>, Aare Kivilo<sup>2</sup>, Mihkel Laur<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Eesti Maaülikool, Kreutzwaldi 1, 51014 Tartu, e-post: [jyri.olt@emu.ee](mailto:jyri.olt@emu.ee)

<sup>2</sup>AS Termox, Tähe 112A, 51013 Tartu, e-post: [termox@termox.ee](mailto:termox@termox.ee)

## Annotatsioon

Käesolevas töös käsitletakse erinevast rohtsest biomaterjalist ja kartongjäätmetest briketi valmistamise iseärasusi ning antakse ülevaade pressimisprotsessi käigus tekkida võivatest probleemidest. Kasutati kruvipressi. Korrekse briketi moodustasid nisupõhk, rukkipõhk ning kartong, rahuldava rukkipõhk koos luhahainaga. Suurim kütteväärtus ja väikseim tuhasus oli rukkipõhubriketil, suurim tuhasus ja väikseim kütteväärtus puulehebriketil.

*Märksõnad: rohtne biomass, briketipress, tahke biokütus.*

## Sissejuhatus

Viimastel aastatel on biokütuste kasutamine pidevalt laienenud. Nüüdisaegsed biokütuste tootmis- ja põletustehnoloogiad võimaldavad efektiivselt ära kasutada praktiliselt kõiki metsa- ja puidutööstuse jäätmel. Üha laiemat rakendamist kütusena leiab ka rohtne biomass, sealhulgas erinevate teraviljade põhk. Teraviljapõhk sarnaneb omadustelt puiduga. Eestis koristati 2007. a esialgsel andmel 605,5 tuhat tonni teravilja, põhku tekkis koristamisel seejuures ligikaudu 810 tuhat tonni (Eesti energeetika arvudes 2005). Eestis on biokütuste kasutuselevõtt muutunud aktuaalseks teemaks.

Biokütus on kütus, mis on valmistatud biomassist. Biomassina käsitletakse kehtivas seadusandluses põllumajanduslikke tooteid, kaasa arvatud taimseid ja loomseid aineid, metsandusest saadud toodete, jäätmel ja jääkide bioloogiliselt lagunevat fraktsiooni ning tööstuse- ja olmejäätmel bioloogiliselt lagunevat fraktsiooni (Kask). Kui metsandusest saadud jääke kasutatakse üha otstarbekamalt, siis põllumajanduses tekkivad tooted ning jäätmel on ressurss, mille kasutamisele võiks samuti otstarbekamat rakendust leida. Eestis on väga palju kasutamata põllumajanduslikku maad, mida võiks kasutada energiataimedel kasvatamiseks. Energeetilise kütusena või väärstatud kütuse toorainena võib

kasutada ka põldudel kultiveeritavaid katteseemnetaimi (nisu, oder, raps, mais jpt) ositi (seemned), tervenisti või jäätmetena (põhk).

Üheks võimaluseks oleks biomassi briketeerimine ning põletamine nii kodumajapidamistes, kui ka katlamajades ning soojuse ja elektri koostootmisjaamades. Käesoleva töö eesmärgiks oli erinevate kultuurenergiataimede ja jäätmete (põhk jm) briketeeritavuse uurimine.

### **Materjal ja meetod**

Pressimise käigus toimuvad järgmised protsessid:

- 1) pressitavale materjalile rakendatakse survet;
- 2) temperatuur tõuseb nii pressitava materjali osakeste omavahelisest hõõrdumisest kui ka hõõrdumisest pressi ja pressitava materjali vahel;
- 3) tekkinud kõrge temperatuuri ja surve tagajärjel puitunud taime rakuline struktuur puruneb;
- 4) kuumuse tõttu materjalis olev ligniin pehmeneb ja liimib kokku pressitavad materjali osakesed.

Kuna pressimise käigus muutub pressitav materjal kuivemaks, siis pressimise tulemusel saadava kütuse kütteväärtus suureneb nii mahu- kui ka massiühiku kohta. Taimset päritolu pressitud kütuste eelistest töötlemata taimse massi ees võib märkida järgmisi:

- 1) pressitud taimse päritoluga kütuste väikese niiskuse ja kõrge kütteväärtuse tõttu saab neid transportida ja ladustada odavamalt, kui töötlemata taimset massi;
- 2) kuiv kütus ei hakka seente ja mikroorganismide mõjul bioloogiliselt lagunema, seega saab seda säilitada pikka aega;
- 3) pressitud kütuste ühtlane niiskus ja tüki suurus võimaldab täpsemini reguleerida põlemisrežiimi koldes, kindlustades sellega kõrgema kasuteguri.

Käesoleva töö tegemiseks kasutati briketeerimisseadet BIOMASSER BS06 (joonis 1), mis kujutab endast kruvipressi ning on ette nähtud õlgede ja heina pressimiseks. Seadme tootlikkus tehniliste andmete järgi  $Q = 40 \dots 50$  kg/h. Jahuti-stabilisaatori



Joonis 1. Briketeerimiseadme BIOMASSER BS06 üldvaade  
Figure 1. Briquette press BIOMASSER BS06

pikkus on  $L = 3000$  mm. Pressitav materjal peab olema fraktsiooniga 2...5 cm ja niiskusega  $W = 15...30\%$ . Saadav brikett on juhusliku pikkusega ning läbimõõduga  $D = 70$  mm.

Vajamineva fraktsiooni saamiseks sobib põhupeenesti BIOMASSER RS06 (joonis 2). Seade on pealtlaetav ning peenestab vaid lahtist põhku. Olenevalt materjalist on seadme tootlikkus kuni  $Q = 150$  kg/h. Materjali niiskus võib olla kuni  $W = 30\%$ . Peenestusaste oleneb purusti sõela avade läbimõõdust. Kasutatud seadme sõela avade läbimõõt on  $d = 28$  mm.



Joonis 2. BIOMASSER RS06: a) üldvaade, b) pealtvaade  
Figure 2. BIOMASSER RS06: a) general perspective, b) from the top perspective

Peenestil on kahe briketeerimiseadme teenindamise valmidus. Varustatud ühe löikava ja nelja purustava teraga (joonis 2). Mõnesid pikema kõrrega materjale tuli ette purustada trummel-tüüpi purustiga. Peenestamine oli vajalik materjali käsitlemise lihtsustamiseks. Sidumismaterjal tuli enne peenestamist eemaldada. Peale palli sisselaadimist käitatakse käitusvõll ja seejärel põhjakonveier, mis veab põhupalli purustusvõlli ette.

### Pressimiskatse tulemused

Nisupõhk läbis peenesti RS06 tõrgeteta. Briketeerimisseade töötas nisupõhuga väga hästi ja moodustunud brikett oli korrektne (joonis 3). Matriitsi küttekeha oli seadistatud temperatuurile  $T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , seadme tootlikkus  $Q = 41\dots55,8\text{ kg/h}$ , briketi tihedus jäi vahemikku  $\rho = 769,4\dots799,2\text{ kg/m}^3$ .



Joonis 3. Nisupõhubrikett

Figure 3. Wheat straw's briquette

Luhaheina peenestamine BIOMASSER RS06-ga ei õnnestunud. Materjal moodustas tuuste ning jäi tera ja seina vahele kinni. Peenestasime luuhaheina esmalt JAGUAR-tüüpi söödajaotur-purustiga ette ning siis peenestiga RS06. Ettepeenestatud materjal läbis BOMASSER RS06 probleemideta. Matriitsi küttekeha oli seadistatud temperatuurile  $T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Saadud materjal ei lange aga etteandepunkrist kruvipressi söötekambrisse. Tegemist oli arvatavasti liiga niiske materjaliga ning esialgu sellest briketti ei saanud.

Rukkipõhk läbis peenesti probleemideta ning briketipressi töö sujus häreteta. Matriitsi küttekeha oli seadistatud temperatuurile  $T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Moodustunud brikett oli korrektne, briketi keskmine tihedus  $\rho = 758,5\text{ kg/m}^3$  (joonis 4).



Joonis 4. Rukkipõhubrikett

Figure 4. Rye straw's briquette

Ettepeenestatud luhaheina segamisel rukkipõhuga 1:1 massi järgi oli briketeerimisseadme töö ebastabiilne ning korralikku tööolukorda ei tekkinud. Matriitsi küttekeha oli seadistatud temperatuurile  $T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Materjali väljumisel matriitsist eraldus briketist palju auru ning brikett paisus ja jäi stabilisaatori varraste vahele kinni. Tekkinud olukord koormas briketeerimisseadme üle. Probleem võis tekkida luhaheina liigeses niiskuses. Luhaheina segamisel rukkipõhuga 1:1 massi järgi saadud briketi kuju on välja toodud joonisel 5.



Joonis 5. Luhaheina ja rukkipõhu (1:1) brikett

Figure 5. Meadow hay and rye straw's briquette

Rapsipõhu peenestamine BIOMASSER RS06-ga laabus, kuid palli pressitud materjali oli raske kätte saada. Seepärast sai rapsipõhk JAGUAR-tüüpi söödajaotur-purustiga ette peenestatud. Briketi pressimisel jäi aga materjal pidevalt kinni ja koormas seadme üle. Matriitsi küttekeha oli seadistatud temperatuurile  $T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tööolukorda ei tekkinud ning briketti ei saanud.



Joonis 6. Rapsipõhu ja rukkipõhu (1:1) brikett

Figure 6. Rape and rye straw's briquette

Rapsipõhu segamisel rukkipõhuga 1:1 massi järgi nii peenesti kui ka briketeerimisseadme töös probleeme ei esinenud. Matriitsi küttekeha oli seadistatud temperatuurile  $T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Saadud brikett oli väga pude ja kihiline.

Stabilisaatori surve all olles on brikett korrektne, kuid surve alt väljudes oli brikett veel soe ja muutis kuju. Korrektsem brikett moodustus siis, kui brikett jahtus surve all (joonis 6). Sama lahendust kasutatakse ka puubriketi tootmisel, kus surveliini pikkus on tihti üle 20 m, ja turbabriketi tootmisel, kus surveliin läbib jahutamise eesmärgil katuse all väliskeskonna.

Rapsipõhu segamisel luhheinaga 1:1 massi järgi nii peenesti kui ka briketeerimiseadme töös probleeme ei esinenud. Matriitsi küttekeha oli seadistatud temperatuurile  $T = 250\text{ °C}$ . Saadud brikett oli väga pude ja kihiline (joonis 7).



Joonis 7. Rapsipõhu ja luhaina (1:1) brikett

Figure 7. Briquette from rape straw and meadow hay

Rapsipõhu segamisel kõrrelistega 1:1 massi järgi peenesti töös probleeme ei esinenud, kuid etteanne oli vähene. Materjal langes hästi kruvi töösooni. Matriitsi küttekeha oli seadistatud temperatuurile  $T = 250\text{ °C}$ . Moodustunud brikett on väga pude. Matriitsi küttekeha temperatuuri tõstes  $T = 300\text{ °C}$  kõrbes materjal kohe pressipeasse kinni.

Kaubanduskeskustes tekkivad tüüpilised jäätmed, pappkastid, purustati ette JAGUAR-tüüpi söödajaotur-purustiga. BIOMASSER RS06 peenestas ettepurustatud kartongi probleemideta. Matriitsi küttekeha oli seadistatud temperatuurile  $T = 250\text{ °C}$ . Peenestatud materjal oli väga õhuline ja ei langenud piisavalt briketeerimiseadme etteandepunkrist kruvi töösooni, tekitades ebasoovitavaid võlve. Kartongist brikett on korrektne ja selle kuju on välja toodud joonisel 8.





Joonis 8. Kartongbrikett

Figure 8. Carton briquette

Kartongist briketi sisse jäi ka väikeses koguses rukkipõhku, kuna tööolukorra tekkimiseks on vaja stabilisaatori vahele vastusurve tekitamiseks väike kogus briketti ja see sai tehtud rukkipõhust. Pappkastid on enamasti kokku pandud kileteibi abil, mis jäi pressitava materjali hulka. Kileteip pressimisel takistuseks ei olnud ja probleeme ei tekitanud.

Katses kasutatud pilliroog oli terve suve seisnud kimpudesse seotult hoiustuskohas. Peenestamisega probleeme ei olnud ja saadud fraktsioon oli sobilik. Matriitsi küttekeha oli seadistatud temperatuurile  $T = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Materjal langes hästi söötekanalisse, kuid brikett ei jäänud piisavalt kokku. Surve all olles tekkisid praod ja liinilt väljudes pudises materjal laiali (joonis 9). Küttekeha temperatuuri muutmine vahemikus  $T = 230 \dots 280 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , mingisugust muutust pressimiskvaliteedis kaasa ei toonud.



Joonis 9. Pilliroobrikett

Figure 9. Reed's briquette

Pilliroo segamisel rukkipõhuga 1:1 massi järgi nii peenestamisel kui ka briketeerimisel probleeme ei esinenud. Matriitsi küttekeha oli seadistatud temperatuurile  $T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Surve all olles oli brikett korrektnete ja ilma pragudeta, kuid liinilt väljudes pudises samuti tükkideks (joonis 10).



Joonis 10. Pilliroo ja rukkipõhu (1:1) brikett

Figure 10. Reed's and rye straw's briquette

Pilliroogu segati ka rapsikoogiga, kuid rapsikook langes kiiremini söötekanalisse ja jäi pressipeasse kinni. Briketeerimine ei andnud loodetud tulemusi, korrektset briketti ei tekkinud.

Puulehtede (kase lehed) segamisel rukkipõhuga 1:1 massi järgi saadi proovikatsel liinis korrektnete, kuid liinilt väljudes tükiline brikett (joonis 11).



Joonis 11. Puulehtede ja rukkipõhu (1:1) brikett

Figure 11. Leafages and and rye straw's briquette

Puulehtede (kase lehed) pressimisel tekkis korrektne brikkett ning seadme töös probleeme ei esinenud. Moodustunud brikkett oli kõva ja ettenähtud pikkusega. Brikketi pind oli mõraline, kuid püsis ühes tükis. Probleemiks võivad kujuneda lehtede sisse sattuvad võõrkehad (kivid, metalli tükid, traadijupid, pudelikillud ja suuremad puuoksad). Puulehtedest saadud brikkett on välja toodud joonisel 12.



Joonis 12. Puulehebrikkett

Figure 12. Leafages briquette

Kurgipealsete pressimisel moodustunud brikkett oli korrektne, tugev ja püsiv ning brikketi pind oli sile. Brikkett oli ettenähtud pikkusega. Tulemuseks saadi 100...300 mm pikkusega brikkette (joonis 13).



Joonis 13. Kurgipealsebrikkett

Figure 13. Cucumber stalk briquette

Pressimiskatsetel saadud brikketidel määrati ka küttematerjali seisukohalt olulised parameetrid, mis on välja toodud tabelis 1.

*Tabel 1. Erinevate materjalide põlemistehnilised parameetrid*

*Table 1. Different materials combustion testing parameters*

Määratav parameeter	Niiskus	Tuhk (kuivaines)	Lendosad	Väävel (kuivaines)	Kloor (kuivaines)	Kuivaine alumine kütteväärtus	Tarbimisaine alumine kütteväärtus	Tuha sulamiskarakteristikad			
								Kahanemistemperatuur	Deformatsiooni-temperatuur	Poolsfääri-temperatuur	Voolamistemperatuur
Standard	CEN/TS 14774	CEN/TS 14775	CEN/TS 15148	ISO 334	ISO 587	CEN/TS 14918	CEN/TS 14918	CEN/TS 15370			
<b>Nisupõhubrikett</b>	11,4 %	4,7 %	77,6 %	0,12 %	0,36 %	19,10 MJ/kg	15,43 MJ/kg	870 °C	920 °C	1000 °C	1030 °C
<b>Rukkipõhubrikett</b>	11,4 %	3,6 %	78,1 %	0,08 %	0,29 %	19,04 MJ/kg	15,37 MJ/kg	870 °C	1070 °C	1090 °C	1100 °C
<b>Luhaheina ja rukkipõhubrikett</b>	15,4 %	3,7 %	77,2 %	0,12 %	0,33 %	19,36 MJ/kg	14,84 MJ/kg	950 °C	1000 °C	1020 °C	1040 °C
<b>Rapsipõhu ja rukkipõhubrikett</b>	13,5 %	4,6 %	77,0 %	0,14 %	0,42 %	18,70 MJ/kg	14,66 MJ/kg	600 °C	620 °C	-	kuni 1350 °C ei voolanud
<b>Rapsipõhu ja luhaheina brikett</b>	15,9 %	4,7 %	76,8 %	0,16 %	0,45 %	18,94 MJ/kg	14,38 MJ/kg	600 °C	-	-	kuni 1350 °C ei voolanud
<b>Rapsipõhu ja kõrreliste brikett</b>	13,9 %	5,2 %	76,5 %	0,15 %	0,34 %	18,62 MJ/kg	14,51 MJ/kg	740 °C	1190 °C	1230 °C	kuni 1350 °C ei voolanud
<b>Kartongbrikett</b>	9,5 %	11,0 %	77,9 %	0,11 %	0,06 %	16,84 MJ/kg	13,77 MJ/kg	920 °C	1160 °C	1200 °C	kuni 1350 °C ei voolanud
<b>Pilliroobrikett</b>	15,7 %	4,3 %	82,0 %	0,1 %	<0,05 %	17,41 MJ/kg	14,29 MJ/kg	880 °C	-	-	kuni 1350 °C ei voolanud
<b>Pilliroo ja rukkipõhubrikett</b>	16,1 %	4,2 %	78,5 %	0,1 %	<0,1 %	15,87 MJ/kg	12,92 MJ/kg	680 °C	880 °C	1080 °C	1110 °C

Tabel 1. Järg

Määratav parameeter	Niiskus	Tuhk (kuivaines)	Lentosad	Väävel (kuivaines)	Kloor (kuivaines)	Kuivaine alumine kütteväärtus	Tarbimisaine alumine kütteväärtus	Tuha sulamiskarakteristikad			
								Kahanemistemperatuur	Deformatsiooni-temperatuur	Poolsfääri-temperatuur	Voolamis-temperatuur
<b>Standard</b>	CEN/TS 14774	CEN/TS 14775	CEN/TS 15148	ISO 334	ISO 587	CEN/TS 14918	CEN/TS 14918	CEN/TS 15370			
<b>Puulehte ja rukkipoõhu brikett</b>	18,2 %	16,2 %	67,1 %	0,1 %	0,3 %	15,85 MJ/kg	12,52 MJ/kg	1080 °C	1100 °C	1130 °C	1140 °C
<b>Puulehebrikett</b>	25,3 %	23,9 %	62,5 %	0,1 %	<0,1 %	15,83 MJ/kg	11,21 MJ/kg	1110 °C	1150 °C	1170 °C	1180 °C
<b>Kurgipealsebrikett</b>	16,5 %	21,7 %	64,0 %	0,2 %	0,2 %	13,91 MJ/kg	11,22 MJ/kg	770 °C	900 °C	1250 °C	1270 °C

## **Kokkuvõte**

Kultuurenergiataimede kujul kasutatav biomass on oma bioloogilise eripära tõttu briketeerimiseks keeruline materjal. Tulenevalt sellest nõudis see antud töös kasutatud briketeerimiseadme kasutajalt kannatlikkust ja täielikku keskendumist tootmisprotsessi.

Saadud on ülevaade põllumajanduses briketeerimiseks kasutatust leidvate materjalide briketi moodustamise iseärasustest. Briketi kuju ja omadusi mõjutavate oluliselt järgmised tegurid:

- 1) briketeerimiseadme eripära;
- 2) pressitava materjali liik (erineva teravilja põhk, luhahain, puulehed, kurgipealsed jm);
- 3) pressitava materjali fraktsioon;
- 4) pressitava materjali niiskus;
- 5) briketi jahtumisrežiim stabilisaatoris (briketi jahtumisel muutuvad selle mehaanilised omadused oluliselt).

Eelkatsete käigus valmistatud briketmaterjali erinevate osade tiheduste ja tootlikkuse vahel oli suur erinevus. Põhjuste selgitamiseks tuleks katseteid jätkata. Luhahain ning kartong vajavad ettepeenestamist. Korrektse briketi moodustasid nisupõhk, rukkipõhk ning kartong, rahuldava rukkipõhk koos luhahainaga, rukkipõhk koos puulehtedega ja kurgipealsed. Briketeerimise praktiliseks juurutamiseks tuleb eelnevalt lahendada järgmised tehnilised ning tehnoloogilised probleemid:

- 1) põhurulli olukorra seire põllul;
- 2) pressitava materjali eelkuivatus (vajadusel);
- 3) tehnoloogilise protsessi sujuv käivitamine ja seiskamine;
- 4) pressitava materjali peenestamisel tekkiva tolmu elimineerimine;
- 5) pressitava materjali optimaalse peenestusastme tagamine;
- 6) materjali etteande tagamine pressi (võlvistumise oht).

Kokkuvõtteks võib öelda, et vaatamata tekkinud probleemidele katsetööde käigus proovibriketeerimisel kasutatud rohtsed jt materjalid (nn biojäätmel) alluvad enamasti briketeerimisele ja on kasutatavad kütusena. Kõik kaasnevad tehnilised ja tehnoloogilised probleemid on lahendatavad.

### **Kasutatud kirjandus**

Eesti energeetika arvudes 2005 [Online]. Kättesaadav: <http://www.mkm.ee> [23.04.2007].

Kask Ü. Biomassi alternatiivsed kasutusvõimalused [Online]. Kättesaadav: [http://www.zbi.ee/pky/kroonika/tekstid/koolituse\\_materjalid\\_ylo\\_kask.htm](http://www.zbi.ee/pky/kroonika/tekstid/koolituse_materjalid_ylo_kask.htm) [20.05.2008].

SERWIS AKPiA. BIOMASSER BS06 Manual. 2006. – 11 lk.

ASKET [Online]. Kättesaadav: <http://www.asket.pl/gb/images/rozdrabniacz.jpg> [24.05.2007].

SERWIS AKPiA. BIOMASSER RS06 Manual. 2006. – 12 lk.

JAGUAR söödajaotur-purusti [Online]. Kättesaadav: <http://www.starfeld.ee?id=tooted&nr=13> [12.05.2008].

## **EXPERIENCE OF BRIQUETTING DIFERENT HERBACEOUS BIOMATERIAL**

Jüri Olt<sup>1</sup>, Aare Kivilo<sup>2</sup>, Mihkel Laur<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Estonian University of Life Sciences*

<sup>2</sup>*Termox Ltd.*

The paper analyses the features of producing briquette from different herbaceous biomaterial and cardboard waste and describes the problems that can arise in pressing operation. The screw press was used. The proper briquette formed of wheat straw, rye straw and cardboard and the satisfactory one of rye straw together with meadow hay. The rye straw briquette had the highest calorific value and the lowest ash content, leaf briquette had the highest ash content and the lowest calorific value.

# TUULEVÕIMSUSE STANDARDHÄLBEST

Teolan Tomson<sup>1</sup>, Ants Erm<sup>2</sup>, Raimo Pirksaar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>TTÜ Materjaliteaduse instituut, [teolan@staff.ttu.ee](mailto:teolan@staff.ttu.ee)

<sup>2</sup>TTÜ Meresüsteemide instituut, [ants@sea.ee](mailto:ants@sea.ee)

<sup>3</sup>Nelja Energia OÜ, [raimo@4energia.ee](mailto:raimo@4energia.ee)

## Annotatsioon

Töös käsitatakse metoodikat mere-tuulepargi dünaamilise käitumise prognoosimiseks. Näidatakse tõenäose tuulevõimsuse ja selle standardhälbe hindamise võtted kaldal tehtud mõõtmiste järgi, tuginedes analoogiale Eestises juba püstitatud elektrituulikute omadusi uurides.

*Märksõnad: prognoos, tuulevõimsus, tuulevõimsuse standardhälve.*

## Sissejuhatus

Lisaks arvukatele maa-tuuleparkidele Eesti rannajoone piirkonnas on oodata ka mere-tuuleparkide rajamist. Ettevalmistustööd Hiiumadala hõivamiseks on alanud (vaieldav, kas see küll mõistlik on). Rannalähedasi mere-tuuleparke Loode-Eestisse või Liivi lahte võib tekkida teisi. Projekteerimise seisukohast on ebasoodus tegur see, et Eesti avamerel tuulekiirusi (energeetilises mõttes) pole mõõdetud ja esialgu tuleb hinnang anda saartel ja rannajoonel tehtud mõõtmiste järgi. Tuult on eelnevalt mõõdetud Kihnus (KHN: 10&27>m), Hari Kurgu Harilaiul (HRL: 20, 35 &50 m), Virtsus (VRT: 63 m), Ristininal (Harjumaal : 32 m), Pakri poolsaarel (PKR: 80 m) Türisalu pangal (TRS:20&40 m) ja mõnel pool veel. Lisaks tuulekiiruse keskväärtusele tehnilisel kõrgusel (kaasaegsete suurte mere-elektrituulikute, näiteks Vestas V90-3,0 võlli kõrgus on kas 80 või 105 m) tuleb hinnata ka tuulekiiruse (ja sellest tuleneva tuulevõimsuse) ebastabiilsust, sest eesti elektrivõrgu taluvus dünaamilistele protsessidele on nõrk.

## Lähteandmed

Käesolev töö on pühendatud metoodikale, kuidas mere-elektrituulikute dünaamilist käitumist hinnata, lähtudes olemasolevatest andmetest. Käesolevas töös kasutatakse järgmisi andmestikke:



Tabel 1. Töös kasutatud tuulekiiruse lähteandmed

Table 1. Prime data of wind speed, used in the paper

Objekt	Lühend	Asukoht	Ajaintervall	Kasutatud, selleks et:
Harilaiu mõõtemast	HRL	58°56,4'N, 23°2,7'E	Nov. 97–Jan. 98	Tuulekiiruse standardhälbe määramine sõltuvalt kõrgusest
Näsuddeni (Gotland) mõõtemast	NSD	~57°10'N, ~18°12'E	Nov. 86–Jan. 87	Tuulekiiruse standardhälbe määramine sõltuvalt kõrgusest
Virtsu tuulepargi 1.elektrituulik	VRT	58°36'N, 23°30'E	Nov. 02–Jan. 03	Korrelatsiooni selgitamine tuulekiiruse ja tuulevõimsuse standardhälbe vahel
Pakri tuulepargi 2.elektrituulik	PKR	59°22,6'N, 24°03,1'E	Nov. 06–Jan. 07	Korrelatsiooni selgitamine tuulekiiruse ja tuulevõimsuse standardhälbe vahel
Kihnu mõõtemast	KHN	58°06'N, 23°05'E	Nov. 97–Jan. 98	Seose otsimine tuulekiiruse standardhälve ja ümbruse vahel
Avaste mõõtemast	AVA	58°37'N, 24°05'E	Nov. 02–Jan. 03	Seose otsimine tuulekiiruse standardhälve ja ümbruse vahel
Kunda mõõtemast	KND	59°30'N, 26°36'E	Nov. 04–Jan. 05	Seose otsimine tuulekiiruse standardhälve ja ümbruse vahel

Kasutatud on tootlike talvekuude november, detsember ja jaanuar andmestikke mahuga  $a' \sim 10^4$  kirjjet (sampi). Lisaks Eestis tehtud mõõtmistele kasutatakse ka Uppsala Ülikooli poolt Gotlandil tehtud tuulemõõtmisi, sest seal on mõõtmised tehtud laias kõrguste skaalas  $H=10, 32, 53, 75, 97, 118$  ja  $140$  m. NSD mõõtemast asub 1,5 km kaugusel rannast, maastik tema ümber on kas lage lambakarjamaa või kidur männivõsa (meie metsa mõõtu see välja ei anna).

Elektrituulikud, mille mõõteandmeid allpool kasutatakse, on toodud tabelis 2.

Tabel 2. Uurimuses kasutatud elektrituulikud

Table 2. Wind turbine generators (WTG), used in the investigation

Asukoht	Tüüp	Nimivõimsus, kW	Võlli kõrgus, m	Tuule stardi- ja stabiliseerimiskiirus, $ms^{-1}$
VRT	Enercon E-40	600	63	2,5–12
PKR	Nordex N-90	2300	80	3–13

### Keskmise tuulekiiruse transformatsioon

Rannal mõõdetud andmetega tuleb teha kaks transformatsiooni: rannalt merele ja seal mõõtekõrguselt tehnilisele kõrgusele. Kirjanduse [1, 2] andmetel on keskmine

tuulekiirus rannalähedasel merel 15–20% suurem rannal mõõdetust. Seost avamere (ookeani) kohta ei ole teada.

Logaritmilise valemi järgi on tuule keskmine kiirus kõrgusel  $z_2$  seotud tuule kiirusega kõrgusel  $z_1$  järgmise teoreetilise sõltuvusega [3]

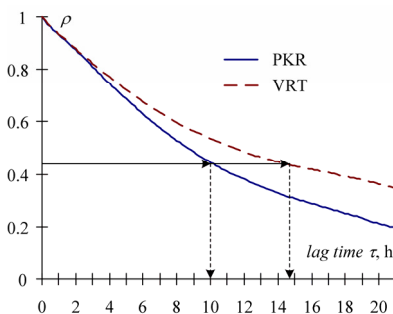
$$u(z_2)/u(z_1) = (z_1 \cdot \ln(z_2/z_1) - \ln z_0) / (\ln z_1 - \ln z_0),$$

kus  $z_0=0,0001$  on merekeskkonna pinnakaredust iseloomustav kareduskõrgus (otsetõlkes – “kareduspikkus”).

Nende seostega on hinnang keskmisele tuulekiirusele rannalähedasel merel leitav.

### Tuulekiiruse standardhälbe transformatsioon

Tuulekiiruse ebastabiilsust iseloomustab tema ruutkeskmine ehk standardhälve, mille kohta autoril eelteavet ei ole. Seega tuleb uurida kas standardhälve sõltub tuule keskmisest kiirusest; kas ta sõltub mõõtekõrgusest ja ümbruskonna pinnakaredusest?



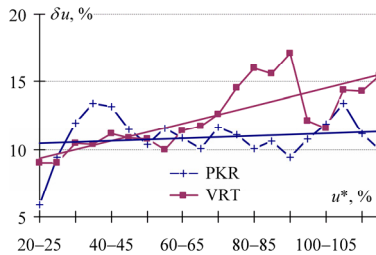
Joonis 1. Pakri ja Virtsu tuulekiiruste autokorrelatsioonifunktsioonid  $\rho(\tau)$

Figure 1. Autocorrelation functions  $\rho(\tau)$  of wind speed at Pakri and Virtsu wind parks

Kogu andmestiku keskmine vastust ei anna, vaid vastust tuleb otsida libiseva keskmise kaudu üle pika andmestiku. Libisev keskmine on leitud korrelatsiooniaja vältel, mil loetakse, et juhuslikud väärtused on omavahel korrelatiivselt seotud. Joonis 1 esitab Virtsu 1 ja Pakri 2 elektrituuliku mõõteandmetest leitud autokorrelatsioonifunktsioonid ja nendest leitud korrelatsiooniajad  $\tau$ . Pakri

kaheksast tuulikust on eelistatud teist, sest selle andmestik oli (peaaegu) ilma pausideta.

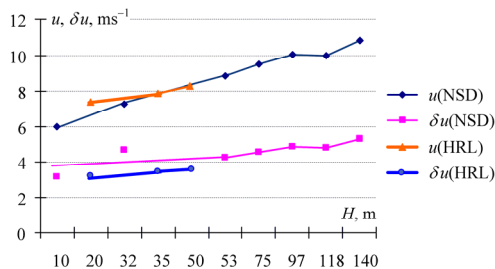
Näeme, et tuul on küllalt stabiilne: PKR on korrelatsiooniaeg 10 ja VRT 15 tundi. Muuseas HRL kõrgusel 50 m on vastav väärtus 11,3 tundi. Libiseva keskmisega leitud standardhälve on vastandatud tuulekiiruse libiseva keskmisele ja peale grupeerimist tuulekiiruse intervallide kaupa on seos näidatud joonisel 2. Tuulekiirus  $u^*$  on näidatus suhtelistes ühikutes (%) vastava elektrituuliku stabiliseerimiskiirusest.



Joonis 2. Tuulekiiruse standardhälve  $\delta u$  sõltuvus tuulekiirusest  $u$ .

Figure 2. Standard deviation of wind speed  $\delta u$  depending on the average value  $u$  of thus

See seos on trendijoonete järgi lineaarne mõne protsendi piirides ja PKR pigem puudub üldse. Tuulekiiruse standardhälbe seos mõõtekõrgusega on näidatud joonisel 3 ja see toetub HRL ja NSD mõõteandmetele. Siin on tegemist kogu 3 kuu keskväärtustega.



Joonis 3. Tuulekiiruse  $u$  ja tema standardhälve  $\delta u$  sõltuvus kõrgusest  $H$  Harilaiul ja Näsuddenis

Figure 3. Wind speed  $u$  and its standard deviation  $\delta u$  as functions of the height  $H$

Näeme, et nii keskmise tuulekiiruse seos kõrgusega  $H$ , kui ka tema standardhälbe seos kõrgusega on sarnane nii Harilaiule kui ka Näsuddenile, hoolimata mõnevõrra erinevast ümbrusest. Standardhälve kasvu hinne sõltuvalt kõrgusest on kummagi mõõtepaiga keskmisena  $0,012 \text{ ms}^{-1}/\text{m}$ . Võrreldes elektrituulikute VRT 63 m ja PKR 80 m standardhälbeid (kogu mõõtereala pikkuses) saame sõltuvuse hindeks  $0,011 \text{ ms}^{-1}/\text{m}$ .

Pinnakareduse mõju on püütud hinnata mõõtes sama mõõtekomplektiga (NRG 9300) 27 m kõrgusel tuulekiirust ja selle hälbeid erinevates paikades. See mõõteseadet registreerib 10 minuti kaupa nii keskmise kiiruse kui selle standardhälbe keskväärtuse. Omakorda võttes arvesse kummagi keskväärtused tuulekiiruse piirkonnas  $6\text{--}9 \text{ ms}^{-1}$  saame tulemuseks järgmise tabeli:

*Tabel 3. Mõõtepaigad ümbruse mõju uurimiseks*

*Table 3. Monitoring sites used to investigate the influence of the surrounding landscape*

Paik	Lühikirjeldus	Tuul, $\text{ms}^{-1}$	Hälve, $\text{ms}^{-1}$
KHN	Kihnu saare lõunatipus, 50 m merest kadakate vahel	7,6	0,78
AVA	Endisel rannavallil ~40 km merest avatud maastikul	7,29	1,25
KND	Kunda Hiimäel ~4 km merest järsukaldalisel künkal	7,34	1,11

Mingit selget sõltuvust asukohast ei näi olevat. Seevastu tuulekiiruse standardhälve, mis on arvatud 10-minutilise intervalli juures, erineb oluliselt sellest, mis on arvatud kogu andmeara (3 kuud) kohta. Seega võib diskuteerida keskmistamisaja „õige“ suuruse üle ja ilmselt tuleb täiendavates uuringutes kõne alla mingi kriteerium, mille määrab elektrisüsteemi inerts. See on täna teadmata. Näeme, et: tuulekiiruse standardhälve sõltub selle keskmisest kiirusest nõrgalt ja lineaarselt; sõltub mõõtekõrgusest kaaluga  $0,012 \text{ ms}^{-1}/\text{m}$  ja tema sõltuvust ümbruskonna pinnakaredusest võib ignoreerida.

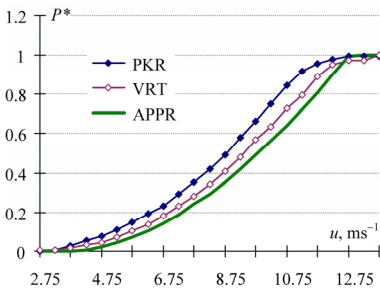
### **Tuulevõimsuse hälvete seos tuule kiirusega**

Tuulevõimsuse all peame silmas elektrituuliku poolt arendatavat aktiivvõimsust. See seos on mittelineaarne ja teoreetiliselt sõltub tuulevõimsus tuule kiirusest kuupastmes. Kuna elektrituulik on reguleeritav, pole see mittelineaarsus nii suur, aga siiski märgatav. Autori poolt on (varasemates töödes) kasutatud empiirilist aproksimatsiooni suhtelise võimsuse  $P^*$  jaoks:

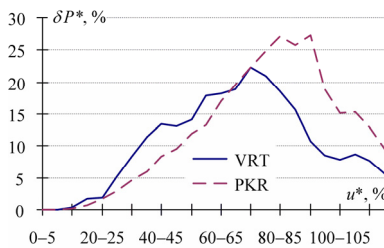
Kui  $u < 12,99$ , siis:  $P^* = ((u - 3,75)^{1,75}) / 47$

Kui  $u > 12,99$  siis:  $P^* = 1$

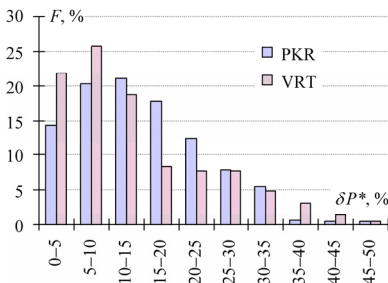
Joonisel 4 on seda võrreldud kummagi vaatlusaluse elektrituuliku tegelikust eksploatatsioonist määratud võimsuskarakteristikuga (mis on esitatud samuti suhtelistes ühikutes). Uuemad elektrituulikud stardivad nõrgema tuulega, mistõttu aproksimeerivat valemit tuleks korrigeerida. Kõverate iseloomu see nihe ei muuda, need on mittelinearsed, eriti põlve tõttu stabiliseerimiskiirusel  $\sim 13 \text{ ms}^{-1}$ . Kõvera horisontaalne osa  $P^* = 1$  lõikab ära võimsuse kasvu tuulekiirustel  $u > 13 \text{ ms}^{-1}$  ja seepärast tuulevõimsuste standardhälve kõdub selles piirkonnas.



Joonis 4. Elektrituulike tunnus kõverad  $P^*(u)$   
Figure 4. Power curves  $P^*(u)$  of the used WTG-s

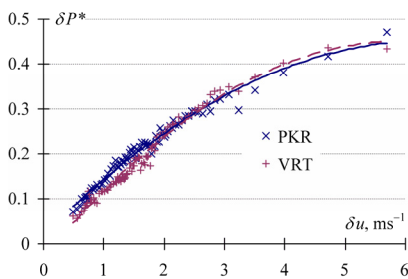


Joonis 5. Tuulevõimsuse standardhälve  $\delta P^*$  sõltuvus (suhtelisest) keskmisest tuulekiirusest  $u^*$   
Figure 5. Standard deviation of the wind power  $\delta P^*$  as a function of the average wind speed  $u^*$



Joonis 6. PKR ja VRT elektrituulike võimsushälvete  $F(\delta P^*)$  histogram

Figure 6. Histogram  $F(\delta P^*)$  of the wind power standard deviation  $\delta P^*$  for WTG at PKR and VRT



Joonis 7. Korrelatsioon tuulekiiruse  $\delta u$  ja -võimsuse  $\delta P^*$  standardhälbe vahel

Figure 7. Correlation between standard deviations of wind speed  $\delta u$  and its -power deviation  $\delta P^*$

Tegelikult algab standardhälve piiramine juba varem, (joonis 5) nii, et selle maksimum jääb suhtelise tuulekiiruse piirkonda 70–90 %. Kohtmaksimumi väärtuseks võib hinnata 20–30% nimivõimsusest, millega tuleb arvestada ühenduse loomisel elektrivõrguga.

Tuulevõimsuse hälvete  $\delta P^*$  (suhtelised ühikud!) histogramm joonis 6 näitab, et nende esinemissagedus  $F$  on kaugel normaaljaotusest.

### **Tuulevõimsuse standardhälbe transformatsioon**

Tuulevõimsuse standardhälbe transformatsioon tugineb tuulekiiruse standardhälbe prognoosile merel tehnilisel kõrgusel ja korrelatiivsel seosel tuulekiiruse standardhälbe ja tuulevõimsuse standardhälbe vahel joonis 7, mis on ehitatud suhtelise võimsuse  $P^*$  mõõtkavas. Seos on leitud nii Pakri kui ka Virtsu elektrituulikule ja omavahel langevad need praktiliselt kokku. Trendijoonete kalde järgi on leitud, et tuulekiiruse standardhälbele  $1 \text{ ms}^{-1}$  vastab suhtelise võimsuse hälve 10%. Selle abil võib hinnata eeldatava mere-tuulepargi dünaamilist käitumist. Suurimad registreeritud tuulevõimsuse standardhälbed PKR 10 tunni jooksul ulatuvad 48% ja VRT 15 tunni jooksul ulatuvad 43%-ni nimivõimsusest. Vastuoksus joonistega 5 ja 6 tuleneb sellest, et viimased on ehitatud üles tuulekiiruste intervallidele ja see andmeesisitus sisaldab endast nende keskmistamist. Korrelatsioonigraafik joonis 7 kajastab ka üksikjuhtumeid.

### **Kokkuvõte**

Rannalähedaste meretuulikute projekteerimisel võib kasutada rannas tehtud tuulemõõtmisi. Seejuures:

1. Keskmised tuulekiirused mõõtekõrgusel kasvavad 10–15% võrra.
2. Keskmise tuulekiiruse ümberarvutamine tehnilisele kõrgusele toimub tuntud seostega.
3. Tuulekiiruse standardhälve merel mõõtekõrgusel jääb samaks, mis rannas.
4. Tuulekiiruse standardhälve merel tehnilisel kõrgusel kasvab  $0,012 \text{ ms}^{-1}/\text{m}$  (kõrguste vahe kohta).
5. Tuulekiiruse standardhälbele  $1 \text{ ms}^{-1}$  vastab suhtelise võimsuse hälve 10%.
6. Tuulevõimsuse standardhälvete maksimum esineb tuulekiiruse väärtusel 70–90 % stabiliseerimiskiirusest.

7. Selle maksimumi statistilist suurust võib hinnata 20–30% nimivõimsustest. Üksikuhtumid võivad seda taset ületada kuni 2 korda.
8. Tuulevõimsuste standardhälvete sageduslik jaotus erineb oluliselt normaaljaotusest.

Standardhälve suurus sõltub olulisel määral ajaintervallist, mille jooksul seda määratakse. Kui leitakse rohkem põhjendatud ajaintervall, kui käesolevas töös valitud korrelatsiooniaeg, siis võivad leitud väärtused teiseneda (sama meetodika juures).

### **Tänuavaldus**

Käesoleva töö algtoukeks on rahvusvaheline grant EMP 53. Autorid tänavad Euroopa Majanduspiirkonda ja granti vahendavat Eesti Teadusfondi finantseerimise ja Eesti Energia AS Taastuvenergia Ettevõtet koostöövalmiduse eest.

### **Kasutatud kirjandus**

- Nielsen *et al.*, 2001. Windatlas Latvia. Preliminary Report, EMD, Aalborg, Denmark.
- Verkaik, J. W and Tank Klein, A. M. G. 1999. Updating the Dutch Wind Climate Assesment, ,Wind Energy Conference 1–5 March, Nice, France (*proc.*), 1045–1047.
- Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP) Vol.1. 1993. by Niels G. Mortensen et al, Risoe NL, Roskilde, Denmark.

## **ABOUT STANDARD DEVIATION OF THE WIND POWER**

Teolan Tomson<sup>1</sup>, Ants Erm<sup>2</sup>, Raimo Pirksaar<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> *dept. of materials science of the TTU, [teolan@staff.ttu.ee](mailto:teolan@staff.ttu.ee)*

<sup>2</sup> *dept. of marine systems of the TTU, [ants@sea.ee](mailto:ants@sea.ee)*

<sup>3</sup> *joint-stock company Nelja Energia, [raimo@4energia.ee](mailto:raimo@4energia.ee)*

Methods of the prognosis of dynamical behavior of offshore wind parks are discussed in the paper. Assessment of the probable capacity and its standard deviation are studied, based on the wind data measured on the seashore and using the known properties of wind parks erected in Estonia up to now.



# BIOGAASIJAAMADE ARENDAMINE JA MAJANDUSLIK TASUVUS EESTIS

Priit Mikelsaar

*Baltic Biogas OÜ juhatuse liige*

## **Annotatsioon**

Biogaasi tootmine põllumajandus- ja toiduainetööstuse biolagunevatest kõrval- ja jääkproduktidest ei ole Eesti põllumajandusettevõtjatele kaugeltki uus või tundmatu teema, kuid ometi ei ole biogaasijaamade arendamine Eestis senini aktiivselt käivitunud. Põhjus on siin eelkõige selles, et majanduslik „taustsüsteem“ biogaasijaamade rajamiseks ei ole hoolimata 2007. aastast kehtima hakanud „Elektriturseaduse“ muudatustest nii soodne kui paljudes teistes riikides ning samuti on meie kliimas biomassi kasvatamine energiakultuurina üldjuhul ebaotstarbekas. Samas on Eesti farmid suhteliselt suured ja kaasaegsed, mis teisalt jällegi parandab eeldusi biogaasijaama rajamiseks. Seega ühest vastust biogaasijaamade majandusliku tasuvuse kohta Eesti oludes on pea võimatu anda ning oluline on analüüsida iga projekti otstarbekust eraldi.

Baltic Biogas OÜ arendab Eestis mitmeid biogaasiprojekte ning meie senise kogemuse kohaselt sõltub biogaasijaamadesse tehtavate investeeringute majanduslik tasuvus olulisel määral sellistest võtmeteguritest nagu biogaasijaama kontseptsioon ja tehniline lahendus, seadmetarnija valik ja investeeringukulude optimeerimine, jaama efektiivne opereerimine, elektrienergia müügitulude maksimeerimine, projekti finantseerimine ning koostöösünergiate kasutamine. Oleme veendunud, et ülaltoodud valdkondades nutikaid ja professionaalseid lahendusi leides on võimalik arendada ka Eestis majanduslikult tasuvaid biogaasiprojekte.

*Märksõnad: biogaasijaamad, biogaas, biojätmete kasutus, biomass*

## **Investeerida või mitte?**

Biogaasi tootmine põllumajandus- ja toiduainetööstuse biolagunevatest kõrval- ja jääkproduktidest ei ole Eesti põllumajandusettevõtjatele kaugeltki uus või tundmatu teema – palju on peetud selleteemalisi loenguid või esitlusi ning paljud

on ka oma silmaga biogaasi tootmist näinud, enamasti kas siis Saksamaal, Hollandis või Taanis.

Seega pole valdkond võõras, kuid ometi ei näe me Eesti põllumajandusettevõtete juures ühtegi biogaasijaama (v.a Jööri biogaasijaam Saaremaal), samas kui see näiteks ülalmainitud riikides tavaline vaatepilt on. Kas siis Eesti põllumehed on liiga vanamoodsad ning kõige uue ja kasuliku jõudmine siia maile võtabki paratamatult aega? Vaevalt küll.

Eesti edukad põllumajandusettevõtted on arenenud hästi toimivateks firmadeks, kus on enamasti kasutusel kaasaegne tehnika, uued või renoveeritud farmihooned ning ettevõtet juhivad kogenud ja professionaalne meeskond. Samuti ollakse oma suuruse poolest näiteks Saksamaa keskmise põllumehega võrreldes suurtegi. Aga milles on siis ikkagi asi, et biogaasijaamadesse investeeringuid ei tehta, st kas tänapäeval on Eestis biogaasijaama tehtav investeering majanduslikult otstarbekas? Ja millele peaks pöörama tähelepanu, et maksimeerida tehtava investeeringu väärtust?

Baltic Biogas OÜ ning meiega seotud energiafirmad BEN Energy OÜ ja Baltic Energy Partners OÜ on Eesti erakapitalil põhinevad energiaprojektide arenduse ning energia-kaubandusega tegelevad ettevõtted. Kuna energiaprojektidesse investeerimisel riskime me ka otseselt oma rahaga, siis ülalloodud küsimus investeeringu majanduslikust tasuvusest on meie äri võtmeküsimus – me ei soovi teha majanduslikult mittetasuvaid projekte ning vaevalt ka mõni põllumajandusettevõtte endale biogaasijaama lihtsalt ilu pärast rajaks. Baltic Biogas arendab mitmeid biogaasiprojekte ning käesoleva artikli eesmärgiks on jagada meie senist kogemust ja õppetunde, et aidata kaasa biogaasi tootmise kui ühe alternatiivenergialiigi arengule Eestis. Toodud seisukohad ja soovitused ei pretendeeri kindlasti absoluutsele tõe, kuid loodetavasti leiab siit siiski kasulikke mõtteid biogaasiprojektide arendamiseks.

### **Üheksa korda mõõda, üks kord lõika**

Milline on siis meie tänane arusaam biogaasijaamade majanduslikust tasuvusest Eestis? Ühest vastust sellele küsimusele loomulikult ei ole ning palju sõltub

konkreetsed projekti eripärasid, kuid üldiselt võib siiski öelda, et põllumeeste senine ettevaatlikkus ja „talupojatarkus“ on igati põhjendatud ning „üheksa korda mõõda, üks kord lõika“ on väärt nõuanne, mida ka biogaasiprojektide arendamisel meeles tasub pidada.

Eesti praegune riiklik energiapoliitika ja siinsed energiahinnad ei ole biogaasijaama rajamiseks nii soodsad kui näiteks Saksamaal, kus tänu kõrgetele riiklikele toetustele on erinevatel hinnangutel töös juba 4000-5000 biogaasijaama. Samuti pole Eesti kliimas maisi kasvatamine energiakultuurina nii otstarbekas, mistõttu sinne „taustsüsteem“ biogaasiprojektide teostamiseks on kindlasti vähem soodne kui arenenud biogaasi sektoriga riikides või ka näiteks lähinaabritel Lätis. See omakorda tähendab aga seda, et Eesti biogaasiprojektide arendajad peavad tegutsema targemalt ja läbimõeldumalt, kuna eksimisruum on meil väiksem ning tõenäosus, et projektid pelgalt paberile jäävad, suurem. Oleme järgnevalt püüdnud välja tuua mõned olulisemad valdkonnad, millele tasuks biogaasiprojektide arendamisel kindlasti tähelepanu pöörata ja mille eduka lahendamise teel usume, et ka Eestis on võimalik käivitada majanduslikult tasuvaid biogaasijaamu. Need valdkonnad on biogaasijaama kontseptsioon ja tehniline lahendus, seadmetarnija valik ja investeeringukulude optimeerimine, jaama efektiivne opereerimine, elektrienergia müügitulude maksimeerimine, projekti finantseerimine ning koostöösünnergiate kasutamine.

### **Biogaasijaama kontseptsioon ja tehniline lahendus**

Enamiku Eesti põllumajanduslike biogaasijaamade põhiline baastooraine saab olema eelkõige läga ja sõnnik. Üheltpoolt annab see metaantankides toimuvale käärimisprotsessile suure stabiilsuse, kuid teisalt on läga ja sõnnik suhteliselt madala kuivaine- ja energiasisaldusega toorained, millest tuleb „palju kára, aga vähe villa“. Ehk teisisõnu eeldab „lahja“ tooraine töötlemine paratamatult suhteliselt suurt mahutiparki ning investeeringuvajadus toodetava energiaühiku kohta on suurem kui energiarikkama tooraine (nt maisisilo) kasutamise puhul. See omakorda tõstatab jaamakontseptsiooni väljatöötamisel küsimuse, kas peale läga ja sõnniku on ümbruskonnas kasutada muud toorainet, kui kaugelt seda tasub kohale vedada ning millist hinda või tootmiskulu võib selle hankimisel endale lubada.

Toorainevoogude analüüsil ei tohiks kindlasti tähelepanuta jätta ülalmainitud logistikakulude teemat. Logistikakulud võivad moodustada küllaltki suure osa jaama tegevuskuludest ning mida energiavaesem on tooraine, seda kulukam on selle transport. Samuti tuleb arvestada ka biogaasijaamast väljuvat materjalivoogu: tekkiv kääritusjääk on väärtuslik väetis põldudele, kuid selle transport hoidlatesse või laguuni ning laotamine põldudele ei tohiks põllumehele rohkem lisakulu tuua kui olemasoleva (st ilma biogaasijaamata) olukorra puhul. Juhul kui sellised lisakulud tekivad, tuleks neid käsitleda biogaasijaama kuludena ning seda oma äriplaanis ka arvestada.

Lisaks tooraine- ja logistikateemale on jaama üldkontseptsiooni paikanemisel oluline ka soojusenergia kasutusvõimaluste analüüs. Selge on see, et mida rohkem saab koostootmisjaamas tekkivat soojust kasulikult ära kasutada või müüa, seda tulusam on projekt. Üldjuhul on projekti ümbruskonna soojatarve n-õ etteantud suurus (st ei sõltu sellest, kas biogaasijaam rajatakse või mitte) ning soojusenergia kasutusvõimaluste analüüsil tuleks keskenduda eelkõige sellele, kui kaugele soojatarbija juurde tasub soojust transportida ja kas oleks ehk mõistlik transportida pigem gaasi (kuna gaasitrass on odavam) kui soojust ning kuidas tagada sel juhul ikkagi metaankääritite enda soojatarve.

Ehkki erinevate seadmetarnijate poolt pakutavad jaamad näevad üldjuhul visuaalselt sarnased välja ja kääritites toimuv protsess on olemuslikult sama, võivad biogaasijaama tehnilised lahendused siiski küllaltki erinevad olla. Erinevused võivad seisneda näiteks kääritite suuruses (nt üks suur või kaks väikest), kasutatavate segajate tüübis, arvus ja paigutuses, toormaterjali etteandmise süsteemides, kasutatavates ehitusmaterjalides (nt konstruktsiooni puhul betoon või roostevaba teras, torumaterjalide puhul teras või plastik), küttesüsteemis ja isolatsioonimaterjalides, katusekatte tüübis ning biogaasi kogumise ja puhastamise lahendustes. Igal seadmepakkujal on olemas oma põhjendus, miks üks või teine lahendus hea on, ning nüüd peab juba projekti arendaja tegema oma põhjendatud valiku, lähtudes konkreetse projekti eripärast ja majanduslikust otstarbekusest. Tehnilise lahenduse väljatöötamisel ja valikul on hädavajalik süveneda detailidesse, et vältida olukorda, kus investeeritakse üle või

jätakse mõni Eesti oludes oluline aspekt tähelepanuta ning tulemuseks on majanduslikult ebaotstarbekas investering.

Meie kindel soovitus nii jaama kontseptsiooni kui ka tehnilise lahenduse välja töötamise juures on see, et tasub kindlasti analüüsida erinevaid (kuid realistlikke) stsenaariume. Näiteks, mis saab investeeringu tasuvusest siis, kui ühte või teist toorainet juurde panna: kuidas see mõjutab investeeringut ja transpordikulusid ning palju suureneb gaasitootlus. Või mis saab tasuvusest siis, kui minna n-õ kindla peale ja alustada väiksemast jaamast, investeringust?

### **Seadmetarnija valik ja investeerimiskulude optimeerimine**

Seadmetarnija valik ja investeerimiskulude optimeerimine saab alguse juba ülalkäsitletud kontseptsiooni ja tehnilise lahenduse väljatöötamise protsessis. Samas on veel mõned soovitud ja õppetunnid, mida me ligi 20 erineva Euroopa biogaasijaamade tarnijaga suheldes oleme õppinud ning siinkohal jagada võiks.

Esiteks seadmetarnija senine kogemus ja väljatöötatud lahenduste paindlikkus ja innovatiivsus. On elementaarne, et projektile tarnijat valides tuleks võtta hinnapakumised mitmelt pakkujalt ning kindlasti soovitage otsustusprotsessi käigus minna tutvuma ettevõtte seniste projektidega. Erinevate tarnijate biogaasijaamu külastades õpib tundma pakkuja „käekirja“ ning võimalikke tugevusi ja nõrkusi, mis loob reaalse võrdlusbaasi, mille alusel pakkumisi hinnata. Oma võimalike koostööpartnerite valikul oleme pidanud väga oluliseks ka tehtud projektide mitmekesisust ja uuendusmeelsust. Kuna Eesti olud on selgelt erinevad seadmetarnija põhiturgudest, siis tasub pigem eelistada neid, kes on tugevad just erilahenduste osas, mitte masstoodangu poolest.

Teiseks kohalike allhankijate kasutamine. Kuna enamik tarnijaid planeerib kasutada suuremal või vähemal määral kohalikke allhankijaid, sõltub nende poolt tehtava pakumise hind ka kohaliku allhanke hinnast ning investeerimiskulude optimeerimise seisukohalt on võimalik kaaluda ka võtmed-kätte-kokkuleppe asemel sellist rollide jaotust, kus projekti arendaja (tundes paremini kohalikke olusid ja allhankijaid) võtab enda kanda kohapealsete ehitustööde korraldamise kohustuse. Oskuslikul tegutsemisel annab see arendajale reaalse võimaluse

(ehitus)kulude kokkuhoiduks, kuid loomulikult tuleks seadmetarnijaga kokku leppida, mil moel täpne tööjaotus toimub ning kuidas jaguneb vastutus projekti kui terviku käekäigu eest.

Kolmandaks projekti elluviimise tegevuskava. Seadmetarnijate hindamise protsessis on mõistlik uurida nende täpset plaani, kuidas ja kelle juhtimisel toimub projekti kohapealne elluviimine. Kuigi projekti elluviimise tegevusplaan võib esmapakkumiste võrdlemisel tunduda teisejärguline, aitab selle olemasolu hinnata tarnija kogemust projektide läbiviimisel ning on aluseks ka erinevate tähtaegade kokku leppimisel.

Neljandaks tarneriskide maandamine. Kuna suuremahulisemate investeeringute ja ehitusprojektide elluviimisel on pigem reeglits kui erandiks see, et tähtjad kipuvad venima ning eelarve kujuneb kokkulepitust kallimaks, siis on projektide tasuvuse seisukohast oluline, et seadmetarnelepingud oleksid põhjalikult ning asjatundlikult koostatud. See kõlab jällegi elementaarselt, kuid seadmetarnijate poolt pakutavad lepinguprojektid on enamasti riskide maandamise seisukohalt arendajale suhteliselt ebasõbralikud ning nõuab suurt tööd ja korduvaid läbirääkimisi, et jõuda tulemuseni, mis arendajat rahuldaks ning oleks ka seadmetarnijale vastuvõetav. Soovituslik oleks küsida tarnelepingu projekt juba läbirääkimiste varajases faasis, et hilisemaid üllatusi vältida.

Viiendaks toetus jaama hilisemal opereerimisel. Arvestades asjaolu, et enamikul biogaasijaamade tarnijatest puudub Eestis või Balti riikides oma kontor, siis on oluline koheselt läbi rääkida ka võimalik koostöömudel ja tugisüsteem jaama opereerimisel. Opereerimisest räägime täiendavalt allpool, kuid siinkohal on oluline toonitada, et seadmetarnija valikul tasuks huvi tunda, mislaadset hilisemat toetust on nad valmis ja võimelised pakkuma ning kuidas see praktikas välja hakkab nägema, arvestades nende geograafilist kaugust Eestist.

### **Biogaasijaama opereerimine**

Biogaasijaama opereerimisel on investeeringu tasuvuse seisukohast kaks olulist aspekti: jaama gaasitootluse maksimeerimine ning tegevuskulude optimeerimine. Kuna toodetava biogaasi kogusest sõltub otseselt projekti tulu energiamüügist, siis

on just jaama igapäevane opereerimine see, mis väga oluliselt mõjutab projekti tegelikku tasuvust. Kuna biogaasi tootmine on n-ö elav protsess ning ka sisenev tooraineressurss ei ole üldjuhul homogeenne, siis on täiesti tavaline, et jaama metaanitoodang võib sarnaste sisendressursside juures kõikuda 15% ulatuses või isegi rohkem, mida näitab ka erinevate biogaasijaamade võrdlemine Saksamaal. Väga äärmuslikul juhul võib kogu kääritusprotsess seiskuda ning kääritud tuleb tühendada ning taaskäivitada, mis võib võtta isegi kuni kaks kuud aega. Et seda tüüpi riske maandada ning biogaasitoodangut maksimeerida, on väga oluline kääritud toimivate protsesside pidev monitooring (sh regulaarne analüüsiproovide võtmine) ning vajadusel ka korrigeerivate tegevuste rakendamine (nt „toorainemenüü“ kohandamine, temperatuuri ja mikserite töö muutmine jne). Protsesside aktiivne jälgimine ja juhtimine on eriti oluline just Eesti oludes, kuna siinsete biogaasijaamade planeerimisel võib olla otstarbekas investeerimiskulude optimeerimise eesmärgil suurendada biogaasireaktori orgaanilise aine koormust (ingl k *organic load*), mis omakorda võib tõsta käärimisprotsessi volatiilsust või „haavatavust“ ning vajab seetõttu pidevamat jälgimist, sekkumist kui näiteks tavapärane biogaasijaam Saksamaal.

Teine oluline opereerimisega seotud aspekt on jaama tegevuskulude optimeerimine ja siin on peamiseks teemaks (lisaks hästitoimivale logistikasüsteemile) biogaasi- ning koostootmisjaama hooldus- ja remondikulud. Otsustama peab, kuidas korraldada hooldus- ja remonditööd (st kui palju teha oma meeskonnaga ja kui palju osta teenuseid sisse ning kellelt) ning kust jookseb optimaalne piir tehtavate kulutuste ning võetava riski vahel (nt kui suurt varuosade reservi hoitakse, kui sagedased on hooldustööd jne). Ühest universaalset vastust pole siin jällegi võimalik välja tuua, mistõttu on oluline tugineda otsustamisel erinevate võimaluste ratsionaalsele analüüsile – lahendus, mis töötab ühe projekti puhul, ei pruugi olla parim teise projekti jaoks.

### **Elektrienergia müügitulude maksimeerimine**

2007. aasta kevadest kehtima hakanud uuendatud „Elektrituruseadus“ annab taastuvenergiatootjale (sh biogaas) elektrimüügiks kaks võimalust: müüa elekter fikseeritud tariifiga (115 senti/kW·h) põhivõrgu nimetatud ostjale (sisuliselt Eesti Energiale) või saada iga toodetud ja võrku antud elektrienergia ühiku eest toetust

(84 senti/kW·h) ning müia toodetud elekter „elektriturule“, saades selle eest õiglast turuhinda. Kuna seaduse kirjutamise hetkel olid turuhinnad madalamad (ning ka seaduse mõtte ja eesmärk oli kaasa aidata avatud elektriturule tekkele Eestis), siis on kujunenud olukord, kus ülaltoodud kahest alternatiivist on selgelt otstarbekam teine variant, kuna elektrienergia turuhinnad küll kõiguvad, kuid need on üldjuhul ikkagi kõrgemad kui 31 senti/kW·h, mis on kahe võimaluse võrdsuspääriks.

Seega on biogaasiprojektide tasuvuse suurendamiseks oluline müia elektrienergia avatud elektriturule ning siin on küsimus selles, kuidas seda korraldada viisil, et oleks tagatud elektrienergia müügitulude maksimeerimine ehk võimalikult kõrge hind müüdavale elektrile. Avatud elektriturul kauplemine hõlmab endas ka bilansihaldust: energiakaupleja peab tagama, et igal ajahetkel müüdüd ja ostetud elektrienergia kogused on võrdsed ning kuna tootmis- ja tarbimismahud on pidevas muutumises, siis on väga oluline elektriportfelli kui terviku haldus, mis aitab tasakaalustada üksikute jaamade või tarbijate kõikumisi.

Kui kuni 2007. aastani sõltusid Eesti elektrienergia väiketootjad Eesti Energia poolt pakutavatest kokkuostuhindadest, siis seoses Baltic Energy Partners OÜ ([www.balticenergy.ee](http://www.balticenergy.ee)) turule tulekuga tekkis väiketootjatel alternatiivne elektrimüügitulude võimalus ning tänaseks päevaks on BEP Eesti Energiale väga edukaks konkurendiks, mida näitab ka BEP-i kaudu kaubeldava elektrienergia mahu oluline kasv. See omakorda on heaks sõnumiks biogaasijaamade arendajatele, kuna aitab kaasa müügitulude kasvule.

### **Projekti finantseerimine ja toetus**

Kuna biogaasijaama rajamine on väga kapitalimahukas, siis mõjutab kasutatav kapitali struktuur (oma- ja võõrkapitali vahekord) ning intressimäär projekti tasuvust väga oluliselt. Loomulikult sõltub laenukapitali kasutamisevõimalus ja intress ühelt poolt finantsturgude olukorrast maailmast, kuid teisalt ka projekti enda „vettpidavusest“ – mida tugevam ja usaldusväärsem on projekt, seda suuremas mahus ja odavamalt on võimalik sellele ka kapitali kaasata. See omakorda rõhutab kõigi ülaltoodud teemade põhjaliku läbimõtleamise vajadust – projekti enda rahavoogude tugevus annab omanikele võimaluse võimendada oma



kasu läbi suurema (odavama) võõrfinantseeringu. Teisalt „nuheldakse“ nõrgemaid projekte veel täiendavalt kehvemate finantseerimistingimuste kaudu.

Loomulikult mõjutab projekti kasumlikkust väga otseselt ka erinevate toetusrahade kasutamine. Kuna info erinevate toetusvõimaluste kohta on üldiselt hästi kättesaadav, siis soovitame sellega projektide arendamisel kindlasti tutvuda ning sobivuse korral aplikeeruda. Eraldi teema on ka CO<sub>2</sub> kvootide võimalik taotlemine ühisrakendusprogrammi raames, mille võimalusi tasuks sarnaselt muudele toetustele kindlasti uurida.

### **Portfelliefekt ja koostöösünergia**

Biogaasijaamade arendamisel, opereerimisel, energiamüügil ja finantseerimisel toimib sarnaselt paljude teiste äridega n-ö mastaabi- või portfelliefekt, kus üksiküritaja jääb paratamatult kehvemasse positsiooni kui biogaasijaamade portfelli arendav ja opereeriv ettevõtte. Teisisõnu võidavad asju koos ajades kõik, kuna targalt tegutsedes on võimalik kokku hoida nii arendus- kui ka investeringukuludelt, tsentraalne monitooring ja protsesside analüüs võimaldavad tagada maksimaalse biogaasitoodangu, ühine hooldusmeeskond ja/või -lepingud ning varuosade park aitavad optimeerida hoolduskulusid ning ühine elektrienergia müügi- ja bilansihalduse korraldamine aitab kasvatada elektritulusid. Samuti vähendab usaldusväärne ja kogenud arendaja ja operaator projekti riski pankade silmis ja aitab kaasa projekti finantseerimisele.

Baltic Biogas OÜ äriloogika ongi üles ehitatud just ülaltoodud portfelliefekti ja koostöösünergia silmas pidades. Osaliselt on see möödapääsmatu, kuna arvestades kohalikke olusid, ei pruugi projektid muul viisil üldse tasuvaks osutada. Teisalt on biogaasijaamade arendamine ja opereerimine meie põhitegevus või „teenus“, mida me erinevate koostöövõimaluste kaudu põllumajandus- ja toiduainetööstusettevõtetele pakume. Et seda edukalt teha, peame investeerima oma oskusteabesse, meeskonda ja tugisüsteemidesse. Kui sellised investeeringud on juba korra tehtud, siis on neid suhteliselt lihtne kasutada ka iga järgmise projekti elluviimisel ning kokkuvõttes suureneb kogu süsteemi ja projektiportfelli efektiivsus.

## **Kokkuvõte**

Kokkuvõtteks võib öelda, et biogaasijaamade majanduslik tasuvus Eestis pole veel ennast selgelt tõestanud ja suhteliselt madalate toetuste tõttu on meie stardipositsioon kehvem kui näiteks Saksamaal või Hollandis. Samas on Eesti farmid aga suhteliselt suured ning kaasaegsed, mis parandab baaseeldusi biogaasiprojektide arendamiseks. Nagu igas äris, tuleb ka biogaasijaamade arendamisel osata terad sõkaldest eraldada ning hästi läbi mõeldud projektid ning avatud koostöö toovad loodetavasti nii mõnegi sõkla varjust välja idanemisvõimelise tera, mis kasvama läheb ja vilja kannab.

Baltic Biogas OÜ eesmärgiks on olla juhtiv biogaasiprojektide arendaja Eestis ja ka teistes Balti riikides ning anname endale selgelt aru, et see positsioon ja eesmärk on saavutatav üksnes hea töö ja tubli meeskonnaga. Siht on meil selgelt silme ees ja baasvundament nüüdseks laotud ning usume, et avatud ja vastastikku kasuliku koostöö kaudu suudame paberil olevad biogaasiprojektid edukalt reaalsuseks muuta.

## **ECONOMIC FEASIBILITY AND DEVELOPMENT OF BIOGAS PLANTS IN ESTONIA**

Priit Mikelsaar

*Baltic Biogas OÜ, Member of the Management Board*

Production of biogas from agricultural and food industry by-products is not an unknown topic among Estonian farmers. However, the development of biogas plants in Estonia has been so far rather inactive.

The main reason behind this is the fact that despite the amendments in the Energy Market Act in spring 2007, the economic environment for biogas plant development is not as favourable as in many other countries given our relatively low feed-in tariff/subsidy for renewable energy and limited economic possibilities for profitable growth of energy crops/biomass. On the other hand, Estonia has relatively large and modern farms, which improves the feasibility of potential biogas projects. So, it is not possible to give clear-cut answer about the economic

feasibility of biogas projects in Estonia, but one has to take the effort to analyze each project individually.

Baltic Biogas OÜ is an energy company developing several biogas projects in Estonia and based on our experience so far, there are several strong levers that could have a major impact on the feasibility of planned biogas investments. These levers include overall concept and technical solution of biogas plant, selection of technology provider and optimization of investment costs, operational efficiency, and maximization of electricity sales revenues, project financing and capture of potential co-operation synergies. We are convinced that finding smart and professional solutions suitable for local circumstances in each of the above areas is the key to ensure profitability of potential biogas projects in Estonia.

# HÜDROENERGEETIKA MEIL JA MUJAL

Jaan Lepa, Marek Muiste, Andres Annuk

*jaan.lepa@emu.ee, marek.muiste@emu.ee, andres.annuk@emu.ee*

## **Annotatsioon**

Sarnaselt Skandinaavia riikidega on veejõu kasutamisel Eestis juba pikaajalised traditsioonid ning see on olnud üks tööstuse võtmeressursse industrialiseerimise nn teises laines. Enne Teist maailmasõda toodeti üle veerandi kogu vabariigi elektrienergiast kohalikes hüdrojaamades. Seejuures oli ära kasutatud märgatav osa meie suhteliselt tagasihoidlikest veejõuresurssidest. Eesti vabariigi valduses oli sel ajal ka meie suurim hüdroressurss Narva juga, mille energia on kaasajal täielikult Venemaa käsutuses. Kuna Eestimaa ülejäänud jõed on suhteliselt väikese languga ja veevaesed, ei ole hüdroenergial meil suurt perspektiivi elektri suurtootmiseks. Artiklis on antud ülevaade praegu töötavatest hüdrojaamadest ning nende toodangust aastate ja kuude lõikes. Antud on ka mõningaid viiteid naaberriigi Läti (kus hüdrojaamad on põhiliseks elektrienergia tootjaks) ja maailma hüdroenergeetikale.

*Märksõnad: hüdroenergeetika, hüdroelektrijaamad, elektrienergia tootmine, koormusgraafikud, väikehüdro*

## **Eesti hüdroelektrijaamad ja nende toodang**

Hüdroenergia on üks ajalooliselt kõige kauem inimese poolt kasutatud energialiike, mille kasutamise algus (vesirattad, materjalide ja inimeste vedu pärivett jõgedel) ulatub aastatuhandete taha (vesiveskile viidatakse esmakordselt esimesel sajandil eKr) [Smil 1994]. Esimesed andmed vesiveskite kohta Eestis pärinevad XIII sajandist, kuid hüdroenergeetika eelised avalduvad kõige ilmekamalt elektri tootmisel, mille algusajaks võib lugeda aastat 1882 (Wiegandi ja Kreenholmi tehased käivitavad esimesed elektrigeneraatorid). 1893. aastal ehitati Kunda hüdroelektrijaam, mis oli Baltimaade esimene. 1940. aastal oli Eestis 759 vesiveskit ning 1936. a toodeti 28,6% kogu vabariigi elektrienergiast oma hüdrojaamades [Eesti Energia 2008, TTÜ 2003]. Vastavalt Eesti Elektrifitseerimise Kavale (1938–1942 ja 1942–1947) oli ette nähtud Eesti elektrisüsteemi baaskoormusjaamaks just hüdroelektrijaam. Selleks oleks olnud Narva HEJ koguvõimsusega 52,5 MW ning süsteemi oleks lülitatud veel uus hüdroelektrijaam

Tori-Levis võimsusega 1,7 MW. Teise maailmasõja käigus hävitasid vaenutsevad võõrväed kogu olemasoleva energeetilise infrastruktuuri, samuti hüdrojaamad ning sellele järgnenud nõukogude okupatsioon panustas keskkonnasõbraliku hüdroenergeetika asemel elektri suurtootmisele põlevkivist. Narva HEJ küll ehitati, kuid seda juba võõra võimu poolt ja Vene Föderatsioon opereerib seda üksi ning mingit toodangu jagamist, nagu see tsiviliseeritud maailmas piirijõgede puhul tavaline on, ei toimu.

Maailma elektritoodangust toodetakse hüdroelektrijaamades ligi 17%, millest paljud on väikehüdrojaamad võimsusega alla 10 MW. Euroopas on rajatud üle 17 400 väikehüdroelektrijaama. Väikehüdrojaamade võimsuse ülemist piiri määratletakse riigiti erinevalt (1,5 kuni 25 MW), kuid üldiselt on aktsepteeritud piiriks 10 MW, mille on heaks kiitnud ka Euroopa Väikehüdroenergia Assotsiatsioon (ESHA). Väikehüdroenergeetika pole lihtsalt suurte hüdroelektrijaamade vähendatud variant. Põhiliste nõuete rahuldamiseks on vaja eriseadmeid, silmas pidades lihtsust, suurt energiatoodangut, maksimaalset töökindlust ja lihtsat kätust, millega tulevad toime ka mittespetsialistid [ESHA 2004].

Eesti hüdrojaamad kuuluvad kõik väikehüdrojaamade kategooriasse, kuna suurim nendest – Linnamäe – on võimsusega 1,15 MW, seega alla 1,5 MW. Eestis 2008. aastal eksisteerivate hüdrojaamade loetelu on toodud tabelis 1.

*Tabel 1. Eesti hüdroelektrijaamad 2008. a. alguses [Nikonorov 2008 ja Rummel 2008]  
Table 1. Estonian hydro power plants on the start of year 2008 [Nikonorov 2008 and Rummel 2008]*

Nr.	Nimetus	Jõgi	Võimsus, kW	Lang, m	Modifitseeritud
1.	Linnamäe	Jägala	1150	10	2002
2.	Sillaoru	Purtse	500	7,5	2004
3.	Keila-Joa	Keila	365		2005
4.	Räpina	Võhandu	350 ?		2004
5.	Kunda Silla	Kunda	350 ?	6	2003
6.	Purtse	Purtse	310		

Nr.	Nimetus	Jõgi	Võimsus, kW	Lang, m	Modifitseeritud
7.	Joaveski	Loobu	300	11	2000
8.	Kaunissaare	Jägala	260	3,5	2004
9.	Purtse 2	Purtse	250		
10.	Leevi	Võhandu	250 ?		2002
11.	Kunda	Kunda	200 ?		1999
12.	Kamari	Põltsamaa	200	5	1999
13.	Saesaare	Ahja	160		1991
14.	Kotka	Valgejõgi	160		1993
15.	Tudulinna	Roostoja	150		1999
16.	Vetla	Jägala	110 ?		2005
17.	Leevaku	Võhandu	105		1993
18.	Saunja	Jägala	100		2006
19.	Tõrva	Õhne	92 ?	3,3	2002
20.	Tõrve	Pedja	75	3,2	2003
21.	Tamme	Navesti	88		2007
22.	Kõsti	Tännasilma	78		2007
23.	Sangaste	Väike- Emajõgi	75	4,5	2008
24.	Räpina PV	Võhandu	70 ?		2003
25.	Vihula	Mustoja	55		2006
26.	Paidra veski	Võhandu	52		2004
27.	Tammiku	Jägala	50 ?		2004
28.	Lauküla	Väike- Emajõgi	50 ?		2003
29.	Koseveski	Kullavere Kääpa	43	3,3	2002
30.	Hellenurme	Elva	36		2001
31.	Õisu	Õisu järv Kõpu	36 ?		2004
32.	Saarlasõ	Pärlijõgi	30		2004
33.	Põlva	Ahja	30		2004
34.	Pikruveski	Pikru	20		2006
35.	Tõravere vald	Elva	20		2004

Nr.	Nimetus	Jõgi	Võimsus, kW	Lang, m	Modifitseeritud
36.	Oruveski	Õisu	18		2001
37.	Kaku	Rõuge	15		2000
38.	Linnaveski	Tarvastu	15		2000
39.	Rakvere		12	2	2001
40.	Rõuge	Rõuge	10		2000
41.	Orajõe	Orajõgi	10		2003
42.	Raudsilla	Ora	5		2000
43.	Peri	Peri oja	4		1990
44.	Kaarli	Raadi	3		2003

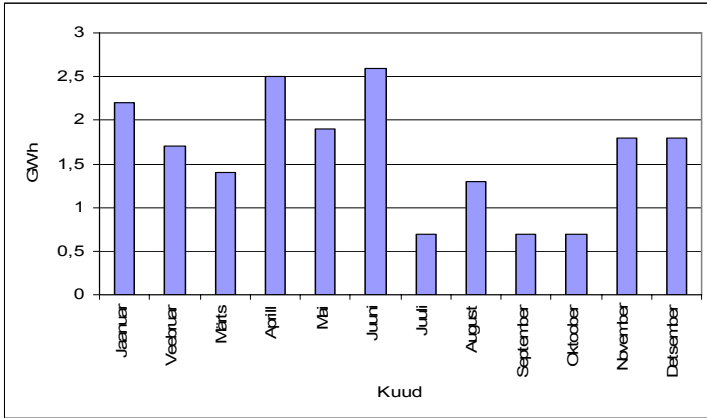
Tabelist selgub, et selle koostamise ajal oli Eestis 44 töötavat hüdroelektrijaama, millistest 18 võiks nimetada meie oludes väikejaamadeks (üle 100 kW), 20 minijaamadeks (20...100 kW) ja 9 mikrojaamadeks (alla 20 kW). Tabelis küsimärgiga antud jaamade võimsused on erinevates allikates erinevad, mistõttu pole toodud koguvõimsust tabeli summana. Tabelis 2 on antud koguvõimsus Eesti Statistikaameti andmeil [Raesaar 2004]. Eesti hüdroelektrijaamade koguvõimsuse kasvust viimastel aastatel annab ülevaate tabel 2.

*Tabel 2. Eesti hüdroelektrijaamade koguvõimsuse kasv*

*Table 2. Increases of the total capacity of Estonian hydro power plants*

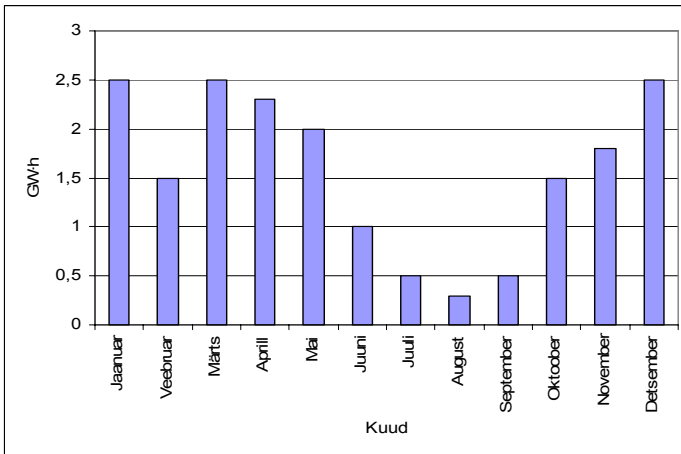
Aasta	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Võimsus, MW	3,0	3,6	4,4	5,2	5,2	5,8

Kuna viimase kolme aasta jooksul paigaldusvõimsuse olulist kasvu pole olnud, vaatleme nende aastate hüdroenergia toodangut kuude lõikes.



Joonis 2. Eesti hidrojaamade toodang kuude kaupa 2006.a, aasta kogutoodang 12,9 GW-h

Figure 2. Energy monthly production in year 2006 in Estonian hydro power plants with the year total of 12,6 GW-h

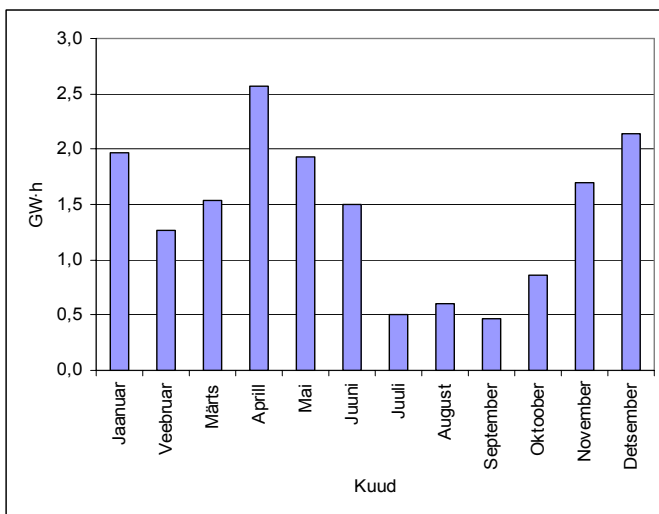


Joonis 3. Eesti hidrojaamade toodang kuude kaupa 2007. a, aasta hidroelektrijaamade kogu toodang oli 18,9 GW-h, mis moodustas 0,16 % kogu vabariigi elektrienergia toodangust

Figure 3. Energy monthly production in year 2007 in Estonian hydro power plants with the year total of 18,9 GW-h (0,16% of total energy production)



Eeltoodust selgub, et Eesti veejõujaamade toodang on aastate lõikes suuresti erinev, mis viitab selle sõltuvusele sademetest. Ja kuigi Eesti territoorium on väike, on erinevates maakohtades sademete hulk sageli märgatavalt erinev. Probleemi üldistamiseks vaatleme eeltoodud aastate keskmist elektrienergia toodangut Eesti hüdrojaamades (joon. 4).



Joonis 4. Aastate 2005, 2006 ja 2007 kuu keskmine energiatoodang Eesti hüdrojaamades, aasta kogu energiatoodang 17 GW·h

Figure 4. Monthly average energy production (year 2005, 2006 and 2007) of Estonian hydro powerplants with the yearly average of 17 GW·h

Selgub, et aasta tootmisgraafikus on kaks selgesti avalduvat miinimumi: kevadtalvine miinimum – veebruar, märts ja suvine miinimum – juuli, august, september. Muidugi võib aastate lõikes sõltuvalt sademetest esineda sellest keskmisest märgatavaid kõrvalekaldeid. Näiteks oli 2005. aastal kõige suurema energiatoodanguga kuu juuni, mis on ilmselt tingitud selle aasta sademeterohkest maikuust (Tartus näiteks 174 mm). Kirjanduses [ESHA 2008] toodud prognooside kohaselt peaks Eesti hüdrojaamade paigaldusvõimsus 2010. aastaks tõusma 10,5 megavattini, millele kaasneb ilmselt ka toodetava energiakoguse suurenemine. Samal ajal aga suureneb ka eriti looduskaitsejate vastuseis hüdroelektrijaamade rajamisele kalade liikumise takistamise ja kalavarude vähenemise ohu tõttu [Kukk

2007, Tambets, Järjekül, Tambets 2008], mistõttu on tekkinud probleeme uute ehitatavate ja taastatavate hüdrojaamade ehitusloa saamisel.

### **Hüdroenergeetikast mujal**

Naabervariigis Lätis toodetakse tänu Daugava jõe ehitatud suhteliselt suurte hüdroelektrijaamade kaskaadile (Riia - 402 MW, Kegums - 264 MW ja Plavinas - 868,5 MW) valdav osa elektrienergiast hüdrojaamades (vt tabel 3).

*Tabel 3. Elektrienergia tootmine Lätis*

*Table 3. Electricity production in Latvia*

<b>Aasta</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
<b>Kokku, TW·h</b>	4,16	3,85	3,85	4,56	4,78
<b>Sellest hüdrojaamades, TW·h</b>	2,81	2,44	2,24	3,08	3,29
<b>% hüdroj.</b>	67,5	63,3	58,2	67,5	68,8

Kuid ka Lätis on probleeme loodushoiuga ning seetõttu võttis Läti valitsus 2002. aasta jaanuaris vastu määruse, millega keelustatakse uute paisude rajamine ja vanade taastamine hüdroenergia saamiseks 214 kalenduslikult ja looduskaitsealisel olulisel jõel.

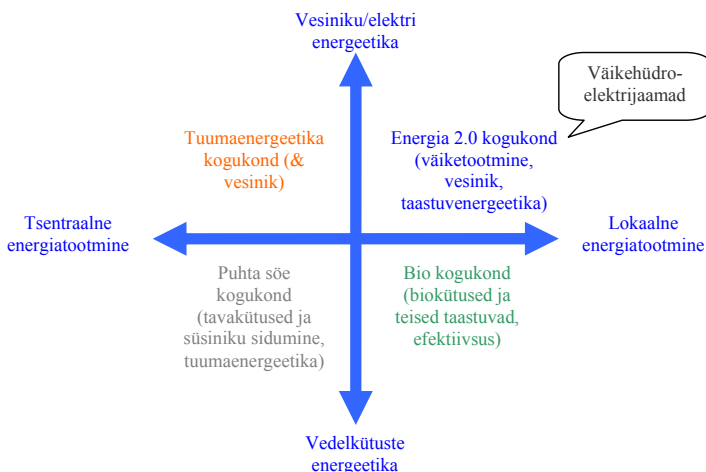
Kuigi meie oludes võib juttu olla ainult väikehüdroenergeetikast, on maailma suurimad elektrijaamad just hüdrojaamad, näiteks Brasiilias Paraguai hüdrojaam Itaipu -14 GW, Venetsueela jaam Guri - 10,3GW. Maailma suurimaks elektrijaamaks töötab aga tõusta Hiinas Jangtse jõel ehitusjärgus olev Sanxia hüdrojaam lõppvõimsusega üle 18 GW. Hüdrojaamade kogutoodang moodustab 16,5% maailma elektrienergia kogutoodangust. Hüdroenergeetika taset mingis konkreetses riigis iseloomustab kõige paremini hüdroelektrienergia aastane tootang ühe elaniku kohta. Maailma esikolmik selles suhtes on järgmine:

1. Island 24,45 MW·h,
2. Norra 23,27 MW·h,
3. Kanada 10,68 MW·h

Nendest Norra ja Island on väikeriigid, kuid Kanada kuulub nii energeetilises kui ka territoriaalses mõttes suurriikide hulka. Lätis toodeti hüdroelektrienergiat 0,98 MW·h elaniku kohta aastas.

### Väikehüdroenergeetika tulevik

Väikehüdroenergeetika tuleviku hindamiseks tuleb arvestada kahe keskpikas ja pikas perspektiivis väärtusliku ressursiga. Nendeks on elektrienergia ja puhas magevesi ning väikehüdro ühendab need kaks ressursi. Et hinnata väikehüdroenergeetika ressursikasutust, tuleb sellele läbi viia elutsüklianalüüs, mis selgitab välja sellist tüüpi tehnoloogia keskkonnamõju ning hinnata ka toodetud elektri energeetilist vääringut (Cagnon 2008). Sellele peab järgnema laiem diskussioon ühiskonnas, mis arvestab erinevate huvigruppide nõudmistega. Palju sõltub ka kogukonna arenguvisionist, mis oma üldkujul tõstatab kaks küsimust: energia tootmine on a) lokaalne või b) tsentraalne, ning et transpordisektor põhineb a) vedelkütustel või b) kasutab energiaallikana vesinikku (või otse elektrit). Sellist tüüpvalikut on kujutatud kirjanduses lihtsa maatriksina (vt joonist 5) [Frei 2008].



Joonis 5. Energeetika arenguvisioni põhitüübid ja väikehüdrojaamade koht selles

Figure 5. Energy vision ideal types and small hydro power plants

## **Kokkuvõte**

Eesti hüdroenergeetikat võib õigustatult nimetada väikehüdroenergeetikaks, kuna kõik Eesti hüdroelektrijaamad kuuluvad väikehüdrojaamade kategooriasse. Ka hüdrojaamade toodang ei ületa veerikkamatel aastatel 0,2% Eesti elektrijaamade kogutoodangust. Kuigi ühe Eesti hüdroenergeetika kortüee P. Raessaare andmeil [Raesaar 2004] on Eestis plaanis taastada veel ligi 30 hüdrojõuseadet koguvõimsusega 5,6 MW, võib hüdroenergeetika arengut pidurdada looduskaitse vastuseis.

## **Kasutatud kirjandus**

- ESHA. 2004. Väikehüdroenergeetika. Brožüür PDF. TTÜ.
- Kukk, T. 2007. Hüdroenergia pole roheline. Postimees 18.07.2007.
- Metusala, T. 1990. Eesti elektrifitseerimine ja professor Otto Reinvald. Eesti energeetika minevik ja tulevik: konverentsi ettekanded, 13.–14. nov. 1990 : pühendatud professor Otto Reinvaldi mälestusele / Tallinna Tehnikaülikool, Eesti Energia, Eesti Majandusjuhtide Instituut. Tallinn.
- Nikonorov, R. 2008. Hüdroenergeetika Eestis aastal 2008. EMÜ Magistritöö. Tartu.
- Raessaar, P. 2004. Hüdroenergia ressursist ja kasutamisest Eestis. TTÜ Elektroenergeetika instituut.
- Rummel, L. 2008. Taastuvatest energiaallikatest elektri tootmise võimalused Eestis. TTÜ soojusenergeetika instituut. Bakalaureusetöö. Tallinn.
- Smil, V. 1994. Energy in World History. Westview Press, Inc.
- Taastuvate energiaallikate osakaalu tõstmise võimalused elektri tootmisel Eestis. Leping nr.297L aruanne. 2003. TTÜ, Elektroenergeetika instituut. Tallinn.
- Tambets, T., Järvekülg, R., Tambets, M. 2008. Eestis ei ole hüdroenergia roheline. Eesti Loodus Nr.8.
- Frei, C. W. 2008. What if...? Utility vision 2020. Energy Policy 36 (2008) 3640–3645.
- Gagnon, L. 2008. Civilisation and energy payback. Energy Policy 36 (2008) 3317–3322.

## **HYDROENERGETICS OVERVIEW IN ESTONIA AND WORLDWIDE**

Jaan Lepa, Marek Muiste, Andres Annuk

*jaan.lepa@emu.ee, marek.muiste@emu.ee, andres.annuk@emu.ee*

The background of Estonian small scale hydro development is a similar with Scandinavian patterns where hydro energy development was the part of the „second” industrialization wave. The first generators where established in 1882. The first hydro power plant was started in 1893 (also first in Baltic States). The largest hydro potential in region is in Narva HEP which belongs to Russian Federation and there is no production sharing taking place like it would be typical on border rivers in civilized world. All the other rivers have significant low list of water flow and for this reason there could be only small scale hydro energy production possible on Estonian rivers. The future of small scale hydro energy depends of recourse management (especially fresh water) and should by analyzed as a life cycle assessment. The future of using the technology depends also of the choices that society makes in long term: would it be Nuclear, Clean Coal, Bio or Energy 2.0 society. The last option is also suitable for small scale hydro electricity.

# BIOGAASIJAAMA INVESTEERINGU ANALÜÜS, TASUVUS JA SELLE PEAMISED MÕJURID

Andres Menind, Jüri Olt

*EMÜ tehnikainstituut, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu  
e-post: andres.menind@emu.ee, jyri.olt@emu.ee*

## **Annotatsioon**

Biogaasijaama rajamine on seotud suurte investeeringutega ja seega kerkivad küsimused: kas see on tasuv ja kui suured on riskid? kas saadavad toetused biogaasijaama rajamiseks on piisavad ja millised on peamised näitajad, millest tasuvus enim sõltub? kas praegune taastuvenergia ostuhind on küllaldane biogaasijaama rentaabliks tegevuseks? Need on mõned küsimused, millele antud artikkel püüab vastust anda näitliku mudelarvutuse abil. Samuti on graafiliselt esitatud tasuvusperioodid erinevate peamiste mõjurite hindade korral, kui diskontomääraks on 13. Mudelarvutus võimaldab kiiresti muuta kõikide sisendparameetrite suurusi ja leida seega enim mõju avaldavad komponendid, samuti hinnata projekti tasuvust mistahes sisendite korral. Näide on koostatud Eesti tavapärase loomapidamisfarmi näitajate põhjal ja täpsemalt on algandmed kirjeldatud artikli osas: Investeeringu analüüsi lähteandmed.

*Märksõnad: investeeringu analüüs, tasuvus, toetused, tundlikkus*

## **Investeeringu analüüsi lähteandmed**

Kõik artiklis toodud näitega seotud vajalikud suurused ja näitajad on kajastatud ja seotud vastavasse matemaatilisse mudelisse MS Excelis (vt Normak jt). Vedelsõnniku kogus, mis on mudelis kasutatud, on vastav ca 400-pealisele lüpsikarjaga kompleksile, samuti on arvutustes kasutatud lisasubstraadiks optimaalne kogus silo. Näitlikult on juurde lisatud ka muud võimalikud piirkonna biolagunevad jäätmed, milliste kasutamist võimaldavad enamasti kõik Eesti potentsiaalsed asukohad, aidates oluliselt kaasa jäätmekäitluse korraldamisele. Näites olev investeering tehnoloogiasse baseerub ühel ettevõtte Host Engineerings in Energy konkreetset hinnapakumisel. Investeeringu suurus erinevate seadmete pakujate vahel ei erine oluliselt, seega ka sellest tulenev mõju uuringule ei ole märkimisväärne. Diskontomääraks on antud juhul valitud 13, investorite osalus on 60,9% ja seda seejuures, kui on kasutatud kõiki peamisi võimalikke toetusi nii loomapidamishoonesse kui ka soojakasutamise rakendamisse, samuti kasutades toetust biogaasijaamale, mis on 4,7 mln Eesti krooni. Projekti kogumaksumus on

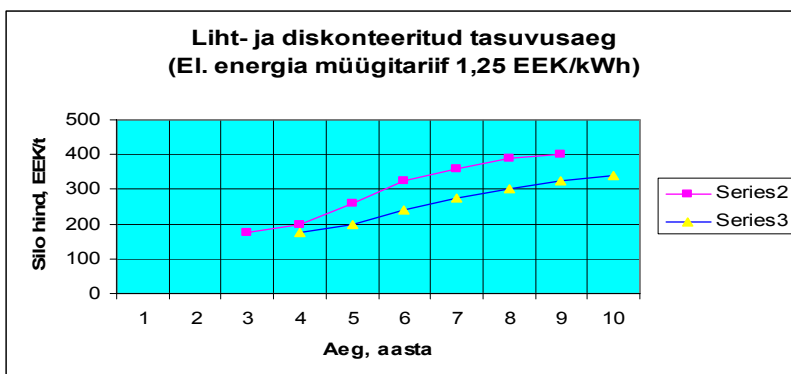
20 975 438 krooni, millest investorite osalus on 12 775 438 krooni. Aktsiakapitali kasutamine on 11%. Ülejäävat investeeringuosa on planeeritud katta pangalaenuga (49,9%).

Artiklist on välja jäetud mudeli osad, mis võimaldavad algandmete sisestamist ja muutmist ning esitatud on mudeli viimane tabel: projekti rahavood, mis kajastab samuti kõiki selle olulisi osi arvväljenduses selle projekti eluaja jooksul. Laenuperioodi pikkuseks on arvestatud 10 aastat ja investeeringu elueaks 15 aastat. Oluline on märkida, et mudelis olevad arvutused on tehtud arvestades kasutatava silo hinnaks 300 kr/t. Edasistest tundlikkuse graafikutest on näha, kui olulist mõju avaldab silo hinna tõus tasuvusaja suurenemisele. Eeldatavaks diskonteeritud tasuvusajaks on näites planeeritud 5...6 aastat.

Hindade kallinemine on seotud indeksiga, mille suurust on võimalik muuta ja see kajastab aastast prognoositavat hindade kasvu nii sisend- kui väljundnäitajate puhul (nt substraadid ja soojaenergia müügihind). Elektrienergia müügitariif on arvestatud 1,25 kr/kW·h, mis on 10 senti kõrgem kui praegune fikseeritud ostuhind.

### **Liht- ja diskonteeritud tasuvusaja sõltuvus silo hinnast**

Järgnevalt jooniselt 1 on näha tasuvusaja tundlikkus silo hinnatõusu suhtes.



Joonis 1. Liht- ja diskonteeritud tasuvuse graafik sõltuvalt silo hinnast

Figure 1. Simple and discounted payback time depending on silo price

Tabel 1 Projekti rahavood

Table 1 Cash flows from investing activities

Projekti rahavood, kr											
Tootmisvõimsus		50%	80%								
Aasta		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Periood		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Aastane tulem											
Tulud elektrienergia müügist		2 315 625,00	3 705 000,00	4 631 250,00	4 631 250,00	4 631 250,00	4 631 250,00	4 631 250,00	4 631 250,00	4 631 250,00	
Tulud soojusenergia müügist		1 008 600,00	1 710 585,60	2 138 232,00	2 266 525,92	2 402 517,48	2 546 668,52	2 699 468,64	2 861 436,75	3 033 122,96	
Tulud likviidsusreservi intressilt											
Aastane kogutulu		3 324 225,00	5 415 585,60	6 769 482,00	6 897 775,92	7 033 767,48	7 177 918,52	7 330 718,64	7 492 686,75	7 664 372,96	
Kulud		1 830 783,33	3 335 526,65	4 017 682,65	4 258 743,61	4 514 268,23	4 785 124,32	5 072 231,78	5 376 565,69	5 699 159,63	
Kindlustused		52 438,60	104 877,19	111 169,82	117 840,01	124 910,41	132 405,04	140 349,34	148 770,30	157 696,52	
CHP hoolduskulud		274 597,83	549 195,66	582 147,40	617 076,24	654 100,82	693 346,87	734 947,68	779 044,54	825 787,21	
Gaasijaama hoolduskulud		150 777,90	301 555,80	319 649,15	338 828,10	359 157,78	380 707,25	403 549,68	427 762,67	453 428,43	
Analüüsid, sertifikaadid		50 000,00	100 000,00	106 000,00	112 360,00	119 101,60	126 247,70	133 822,56	141 851,91	150 363,03	
Rent		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Aastane substraatide maksumus		1 072 500,00	1 818 960,00	2 410 122,00	2 554 729,32	2 708 013,08	2 870 493,86	3 042 723,50	3 225 286,91	3 418 804,12	
Juhtimiskulud		132 969,00	265 938,00	281 894,28	298 807,94	316 736,41	335 740,60	355 885,03	377 238,14	399 872,42	
Elektrienergia maksumus		97 500,00	195 000,00	206 700,00	219 102,00	232 248,12	246 183,01	260 953,99	276 611,23	293 207,90	
Muud kulud		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Projekti rahavoog		1 493 441,67	2 080 058,95	2 751 799,35	2 639 032,31	2 519 499,25	2 392 794,20	2 258 486,86	2 116 121,07	1 965 213,33	
Diskonteeritud rahavoogude analüüs											
Investeering		-12775438	1493441,67	2080058,95	2751799,35	2639032,31	2519499,25	2392794,20	2258486,86	2116121,07	1965213,33



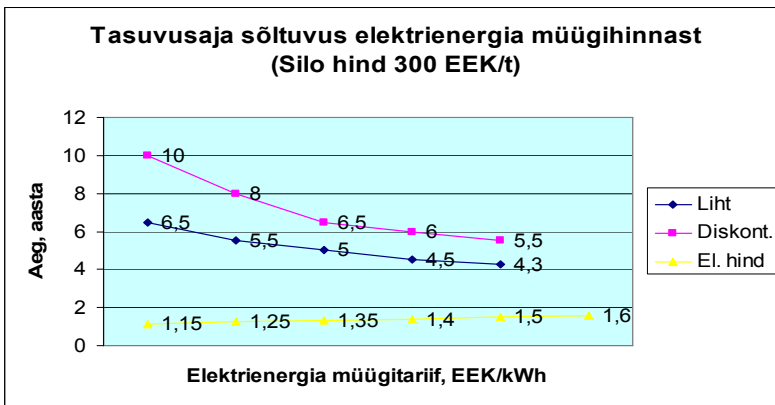
Tabeli 1 järg

Projekti rahavood, kr							
Tootmisvõimsus							
Aasta	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Periood	10	11	12	13	14	15	Index
Aastane tulem							
<b>Tulud elektrienergia müügist</b>	4 631 250,00	4 631 250,00	4 631 250,00	4 631 250,00	4 631 250,00	4 631 250,00	
<b>Tulud soojusenergia müügist</b>	3 215 110,34	3 408 016,96	3 612 497,97	3 829 247,85	4 059 002,72	4 302 542,89	6,0%
<b>Tulud likviidsusreservi intressilt</b>							
<b>Aastane kogutulu</b>	7 846 360,34	8 039 266,96	8 243 747,97	8 460 497,85	8 690 252,72	8 933 792,89	
<b>Kulud</b>	6 041 109,21	6 403 575,76	6 787 790,30	7 195 057,72	7 626 761,18	8 084 366,86	
<b>Kindlustused</b>	167 158,31	177 187,81	187 819,08	199 088,22	211 033,52	223 695,53	6,0%
<b>CHP hoolduskulud</b>	875 334,45	927 854,51	983 525,78	1 042 537,33	1 105 089,57	1 171 394,94	6,0%
<b>Gaasijaama hoolduskulud</b>	480 634,13	509 472,18	540 040,51	572 442,94	606 789,52	643 196,89	6,0%
<b>Analüüsid, sertifikaadid</b>	159 384,81	168 947,90	179 084,77	189 829,86	201 219,65	213 292,83	6,0%
<b>Rent</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,0%
<b>Aastane substraatide maksumus</b>	3 623 932,37	3 841 368,31	4 071 850,41	4 316 161,43	4 575 131,12	4 849 638,99	6,0%
<b>Juhtimiskulud</b>	423 864,77	449 296,66	476 254,45	504 829,72	535 119,51	567 226,68	6,0%
<b>Elektrienergia maksumus</b>	310 800,37	329 448,40	349 215,30	370 168,22	392 378,31	415 921,01	6,0%
<b>Muud kulud</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,0%
<b>Projekti rahavoog</b>	1 805 251,13	1 635 691,20	1 455 957,67	1 265 440,13	1 063 491,54	849 426,03	
<b>Diskonteeritud rahavoogude analüüs</b>							
<b>Investeering</b>	1805251,13	1635691,20	1455957,67	1265440,13	1063491,54	849426,03	

Nähtub, et silo hinna tõusuks pole nimetatud määraga palju ruumi ja nii liht- kui diskonteeritud tasuvusaeg nihkub kiiresti üle soovitava tasuvusperioodi aja.

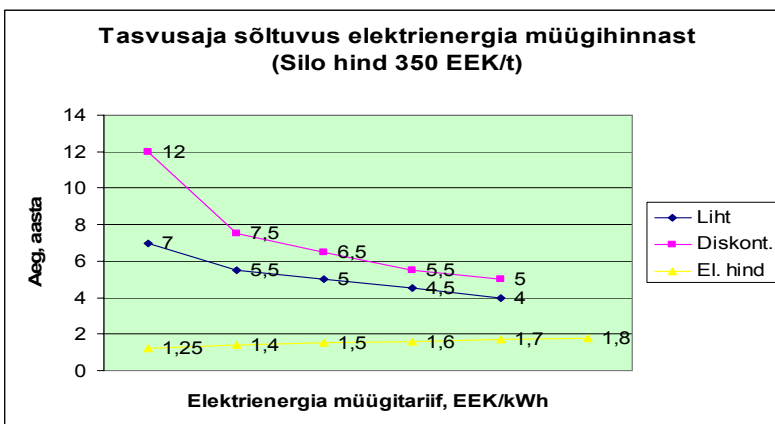
### Liht- ja diskonteeritud tasuvusaja sõltuvus silo hinnast erinevate elektrienergia müügitariifide korral

Järgnevatel joonistel 2...4 on välja toodud silo hinna ja energia müügihinna mõju biogaasijaama nii liht- kui ka diskonteeritud tasuvusajale erinevate silo



Joonis 2. Tasuvusaja sõltuvus elektrienergia müügihinna (silo hind 300 kr/t)

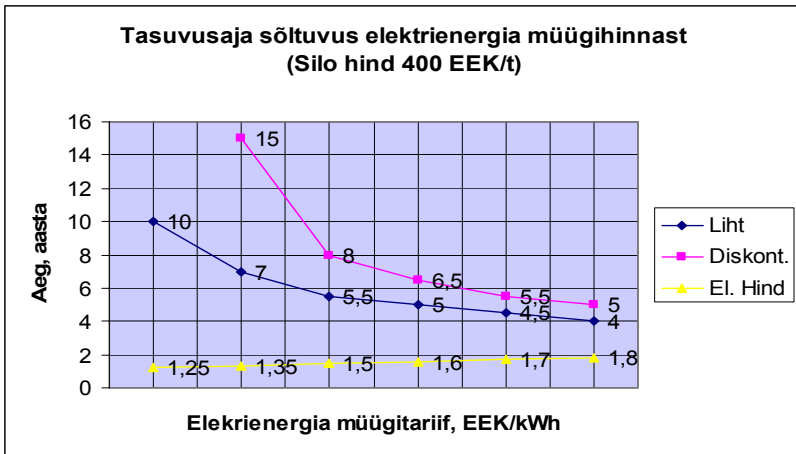
Figure 2. Payback time dependence on electric sales tariff (on silo price 300 kroons/t)



Joonis 3. Tasuvusaja sõltuvus elektrienergia müügihinna (silo hind 350 kr/t)

Figure 3. Payback time dependence on electric sales tariff (on silo price 350 kroons/t)

sisseostuhindade juures. Ilmneb, et ka väikesed muutused silo ja elektri müügihinnas muudavad oluliselt tasuvusaega.



Joonis 4. Tasuvusaja sõltuvus elektrienergia müügihinnast (silo hind 400 kr/t)

Figure 4. Payback time dependence on electric sales tariff (on silo price 400 kroons/t)

### Tasuvus ja poliitika

Antud projekti baasarvutus on tehtud diskonteerides määraga 13%. Sellisel juhul tuleb tasuvuse ajaks ligikaudu 8 aastat. Lihttasuvuse aeg on seejuures 5,5 aastat. 13% diskonteerimismäär puhul on sisemise rentaablu näitaja (IRR) 14%, seega on ka valitud diskonteerimismäär peaaegu piiriks, kus veel on projekt tasuv. Diskontomäär 13% on valitud tulenevalt valdkonna suhteliselt suurest investeerimisriskist. Eesmärki saavutada diskonteeritud tasuvusajaks 5...6 aastat arvutustes kasutatud baastingimustel võimalike toetuste ja sisendite ning väljundite hindadega ei saavutata. Kuna arvestuses on kasutatud toetusi loomapidamise sõnnikumajanduse arendamise ning samuti soojasiirde tarvis, milliste rakendamine ei ole alati võimalik, siis võib olla tegelik tasuvusaeg oluliselt pikem. Selleks oleks vaja suuremaid toetusi biogaasijaama rajamiseks või peaks suurendama elektrimüügi tariifi. Tabelis 1 on näha NPV (Net Present Value) graafikul tulu nüüdispuhasväärtuse sõltuvus diskonteerimise määrast.

Poliitikaga on seotud ka valitsuse skeptitsism bioenergia suhtes. Sellise skeptitsismi tagajärjena jääb bioenergiavaldkond tähelepanu alt välja. Valitsus on

küll näidanud oma initsiatiivi ja soovi suurendada taastuvate energiaallikate osakaalu riiklikus energiatootmises, kuid selleks võidakse rakendada muid võimalusi, näiteks toetada tuuleenergiat.

Ernst&Young Baltic AS-i poolt läbiviidud analüüs leidis, et kõige kriitilisemad riskid, mis ohustavad Eesti bioenergia valdkonda, on seotud toorainega, maa madala kasutatavusega ning riigi poliitika ja käitumisega antud valdkonna edendamisel. (<http://www.bioenergybaltic.ee/?id=1307> Koondraport)

### **Kokkuvõte**

Osuslikult valitud biogaasi tootmise meetodid võivad anda lisaks säästule looduses ja kulutustes muudele uuringutele ja vahenditele, mida peab rakendama tavapärasel orgaaniliste materjalide käitlemisel ja utiliseerimisel, ka arvestatava kasumi energia näol.

Hinnates tulemusi antud näite puhul on 13% diskonteeritult tasuvusaeg 8 aastat. See on periood, mis ei ole investorile ahvatlev ja muudab raskeks (kui mitte küsitavaks) laenude saamise pangast. Samuti on seejuures kasutatud silo hinda (300 kr/t), mille maksumus on ligilähedane omahinnale ja ei ole ilma energiakultuuri kasvatamise toetuseta või isegi koos sellega piisav, et äratada huvi silo tootmise vastu.

Uurides muutusi investeeringu analüüsis elektri müügitariifide väikese tõusu korral (0,25 kr/kW·h), näeme olulisi muutusi tasuvusaja kahanemise näol (–2,5 aastat), mis muudaks projekti teostatavaks. Samas aga silohinna tõus (+50 kr/t) põhjustaks märgatavat tasuvusaja pikenemist. Ilmne on, et 4,7 mln krooni toetust biogaasijaama kohta on äärmiselt vähe, moodustades ka kirjeldatud suhteliselt väikese biogaasijaama koguinvesteeringust vaid 22,4 %.

Ka praegu on taastuvenergia müük tarbijale eraldi arvestatud ja seega ei ole probleemi selle arvestamiseks mistahes põhjendatud hinnaga. Seega on tasuvus sõltuv poliitikast ning muutustest energiaturu seadustes.

Ka Eesti maaelu arengukava 2007–2013 bioenergia tootmise investeeringutoetuse meetme 1.4.3 rakendamisest sõltub selle fondi kasutamise efektiivsus. Kui eesmärgiks on toetada võimalikult paljusid projekte, võib saada takistuseks nende projektide mitterakendumine majanduslikel põhjustel ja fond jääb kasutamata või ei kasutata selle vahendeid biogaasijaamade rajamiseks. Samas, kui toetada väiksema arvu biogaasijaamade rajamist, kuid seda ulatuses, mis oleks piisav investeeringu optimaalse tasuvusaja saavutamiseks, täidaksid need tehased oma eesmärgi, lahendades nii keskkonna- kui ka energiaprobleeme.

Eestis on biogaasijaamad võimalikud ja tasuvad väikeste muudatuste korral seadusandluses, toetuskeemides ja energiamajanduse poliitikas. Minimaalselt piisav oleks antud situatsioonis hind 1,5 kr/kW·h.

### **Kasutatud kirjandus**

- Normak, A., Kaasik, A., Menind, A., Jõgi, E., Oper, L. 2007. Biogaasi tootmisvõimaluste eeluuring Vinni piirkonnas lõppraport, EMU, 23 lk.
- Mansberg, M.(tõlkija), Normak, A., Volmer, E., Orupõld, K., Kaasik, A., Kask, Ü. (toimetaja). 2008. Biogaasi tootmine ja kasutamine, Käsiraamat. Eesti Põllumeeste Keskliit, 158 lk.
- Ernst & Young Baltic AS, 2008. Bioenergia tureregulatsioonid Eestis. Tallinn 2008, 182 lk.
- Kättesaadav:  
[http://www.bioenergybaltic.ee/bw\\_client\\_files/bioenergybaltic/public/img/File/EYMESRaport\\_Koondraport.pdf](http://www.bioenergybaltic.ee/bw_client_files/bioenergybaltic/public/img/File/EYMESRaport_Koondraport.pdf)
- Olt, J., Lepa, J., Jõgi, E., Menind, A. 2007. Biogaasi tootmistehnoloogiad. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Kaheksanda ja üheksanda konverentsi kogumik. Tartu, 2007, 128 lk.

# BIOGAS PLANT INVESTMENT ANALYSIS, COST BENEFIT AND ITS MAIN FACTORS

Andres Menind, Jüri Olt

*Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology*

*e-post: [andres.menind@emu.ee](mailto:andres.menind@emu.ee), [jyri.olt@emu.ee](mailto:jyri.olt@emu.ee)*

The establishment of a biogas station can only be possible with a large investment and therefore a question appears: is it profitable and how risky is it? Is the current support for the establishment of a biogas station sufficient and what are the main factors for which funding is dependent on? Is the current buying price for renewable energy sufficient to make a biogas station a profitable venture? These are some of the questions which this article strives to answer through model calculations. Also the graphed payback periods of the main factors and prices are included, in the event then used discount rate is 13. By using model calculation the quick changing of the variable factors and finding the most important components of profitability is made possible.

# TAIMEÕLI TOOTMINE JA KASUTAMINE

## MOOTORIKÜTUSENA

Arne Küüt, Jüri Olt

*Eesti Maailikool, tehnikainstituut*

### **Annotatsioon**

Antud töö eesmärgiks oli uurida, analüüsida ja anda selgitusi, mida tuleks järgida tootmisseadmete ja abivahendite valikul kohalikel õlitootjatel, et tagada kõrgekvaliteetne rapsiõli ja rapsikoogi tootmine. Et lahendada eelpool nimetatud probleeme, on vajalik rajada pooltööstuslik taimeõli katselabor, kus oleks võimalik teostada katsepressimisi erinevatel tingimustel.

*Märksõnad: taimeõli, väiketootmine, presskook, tootmistehnoloogiad, tootmisseadmete valik, tigupress.*

### **Sissejuhatus**

Seoses naftasaaduste pideva hinnatõusu ja tarneraskustega maailmaturul on tekkinud tõsine vajadus alternatiivkütuste järele. Tõuke alternatiivkütuste tootmise juurutamiseks ja kasutamiseks annab ka nõue vähendada kütuste kasutamises CO<sub>2</sub> eraldumist. Üks võimalikke alternatiivkütuste lahendusi on võtta kasutusele biokütused. Biokütuste kasutamisel on täita mitu tähtsat keskkonnahoiu ja majandusalast ülesannet. Biokütuste kasutuselevõtu esmane tugev argument on EL-i direktiiv 2003/30/EC biokütuste ja teiste taastuvate energiaallikate kasutamise kohta autotranspordis, mis võeti vastu 08.05.2003. aastal. Antud direktiiv sätestab, et biokütuste osakaal suureneks mootorsõidukite kütustes 5,75%-ni 2010. aastal.

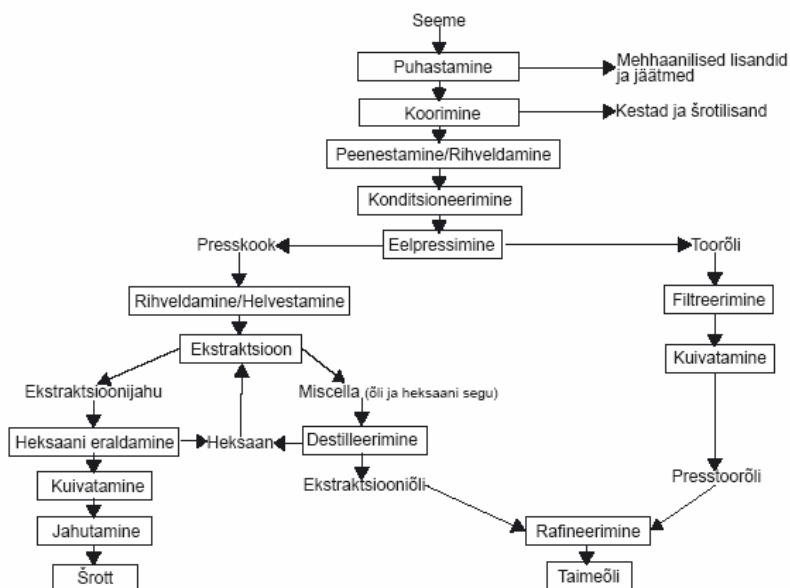
Probleemiks on väiketootmises külmpressimisel saadud õli füüsikalise-keemilised omadused, mis pärivad taimeõli kasutust samaväärselt tavakütusega. Et kindlustada masinate kõrge töökindlus ja seadustes ette nähtud jääkainete eraldusnormidest kinnipidamine, tuleb valida tootmistehnoloogia, mis tagaks etteantud kvaliteedikriteeriumid. Samuti ei saa jätta tähelepanuta presskoogi kui energia- ja proteiinirikka loomasööda vajaliku keemilise koostise ja kõrge toiteväärtuse saavutamist, sest erinevad loomad vajavad toiduks erineva

ratsiooniga söötasid. Kasutades erinevaid tootmistehnoloogiaid, on võimalik suuresti muuta saadava taimeõli ja presskoogi füüsikalise-keemilisi omadusi meile vajalikus suunas.

### Tootmistehnoloogiate kirjeldused

Et saada ülevaadet antud teemast, on vajalik lühidalt välja tuua tootmistehnoloogiate erisused. Et planeerida tootmist, peab mõistma erinevate tootmistehnoloogiate keerukusastet (töömahukust). Alljärgnevalt vaadeldakse ja analüüsitakse suur- ja väiketootmise erinevusi.

Õliseemnetest saab taimeõli toota niihästi tööstuslikes õlitööstustes (tsentraalsed õlitehased, suurtootmine), mille ümbertöötlemisvõimsused ulatuvad kuni 4000 t/päevas õliseemet kui ka detsentraalsetes väikeettevõtetes (kohalikud õlikojad) ümbertöötlemisvõimsusega 0,5...25 t/päev õliseemet, üksikutel juhtudel ka kuni 250 t/päev. Tsentraalsed õlitehased toodavad reeglina kuum-pressitud, lahustitega ekstraheeritud ja täisrafineeritud taimeõlisisid (joonis 1), samal ajal kui kohalikes



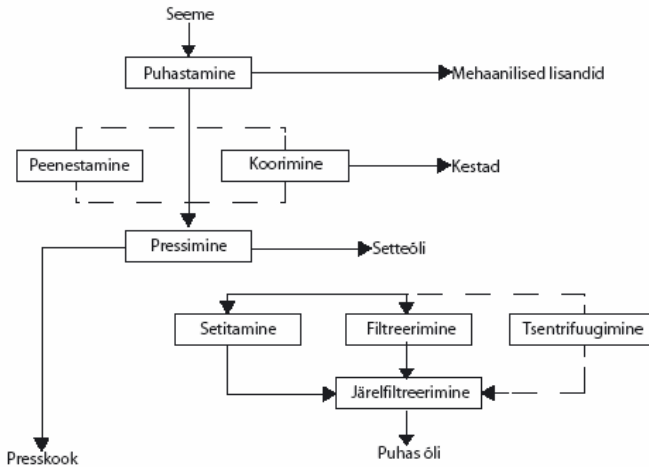
Joonis 1. Õliseemne töötlemine (tsentraalses) tööstuslikus õlikojas.

Figure 1. Processing oil-seed in (central) industrial oil hall.



õliveskites toodetakse õliseemne säästva töötlemise meetodil nn külmpressitud taimeõlisid, mis ei läbi rafineerimisetappe.

Rapsiseemne kvaliteet, pressimisprotsess ja õlipuhastus (tahke/vedel - eraldamine) mõjutavad seetõttu deitsentraalse seemnetöötlemise puhul õlikvaliteeti. Joonisel 2 on kujutatud õliseemne töötlemist väiketööstuses.



Joonis 2. Õliseemne töötlemine (kohalikes) väikeseadmetes.

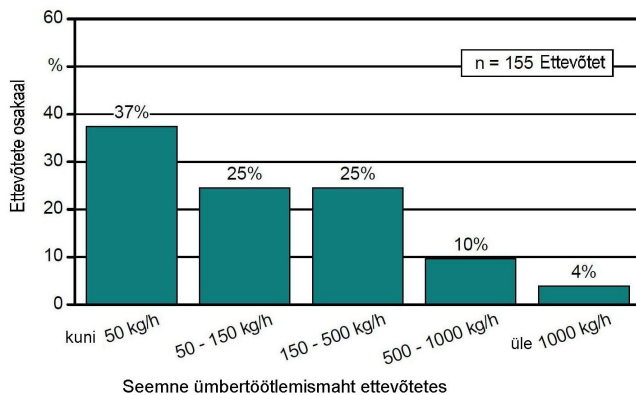
Figure 2. Processing oil-seed in (local) small devices.

Selgub, et mõlemad protsessid erinevad teineteisest oluliselt oma kompleksuse osas. Pealegi leidub erinevusi lahusti-, kemikaali- ja veekulu osas ning ka reovee ja jääkainete tekkimisel. Tähtsuset mitte viimaste hulgas erinevad mõlemad meetodid õli koguse ja seega ka presskoogi või šroti sisalduses.

### Katselabori seadmete valiku alused

Lähtuvalt käesolevas töös uuritud tootmistehnoloogiatest ja seadmetest soovitab autor valida õlipressi enamkasutatavate pressitüüpide seast. Enam levinud pressid Saksamaal on läbilaskevõimega kuni  $Pp = 50$  kg/h seemet (kohalik tootmine, joonis 3). Katseseadmeks on soovitatav valida väiksema läbilaskevõimega kuni  $Pp = 10$  kg/h seemet (Heizopresse S1, Farmet UNO). Kui soovitakse läbi viia

täielik õlitöötlemise protsess, tuleb arvestada asjaoluga, et pideva setteprotsessi teostamine nõuab tunduvalt suuremat ruumi ja kulutusi.



Joonis 3. Õlipressimise ettevõtete osakaal seemne ümbertöötlemise alusel.

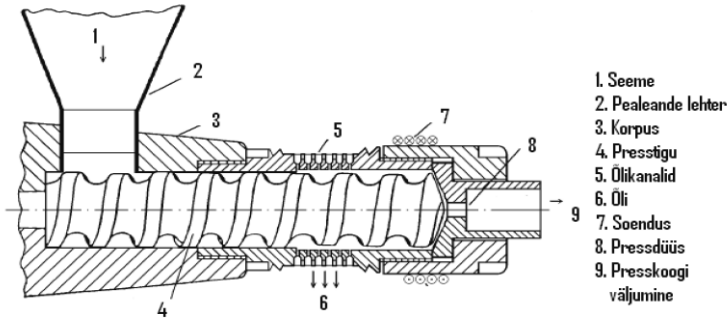
Figure 3. The percentage of oil-pressing companies on the basis of re-production of seed.

*Väiketootmises tootmistehnoloogia* (katseseadmete) valikul lähtutakse valmistoodangu vajadusest, antud juhul valmisõli vajaminevast kogusest (liitrit, tonni), sõltuvalt masinapargist ja rapsikoogi võimalikust kasutamisest loomasöödana. Kui soovitakse tegeleda rapsikütuse müügiga, eeldab see suuremaid investeeringuid, nõudeid, aruandlust, müügiluba jne. riiklikul tasandil, mis ei majanda ennast ära väiketootmisel ja ei ole antud teema eesmärk.

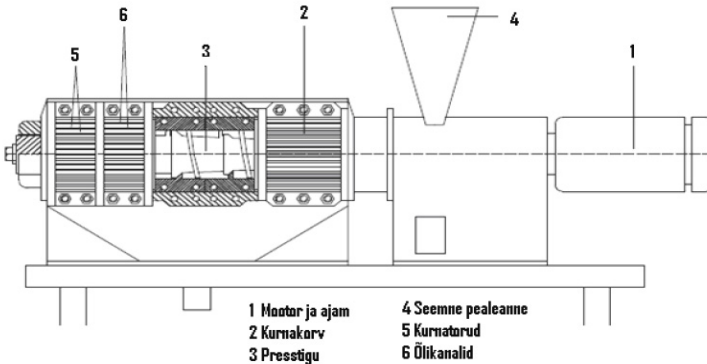
Kuna rapsikoogi osa on 2/3 kogutoodangust tuleb tootmistehnoloogia (-seadmete) valikul ette planeerida millise kooslusega sööta me vajame. Sõltuvalt pressimise iseloomust (kuum- või külmtöötlus) oleneb suuresti koogi keemiline koostis (proteiini, rasva, kiudaine jne) ja toiteväärtus (MJ/kg). Eelkõige tuleks juhinduda oma vajadustest, tagades niimoodi tooraine ringluse.

### Pressid

Press on tootmiseseadmete juures üks olulisemaid komponente. Õli pressimisel seemnest on laialt levinud tigutüüpi presside kasutamine tootmistes. Omakorda jagunevad tigupressid veel sõela (kurna) ehituse järgi (joonised 4, 5 ja 6) vastavalt tootmismahule, mis on ära toodud alljärgnevalt.



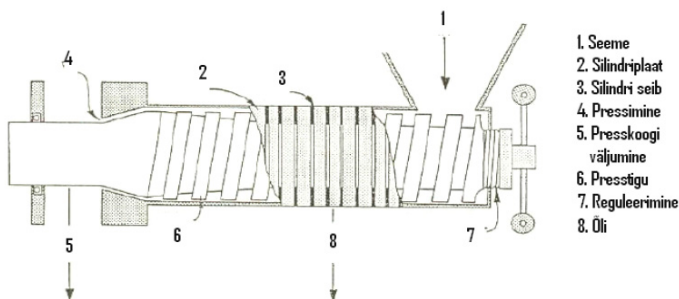
Joonis 4. Augulise kurnaga tigupress.  
Figure 4. Extrusion press with holed bolt.



Joonis 5. Varbkurnaga tigupress.  
Figure 5. Extrusion press with ram bolt.

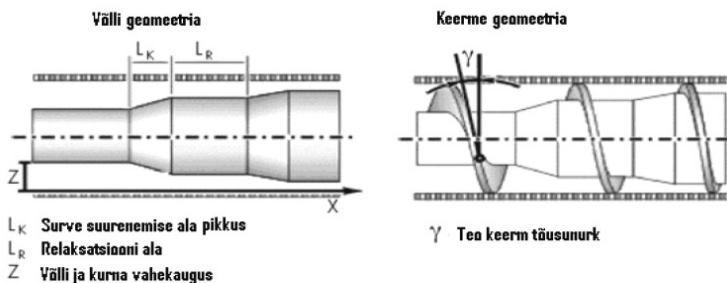
Olulised erinevused tigupressidel on kurna või filtri ehituses, milles tigu pöörleb. Augulise kurnaga tigupresside korral, nagu võib näha joonisel 4, on presssilindrisse perforeeritud ümmargused avad. Presspea juures asub pressdүүs, mis annab presskoogile (pelletile) silindrilise kuju. Varbkurnaga tigupressidel (joonis 5) nagu ka seibitööorganiga tigupressidel (joonist 6) on varvad või seibid, mis on paigutatud ettenähtud vahemaade järel üksteisega paralleelselt. Õli eraldumine toimub kurnavarvade või -seibide vahel olevate pilude kaudu.

Presskook väljub tigupressi tagant väikeste plaadikestena või kui on olemas pelletiseade, siis pelletitena. Väiksema tootmismahu korral (keskmise jõudlusega kuni 75 kg/h rapsiseemet) rakendatakse peamiselt augulise kurnadega tigupresse. Suurema tootmismahu korral (keskmise jõudlusega kuni 3000 kg/h rapsiseemet) rakendatakse eelkõige varb-, seibkurnaga tigupresse.



Joonis 6. Seibkurnaga tigupress.

Figure 6. Extrusion press with washer bolt.

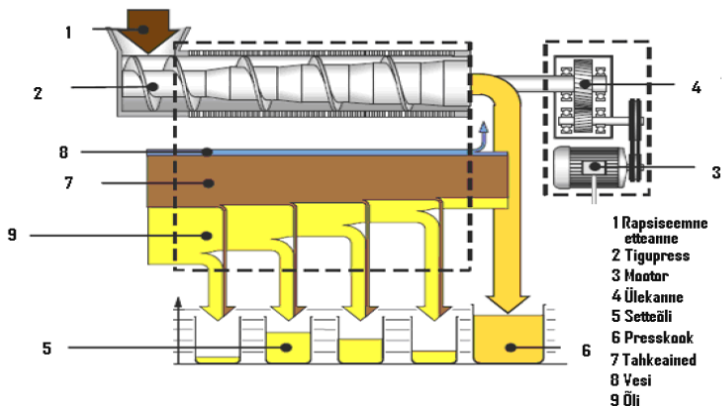


Joonis 7. Tigupressi teo võlli ja keerne geometria.

Figure 7. Geometry of extrusion spindle and screw.

Otsustava tähtsusega on pressimisprotsessi juures pressitava massi surve tugevdamise ja vähendamise vaheldumine (joonis 7) (C. SCHEIN, 2003). Seejuures tuleb takistada massi kaasapöörlemist teoga. Seepärast peab hõrdejõud pressitava massi ja kurna vahel olema suurem kui presskoogi ja teo vahel. Seda on võimalik saavutada näiteks kurna juures oleva kareda matiga või „kiilu“ otsa asetatud kurnatoru abil. Pressmassile avaldatava surve vähendamine soodustab õlivoolu

pressitavast massist kurna avade poole. Töödeldava materjali liikumine on kujutatud joonisel 8 (muudetud C. SCHEINI 2003 järgi). Kogu kurna pikkuse ulatuses toimub õli väljavool erineva intensiivsusega. Osa seemnetes sisalduvast niiskusest eraldub õlipressimisel veeauruna.



Joonis 8. Töödeldava materjali liikumine õlipressimisel.

Figure 8. Moving of the processed material during oil-pressing.

Õlitootmiseks kasutatavaid tigupresse pakuvad praegu Saksamaal 14 firmat. Erinevate tootjate õlipresside kvaliteedi, saavutatava pressimistugevuse ja nende erilise sobivuse kohta rapsiõlikütuse tootmiseks pole seni võrdlevaid uuringuid läbi viidud.

Seepärast pole võimalik selle kohta midagi lisada. Tendents on siiski, et (lühema) sõelkurnaga õlipressi kasutades saadakse väiksemad fosfori-, kaltsiumi- ja magneesiumisisaldused kui (pikema) varbkurnaga pressi abil. Selle põhjuseks võib olla pressitava massi ja õli erinev kokkupuuteaeg kuumade pressidetailidega.

### Kokkuvõte

Antud uurimuse käigus selgus, et parimaks pressimismeetodiks, et standardile vastavaid õli omadusi saada, on osutunud külmpressimine ja soovituslikuks pressitüübiks augukurnaga tigupress. Põhjenduseks on suur fosfori sisalduse tõus toorõlis pressimistemperatuuri tõstmisel, mis kaasneb kuumpressimisega. Uuringud ja andmed kül- ja kuumtoodetud rapsikookide keemilise koostise kohta

on aga küllaltki ebatäpsed, vasturääkivad, kuna keemiliste ainete sisaldust mõjutavad erinevad tegurid, nagu seemnesort, ilmastik, agrotehnilised tingimused jne. Rapsikoogi tootmisel ei saa anda kindlat seadmete valikut, kuna lähtuma peab meile vajalikust keemilisest koostisest erinevate loomade söötmisel. Tähtsamad näitajad erinevate tootmistehnoloogiatega saadud rapsikoogi iseloomustamisel on proteiini- ja energiasisaldus. Kui kuumpressimisel (üle 80°C) saadakse parema proteiinisalduse ja soodsama proteiini lõhustumisega rapsikook piimalehmadele, siis külmpressimisel saadakse suurema energia- sisaldusega rapsikook lihloomadele.

*Seadmete valikul* väiketootmisele ja pooltööstuslikule taimeõli katselaborile tuleb lähtuda esmalt hinna ja kvaliteedi suhtest. Analüüsi tulemusena on enam levinud õlipressimise seadmed läbilaskevõimega alla 50 kg/h seemet. Kuna uurimuse käigus selgus, et pakkumine on suur, aga puudub täiuslik teave pressimistulemuste ja presside vastupidavuse kohta, siis soovib autor kasutada kohapeal müüdavaid seadmeid. Sellisel juhul on tagatud seadmetele varuosade baas. Pressidest võib soovitada „Farmet Duo” väiketootmisele ja „Farmer 10” kompleksseadet taimeõli pressimise katselaborile, kuna on olemas tagavaraosadega varustatus.

Tuleb tõdeda, et taimeõli pressimise katselabori loomine on vajalik, sest kohalikust seemnest õlipressimise uuringuid on vähe tehtud. Selleks, et valida meile vajalik tehnoloogia, tuleb teostada proovipressimised erinevatel pressimise režiimidel ja toorõli puhastamine erinevate setitamis/filtreerimismeetoditega ning analüüsida saadud tulemusi. Saadud materjalide analüüs peab olema teaduspõhine, et tagada parim tehnoloogiline valik.

### **Kasutatud kirjandus**

Elektroonilised andmed: “BIOMASSI JA BIOENERGIA KASUTAMISE EDENDAMISE ARENGUKAVA AASTATEKS 2007-2013” Eesti Põllumajandusministeerium.

Dr. Remmele E. 2007. Handbuch. Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen, Nova-Institut GmbH, 83 lk.

- Ferchau E. 2000. Equipment for decentralised cold pressing of oil seeds, Folkecenter for Renewable Energy, Hurup Thy, Danmark, lk 64.
- Eesti Vabariigi Põllumajandusministeerium. Biodiislikütuse tasuvuse uuringu ja Eesti oludele sobivate tootmistehnoloogiate väljapakumine.
- Paul N. Kemnitz D. 2006. Biokraftstoffe, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. lk 42.
- Uhl A., Haas R., Rimmel E. 2007. Befragung von Beitreiben dezentraler Ölsaatenverarbeitungsanlagen. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. Straubing, 55 lk.
- Kass M. 2006. Õli pressimise tehnoloogia mõju rapsikoogi proteiini kvaliteedile veiste söötmisel, Eesti Maaülikool, Tartu, 84 lk.
- Olt J., Sõõro T., Küüt A. 2008. Põllumajandusettevõttes taimeõli tootmine ja omatarbeks kasutamine mootorikütusena kombineeritult kvaliteetse loomasööda tootmisega, Eesti Maaülikool, Tartu, 99 lk.

## **VEGETABLE OIL PRODUCTION AND USE AS A TRANSPORT FUEL**

Arne Küüt, Jüri Olt

*Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology*

The main purpose of the present work is to investigate, analyse and provide explanations about what local oil producers should follow when choosing production devices and technical aid used in production.

In order to achieve the set goal, it is essential to establish a semi-industrial testing laboratory of vegetable oil for conducting tests of pressing in different conditions.

As a result of the research, the most common production technologies of small industries and choice of devices in laboratories of vegetable oil production were brought out.

# POOLLOODUSLIKE ROHUMAADE ROHTSE BIOMASSI ENERGEETILINE POTENTSAAL EESTIS

Indrek Melts<sup>1</sup>, Katrin Heinsoo<sup>1</sup>, Marek Sammul<sup>1</sup>, Linnar Pärn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Kreutzwaldi 5, 51014 Tartu

e-post: [indrek.melts@emu.ee](mailto:indrek.melts@emu.ee), [katrin.heinsoo@emu.ee](mailto:katrin.heinsoo@emu.ee), [marek.sammul@emu.ee](mailto:marek.sammul@emu.ee)

<sup>2</sup>Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut, Kreutzwaldi 5, 51014 Tartu

e-post: [linnar.parn@emu.ee](mailto:linnar.parn@emu.ee)

## **Annotatsioon**

Käesoleva töö eesmärgiks on hinnata niidetavate poollooduslike rohumaade rohtse biomassi energeetilist potentsiaali taimkattetüüpide ja maakondade lõikes. Poollooduslike rohumaade hooldamine on vajalik bioloogilise ja maastikulise mitmekesise säilimiseks. Poollooduslikelt rohumaadelt niidetud heinale ei ole sageli enam võimalik leida traditsioonilist kasutust loomasöödana ning seetõttu on aktuaalseks muutunud sellele ressursile alternatiivsete kasutamisevõimaluste uurimine. Kohaliku ja keskkonnasõbraliku ressursina on poollooduslike rohumaade rohtset biomassi võimalik kasutada taastuenergiaallikana, vähendamaks energeetilist sõltuvust imporditavatest ressurssidest ja fossiilsetest kütustest ning Eesti energeetika keskkonnakoormust.

*Märksõnad: biomass, energeetiline potentsiaal, looduskaitse, poollooduslikud rohumaad, taastuenergia.*

## **Sissejuhatus**

Poollooduslikud rohumaad on pikaajalise inimtegevusega ümber kujundatud loodusliku kooslusega alad, nagu puisniidud, loopealsed, soostunud niidud, soo-, ranna-, lammi- ja aruniidud (Krall *et al.* 1980; Kukk 2004; Looduskaitseamet 2004). Mõõdukas inimõju (niitmine ja karjatamine) on poollooduslike rohumaade püsimiseks primaarne tingimus, et säiliks bioloogiline ja maastikuline mitmekesisus ning oleks tagatud loodushoid. 2006. aastal hinnati poollooduslike rohumaade pindalaks Eestis kokku umbes 130 000 ha (Kukk *et al.* 2006).

Looduskaitse põhimõtteid järgides ei tohi poollooduslikel rohumaadel künda ega külvata, kasutada pestitsiide ega väetisi, rajada kuivendussüsteeme (RTL 2004, 75, 1228). Nende tingimuste tõttu ei ole võimalik suurendada poollooduslike



rohumaade saagikust. Poollooduslike rohumaade keskmiseks heinasaagiks (17 % niiskust) on määratud 1,2 t ha<sup>-1</sup> (Aug *et. al.* 1983). Köstri (1999) uuringu järgi ulatub poollooduslike rohumaade saagikus kuni 3,0 t ha<sup>-1</sup>.

Viimasel ajal on nii Eestis kui ka mujal maailmas muutunud eriti aktuaalseks taastuvenergiaallikate laialdasem kasutuselevõtt ja uute potentsiaalsete keskkonnasõbralike energiaallikate leidmine. Üheks oluliseks uurimisvaldkonnaks on kohaliku ressursina biomassi energia kasutamise- ja tootmisvõimalused. Kuigi metsamaterjali biomassi energiakasutuse uuringuid on Eestis varasemalt tehtud, on rohtse biomassi uuringud suhteliselt algusjärgus.

Käesolevas töös keskendutakse kõigist poollooduslike rohumaade tüüpidest kolmele järgnevale peamiselt niidetavale tüübile: 1) puisniitudele (siin ja edaspidi sulgudes loodusdirektiivi kood (6530)) kui liigirikkuse tõttu suure looduskaitsele väärtusega aladele, hinnangulise pindalaga 8000 ha; 2) lamminiitudele (6450) kui kõige saagikamatele, pindalaga 20 000 ha; 3) pärisaruniitudele kui enamlevinumatele ja -majandatavamatele, pindalaga 21 000 ha. Pärisaruniitude tüübi all käsitletakse liigirikkaid arurohumaid (6270) ja kuival lubjarikkal mullal esinevaid arurohumaid (6210).

### **Biomassi kasutamisevõimalused energia tootmiseks ja Eesti energiamajandus**

Biomassi on võimalik kasutada energia saamiseks erinevatel viisidel (Ahmed 1994; Mckendry 2002): 1) biomassi otsese põletamise teel soojuse saamiseks või koostootmisjaamades soojuse- ja elektrienergia tootmiseks; 2) biomassi bio- (v.a. aeroobne lagundamine) ja termokeemilise (v.a. põletamine) töötlemise teel saadavate biokütuste (nt biogaas, biovesinik, bioetanool, biometanool) kasutamisel autokütusena või koostootmisjaamades soojuse- ja elektrienergia tootmiseks.

Eesti kütuse- ja energiamajanduse pikaajalise riikliku arengukava aastani 2015 (RT I, 2004, 88, 601) eesmärgiks on seatud saavutada aastaks 2010 taastuvenergiaallikate osakaaluks primaarenergia kogutarbimises 13-15 %. Eesmärgiks on saavutada taastuvate energiaallikate osakaaluks elektri tootmises 5,1 % kogutarbimisest ning keskkonnasäästlikuma ja efektiivsema elektri ja soojuse koostootmise osakaaluks elektritootmises 15-20 % kogutarbimisest.

Teoreetiliste hinnangute (Muiste *et al.* 2004) järgi moodustanuks 2002. aastal biokütused (nt puiduhake ja –jäätmel, pajuõsa, roostikud ja põllumajandusjäätmel) potentsiaalselt 30 % soojuste- ja elektrienergia koostootmisjaamades kasutatavatest kütustest. Sealjuures suurimat osakaalu omaks puitkütused.

Statistikaameti (2006) andmetel oli 2005. aastal küteturba, küttepuidu, puidujäätmete ja biogaasi osakaal energia kogutarbimises ehk primaarenergiaga varustatuses 13 %. Biogaasi osakaal primaarenergi tootmises oli ligikaudu 0,1 %.

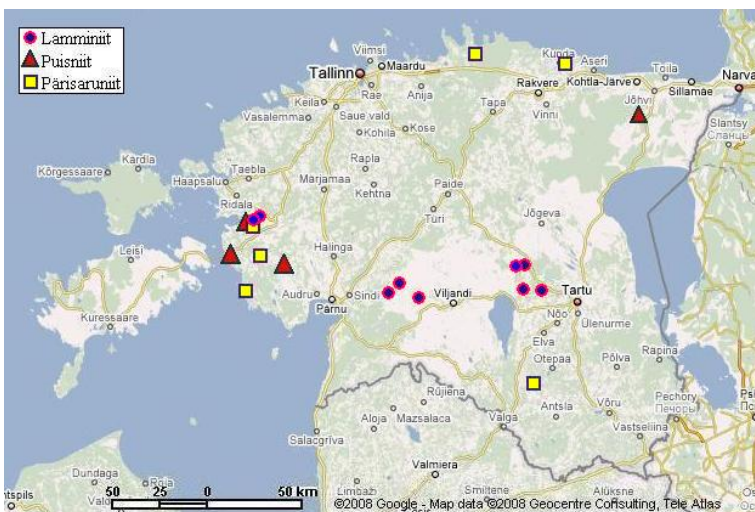
Eestis kogutakse ja kasutatakse biogaasi Tallinna praeguseks suletud Pääsküla prügilas (Kallaste 2002). Samuti toodetakse biogaasi AS-i Tallinna Vesi Paljassaare reoveepuhastusjaamas (Keskkonnaaruanne 2006).

Rohtset biomassi kasutatakse soojusenergiaallikana AS-i Tamsalu Kalor katlamajas, kus töötab põhukatel (Raigna 2007). Lähiajal plaanitakse OÜ Lihula Soojus katlamaja rekonstrueerimist, mille käigus installeeritakse 800 kW võimsusega rohtsel biomassil (Matsalu lahe pilliroog, Kasari jõe lühahein ning viljapõhk) ja 1000 kW võimsusega puidujäätmetel töötavad katlad, kütuselaod ja etteandmiseadmed (OÜ Lihula Soojus 2007). Katlamaja rekonstrueerimistööd lõpevad 2009. aasta sügisel (Teesaar *et al.* 2008).

### **Materjal ja metoodika**

Rohtse biomassi ressursi ja energeetilise potentsiaali määramiseks viidi 1.–20. juulil 2007. aastal läbi välitööd. Proovialadeks valiti võimalikult tüüpilised poollooduslikud rohumaad. Proovialasid oli kokku 19 (vt joonis 1). Analüüsimaterjali koguti igalt proovialalt 17 prooviringist.

Prooviringis mõõdeti rohttaimestiku maksimaalne ja keskmine kõrgus. Laboris kaaluti prooviringist kogutud rohtse biomassi märgmass. Kuivmass määrati iga prooviala kohta 5 proovil. Iga prooviala rohtse biomassi segu kütteväärtus kuivmassi ühiku kohta määrati Eesti Maaülikooli metsandus- ja maarehitektuuri instituudi metsatööstuse osakonna labori kalorimeetrilises pommis.



Joonis 1. Poollooduslike rohumaade proovialad.

Figure 1. Location of the field trials of semi-natural meadows.

Uuritavate poollooduslike rohumaade tüüpide pindalade osakaalude määramisel maakondades tugineti Kuke ja Sammuli (2006) eksperthinnangule, mis põhineb PKÜ ja Keskkonnaministeriumi Natura-alade elupaikade andmebaasil. Aluseks võetud tüüpide hinnanguline üldpindala korrutati läbi leitud kaaluga ja määrati tüüpide hinnangulised pindalad maakondade lõikes.

### **Poollooduslike rohumaade saagikus ja rohtse biomassi energeetiline potentsiaal**

Poollooduslike rohumaade tüüpide lõikes on hinnanguline kuivaine keskmine saagikus hektari kohta lamminiidul  $5,7 \text{ t ha}^{-1}$ , pärisaruniidul  $2,6 \text{ t ha}^{-1}$  ja puisniidul  $1,7 \text{ t ha}^{-1}$ . Keskmine energiasaldus hektari kohta on lamminiidul  $105 \text{ GJ ha}^{-1}$  ( $29 \text{ MW}\cdot\text{h ha}^{-1}$ ), pärisaruniidul  $49 \text{ GJ ha}^{-1}$  ( $14 \text{ MW}\cdot\text{h ha}^{-1}$ ) ja puisniidul  $31 \text{ GJ ha}^{-1}$  ( $9 \text{ MW}\cdot\text{h ha}^{-1}$ ).

Võttes aluseks poollooduslike rohumaade tüüpide keskmised energiasaldused hektari kohta ja pindalad, saame teoreetiliselt määrata kogu soojushulga maakondade ja tüüpide lõikes ning Eestis tervikuna (vt tabel 1).

*Tabel 1. Poollooduslike rohumaade teoreetiline energiahulk maakondade lõikes Eestis 2007. a (GJ).*

*Table 1. Theoretical energy content in the aboveground grass of semi-natural meadows in different Estonian counties in 2007 (GJ).*

Maakond	Lamminiit	Puisniit	Pärisaruniit	Kokku
Harjumaa	66 585	10 045	118 965	195 595
Hiiumaa	0	6 033	23 705	29 737
Ida-Virumaa	68 852	2 217	25 324	96 393
Jõgevamaa	190 458	1 403	10 086	201 947
Järvamaa	40 057	2 750	50 869	93 676
Läänemaa	497 156	68 884	191 994	758 033
Lääne-Virumaa	37 714	12 514	105 788	156 016
Põlvamaa	129 164	1 964	6 478	137 606
Pärnumaa	68 701	45 090	132 437	246 228
Raplamaa	87 444	18 434	81 789	187 668
Saaremaa	5 064	70 343	158 056	233 463
Tartumaa	335 342	281	10 674	346 297
Valgamaa	221 596	2 329	44 170	268 096
Viljandimaa	181 237	2 132	9 129	192 498
Võrumaa	163 854	477	53 961	218 293
Kokku	2 093 224	244 895	1 023 426	3 361 545

## **Arutelu ja järeldused**

Poollooduslike rohumaade energeetilise potentsiaali hindamiseks on vaja teada rohtse biomassi ressursihulka ja energiasaldust. Poollooduslike rohumaade rohtse biomassi saagikus on tüüpide lõikes erinev. Saagikus võib olla mõjutatud abiootilistest (nt valguskiirgus, niiskus, mineraalelemendid) ja biootilistest teguritest (nt botaaniline koostis). Lamminiit, mille saagikus on suurim, asub niisketel ja liigniisketel muldadel, kus tänu jõeuhtele on mullaviljakus kõrgem ning seetõttu kasvab seal ka kõige kõrgem ja lopsakam rohhtaimestik. Puisniidu saagikuse hinnanguline keskmine on väikseim uuritud poollooduslike rohumaade tüüpidest. Seda võivad mõjutada puisniidul kasvavad puud ja põõsad. Kogu uuritavate poollooduslike rohumaade rohtse biomassi saak Eestis on ligikaudu 182 000 tonni kuivainet aastas, sellest lamminiidul ligikaudu 114 000 tonni, pärisaruniidul 55 000 tonni ja puisniidul 13 000 tonni. Maakondade lõikes on suurim rohtse biomassi saak võimalik saada Läänemaal (41 081 t), kus on ka pindalaliselt kõige enam vaadeldavaid poollooduslikke rohumaid. Järgnevad Tartumaa (18 781 t) ja Valgamaa (14 521 t), kus on suur lamminiitude osakaal. Kõige väiksem kogusaak on Hiiemaal (1 605 t), mille peamiseks põhjuseks on lamminiitude puudumine.

Energeetiline potentsiaal on sõltuv saagikusest ja samuti rohtse biomassi omadustest. Hoolimata pärisaruniidu suuremast pindalast Eestis, on suurim ressurss energia tootmiseks lamminiidul, mille rohtse biomassi osakaal on 63 % teoreetilisest poollooduslike rohumaade rohtse biomassi energiahulgast. Kõige väiksem potentsiaal on puisniidu rohtsel biomassil, mille osakaal on 7 %. Pärisaruniidu rohtse biomassi energia osakaal on 30 %. Maakondadest on suurima poollooduslike rohumaade rohtse biomassi energeetilise ressursiga Läänemaa, mille osakaal on ligikaudu 22 % poollooduslike rohumaade rohtse biomassi teoreetilisest energiahulgast. 10 % ja 8 % osakaaluga on vastavalt Tartumaa ja Valgamaa.

Saagikust ei ole poollooduslikel rohumaadel võimalik agrotehniliste võtetega suurendada. Samuti ei ole saagikus ühesugune erinevatel aastatel. Probleemiks võib kujuneda poollooduslike rohumaade rohtse biomassi kättesaadavus. Näiteks lamminiitude niiskematel osadel võib pind olla liiga pehme, et kanda suuri niidukeid. Samuti tingivad kasvavad puud ja põõsad, kivid, ebatasane reljeef jms rohkema käsitöö või väiksemate masinate kasutamise, mis teeb töö ebaefektiivsemaks, tööjõudlus on võrreldes suurte niidukitega madal ja töö teostamiseks kulub rohkem aega. Lisakulusid võivad tekitada põletamiseks sobiva rohtse biomassi kuivatamine, mis on töö- ja energiamahukas, ning ka logistilised probleemid, kuna niidud paiknevad hajali ja rohtsel biomassil on väike mahukaal. Kokkuvedamine tõstab transpordikulutuste osakaalu. Seega on poollooduslike rohumaade rohtse biomassi kasutamisel energeetikas otstarbekas kasutusele võtta väiksemaid ja hajusalt paiknevaid koostootmisjaamasid ning keskenduda eelkõige neile maakondadele, mille poollooduslike rohumaade energeetiline potentsiaal on suurim.

### **Kokkuvõte**

Poollooduslikud rohumaad etendavad olulist rolli Eesti kultuuri- ja maastikupildi esteetiliste väärtuste ja loodusliku mitmekesisuse säilitamisel. Säästvat majandamist nõudvate ja vähetusate poollooduslike rohumaade rohtse biomassi potentsiaalse taastuva energeetilise ressursiga (3,3 PJ ehk 934 GW·h) oleks võimalik katta ligikaudu 2 % 2010. aasta primaarenergia kogutarbimisest.

## **Kasutatud kirjandus**

- Ahmed, Kulsum; with an overview by Anderson, Dennis and Ahmed, Kulsum. 1994. Renewable energy technologies: a review of the status and costs of selected technologies. World Bank Technical Paper 240, Energy Series. Washington, D.C: World Bank.
- Aug, H., Kokk, R. 1983. Eesti NSV looduslike rohumaade levik ja saagikus. Tallinn: Eesti NSV Agrotööstuskoondise Informatsiooni ja Juurutamise valitsus.
- Kallaste, T. 2002. Prügilagaasist toodetakse nüüd ka elektrit. - Keskkonnatehnika, 4, 29-30.
- Keskonnaaruanne 2006. Tallinn: AS Tallinna Vesi, 2007, 64 lk.  
[[http://www.tallinnavesi.ee/files/TV\\_keskonnaaruanne\(1\).pdf](http://www.tallinnavesi.ee/files/TV_keskonnaaruanne(1).pdf)] 18.05.2008
- Krall, H., Pork, K., Aug, H., Püss, O., Rooma, I., Teras, T. 1980. Eesti NSV looduslike rohumaade tüübid ja tähtsamad taimekooslused. Tallinn: Eesti NSV Agrotööstuskoondise Informatsiooni ja Juurutamise valitsus.
- Kukk, T. 2004. Sissejuhatus. – Rmt: Kukk, T. (koost.). Pärandkooslused. Õpik-käsiraamat. Tartu: Pärandkoosluste Kaitse Ühing, 10-12.
- Kukk, T.; Sammul, M. 2006. Loodusdirektiivi poollooduslikud kooslused ja nende pindala Eestis – Rmt: Sammul, M. (koost.). Eesti Loodusuurijate Seltsi Aastaraamat, 84, 114 -155.
- Köster, T. 1999. Looduslike rohumaade produktiivsus ja säästev majandamine. – Rmt. Agronoomia 203. Teadustööde Kogumik. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastuse trükikoda, 69-73.
- Kütuse- ja energiamajanduse pikaajaline riiklik arengukava aastani 2015. Vastu võetud Riigikogus 15. detsembril 2004. a – RT I, 2004, 88, 601.
- Loodushoiutoetuse taotlemise, taotluse läbivaatamise ja toetuse maksmise kord, nõuded toetuse maksmiseks ja toetuse määrad. Vastu võetud keskkonnaministri 1. juuni 2004. a määrusega nr 62 - RTL 2004, 75, 1228.
- Looduskaitseseadus. 2004. – RT I 2004, 38, 258.
- McKendry, P. 2002. Energy Production from biomass (part I): overview of biomass.- Bioresource Technology, 83, 37-46.

- Muiste, P., Roostalu, H., Padari, A., Paist, A., Kask, Ü., Orru, M. 2004. Sustainable balance of biofuels supply-demand in Estonia. – In: Proceedings 2nd World Conference and Technical Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Rome, vol 1, 568-571.
- OÜ Lihula Soojus katlamaja rekonstrueerimise projekteerimine. 2007. [[http://register.rha.gov.ee/index.jsp?page=RHRDokument.jsp&POORDUMINE=RHR\\_Riigihange.jsp&RIH\\_ID=39968&DOK\\_ID=69474](http://register.rha.gov.ee/index.jsp?page=RHRDokument.jsp&POORDUMINE=RHR_Riigihange.jsp&RIH_ID=39968&DOK_ID=69474)] (18.05.2008)
- Raigna, R. 2007. Majandus: Põhuküte Tamsalus õigustas lootusi. - Virumaa Teataja. 11.10.2007. [<http://www.virumaateataja.ee/111007/esileht/majandus/15041561.php>] (18.05.2008)
- Statistikaamet. 2006. Eesti statistika aastaraamat 2006. Tallinn: Statistikaamet.
- Teesaar, Tõnu; Källe, Margus. 2008. Lihula võtab kasutusele taastuvad kütused. – Postimees, 21.05.2008 [<http://uudisvoog.postimees.ee/?DATE=20080521&ID=178529>] (23.05.2008)

## ENERGETIC POTENTIAL OF SEMI-NATURAL MEADOWS

Indrek Melts<sup>1</sup>, Katrin Heinsoo<sup>1</sup>, Marek Sammul<sup>1</sup>, Linnar Pärn<sup>2</sup>

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

*e-mail: [indrek.melts@emu.ee](mailto:indrek.melts@emu.ee), [katrin.heinsoo@emu.ee](mailto:katrin.heinsoo@emu.ee), [marek.sammul@emu.ee](mailto:marek.sammul@emu.ee)*

<sup>2</sup>*Estonian University of Life Sciences Institute of Forestry and Rural Engineering*

*e-mail: [linnar.parn@emu.ee](mailto:linnar.parn@emu.ee)*

In order to restore and maintain traditional aspect and biodiversity of semi-natural meadows it is important that the principles of nature conservation are followed. However, today there is a decreased demand for hay of these meadows in traditional animal husbandry. Therefore alternative use for this biomass is important.

The aim of the study is to examine the energy potential of grass from some semi-natural meadows by types and by counties in Estonia. Suitability of biomass from flooded meadows, boreo-nemoral meadows and wooded meadows for bioenergy

production is evaluated. Semi-natural meadows are estimated to cover 130,000 ha in Estonia, from which flooded meadows (type code 6450) cover 20,000 ha, wooded meadows (6530) 8,000 ha and boreo-nemoral meadows (6210 and 6270).

In order to assess the energy potential from semi-natural meadows, biomass was collected and its calorific value was measured. The results show that an average yield of dry matter in flooded meadows was  $5,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ . The other two studied semi-natural meadow types had lower biomass production - 2,6 and  $1,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  in boreo-nemoral and wooded meadows, respectively. Total production of dry matter from semi-natural meadow types under observation is estimated to be approximately  $182 \text{ th t yr}^{-1}$ . Primary energy per hectare of biomass from semi-natural meadows was measured to be  $105 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  for flooded meadows,  $49 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  for boreo-nemoral meadows and  $31 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  for wooded meadows. The whole energy potential of semi-natural meadows under observation amounts to 934 GWh i.e 3,3 PJ, which could constitute approximately 2 % of estimated consumption of primary energy by the year 2010.



# HYDROGEN FOR ELECTRICITY SUPPLY

Jochen Lehmann, Ortrud Luschtinetz, Thomas Luschtinetz,

Andreas Miede and Christian Sponholz

*Stralsund University of Applied Sciences  
Zur Schwedenschanze 15, D-18435 Stralsund  
E-mail: Andreas.Miede@fh-stralsund.de*

## Abstract

Hydrogen and electricity will serve as two of the pillars of a future sustainable energy economy. Both these clean energy carrier are convertible into each other. Hydrogen stores electricity in small and large scale. The paper reports two projects started in Mecklenburg-Vorpommern: self-sufficient zero-emission electricity supply of a small island, and the combination of a wind farm with a hydrogen based back-up power system.

*Keywords: hydrogen, energy storage, reconversion*

## Introduction

Hydrogen is the most common element in the universe and on the earth. But it does not exist in the elemental state. One needs energy for producing the pure gas. Just that amount of energy becomes free by burning hydrogen to water. In that sense hydrogen acts as an energy carrier.

For the conversion of electricity into hydrogen an electrolyser has to be used. Industrial electrolysers put on the market during the late twenties of the last century. Modern alkaline electrolysers (30 bar, 80°C) reach efficiencies of 75%, that means 4 kW·h electricity produce 3 kW·h or 1 m<sup>3</sup> hydrogen respectively. The combination of combustion engines or gas turbines with generators and increasingly fuel cells are good for the reconversion of hydrogen into

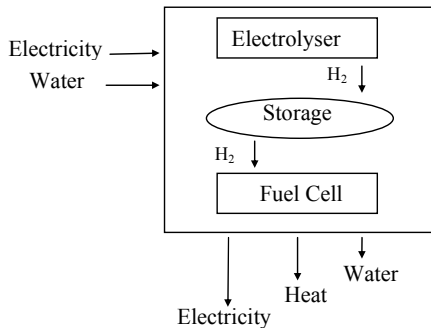


Figure 1. Structure of the hydrogen loop  
Joonis 1. Vesinikuringluse skeem

electricity. Fuel cells offer the direct conversion of chemical energy into electricity with electrical efficiencies of about 50%. As an energy carrier hydrogen can be stored, transported and distributed. – Figure 1 symbolises the processes as a storage unit for electricity.

### An early realisation

In 1996 the Stralsund University of Applied Sciences finished the installation of its Multicomponent Laboratory for Integrated Energy Systems. Figure 2 shows the structure. The main components are a 100 kW wind mill and 10 kW PV modules for the primary energy conversion, a 20 kW electrolyser combined with a 30 bar pressure storage vessel (about 750 kW·h capacity), and for the reconversion a CHP (about 30% electricity, 60% heat) for NG/H<sub>2</sub> mixtures, catalytic burners and low temperature fuel cells as well.

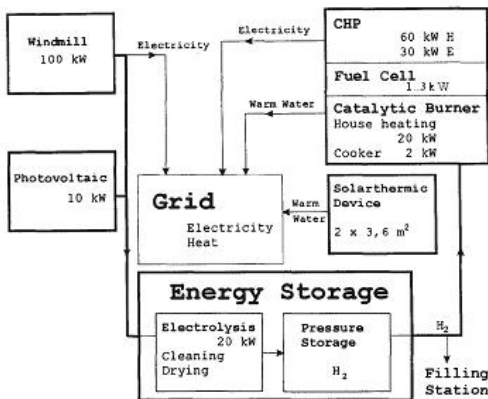


Figure 2. The hydrogen system at the Multicomponent Laboratory for Integrated Energy Systems

Joonis 2. Vesiniku saamise süsteem integreeritud energiasüsteemide komponentide laboris

The lab has been designed for education and R&D activities. Each of the aggregates serves for practical experiments.

Connected to a system the equipment can be used as an energy island or emergency supply. A constant power of 5 kW is the minimum output throughout

the year according to the given local weather conditions on the base of only the windmill. The bridging of a fortnight of calm is possible. The incoming PV electricity will improve the supply.

The second way of use for this electricity storage loop is to minimize the energy costs of the university. As usual there is a difference between the electricity prices during high and low load times. Producing hydrogen with renewable and/or night rate electricity it will be possible to supply 30 kW into the interior net of the university by the CHP during the high rate time every morning. A rough estimation results that the electrolyser has to run with full power for 10 hours every day, then 30 kW could be delivered over 1.5 hours a day from the fully hydrogen powered CHP. The produced heat is fed into the central heating system.

Up to now the hydrogen loop of the lab could not be used as a back-up power unit for smoothing the wind electricity. For that purpose a controlling software for the reconversion aggregate has to be developed. The lab is open for all kinds of cooperation, for practical modelling and R&D partnership. A detailed description of the lab has been given in the “Wissenschaftliche Schriftenreihe“ of the university /1/.

### **The island of Ruden**

Basing on the experiences with the Stralsund installation an autarkic system has been planned for the supply of the small island of Ruden. Its characteristic is: ½ km<sup>2</sup> of area, 2 permanent inhabitants, no electricity, no drinking water, maximum 5 m above sea level. Energy for heating will be delivered by a separated system.

Figure 3 shows four groups of the system: 1. Primary conversion with a wind/PV – installation. 2. The direct use of the produced electricity. 3. Systems which characterized by a storage function, directly using too. 4. The emergency power part with a fuel cell reconversion.

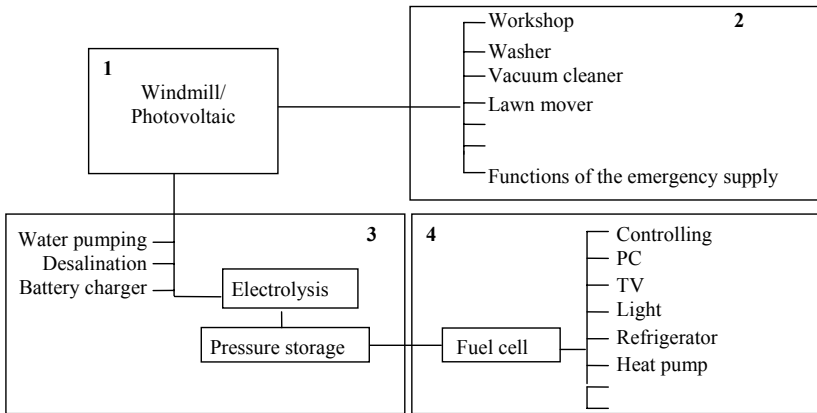


Figure 3. Scheme of the RUDEN autarkic electricity supply

Joonis 3. RUDENI sõltumatu elektrivarustuse skeem

The electricity demand of four persons (Figure 4) means that the primary conversion should have 6 kW installed power as a minimum, and the emergency system should supply 2...3 kW. The course of Figure 4 stands for a low energy house. This measurement and further investigations /2/ show, that the household demands power above 2 kW and even above 3 kW for small time slots only. For that reason it is useful to combine fuel cells modular with an intelligent energy management explained below.

The considered fuel cell system is designed to keep essential functions running. It allows the using of additional devices up to a limit of maximum. Electrical devices with high power consumption like electrical heaters and cookers are switched off by the load management in case of primary power outage. The power system in this project is designed by commercial components in a modular construction. Due to that it can be adapted easily to the power demand of several applications namely for mobile ones. For a standard family house the system will work with two fuel cell modules. The configuration for three modules is shown in Figure 5.

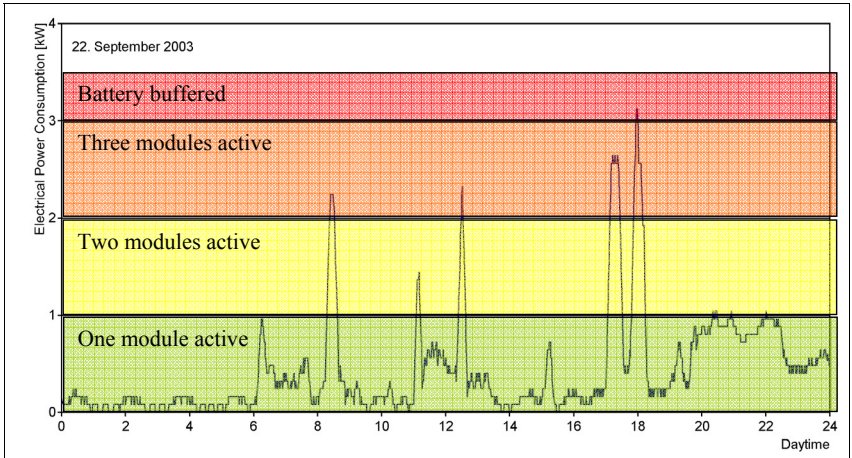


Figure 4. The power consumption of a 4 persons household in Germany /2/

Joonis 4. Nelja elanikuga maja elektrienergia tarbimine Saksamaal /2/

The fuel cell modules are made by Ballard Power Systems Inc. AG. Each of them delivers a power output of 1.2 kW. The output voltage varies from 22 Volt up to 50 Volt /3/. Therefore the voltage is converted into a constant DC voltage of 24 Volt by a DC/DC converter. According to the European voltage level the 24 Volt are converted into a 230 Volt AC-voltage. By changing this converter other common voltage levels can be reached.

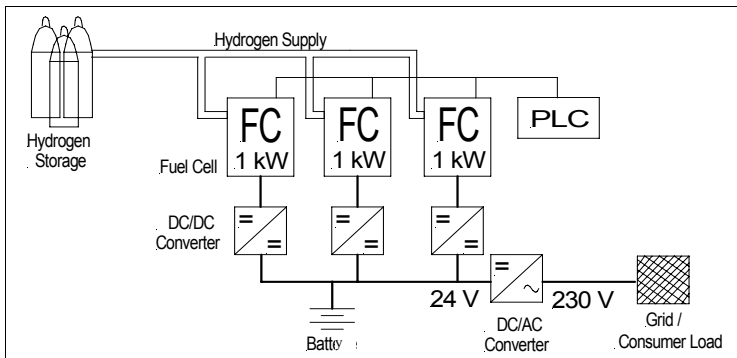


Figure 5. FC system design with three fuel cell modules

Joonis 5. Kolme kütuselemendi mooduliga elektrivarustuse skeem

For organising the cooperation of the fuel cell modules a programmable logic controller PLC is integrated into the system. One task of this controller is to activate the right number of modules according to the power demand. The other task is to maintain an equal level of operating hours for all modules. Additionally the PLC monitors the amount of hydrogen in the storage and signalises a lack of it.

The FC system is designed for the energy consumption of a single house and follows the course of the load according to Figure 4 for September 22<sup>nd</sup>, 2003. As you can see three modules and a battery for the peaks are necessary to supply the house under normal conditions. But combined with a selective organisation of the load the maximum power peak will be less than 2 kW. A selective management of the load means that consumers are divided into different priority classes. An example for low priority is the refrigerator due to its big delay time and an example for high priority is the light system. The higher the priority the earlier the consumer will be supplied. During the moments of a low power demand the devices with low priority will be connected to the power supply. Altogether the power management as a part of the FC-system guaranties a more steady-going course of the load and therefore lower peaks within the course. Due to the fact that a fuel cell module takes less than half a minute to start up itself it can react quickly and flexibly on changing demand.

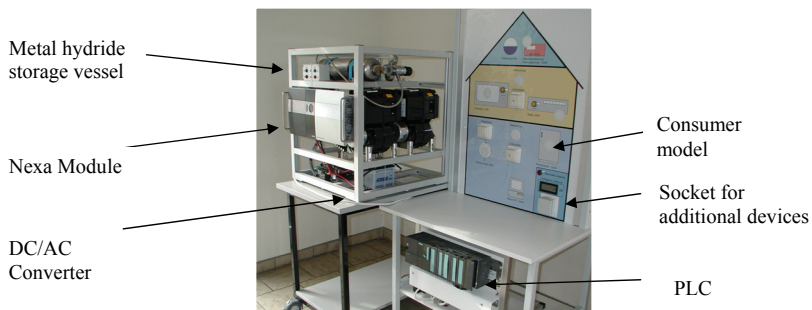


Figure 6. Experimental construct with two Nexa™ power module and a 2 m<sup>3</sup> metal hydride storage<sup>2</sup>

Joonis 6. Kahe Nexa™ elektrimooduliga ja 2 m<sup>3</sup> vesinikku mahutava metallhüdriidsalvestiga eksperimentaalne seade

<sup>2</sup> The work has been initiated by Dr.-Ing. Frank Menzl died by an accident. The authors remain in grateful memory.

The capacity of the hydrogen storage system depends on the consumption of the fuel cell modules and the supplied time period. The hydrogen consumption of the UPS for the specified day on Figure 4 is calculated to 6.6 m<sup>3</sup> for the whole day. The content of standard industrial cylinders (50 liters, 200 bar) for pressurized hydrogen is 10 m<sup>3</sup>. That means, one of these cylinders guarantees the supply for more than one day.

### **Back-up power via hydrogen**

In the north-east territory of Germany (Mecklenburg-Vorpommern) 30% of the used electricity is produced by windmills contemporary. Planning and construction of the first two offshore wind farms are going on. The production of these both will set the production to 50% of the demand. Already now there are capacity and stability problems in the weak nets of that region.

According to a study of the IFEU-Institute /4/ it should be possible to reduce the input of wind energy into the net and/or to feed in a more steady wind electricity by converting wind electricity to hydrogen and reconvert it in case of a lack of wind. Figure 7 shows three scenarios for producing wind electricity in combination with a hydrogen storing loop.

Scenario I, the conventional wind park, which causes the problems mentioned above. The electrical energy output follows the natural wind yield and the grid has to be adapted to the wind power feed-in. One solution for a temporal decoupling of wind yield and electricity output is a combination of windmills with a storage loop as shown in scenario II and IV. The system of scenario II decouples the fluctuating input (wind) and the constant output (electricity). The advantage of this system is that the electrical output is constant and independent of the actual wind speed. The wind park acts as a constant power plant within the grid.

Scenario III, the grid adapted feed-in, extends the former scenario with a data connection, which enables the grid operator to determine the electrical output of the wind farm. In times of critical grid situations (high electricity flows) the wind energy is stored by electrolysis in the form of hydrogen. During these periods the energy output of the wind park is minimized. In the case that energy is needed the

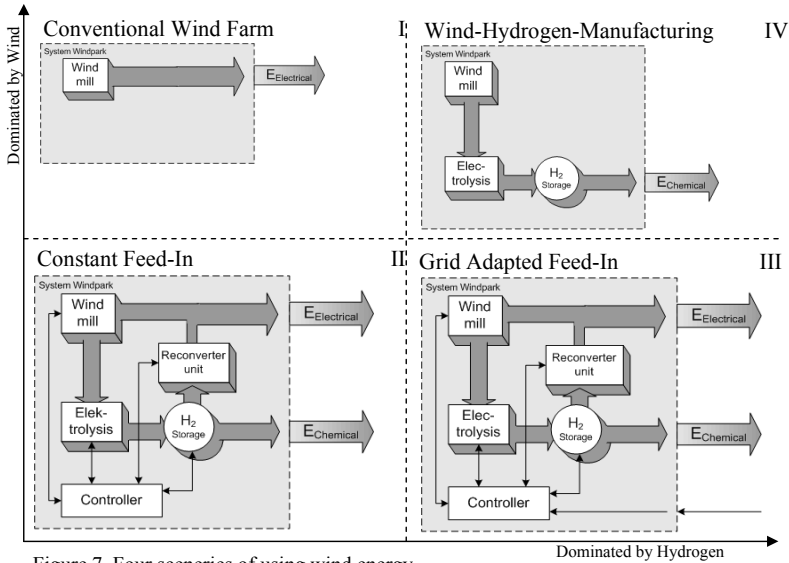


Figure 7. Four sceneries of using wind energy

Joonis 7. Neli võimalust kasutada tuuleenergiat

wind energy can be fed-in directly. If the direct fed-in electricity is not sufficient, the stored hydrogen is reconverted and additionally supplied to the grid. The big advantage of that system additional to the harmonised feed-in is the possibility to supply energy on demand. Within the grid this kind of wind farm works as a balancing power plant based on wind energy.

A wind-hydrogen-manufacturing is designed in scenario IV. The whole amount of wind energy input is converted by an electrolyser to hydrogen. As a fuel it can be sold to the market. This system could be a further step directed to a hydrogen infrastructure based on renewable energies.

The controller unit as well as the controller strategy (Figure 8) plays a very important role especially in scenario II and III. The controller is connected with all components of the system and gets the information about the actual energy production, consumption and storage. By these data it manages the energy distribution within the system as well as the energy output to extern. Several aspects which have an impact on this managing are shown in Figure 8.



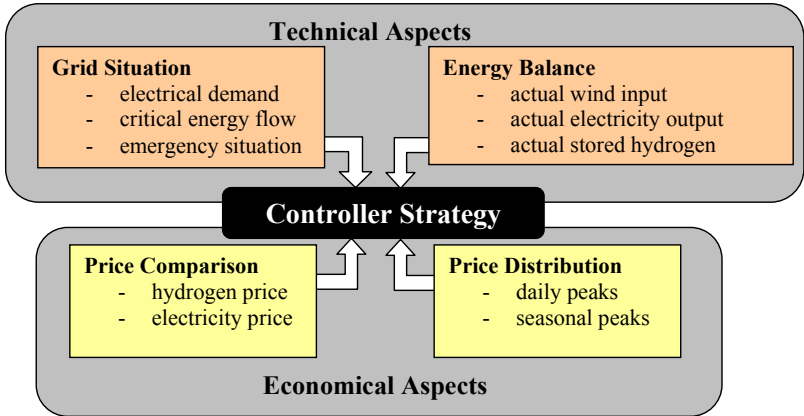


Figure 8. Technical and economical requirements on the control strategy

Joonis 8. Reguleerimise seadmele esitatavad tehnilised ja majanduslikud nõuded

One of the technical aspects is to balance energy input and output over a certain time. Also the grid situation has to be taken into consideration. While critical situations the system supports the grid or at least relieves it.

The economical circumstances at the market are the second important group of aspects to focus on while operating a combined wind-hydrogen-system. Depending on the price attainable for electricity and for hydrogen the more lucrative energy is sold. Furthermore the distribution of price over a day or a week is considered in that form that the periods of price peaks are preferred for selling energy.

The following section outlines the costs for the energy out of a wind-hydrogen system: caused by the higher complexity of such a system against a conventional wind farm, the investment costs increases. For a system as explained in scenery III the investment cost are approximately twice than a normal wind farm. Exemplarily based on a 25 MW wind farm the investment costs are calculated in Figure 9.

The costs for the wind generator are all sceneries in common. But the investments costs for the hydrogen based storage loop differ. The important point is the dimensioning of each component. While scenery II focuses the electrolyser,

scenery III concentrates on big converter unit, which is in scenery IV not at all necessary.

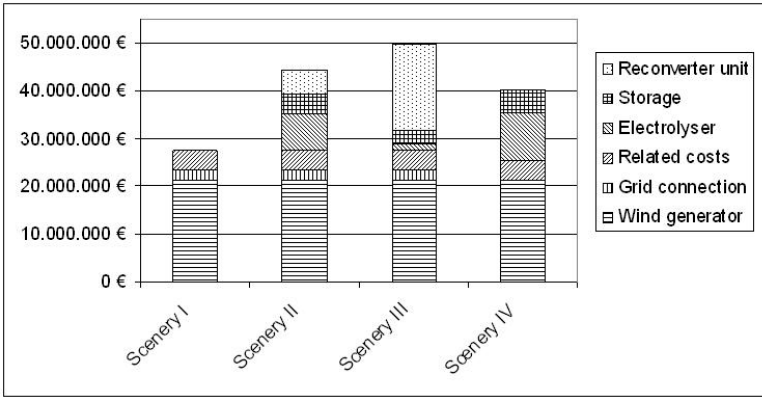


Figure 9. Comparison of the investment costs

Joonis 9. Investeeringute maksumuste võrdlus

The investment costs in combination with capital costs and running costs related to the energy output lead to the estimated actual cost per energy shown in Figure 10.

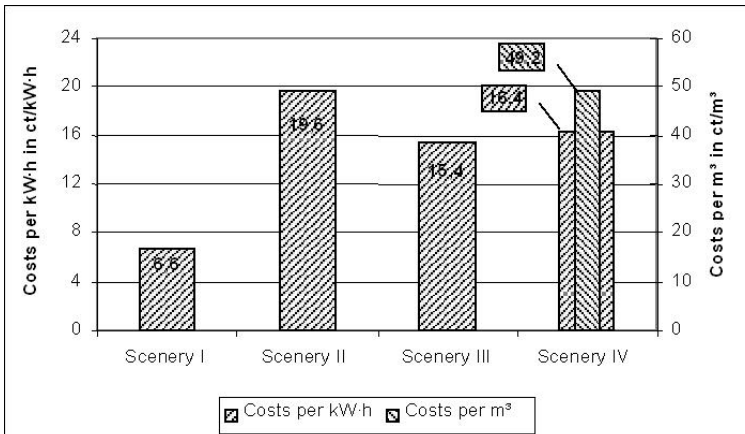


Figure 10. Comparison of the actual costs

Joonis 10. Tegelike maksumuste võrdlemine

A conversion of energy involves losses caused by the individual efficiency. In consequence the energy output of a wind-hydrogen system decreases. This fact plus the additional investment costs in a wind-hydrogen-system give the reasons for the higher actual costs in scenery II-IV compared to the conventional wind farm in scenery I.

But it is also obviously that the costs here calculated are in the range of two up to three times bigger than in conventional wind farms. Taking into account that this energy is controllable these prices are today below the real market price at certain times. Especially scenery III and IV realise prizes around 16 ct per kW·h, which are already now competitive. Dutton *et. al.* /5/ have shown that the actual prices in wind-hydrogen-manufactures also depend decisive on the annual wind speed. The paper calculates already at 4 m/sec a price for hydrogen of 17 ct/kW·h, which decreases to less than the half at 6 m/sec.

The estimation means that electricity according to scenery III and hydrogen in scenery IV are sold in periods when the market price is above the price calculated. Of course the market price does not reach such values always. For that reason the last two sceneries offer the possibility to determine the time for selling the energy.

### **Summary**

Both the described proposals, an autarkic energy island and a smooth feeding in of wind electricity into a public grid, should show that the use of renewable produced hydrogen as an electricity storage medium opens innovative solutions for the future sustainable energy economy.

Estimations demonstrate one can not compare the prices of the electricity produced in an island with that from the socket, and refined wind electricity will take up to 40 ct/kW·h untaxed. This is caused by the small total efficiencies, typical for all processes, which involve storages. But the proposed products have new characteristics justifying higher prices, and they will bring a piece of independence from the fossil energy carriers.

## **Acknowledgments**

The projects have been supported constantly by the federal government of Mecklenburg-Vorpommern.

## **References**

- Menzl, F., Windmill-Electrolyser-System for a Hydrogen Based Energy Supply, Wissenschaftliche Schriftenreihe der FH Stralsund Nr. 2, 2000, S. 93-101. ISBN: 3-9807963-1-0.
- Hutter, C., Th. Kramer “Stationäre Anwendungen von Brennstoffzellen in der Kraft-Wärme-Kopplung”, Perspektiven einer Wasserstoff-Energiewirtschaft (Teil 2), Forschungsstelle für Energiewirtschaft (Prof. U. Wagner), München, 2000.  
<http://www.ballard.com>, 25.02.2004.
- Lehmann, J., A. Mieke, C. Sponholz, O. Luschinetz Wasserstoff – Medium zur Speicherung von regenerativ erzeugter Elektroenergie, Untersuchungen zu Netzkapazität, Infrastruktur und Wirtschaftlichkeit in Mecklenburg-Vorpommern Studie des Instituts für Energie und Umwelt (IFEU) e.V. an der FH Stralsund, 2004 – 2005.
- Dutton, Bleijs, Falchetta, Hug, Prischich, Ruddell, Experience in the design, sizing, economic, and implementation of autonomous wind-powered hydrogen production systems, International Journal of Hydrogen Energy 25 (2000) 8, 705-722.

## VESINIK ELEKTRIVARUSTUSES

Jochen Lehmann, Ortrud Luschtinetz, Thomas Luschtinetz,

Andreas Miede ja Christian Sponholz

*Stralsund University of Applied Sciences*

*Zur Schwedenschanze 15, D-18435 Stralsund*

*e-post: Andreas.Miede@fh-stralsund.de*

Artiklis käsitletakse võimalusi, kuidas tuuleelektri abil toodetud vesinikku kasutada uuesti elektri tootmiseks gaasimootori, –turbiini või kütuselemendi abil. Sel moel on võimalik paremini kasutada elektrituulikust saadavat muutlikku energiavoogu. Kirjeldatakse Stralsundi Rakendusõrgkoolis loodud integreeritud energiasüsteemide komponentide laboratooriumis tehtavat tööd. Ühe konkreetse rakenduse vaadeldakse autonoomset tehnilist lahendust väikese Rudeni saare elanike jaoks, kus vaid lühikeseks ajaks elektritarve ületab 3 kW (vt joonist 4). Vesiniku kogumiseks kasutatakse standardset ballooni, mis mahutab seda kuni 10 m<sup>3</sup> (normaaltingimustel). Joonisel 4 toodud näitel oli päevane vajadus 6,6 m<sup>3</sup> vesinikku.

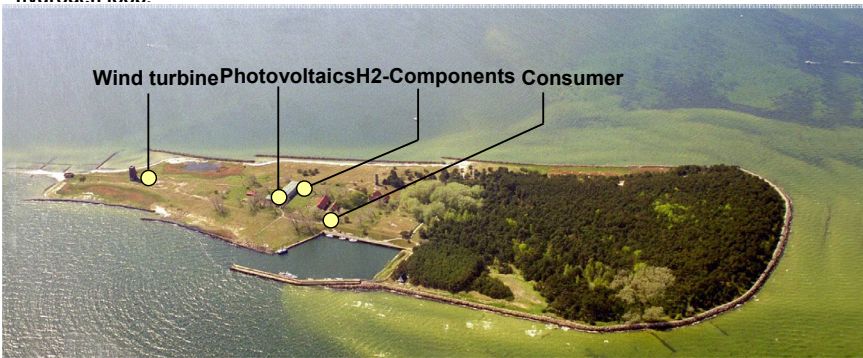
Artiklis vaadeldakse nelja võimalust (vt joonist 7) suuremahuliseks tuuleelektri stabiilseks kasutamiseks. Tuuleelektri külluse ajal toodetakse tema abil vesinikku, mida vaiksama tuule ajal vastavalt vajadusele kasutatakse. See probleem on aktuaalne Mecklenburg-Vorpommerni liidumaal, kus tuuleelektri osakaal on 30%. Artiklis jõutakse järelduseni, et vesiniku abil on võimalus ehitada üles reaalset töötav, kuid mõnevõrra kallim süsteem tuuleenergia kasutamiseks, mis vähendab fossiilsete energiakandjate tarbimist.



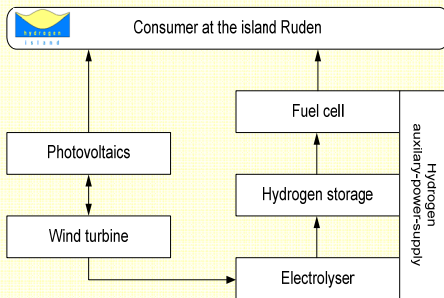
# hydrogen island -R u d e n-

## Green autarchic energy supply for islands

The inhabitants of the island Ruden, situated in the North of Germany, will be supplied solely by regenerative energies, which is the main idea of this project. By using solar and wind energy, as well as hydrogen as energy carrier, a year-around supply with green energy will be guaranteed. This combined use of two regenerative energy sources leads to an optimized hydrogen loop.



### Energy schema



### Location



Coordinates: 54° 12' 14" N, 13° 46' 14" O

Size: ca. 22 ha

Inhabitants: 2

# ENERGIAKULTUURIDE KASVATAMISE OTSEKULUDE JA ARVESTUSLIKE TULUDE KALKULAATOR

Liis Oper, Ülle Roosmaa

*Kreutzwaldi 1, 51014, Tartu, Eesti*

*Eesti Maaülikooli majandus- ja sotsiaalinstituut*

## **Annotatsioon**

Artikkel annab ülevaate põllumajandustootjatele suunatud energiakultuuride kasvatamise otsekulude ja arvestuslike tulude kalkulaatorist. Kalkulaator on koostatud koostöös EMÜ põllumajandus- ja keskkonnainstituudi, Eesti Maaviljeluse Instituudi, Jõgeva Sordiaretuse Instituudi teadurite ning infotehnoloogia firmaga AS Piksel. Kalkulaatoriga saab tutvuda aadressil: [www.agri.ee/energia](http://www.agri.ee/energia)

*Märksõnad: energiakultuurid, otsekulud, arvestuslikud tulud, hinnad, toetus, veebipõhine kalkulaator*

## **Sissejuhatus**

Eestis on suur hulk põlde söötis ja võsastumas ning neile oleks vaja leida rakendus. Sellised ühel või teisel põhjusel kasutusest välja jäänud maad võiksid hästi sobida energeetiliste kultuuride kasvatamiseks. Energiakultuuridest on võimalik saada biokütuste valmistamiseks toorainet, biomassist saab toota elektri- ja soojusenergiat. Energeetiliste kultuuride kasvatamise mõju väljendub selles, et vähendatakse oluliselt fossiilsete kütuste kasutamisest tulenevat negatiivset efekti keskkonnale ning samas suurendab nende kultuuride kasvatamine kasvuhooonegaaside sidujate hulka.

Energiakultuuride kasvatamine on üheks alternatiiviks maaettevõtluse mitmekesistamiseks. Uute tegevuste kavandamisel vajavad ettevõtjad andmeid, mille alusel võrrelda energiakultuuride kasvatamisega seotud kulutusi ning toodangu müügist ja toetustest saadavaid laekumisi traditsiooniliste kultuuride kasvatamise vastavate näitajatega. Eesti Maaülikooli majandus- ja sotsiaalinstituudi teadurid ja magistrandid koostasid 2007. aastal Põllumajandusministeeriumi poolt tellitud energiakultuuride tootmise

tasuvusuuringu raames algoritmi energiakultuuride kasvatamise otsekulude ja arvestuslike tulude kalkuleerimiseks.

## **Metoodika**

### ***Kulude arvestus***

Energiakultuuride tootmiskulud leitakse kõikide tööoperatsioonide maksumuste alusel. Tööoperatsioonidega seotud materjali kulunormide ning masintööde normide selgitamiseks kasutati abivahendina EMÜ põllumajandus- ja keskkonnainstituudi, Eesti Maaviljeluse Instituudi ja Jõgeva Sordiaretuse Instituudi poolt koostatud agrotehnoloogilisi kaarte. Tootmise otsekulude taseme määramisel tugineti agrotehnoloogilistele kaartidele ja Jäneda Maamajanduse Infokeskuse kalkulatsioonidele. Infot materjalide hindade kohta saadi Eestis seemnete, väetiste ja taimekaitsevahendite müügiga tegelevate ettevõtete kodulehekülgedelt. Masintööde kulude kalkuleerimisel on võimalik kasutada tehnokaartide andmeid masintööde kulude kohta või keskmisi teenustööde hindasid Eestis 2007. aastal.

Kulude arvestamisel ja analüüsil kasutatakse täiskuluarvestuse meetodit, mille puhul jaotatakse tootmisega seotud kulud otse- ja kaudkuludeks. Kalkulaatori abil on võimalik leida ainult tootmise otsekulud ehk siis kulud, mis kantakse otse tooteühikule ning mida saab seostada kulukandjaga. Kaudsed kulud sõltuvad ettevõtte põhivara seisundist, ettevõtte juhtimisest jm teguritest, mis oluliselt erinevad ettevõtetelt. Seetõttu kaudseid kulusid kalkulaatori kulude arvestusse ei lülitata. Materjali- ja masinkulud on arvestatud tööoperatsioonidest lähtuvalt ühe hektari kohta.

Mitmeaastaste energiakultuuride tootmiskulude kalkuleerimiseks ja analüüsimiseks jaotatakse kulud vastavalt tööetappidele: rajamisaasta kulud, hooldusaasta kulud, viljeluse lõpetamise aasta kulud. Üheaastaste energiakultuuride tootmiskulude arvestamisel ja analüüsimisel lähtutakse ühest tootmistsüklist.

### ***Tuluarvestus***

Energiakultuuride kasvatamise arvestusliku tulu kalkuleerimisel lähtutakse energiakultuuride saagikusest, turuhindadest ning kasvatamisele suunatud toetustest. Müügitulu ja pindalapõhised toetused on arvestatud ühe hektari kohta.



Energiakultuuride saagikuse näitajad tulenevad agrotehnoloogilistest kaartidest. Seejuures tuleb märkida, et tehnokaartide saagikuse näitajad erinevad oluliselt (on kõrgemad) keskmiste kultuuride saagikuse näitajatest, mis on kogutud Eesti Statistikaameti poolt.

Müügilaeumiste kalkuleerimise aluseks on Eesti Konjunktuuriinstituudi poolt kogutud hinnainfo 2007. aasta kohta. Eeldada võib, et nii ühe- kui mitmeaastaste kultuuride kasvatamise kulud ja toodangu müügist saadavad sissetulekud järgnevatel aastatel kindlasti muutuvad. Lisaks müügituludele on tulude kalkuleerimisel arvestatud võimalikke pindalapõhiseid toetusi (energia)kultuuride kasvatamisele.

## Ülevaade kalkulaatorist

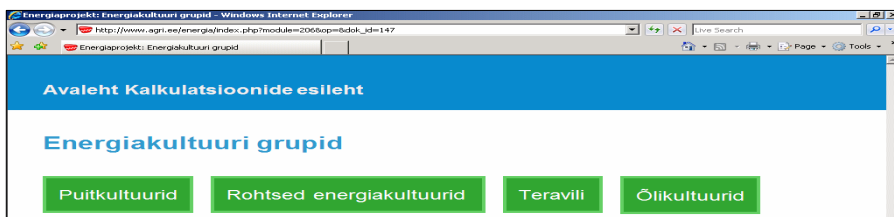
### *Kalkulatsiooni etapid*

Kalkulaatorit on võimalik kasutada mitmete kultuuride kulude ja tulude hindamise abivahendina. Kalkulatsiooni koostamist energiakultuuri kohta võib vaadelda nelja etapina:

**1. etapp:** kasutaja valib energiakultuuri grupi, nt teravili.

Kultuuride grupi kohta kuvatakse tutvustav tekst. Kultuuride eripärast tulenevalt on energiakultuurid jaotatud kalkulaatoris nelja gruppi (vt joonis 1):

- a) puitkultuurid, sh energiapaju, lepp, kask, hübriidhaab, pappel;
- b) rohtsed energiakultuurid, sh galeega, lutsem, päideroog;
- c) teravili, sh rukis, kaer, tritikale;
- d) õlikultuurid, sh suviraps, -rüps, taliraps, -rüps, kanep.



Joonis 1. Energiakultuuri grupi valimise programmiaken

**2. etapp:** kasutaja valib konkreetse energiakultuuri, nt rukis.

Kultuuri kohta kuvatakse tutvustus, kasvatamiseks vajalik agrotehnika ja tööoperatsioonide ajastus.

**3. etapp:** kalkulatsiooni teostamine.

Kasutaja muudab vajadusel administraatori poolt etteantud vaikeväärtusi kalkulatsiooni vastava mooduli töölehel ning võib need väärtused, mis pole kohustuslikud, nullida. Selle tulemusena kuvatakse näidiskalkulatsiooni leht, mis on koostatud kas fikseeritud näitajate põhjal või kasutaja poolt muudetud andmete alusel.

**4. etapp:** kasutaja saab kalkulatsiooni ja töölehed välja trükkida.

Väljatrükileht sisaldab energiakultuuri kasvatamise koondtabelit teostatud kalkulatsioonist ja töölehti kulude (eraldi materjali- ja masintöödekulud), müügitulu ja toetuste kalkuleerimise kohta.

### **Kalkulatsiooni moodulid**

Kalkulaator koosneb neljast moodulist. Tootmise otsekulude arvestamiseks tuleb täita materjalikulude ning masintööde kulude moodulite töölehed. Tulude arvestamiseks täidetakse müügitulu ja toetuse moodulite töölehed.

### **Materjalikulude leidmine**

Materjalikulude töölehel esitatakse tööoperatsiooni nimetus (nt külvamine), selle tööoperatsiooni toimumisaeg, kasutatud materjali nimetus, materjali kulunorm ja ühiku hind (vt joonis 2).

Materjalikulude rippmenüüs on kasutajal võimalik valida kahe variandi vahel:

- fikseeritud materjali maksumus (kr/ha) – tööoperatsiooni teostamiseks vajalik materjali nimetus, kulunorm, soovituslik kasutusaeg ja ühiku müügihind on juba sisestatud agrotehnoloogiliste kaartide alusel;
- arvutatud materjali maksumus - kasutaja poolt sisestatud tööoperatsiooni teostamiseks vajamineva materjali kulunormi (kg,l/ha) ja ühiku hinna (kr/kg,l) alusel arvutatud materjali maksumus (kr/ha).

Joonisel 2 on rukki kasvatamisega seotud materjalikulude kalkuleerimise töölehel valitud tööoperatsiooniks külvamine, mis teostatakse varasügisel. Külviks kasutatud seemnesordi Vambo kulunormiks hektari kohta on 180 kg, ühikuhinnaks 4,50 kr/kg. Külvamise materjalikuluks kujuneb 810 krooni hektari kohta.

#### Kalkulatsioon: Materjalikulu

Materjalikulu						
Tööoperatsioon	Materjali nimetus	Materjali kulunorm	Ühik	Kasutusaaeg	Ühiku hind kr/kg, kr/l, kr/tall, kr/t	Maksumus kr/ha
Külvamine (fikseeritud)	Seeme, sort Vambo, sort Sangaste	180.00	kg/ha	25. august-5. september	4.50	810

Joonis 2. Väljavõtte materjalikulu töölehest

### Masintööde kulude leidmine

Masintööde kulude kalkulatsiooni lehel esitatakse tööoperatsiooni ja masinagregaadi nimetus, masina tootlikkus (ha/h), töötunni maksumus ning masinkulud.

Masinkulude kalkulatsioonis on kasutajal võimalik rippmenüüs valida nelja variandi vahel:

- fikseeritud masinkulud (kr/ha) - tööoperatsiooni teostamiseks vajaliku masinagregaadi tootlikkus (ha/h) ja tunnihind (kr/h) pärinevad agrotehnooloogilistelt kaartidelt;
- masinkulud teenustööna (kr/ha) - 2007. aasta kaalutud keskmised teenustööde hinnad pärinevad Eesti Maaviljeluse Instituudi teadurite poolt kogutud andmetest;
- masinkulud oma tööna (kr/ha) - tootja poolt sisestatud masinagregaadi tootlikkuse (ha/h) ja töötunni hinna (kr/h) alusel arvatud tööoperatsiooni maksumus (kr/ha);
- tööoperatsiooni mittetegemisel valitakse neljas variant („ei teostata“).

Joonisel 3 on valitud tööoperatsiooniks külvamine. Fikseeritud masinagregaadiks on 100 kW traktor koos 4-meetrise kombikülvikuga, tootlikkusega 1,5 hektarit tunnis. Töötunni maksumuseks on arvestatud 500 kr. Seega kujuneb külvamise masintöö kuluks 333 kr/ha. Analoogiliselt leitakse kõikide tööoperatsioonide (nt kündmise, kultiveerimise, kombainkoristuse jt ) maksumused.

## Kalkulatsioon: Masinkulu

Masinkulu					
Toooperatsioon	Masinagregaat	Tootlikkus ha/h	Tootunni maksumus kr/h	Masinkulu kr/ha	
Küündmine (fikseeritud)	180kW traktor+5-hõlmaline poordader	1.00	550	550	
Kultiveerimine (fikseeritud)	180kW traktor+8-meetrine lausharimisultraator	2.50	450	180	
Külvamine (fikseeritud)	100kW traktor+4-meetrine kombikülvik	1.50	500	333	
Kõlvamine (fikseeritud)	100kW traktor+4-meetrine kombikülvik	1.50	500	333	

Joonis 3. Masintööde maksumuse leidmine

Mitmeaastaste rohtsete energiakultuuride tootmisega seonduvate otsekulude arvestamiseks tuleb täita materjalikulude ja masintööde kulude kalkulatsioon eraldi nii rajamisaasta, saagiaasta kui ka viljeluse lõpetamise aasta kohta (joonis 4). Kogu tootmistükli kulude arvestamisel summeeritakse rajamisaasta, saagiaastate ja viljeluse lõpetamise aasta kulud.

Joonisel 4 esitatud energiaheinana kasvatatava päideroo kulude kalkuleerimisel 2007. aasta hinnatasemetel juures kujunesid rajamisaasta kulud 6850 kr/ha, saagiaasta kulud 2431 kr/ha ja viljeluse lõpetamise aasta kulud 2880 kr/ha.

## Kalkulatsioon: Päideroog energiaheinaks

trüki

Rajamisaasta materjalikulu	4352 kr/ha
Rajamisaasta masinkulu	2498 kr/ha
<b>Rajamisaasta kulud kokku</b>	<b>6850 kr/ha</b>
Ühe saagiaasta materjalikulu (aastatel 2-14)	1146 kr/ha
Ühe saagiaasta masinkulu (aastatel 2-14)	1285 kr/ha
<b>Saagiaasta kulud kokku</b>	<b>2431 kr/ha</b>
Viljeluse lõpetamise aasta materjalikulu (15. aastal)	1055 kr/ha
Viljeluse lõpetamise aasta masinkulu (15. aastal)	1825 kr/ha
<b>Viljeluse lõpetamise aasta kulud kokku</b>	<b>2880 kr/ha</b>
Müügitulu ühe aasta kohta (aastatel 3-15)	2925 kr/ha
Toetused ühe aasta kohta	0 kr/ha
<b>Arvestusliikud tulud kokku</b>	<b>2925 kr/ha</b>

Joonis 4. Mitmeaastase energiakultuuri kulude kalkulatsioonileht

## Müügitulu leidmine

Müügitulu kalkulatsioon koosneb toodangu nimetusest, hektarisaaigist, saagikadude osakaalust ning toodangu hinnast.

Müügitulu kalkulatsioonis on võimalik valida kahe variandi vahel:

1. Fikseeritud müügitulu (kr/ha), st fikseeritud saagikus (t/ha), saagikadu (%) ja müügihind (kr/t).
2. Kasutaja andmetel põhinev müügitulu (kr/ha) - kasutaja poolt sisestatud saagikus, saagikadu ja ühiku müügihind.

Joonisel 5 esitatud rukki müügitulu kalkulatsioonis arvestatakse nii terade (hektarisaak 5 t/ha) kui ka põhu (hektarisaak 2 t/ha) müügiiga. Arvestades vilja müügihinnaks 3002 kr/t ning põhu müügihinnaks 650kr/t, kujuneb rukki müügituluks 16 180 kr/ha.

#### Kalkulatsioon: Müügitulu

Müügitulu				
Toodang	Saagikus t/ha	Saagikadu %	Hind kr/t	Tulu kr/ha
Terad (fikseeritud)	5.00		3002.00	15010
Põhk (sisestatav)	2.00	10	650.00	1170
<b>Kokku:</b>				16180

Joonis 5. Rukki müügitulu kalkuleerimise tööleht

### Pindalapõhiste toetuste arvestamine

Energiakultuuride kasvatamisel on tootjal võimalik taotleda põllumassiivide registris olevale maale järgmisi toetusi:

- 1) energiakultuuri kasvatamise toetus;
- 2) ühtne pindalatoetus;
- 3) põllukultuuri kasvatamise täiendav otsetoetus;
- 4) ebasoodsate piirkondade toetus;
- 5) mahetootmise toetus või põllumajanduslik keskkonnatoetus.

Neid pindalapõhiseid toetusi on võimalik taotleda, kuid mahetootmise ja põllumajandusliku keskkonnatoetuse taotlemise puhul tuleb järgida rangeid põllumajandus- ja keskkonnatingimusi. Energiakultuuride kasvatamine mahepõllumajanduslikult ei ole majanduslikult põhjendatud, sest madala saagikuse tõttu jäävad ka tulud madalaks. Seega võime energiakultuuride kasvatamisel arvestada eelkõige kolme esimese pindalapõhise toetusega.

Toetuste kalkulatsioon on võimalik valida:

1. Fikseeritud toetus (kr/ha) - 2007. aasta toetuste määrad (kr/ha).
2. Sisestatav toetuse määr (kr/ha) - tootja sisestab toetuse (kr/ha).

Joonisel 6 esitatud toetuste kalkulatsiooni töölehel on toetuste taseme leidmiseks arvestatud nelja pindalapõhist toetust 2007. aasta toetuste määrade juures.

#### Kalkulatsioon: Toetused

Toetused	
Toetus	kr/ha
Ühtne pindalatoetus (Toetuse määr 2007. aastal (kr/ha))	759
Põllukultuuri kasvatamise täiendav otsetoetus (Toetuse määr 2007. aastal (kr/ha))	588
Energiakultuuri kasvatamise toetus (Toetuse määr 2007. aastal (kr/ha))	493
Ebasoodsate piirkondade toetus (sisestatav)	0
Mahetootmine või põllumajanduslik keskkonnatoetus (sisestatav)	0
Põllumajanduskultuuri täiendav otsetoetus (Toetuse määr 2007. aastal (kr/ha))	292
Keskkonnasäästlik tootmine (sisestatav)	0
Muud toetused (sisestatav)	0
Kokku:	2132

salvesta tagasi

Joonis 6. Väljavõte toetuste töölehest

### Kokkuvõte

Energiakultuuride kalkulaator on esimeseks katseks varustada ettevõtjat informatsiooniga kasvatamise arvestuslike kulude ja tulude kohta. Eelkõige põllumehetele suunatud kalkulaator annab selle kasutajale ülevaate vajalikest tööoperatsioonidest erinevate energiakultuuride kasvatamisel. Sobiva kultuuri valimiseks on võimalik teostada võrdlusarvutusi erinevate kultuuride erinevate tööoperatsioonide maksumuste kohta. Lisaks võrdlusandmetele kasvatamisega seotud kulude ja tulude kohta on kalkulaator ka infoallikaks toodangu müügihindade ja pindalapõhiste toetuste määrade osas.

Energiakultuuride kasvatamisest parema ülevaate andmiseks tuleks veebirakenduse haldajatel, kelleks on 2008. aastal olnud Põllumajandusministeerium, kalkulaatorit pidevalt uuendada ja täiendada. Igal aastal tuleks uuendada fikseeritud andmeid sisendite maksumuse ja hindade kohta. Kalkulaatori arendamisel tuleks täiendustena lisada kõikide kultuuride energeetilised väärtused, kõrge energeetilise väärtusega põllukultuuride (maapirn, suhkrupeet) näidisarvutused ning transpordikulude arvutuse algoritmid.

**THE CALCULATION MODEL FOR EVALUATING THE DIRECT  
PRODUCTION COSTS AND THE REVENUES OF THE ENERGY CROPS  
CULTIVATION**

Liis Oper, Ülle Roosmaa

*Kreutzwaldi 1, 51014, Tartu, Estonia*

*Estonian University of Life Sciences, Institute of Economics and Social Sciences*

The paper gives an overview about the calculation model of the cultivation of energy crops. This computerized model is composed of four main modules: the costs for growing the crop and the revenue from sales and subsidies. The production costs are calculated for each needed job. Each operation is characterized by its requirements for materials and machinery. The estimated costs and the estimated revenues from sales and subsidies are reported by hectare.

## SETOMAA TAASTUVENERGIA KOGEMUSED JA PLAANID

Martin Kikas

*MTÜ Piiriäärne Energiaarendus, Meremäe, Meremäe vald*

*e-post: martin@pea.ee*

### **Annotatsioon**

„Energieetiliselt sõltumatu Setomaa!“ oli 16.novembril 2007. a Missos toimunud Setomaa energeetikakonverentsi juhtmõtteks. Seda üritust võib pidada ka aktiivse energiamajanduse alguseks Setomaal. Konverentsi eesmärgiks oli taastuvenergia valdkonna võimaluste tutvustamine, et kasutada taastuvatel allikel põhinevat energiamajandust ühe olulise tegurina piirkonna arengu tagamisel.

Energieetiliselt sõltumatu piirkond ei ole mitte eesmärk omaette, vaid sisaldab mitut sotsiaalmajanduslikku ja elukeskkonnaga seotud aspekti. Esiteks jätkusuutliku ja säästva arengu põhimõtteid järgiva elustiili kujundamine. Setomaa on oma kultuuripärandiga ja traditsioonilise eluviisiga keskkonda väärtustav kogukond, seega sobib selline lähenemine piirkonna arendamiseks.

Teiseks olemasoleva ressursi otstarbekas kasutamine. „Enne mõtle, siis põleta“ ehk ressursi väärindamine just kohapeal on arengut soodustav ja piirkonnale lisandväärtust andev suund. Põletamisele peab eelistama kohalikust ressursist uute toodete või (ehitus)materjalide tootmist, kui see on majanduslikult kasulikum. Alles seejärel saab selle, mis üle jääb, ära kasutada energiatootmisel.

Kolmandaks, kasutades kohalikust toormest saadud energiat, jätame me selle raha, mis praegu läheb energia eest maksmiseks piirkonnast välja, oma talunikele ja metsaomanikele. Setomaal nagu ka Kagu-Eestis tervikuna põhineb oma toorainel (peamiselt puidul) vaid osa soojusenergia tootmisest. Mootorikütuse ja elektrienergia kasutamine, samuti gaasi kasutamine soojatootmisel viib taas raha piirkonnast välja.

Neljandaks annab kohaliku toorme kasutamine tööd ja teenistust piirkonnas. Konverentsil esinenud David Keddie märkis oma ettekandes, et Ühendatud



Kuningriigis tehtud uuringute tulemusena annab biomassist ühe megavati (MW) energia tootmine 4-5 töökohta (kui vaadelda kogu ahelat).

Viiendaks annab kohalikul toorainel põhinev odavam energiatootmine piirkonna ettevõtetele konkurentsieelise, soodustades ettevõtluse arengut ja uute ettevõtete tulemist regiooni, nagu tõestab ka paljudele tuntud Austria Güssingi piirkonna näide.

## Taust

Setomaa koosneb neljast Kagu-Eesti vallast. Mikitamäe ja Värska vallad asuvad Põlvamaal ja Misso ning Meremäe vallad Võrumaal. Kaardil moodustab Setomaa pikaksvenitatud piirkonna piki Eesti-Vene kontrolljoont.

Tabel 1: Setomaa asustustiheduse muutumine 2006. ja 2007. a.

	2006			2007		
	Elanike arv (el)	Pindala (km <sup>2</sup> )	Rahvastiku tihedus (el/ km <sup>2</sup> )	Elanike arv (el)	Pindala (km <sup>2</sup> )	Rahvastiku tihedus (el/ km <sup>2</sup> )
Mikitamäe vald	1048	104,41	10	1037	104,41	9,9
Värska vald	1399	187,82	7,5	1385	187,82	7,4
Meremäe vald	1195	131,97	9,1	1190	131,97	9
Misso vald	811	189,35	4,3	806	189,35	4,3
<b>KOKKU</b>	<b>4453</b>	<b>836,33</b>	<b>7,7</b>	<b>4418</b>	<b>836,33</b>	<b>7,65</b>

Nagu tabelist 1 näha, on asustustihedus madal (Võrumaa keskmine ca 10 el / km<sup>2</sup>). Setomaal ei ole ühtegi linna, on kaks alevit: Värska ja Misso. Setomaal on kokku 77 kortermaja ja 2878 individuaalmajapidamist.

Probleemid on ääremaale omased: elanikkonna vähenemine, noorte väljaränne, madalad sissetulekud, tööpuudus ja tööjõupuudus. Majanduses domineerib primaarsektor, peamiselt põllumajandus. Samas on selle sektori lisandväärtus kõige väiksem. Põldude viljakus on madalam Kesk-Eesti põldudest ning talupidajad otsivad traditsioonilisele põllumajandusele alternatiive ja uusi

maakasutusvõimalusi. Eeltoodu ning vabade maade olemasolu annavad võimaluse energiakultuuride viljelemiseks. Metsaga on kaetud 54% Setomaast, 32 % on põllumajanduslik maa.

Energiamajanduses toodetakse vaid soojaenergiat. Kogu tootmine on lokaalne, sest kaugküttevõrku ei ole üheski alevis ega külas. Värskas tegutseb ettevõtte, mis toodab lokaalsete kateldega sooja mitmele ettevõttele. Elektrienergiat ja mootorikütust Setomaal ei toodeta. Hakkepuuid tootjaid Setomaal ei ole, piirkonnas tegutseb Orava valla (suur)ettevõtja, kes kasutab hakke valmistamiseks ka kohalike puiduettevõtete jääke ja metsa.

Energiatarbimises domineerib puit ja maagaas. Maagaas (sh soojatootmisel) on kasutusel Värska ja Misso alevites. Elektrienergiaga varustab Setomaad Eesti Energia.

### **Kogemus ja plaanid**

Taastuenergia kasutamist ning selle edendamist oleme alustanud ressursside uuringutest ning olemasoleva olukorra selgitamisest.

Soovides edendada kohalikul ressursil põhineva taastuenergia kasutuselevõttu ja energiasäästu Setomaal, on ellu kutsunud MTÜ Piiriäärne Energiaarendus (PEA). Mittetulundusliku organisatsiooni liikmed aitavad oma tegevusega kaasa taastuenergia juurutamisele ja arendamisele ning säästva arengu tagamisele Kagu-Eesti kohalikes omavalitsusüksustes ja regiooni ettevõtetes, mis on üheks eelduseks regiooni energeetiliseks isemajandamiseks, keskkonnasaaste vähendamiseks, infrastruktuuri arendamiseks, uute töökohtade loomiseks ning elukvaliteedi tõstmiseks. Ühingus töötab üks täiskohaga spetsialist, kes tegeleb vastava valdkonna koordineerimisega ja nõustamise ning teavitustööga.

Oluline on kogukonna teavitamine energiasäästu võimalustest. 2008. aastal oleme korraldanud kolm seminari, mis on suunatud kortermajade energiatõhususe tõstmiseks ning vastavate võimaluste selgitamiseks. Antud teabe järele on kogukonnas nõudlus olemas. Energiasääst ja taastuvate energiaallikate kasutamine on sisse kirjutatud ka Piirivere Liider-nimelisse strateegiasse. Läbi programmi

LEADER avaneb elanikkonnal võimalus taotleda raha erinevate analüüside ja kavade koostamiseks.

2005. aastal Põlva Maavalitsuse poolt tellitud uuring Põlvamaa energiaressursside kohta annab muuhulgas ülevaate ka Setomaa kahe valla, Mikitamäe ja Värskas, ressurssidest. Sellest innustust saades alustasime 2008. a kevadel koos TTÜ Soojustehnika Instituudiga Setomaa valdade (kahe Võrumaa valla) energiaressursside uuringut ning kaheksa Setomaa objekti tasuvusanalüüside tegemist. Uuring lõppeb detsembris 2008. Selle käigus kaardistatakse Setomaa ressursid ja tehakse neljale avalikus kasutuses olevale objektile ettepanekud koos tasuvusanalüüsiga küttesüsteemi üleviimiseks taastuvale kütusele. Sama uuringuga arvutatakse majanduslik otstarbekus ja tasuvus neljale uuele kohalikul toormel baseeruvale energiatootmisüksusele.

**1. Biogaasil koostootmisjaam põllumajandusjäätmetel (seafarmi läga ja silo).**

Asukoht: Meremäe, Meremäe vald.

Omanik: OÜ KIMEKO.

Kompleksis on üks sigalahoone kasutusel, köögi- ja olmekorpus, kaalukoda, silohoidlad, küünid.

Energia tarbimine: sigala on kütteta, köögis on puuküte, elektrit 148 150 kW-h (2007. a).

Probleem/soov: kasutada olemasolev läga ära kas mootorikütuse või elektri ja sooja koostootmiseks.

Eesmärk: majandusliku kasu saamine.

Plaani plussid (+): aastaringsest kokku 12 000 sea sõnnik, omanikul olemas rohumaad u 100 ha (võimalus enamgi), olemas silohoidlad, omanik on agronoomiaharidusega, valmisolek investeerimiseks, eralduv soojus kasutatakse planeeritavatesse kasvuhoonetes, väikemaomanikel võimalus realiseerida heina.

Plaani miinused (-): kõrge investeeringu oletatav maksumus, jääksoojuse kasutamine. Lahendusena võib kaaluda lisainvestorite kaasamist.

**2. Biogaasil koostootmisjaam põllumajandusjäätmetel (piimakarja sõnnik ja meierei vadak) (NOPRI OÜ).**

Asukoht: Hürsi, Misso vald.

Omanik: NOPRI TALUMEIEREI OÜ.

Kompleksis laut, lägahoidla, küün, meierei, olmehoone.

Energia tarbimine: laut kütteta, meierei, elektrit 206 618 kW·h ( 2007. a ).

Probleem/soov: kasutada olemasolev läga ära kas mootorikütuse või elektri- ja sooja koostootmiseks.

Eesmärk: majandusliku kasu saamine.

Lahendus:

(+) 240 looma (piimakari), vadakut 5 t päevas, naabruses seakasvataja (u 100 siga), omanikul soov investeerida, ümberkaudsete heinamaade omanikel võimalus kasu saada.

( - ) Soojus ei leia kasutamist, investeeringu suurus, (heina)maid napib.

Lahendusena on võimalik biogaasi kasutada mootorikütusena.

### 3. Päikesepaneelide kasutamine suvise sooja vee tootmiseks (VASTSELIINA).

Asukoht: Vastseliina , Vastseliina vald.

Omanik: Vastseliina vald.

Kaugküttevõrk, kus viis kortermaja (96 korterit ja lasteaed), internaatkool, rahvamaja, Konsumi kpl. Trassi pikkus kokku u 2 km.

Kaugküttevõrgu toitek: 1MW hakkepuidu katel, lisaks 0,5 MW õlikatel.

Energia tarbimine: sooja u 2300 MW·h ( 2007. a ).

Probleem/soov: suvel sooja vee valmistamine kallis ja problemaatiline.

Lahendus: paigaldada päikesepaneelid sooja vee tootmiseks suvel ja akumulatsioonipaagid majadesse ning suurendada tarbijaskonda gümnaasiumi lisamisega süsteemi, hetkel gümnaasiumil lokaalne 0,5 MW hakkepuidu katel.

( + ) Katusepinda on palju, majanduslik efekt, gümnaasiumi lisamisel võrku tekib juurde tarbija.

( - ) Investeeringute suurus, u 800 m trassi ehitus ühendamiseks.

### 4. Hüdroelektrijaam Obinita paisjärvele.

Asukoht: Obinita, Meremäe vald.

Omanik: Meremäe vald (pool), eraomand (pool).

Kompleksis on Obinita paisjärvele ehitatud paisust läbivool, püstkaev u 8 m ja kaks toru u Ø1m .

Energia tarbimine: ei ole, mahtu ei oska öelda.

Probleem/soov: kasutada olemasolev rajatis ära elektri tootmiseks.

Lahendus: rajada torudesse 1-2 turbiini.

(+ ) Rajatis olemas, suurem osa aastast vesi olemas, omanik on huvitatud.

(- ) Investeeringu kallidus ja majanduslik tasuvus.

Alustasime koostöös Tartu Teaduspargiga Setomaa energiamajanduse strateegia väljatöötamist, mis valmib märtsis 2009. a. Strateegia on aluseks edasisel taastuenergia edendamisel ja kasutuselevõtul Setomaal. Strateegia eesmärgiks on kujundada Setomaast pilootpiirkond kohalikul taastuval ressursil põhineva energia kasutamiseks.

Strateegia keskendub kolmele suunale:

1. Taastuvallikate suurem kasutuselevõtt energiatootmisel. Eesmärgiks on toota ekvivalendis samapalju energiat kui tarbime.
2. Energiatõhususe suurendamine läbi erinevate meetmete ja teavituse. Oluline saab olema teabe levitamine kogukonnas.
3. Aidata kaasa väiketehnoloogiate väljatöötamisele ja arendamisele

Strateegias käsitleme energiamajandust ahelapõhiselt, st vaatluse all on kogu ahel: ressursi omanik, töötleja, tarbija. Töötatakse välja Setomaale majanduslikult sobivaimad agroenergeetilised ahelad.

Setomaale sobivad väikelahendused, mida tänapäeval pakutakse turul vähem. Samuti on väikelahendused hetkel majanduslikult vähem kasulikud ning teadusasetused ei tegele nende arendamisega. Soovime olla partneriteks ja piirkonnaks, kus saab paigaldada ja monitoorida erinevaid lahendusi energiatootmisel või tarbimisel, mida edaspidi saab kasutada ka teistes piirkondades.

Strateegia elluviijaks kujuneb MTÜ Piiriäärne Energiaarendus. MTÜ PEA muutub kompetentsikeskuseks. Oluline roll pilootpiirkonnaks kujunemisel on koostöö erinevate teadus- ja arendusasetustega. Setomaa on avatud koostööks ühise huvi elluviimisel.

## **Kokkuvõtteks**

Meil on kasutamiseks kohalikku ressursi, maad ja metsa, oluline on, et seda kasutatakse otstarbekalt. Teiseks tuleb olla kiire, innovaatiline ning paindlik. Meie hajaasustuse ja väikeste keskuste tingimustes on mõistlik vastavalt piirkonna võimalustele kasutada lokaalseid lahendusi ja kombineeritud energiatootmisviise. Kolmandaks, planeerimine ja koostöö. Tähtis on kõigi osapoolte - avalik sektor, ettevõtjad, tarbijad - koostöö kogukonnas, kaasates teadlasi erinevatest ülikoolidest ja tegutsedes ühiste eemärkide nimel. See eeldab kindlaid kokkuleppeid ja tegevuskava. Neljandaks, energiasääst. Mitte alati ei pea palju tootma, vaid tuleb mõistlikult tarbida.

Kohalikul toorainel põhinev energiatootmine on praegu selgelt alakasutatud võimalus. Ükskõik, mis aspektist me ei ka ei lähtu, mängivad taastuvenergia allikad lähikümneajate jooksul energiavarustuses tähtsat rolli. Küsimus on vaid selles, kas oleme pealtvaatajad, sabas sõrkijad või aktiivsed rakendajad?

## **Kasutatud kirjandus**

Keddie, D. 2007. „Renewable opportunities for small and micro businesses in remote communities”, ettekanne Setomaa energiafoorumil. Misso, 16.nov  
Kikas, M 2008. Uurimistöõ „Piiriäärsete valdade energeetiline analüüs“  
Kask, Ü jt. 2008. „Setomaa valdade energiaressursside uuring“

## **EXPERIENCES AND DEVELOPMENTS OF RENEWABLE ENERGY IN SETOMAA**

Martin Kikas

*NGO Borderland energy development agency*

Energy independent Setomaa- it was slogan for a first energy forum in Setomaa in November 2007. This slogan became a main objective of development in Setomaa using of renewable energy based on local resources.

Its not goal by itself - its direction of movement, direction of developments consist of couple of socio-economical and life environmental aspects.

First, form an opinion of inhabitant's attitude by principles of sustainable development and environment friendly lifestyle. Secondly, using of local resources on sensible and effective way. Think about other options to use local resource and if it not reasonable then burn. Thirdly, using of local resource can keep money in region and will raise local welfare. Fourthly helps processing of local biomass create workplaces and keeps labour in area. Fifthly gives locally produced energy advantages to local companies to compete in market. Its create possibilities to moving new companies to our region.

In Setomaa started developments to rise using local renewable resources in energy by working out strategic development plan of energy management. Strategic development plan will base to ongoing research of local resources (by Technical University of Tallinn) couple studies and cost accountings of different biomass energy plants.

Setomaa have enough biomass resources to produce green energy. Important is cooperation of all key actors – local developers, universities community- to get main objective. We must to be flexible, smart and innovative. We don't forget energy saving – sometimes it's easier to save energy then produce too much.

# **SOLAR COOKERS FOR DEVELOPING COUNTRIES – A COMPETITIVE FORM OF ALTERNATIVE ENERGY SUPPLY?**

Pia Otte

*Raatusse 22-470, 51009 Tartu Estonia*

*Mphil student with a specialisation in geography at the department of geography at the university  
of science and technology (NTNU) in Trondheim, Norway*

## **Abstract:**

In many Sub-Saharan African countries fuel is the traditional source of energy which has led to environmental degradation in many places. The high consumption of fuelwood is compounded by a high population growth which leads to an even higher demand for firewood. Due to an increasing population, firewood for cooking becomes rare and difficult to secure energy for cooking. In this way solar cookers seem to represent one possible alternative since they can prepare food without consuming fuels and polluting the environment. Solar cooking is not a new idea. First pioneers of solar cooking can already be found in the 18th century. There are two main types of solar cookers which are used for household applications in developing countries, the solar box cooker and the parabolic concentrating solar cooker. Unfortunately most of the recent solar cooker projects could not be implemented successfully as they did not meet special conditions.

As a result solar cookers can only be successfully implemented if project planners take into account the geographical factors since solar cooking is only possible at places with enough sunshine and the right climate. In addition cooperation between financiers, NGOs, engineers and the intended users is indispensable.

*Keywords: Solar cookers, Development, Sub-Saharan Africa, Renewable Energy, Millennium Development Goals*

## **Introduction**

The following article discusses the application of solar cookers as one alternative form of energy supply in developing countries with focus on the Sub-Saharan Africa. The paper aims to investigate the potential of solar cookers for development in developing countries but also the limitations, solar cookers are still



facing today. In addition, possible solutions for the emerging problems of the solar cookers are discussed.

The article is based on the author's coming master thesis which is about the implementation and perception of solar cookers in Tanzania, a comparative study of different NGOs. The paper is primary based on the use of secondary data but also includes some extracts of qualitative conducted interviews of the author's fieldwork in Tanzania 2008. In the following the article will start with giving an introduction of the energy situation in the Sub-Saharan Africa. Section 2 includes a short history about solar cooking, while section 3 describes the different types of solar cookers. Section 4 and 5 go on with discussing the pro and contras of solar cookers and their efficiency for development. Finally section 7 presents a conclusion of the previous discussions.

### 1. Cooking energy situation in Sub- Saharan Africa

In many Sub-Saharan African countries fuel is the traditional source of energy supply. Figure 1 shows that in most of the sub- Saharan African countries 3 only a few people have access to electricity while they consume a high amount of fuelwood. According to Kimambo (2007) up to 90 percent of the total energy use is from firewood in many Sub- Saharan countries.

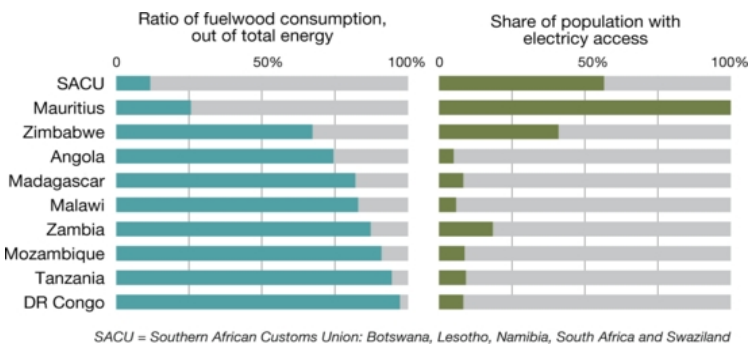


Figure 1: Electrification and traditional fuels in Sub-Saharan Africa (Grid- Arendal 2008)

Joonis 1: Elektrienergia kasutus ja traditsioonilised kütused Aafrika Kesk-Sahara regioonis (Grid-Arendal 2008)

<sup>3</sup> apart from Mauritius and the countries which are part of the SACU (Southern African Customs Union)

In addition in many developing countries cooking is traditionally carried out over three-stone fires which can only make use of about 10 to 15 percent of the produced energy (GTZ, 2007). In some places the consumption of firewood has led to environmental degradation. The population in Sub-Saharan Africa heavily relies on wood as a primary energy source. This is compounded by a high population growth which leads to an even higher demand for firewood. Due to an increasing population firewood for cooking becomes rare and therefore difficult to secure energy for cooking. Traditionally, women are responsible for cooking in many Sub-Saharan African countries, when the firewood gets rare, women have either to spend long walking hours in search of fuelwood or they have to spend high amounts of money at the market for buying firewood or charcoal. In addition cooking with firewood or charcoal is the number one health hazard in causing respiratory diseases (Liundi, 2007).

Due to this alarming situation it is important to find alternative forms of energy supply in developing countries. In this way solar cookers seem to represent one possible alternative since they can prepare food without consuming fuels, polluting the environment and people save money which they normally spend for buying fuelwood. There is a wide range of solar cooker projects found at different places in Sub Saharan Africa but the question is if these projects are a successful solution for solving the problems of poverty, environmental degradation and pollution.

## **2. The history of solar cooking**

The idea of solar cooking is not new and its application can be found worldwide. According to Kimambo (2007) the first reported solar cooker user was a Swiss called de Nicholus Saussure (1740- 1799) who built a black insulated box cooker with several glass covers. Saussure reported that he was able to cook successfully fruits even without using reflectors. On the African continent, the first reported solar cooker was used at the Cape of Good Hope in 1837 by an Englishman John Fredrick Herchel.

But not only in Europe and Africa solar cookers had been developed, also in Asia first types of solar cookers were developed. In Bombay in 1878, an Englishman, William Adams carried out experiments on solar cookers. Adams method was to

use glass planar mirrors arranged in a shape of an inverted eight-sided pyramid that focused light through a cylindrical bell jar into the food container. In America, Samuel Langel used first a box type cooker at Mount Whitney in California in 1884.

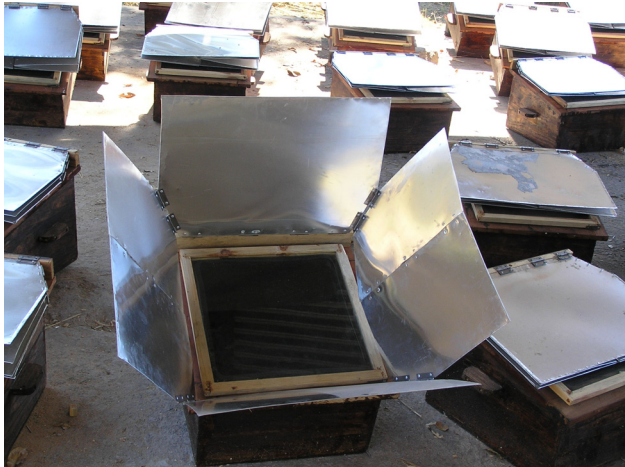
In the 20th century the idea of solar cooking was continuously applied and improved to make them more acceptable for the intended users. The maybe most comprehensive study of solar cooking was conducted by GTZ and the Department of Minerals and Energy (DME) in South Africa in 1999 involved field testing of solar cookers and dissemination of the cookers (GTZ, 1999). Today there are further on many institutions and organisations involved in attempts to improve the efficiency and the social acceptance of solar cookers.

### **3. Types of solar cookers**

Worldwide there has been designed a wide variety of solar cookers. According to Kimambo (2007) this variety of solar cookers can be divided into four main categories which comprise solar box cookers or also know as sun ovens, panel cookers, collector cookers and concentrating or reflector cookers also known as parabolic cookers because of their parabolic shape. In the following the article will only focus on the box and the parabolic solar cooker since these types of cookers are most used for household applications in developing countries.

#### ***Solar box cookers***

The solar box cooker normally consists of an insulated container with a single or multiple top cover of either glass or transparent material (Kristjansdottir, 2004) Short wave solar radiation is trapped inside the cooker and converted to heat (Konttinen, 1994; Kristjansdottir 2004, p.4). On the bottom of the solar cooker is an absorber plate located. Heat is transferred into the vessel from the bottom, tops and the sides. Currently there exist many different designs of solar box cookers. The picture below shows the typical design of a solar box cooker (see picture 1). The solar box cooker is the most commonly used solar cooker in developing countries because of its easiness to construct and use (Kimambo, 2007).



Picture 1: Typical box cooker in Masasi (by Pia Otte, 2008)

Foto 1: Tüüpiline karbikujuuline küpseti Masai's (autori foto)

#### ***Parabolic concentrating solar cookers***

Parabolic concentrating solar cookers are able to utilize a high portion of the solar energy (Kristjansdottir, 2004). The parabolic cooker concentrates direct solar radiation into a point of focus. The cooking pot has to be placed in the focal point. Due to the use of mirrors and/or lenses the cooker can reach high temperatures than the box cooker and has shorter heat up times. The material which is usually used for the parabolic is aluminium or steel. The parabolic cooker can differ in its sizes. Larger types of cooker can cook for about 20 people (PDC 2002: Kristjansdottir 2004, p. 17). The picture 2 shows one typical type of parabolic concentrating solar cooker model SK 14.

#### **4. Solar cooking for development**

Solar cooking is best appropriate in dry and sunny areas. The success of a solar cooker is dependent on the access of sunshine and the right climate. It is most applicable in countries which are generally dry and sunny for at least six months of the year. This means geographically latitudes between the equator and 40 degree are usually the best. It is fact that most of the developing countries are located in this area which makes an application of solar cookers in developing countries appropriate (Solar Cookers International, 2008).



Picture 2: Typical parabolic concentrating solar cooker in Zanzibar (by Pia Otte, 2008)

Foto 2: Tüüpiline paraboolikujuline päikeseküttel ahi Zanzibaris (autori foto)

Solar Cookers International (2008) compiled a list of twenty countries in the world with the highest potential for solar cooking (see figure 2). The criteria for this ranking include the annual average of sunlight, cooking fuel scarcity and population size.

1. India	7. Sudan	13. Brazil	19. Malawi
2. China	8. Afghanistan	14. Kenya	20. Zimbabwe
3. Pakistan	9. Tanzania	15. Nepal	
4. Ethiopia	10. South Africa	16. Mozambique	
5. Nigeria	11. Niger	17. Burkina Faso	
6. Uganda	12. Somalia	18. Madagascar	

Figure 2 adjusted to the list of the countries with the highest potential of solar cooking according to Solar Cookers International, 2008

Joonis 2 Loetelu riikidest järjestatud päikeseküttel ahjude potentsiaali järgi (Solar Cookers International, 2008)

Solar cookers International especially emphasises on the importance of solar cookers for developing countries. The argument is that people in developing countries suffer from different problems which combine a lack of adequate food,

lack of fuel to cook raw food, lack of clean water which leads to that water has to be boiled and this requires more fuel. Another important fact is that nearly half of the world's population must burn wood or dried dung to cook their food, this leads to deforestation, health problems and a loss of valuable time, especially for women who gather the wood for cooking (Solarcooking international, 2008). The argument of solar cookers International is that the use of solar cookers advantages over the use of normal ovens which work with fuel because of different reasons. First solar cookers reduce the need for fuel, second they reduce health hazards and third solar cookers relieve the burden on women to gather wood and other sources of fuel and an effective oven can also heat water. In addition Solarcooking International claims that solar cooking supports all eight Millennium Development Goals (MDG). In the following I have listed the eight MDG and the arguments of Solarcooking International how solar cookers contribute to a fulfilment of the goals.

### ***1) Eradicate extreme poverty and hunger***

Many families in developing countries live in extreme economic poverty which means that they live on less than 1 Dollar per day (Worldbank, 2008) which makes the purchase of expensive fuelwood difficult. Solar cookers reduce the fuel consumption by 1/3 and pay for themselves within two months of fuel savings.

### ***2) Achieve universal primary education***

The argument here is that firewood has to be collected and mostly women and girls are responsible for collecting the firewood for cooking. As mentioned before due to a lack of firewood the women/girls have to walk long distances to find firewood and this takes the time from attending school. Solar cookers do not need any fuelwood and pretend girls from spending time for collecting firewood which enables the girls to attend school.

### ***3) Promote gender equality and empower women***

Here it is the same argument already mentioned under goal 3 that women and girls spend hours for gathering firewood, cooking food and they suffer from health hazard caused by smoke of the open fire. In comparison solar cookers do not require the gathering of firewood and the cooking does not need as much attention as the cooking with the normal firewood. This means that women/girls have more time which they can use for generate income, increase the food production or for the purpose of education.

#### ***4) Reduce child mortality***

According to solar cooking International (2008) water- borne and diseases caused by smoke are the primary factors which increase the child mortality rate of a country. Solar-cooked meals are all smoke-free and in addition solar cookers easily pasteurize water and milk.

#### ***5) Improve maternal health***

The smoke caused by firewood also impacts the health of young women in developing countries and is linked to low birth weight and infant mortality. In comparison of using firewood, solar cooking is free of smoke of which improves the health of the members of families.

#### ***6) Combat HIV/AIDS, malaria and other diseases***

In developing countries it is mainly the extended family that takes care of sick family members and orphans. This takes time away from livelihood activities. Cooking with a solar cooker requires less supervision so that other activities can be done at the same time. In addition it is possible with larger cookers to reach high temperatures of 150°C (300°F) which is enough to sanitize water in rural clinics and households for those who have a weak immune system

#### ***7) Ensure environmental sustainability***

Solar cookers save firewood which is in nowadays rare in many developing countries and contribute in this way to ensure the environmental sustainability.

#### ***8) Develop a global partnership for development***

To create a widespread access to solar cookers in developing countries a beneficial participation of government, commercial and humanitarian sectors is necessary which complements broader local, national and international activities toward all of the MDGs.

### **5. Critical view on solar cookers**

The section before aimed to give an overview of how solar cooker can contribute to a development. This view which is mainly promoted by pro solar cooking organisations does not take in account any problems related to the usage of solar cookers. To gain a more holistic view of solar cooking, also the disadvantages or problems of using this technology will be presented in the following.

According to an article by the GTZ (2008), decades of efforts to implement and improve solar cookers for developing countries have not helped to achieve the breakthrough of this technology. There are different factors which prevent a broad application of solar cookers in countries of the Sub-Saharan- Africa. The results of several projects related to the implementation of solar cooking in the society showed that solar cookers have only been implemented successfully at places where no alternative fuels are available as for example in Tibet and Altiplano in South America (GTZ, 2008).

In addition solar cookers can only succeed at places where the cookers fit in with people's traditional way of cooking. The use of solar cookers for preparing food requires the preparation for a special time of the day when the sun is strong but this can in some case not correspond with people's traditional cooking times. Furthermore the cookers are not able to store the heat/energy which leads to that people still have to use firewood to warm up their food in the evening. Besides of the problem of the social acceptance of solar cookers in the society, the cookers are also characterized by limitations in their performance and dangers in their usage. Both types of solar cookers, the parabolic and the box cooker, restrict their use during the rain season (GTZ, 2008). In many cases the solar cookers are useless for households all over the entire rain season. Besides the time of cooking is one big disadvantage, while the parabolic cooker has relatively short heat up times, the solar box cooker does not seem to be an appropriate alternative since it is too slow to compete with the traditional stoves. In addition the parabolic cooker can be dangerous to use and can cause hurt eyes. It is necessary to use glasses while using the cooker because of its strong reflection. Furthermore the user has to be careful with the storage of the cooker since a wrong way of storage can cause burns and fire. These problems related to the parabolic cooker usually request a detailed tracking guideline of its usage for the intended user. Besides, the parabolic cooker is, in comparison to the simple box cooker, huge and requires a big storage place which not everyone has.

One further problem which is probably the biggest problem of both cooker types is the economical affordability. The target group of solar cooking projects is mostly poor people who do not have access to electricity. Both types of cookers are still



unaffordable because of its prohibitive prices. Especially the parabolic cookers have proved to be too expensive for local user applications because of its materials used for building the cooker. Furthermore it has so far not been possible to set up a local production in Africa due to the fact that important parts for building a solar cooker still have to be imported from Germany (GTZ, 2008).

## **6. Conclusion/ Recommendations**

The aim of this article was to investigate in the question if solar cookers, as a form of renewable energies, are a competitive form of alternative energy supply for developing countries or not. It is fact that most of the people in developing countries suffer because of a lack of an adequate energy supply.

The idea of solar cooking is not new and several types of solar cooker have been developed by different organisations over time to improve the cookers. However solar cooker as a type of renewable energies could be one effective and efficient solution if it is possible to overcome the current problems solar cookers are facing today. High prices for the material make solar cooker prohibitive, problems related to the social acceptance and performance of the cookers limit a break through of this technology until now. Due to these hindrances the question emerges if solar cookers present still an adequate alternative of energy supply in developing countries. The answer is “yes” and “no”. Solar cooking can be an alternative form of energy supply if a number of conditions are met. (Biermann et. al, 1999) First solar cookers have to be made economical affordable for the intended user. This can only be reached through a local production of solar cookers and a cooperation between, financiers, NGOs and the intended users. In addition the performance of the cookers has to be improved regarding their used time for cooking and the storage of energy. At the Eduardo Mondlane University in Maputo Mozambique a pilot project initiated by NUFU, the Norwegian Programme for Development, Research and Education, develops a new kind of community solar cooker which is able to store the energy so that cooking with the cooker is also possible in the evening hours. This attempt might be a future for solar cookers. In addition more attention has to be spent to the social context. Programmes are necessary which make people aware of the positive impacts of using solar cookers. This means that public demonstration as for example at bus stops, hospitals, markets and schools in

villages are necessary to create awareness of the possibility of solar cooking in the local population.

In terms of finding alternative ways of energy supply, solar cooking is one alternative if the mentioned conditions are regarded in the planning process of the projects. Solar cooking does not present the only solution in the fight against poverty and environmental degradation rather the project leaders/organisers should tend to a more holistic approach which does not see solar cooking as the only alternative. With a holistic approach the interaction of different actors is necessary. Solar cooker can be used and applied if they are supplemented in a way that takes also into account the geographical factors. In addition a cooperation between financiers, NGOs, engineers and the intended users is indispensable. According to an interview with Dr. Osman who is working with food and solar drying preservation methods at the University of Dar es Salaam, it is important that solar cooking projects are not attempt to be implemented as projects rather as a business that the intended users see their own benefits out of owning a solar cooker. "...Most of the projects that are coming in, they are coming as a project they do not come as a business. We should have a business attitude (...) this is the only way to get it through." Furthermore Osman mentions "If you give them a properly technology in the village level, they should be able to move and apply it for economic gain. If you just push it as a project, when you leave everything collapses. It is sad but that is a fact." Summarized we can say that solar cooking can be an adequate form of energy supply but only if the before discussed conditions are met.

## **References**

- Biermann, E., Grupp, M. & Palmer, R. 1999. Solar Cooker Acceptance in South Africa: Results of a Comparative Field- Test- Solar Energy, Elsevier, Oxford, Vol 66, No. 6, 401- 407.
- German Technical Cooperation (GTZ), 1999, Moving ahead with solar cooker- Acceptance and Introduction to the market. .
- German Technical Cooperation (GTZ), 2007. Here comes the sun  
[www.gtz.de/de/dokumente/gtz-en-here-comes-the-sun-2007.pdf](http://www.gtz.de/de/dokumente/gtz-en-here-comes-the-sun-2007.pdf)  
(Retrieved 16th September, time 14:49)

- Kimambo, C., Z., M. 2007. Development and Performance Testing of Solar Cookers- Journal of Energy in Southern Africa, Vol. 18, No. 3, August 2007, 41- 51.
- Kristjansdottir, T., F., 2004. Solar cookers in Mozambique, Diploma Thesis, Department of Energy and Process Engineering, The Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
- Liundi, J., 2007: Sun- Rays Harvesting for fuel- wood saving and environmental protection
- Year´s report of the solar oven project of the Anglican Diocese in Masasi
- Solarcooking archive, 2008: Solar Cookers Support All of the UN Millennium Development Goals <http://solarcooking.org/mdg-goals.htm> (Retrieved 15th September 2008, time 21:35)
- Solar Cookers International, 2008  
<http://www.solarcookers.org/basics/where.html> (Retrieved 15th September 2008, time 16:10)
- Worldbank, 2008. Understanding poverty- What is poverty?  
<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTPOVERTY/0,,contentMDK:20153855~menuPK:373757~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:336992,00.html> (Retrieved 16th September, time 15:19)
- Grid- Arendal, 2008
- Figure 1: Electrification and traditional fuels in Sub- Saharan Africa  
<http://maps.grida.no/go/graphic/electrification-and-traditional-fuels-in-sub-saharan-africa> (Retrieved 16th September, time 15:36) Solar Cookers International, 2008
- Figure 2: Where solar cook- countries with the highest potential  
<http://www.solarcookers.org/basics/where.html> (Retrieved 15th September 2008, time 16:10)

## **PÄIKESEENERGIAL PÕHINEVAD PLIIDID ARENGUMAADES – KONKURENTSIVÕIMELINE ALTERNATIIVENERGIA ALLIKAS ?**

Pia Otte

Käesolev artikkel käsitleb päikeseenergia põhinevate pliitide kui alternatiivse energiavarustuse kasutusvõimalusi Kesk-Sahara regiooni riikides. Töö eesmärgiks on uurida päikeseenergia põhineva pliidi kasutuspotentsiaali ja samas leida piirangud, mis selle laialdast kasutamist võiksid takistada. See idee pole uus ja seda on püütud läbi aegade ka täiendada. Kuid päikeseenergia põhinev pliit kui taastuvenergia põhinev seade, võiks osutada efektiivseks ja tõhusaks, kui suudetaks lahendada mõned probleemid. Need pliidid on hetkel kallid ja pole teada, kuidas inimesed neisse võivad suhtuda, kuid nad võivad olla alternatiivseks energia(allikaks), kui vajalikud tingimused on täidetud. Esiteks peab see olema inimestele taskukohase hinnaga. Seda on võimalik teha kohaliku tootmise ning finantssektori, mittetulundusühingute ja lõpptarbijate vahelise koostöö abil. Praegu on väljatöötamisel uus pliit, mis talletab energia nii, et süüa oleks võimalik teha ka õhtutundidel. Peale selle peaks tähelepanu pöörama ka sotsiaalsele aspektile. Erinevad programmid (nt tutvustavad üritused) on vajalikud, et tõsta inimeste teadlikkust selle pliidi kasutamise positiivsete mõjude osas. Päikeseenergia põhinev pliit pole loomulikult ainus võimalus võidelda tavaenergia allikatest tulenevate probleemide vastu, kuid see võib olla üheks alternatiiviks. Dr. Osman Dar es Salaam'i ülikoolist on öelnud, et see päikeseenergia põhinev pliit ei tohiks jääda ainult projektiks, vaid selle tutvustamisel rõhutada selle pliidi kasulikke omadusi.