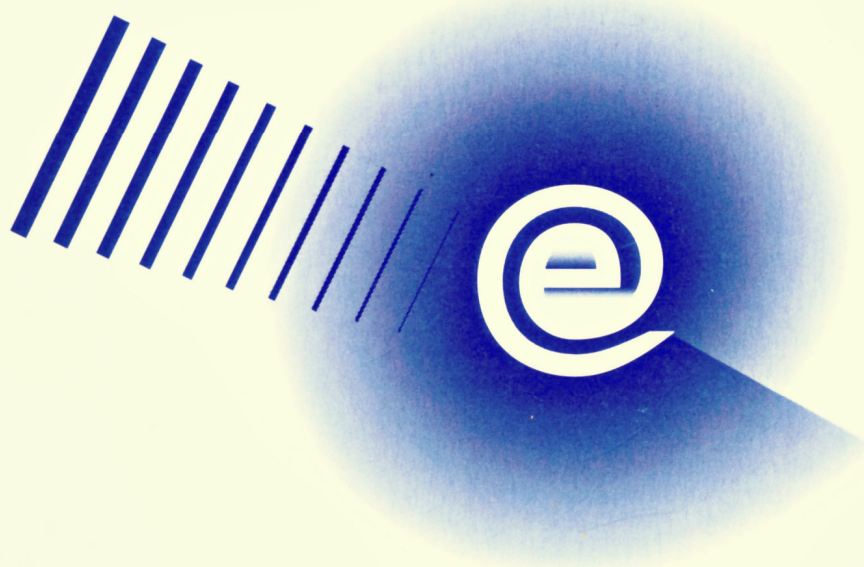


**TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE  
UURIMINE JA KASUTAMINE**

———— VIIENDA ————  
**KONVERENTSI KOGUMIK**



**INVESTIGATION AND USAGE OF  
RENEWABLE ENERGY SOURCES**

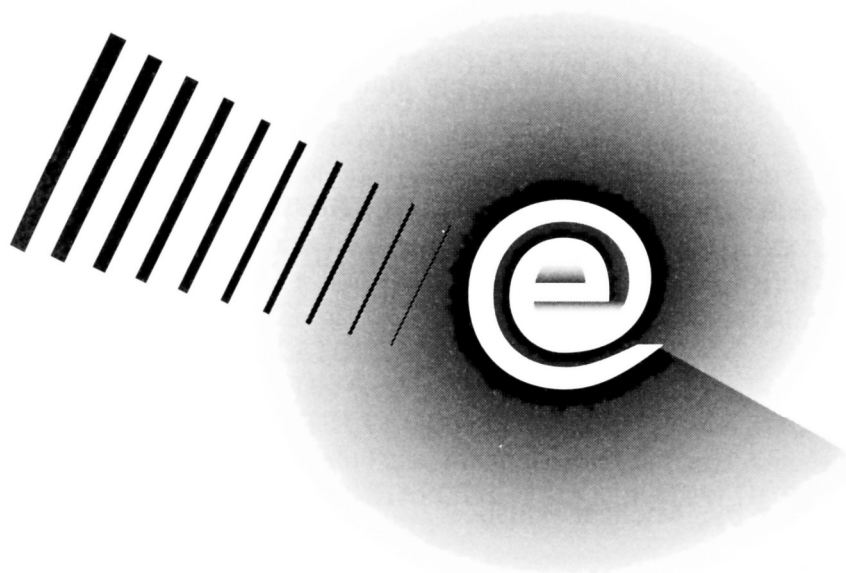
———— FIFTH ————  
**CONFERENCE PROCEEDINGS**

**TARTU, ESTONIA 2004**

**TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE  
UURIMINE JA KASUTAMINE**

———— VIIENDA ————

**KONVERENTSI KOGUMIK**



**INVESTIGATION AND USAGE OF  
RENEWABLE ENERGY SOURCES**

———— FIFTH ————

**CONFERENCE PROCEEDINGS**

**TARTU, ESTONIA 2004**

Peatoimetaja / Editor-in-chief: Valdur Tiit

Toimetajad / Compiled by: Sirli Lember  
Tiina Kivisäkk

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

Eesti Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumile  
Estonian Ministry of Economic Affairs and Communications

SA Archimedes  
Archimedes Foundation

Kaanekujundus / Cover design by: Michael Walsh

Trükitud: OÜ Paar  
Printed by: Paar Ltd

Kirjastaja: OÜ Halo Kirjastus  
Publisher: Halo Kirjastus Ltd

© 2004

Eesti Põllumajandusülikool  
Estonian Agricultural University

All Rights Reserved

ISBN 978-9949-426-38-6 (PDF)  
ISBN 978-9985-9553-2-1 (trükis)

## SISUKORD

TULEVIK KUULUB TAASTUVATELE ENERGIAALLIKATELE	
Valdur Tiit .....	7
TUULEENERGIA ARENGUKAVAD MAAILMAS	
Toomas Frey .....	9
TUULEENERGEETIKAST EUROOPA LIIDUS JA EESTIS	
Jaan Lepa, Andres Annuk, Kuno Jürjenson ja Tõnis Peets .....	21
EESTI ESIMENE KAASAEGNE TUULEPARK	
Raimo Pirksaar ja Valdur Tiit .....	25
TUULEENERGIA PROGNOOSI TÄPSUSE UURING	
Teolan Tomson, Maire Hansen ja Raimo Pirksaar .....	29
PÄIKESEENERGIA – OLMEENERGIA KOKKUHOID JA KUIVATUS	
Taito Mikkonen .....	37
PÄIKESE TERMOTUUMAREAKTOR – MÄEKÕRGUSELT PARIM ENERGIAALLIKAS; ISOMEERSEISUNDID – KAS TUUMAENERGIA AKUMULAATORID	
Karl K. Rebane .....	41
KAS PÕLEVKIVI ANNAB TEED TAASTUVATELE ENERGIAALLIKATELE?	
Marko Kaasik .....	44
BIOKÜTUSED + JÄÄTMED. KAS TULEVIKUS ENERGEETIKA PÄÄSETEE?	
Ülo Kask .....	49
PILLIROO PÕLETUSKATSETE TULEMUSI	
Aadu Paist, Ülo Kask ja Livia Kask .....	53
BIOKÜTUSTE TUHA KOOSTISE MÕJU KATLA TÖÖLE	
Teet Parve, Aadu Paist, Maaris Nuutre ja Raaja Aluvee .....	60
JÄÄTMAADE ENERGIAPOTENTSIAALI ANALÜÜS PALAMUSE JA SAARE VALLA NÄITEL	
Moonika Ani .....	64
PILLIROO TERMOKEEMILINE DESTRUKTSIOON	
Rein Veski, Vilja Palu, Irina Bljaghina, Kristjan Kruusement, Natalia Vink, Livia Kask ja Ülo Kask .....	72
ENERGIARESSURSID EESTI VÄLISKAUBANDUSES JA NENDE PIIRKONDLIK KASUTAMINE	
Anton Laur ja Koidu Tenno .....	80
BIOKÜTUSTE VEEKATELDES PÕLETAMISE SOOJUSTEHNILISTEST PROBLEEMIDEST	
Ants Veski ja Toomas Tiikma .....	88
ÜHISRAKENDUSPROJEKTIDE TEOSTAMISEST EESTIS	
Inge Roos .....	97
KOOSTOOTMISE TEHNOLOOGIAD PUITKÜTUSE KASUTAMISEL	
Ülo Mets .....	106
KÜTUSENA KASUTATAVATE RAIEJÄÄTMETE POTENTSIAAL HARVENDUS- JA UUENDUSRAIES	
Kairi Kiivit, Merlika Niidumaa ja Peeter Muiste .....	118



TAASTUV- JA FOSSIILKÜTUSESEGUDE TERMOKEEMILISE VEDELDAMISE SAADUSTE LAHUTAMISE MEETOD Vilja Palu, Rein Veski ja Hans Luik .....	124
EESTI SUURIM TUULEPARK PAKRI POOLSAAREL Tiit Kallaste, Enn Kareda, Anton Laur ja Koidu Tenno .....	129
MTÜ EESTI VESKIVARAMU Mae Juske, Anto Juske ja Katrin Poell .....	137
BIOENERGIA RESSURSSIDEST EESTI METSA- JA PÕLLUMAJANDUSES Margot Mäesaar ja Jaan Kivistik .....	142

## CONTENTS

THE FUTURE BELONGS TO THE RENEWABLE ENERGY SOURCES	
Valdur Tiit .....	8
TRENDS IN The WORLD WIND ENERGY MARKET	
Toomas Frey .....	20
ABOUT WIND ENERGETICS IN THE EU AND ESTONIA	
Jaan Lepa, Andres Annuk, Kuno Jürjenson and Tõnis Peets .....	24
THE FIRST ESTONIAN MODERN WIND PARK	
Raimo Pirksaar and Valdur Tiit .....	28
INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF PROGNOSED WIND ENERGY	
Teolan Tomson, Maire Hansen and Raimo Pirksaar .....	36
SOLAR ENERGY – ECONOMY AND DRYING IN EVERYDAY USE OF ENERGY	
Taito Mikkonen .....	40
SUN – THE BEST NUCLEAR REACTOR; ISOMER STATES OF THE NUCLEI – THE ENERGY ACCUMULATORS OF THE FUTURE?	
Karl K. Rebane .....	43
DOES OIL SHALE LEAVE A PLACE FOR RENEWABLE SOURCES OF ENERGY?	
Marko Kaasik .....	48
BIOMASS + WASTE. IS IT THE SALVATION OF FUTURE ENERGY?	
Ülo Kask .....	52
THE RESULTS OF COMBUSTION TESTS OF REED	
Aadu Paist, Ülo Kask and Livia Kask .....	59
THE INFLUENCE OF ASH-FORMING ELEMENTS ON THE RUNNING OF BIOMASS FIRED BOILERS	
Teet Parve, Aadu Paist, Maaris Nuutre and Raaja Aluvee .....	63
ANALYSIS OF ENERGY POTENTIAL OF ABANDONED AREAS IN PALAMUSE AND SAARE LOCAL MUNICIPALITIES	
Moonika Ani .....	71
THE THERMOCHEMICAL DESTRUCTION OF REED	
Rein Veski, Vilja Palu, Irina Bljahhina, Kristjan Kruusement, Natalia Vink, Livia Kask and Ülo Kask .....	79
ENERGY RESOURCES IN ESTONIAN FOREIGN TRADE AND THEIR REGIONAL UTILISATION	
Anton Laur and Koidu Tenno .....	87
SOME THERMAL ENGINEERING PROBLEMS IN BURNING BIOFUELS IN WATER HEATING BOILERS	
Ants Veski and Toomas Tiikma .....	96
DEVELOPMENT OF JOINT IMPLEMENTATION PROJECTS IN ESTONIA	
Inge Roos .....	105
CO-GENERATION HEAT AND POWER TECHNOLOGIES USING BIOFUELS	
Ülo Mets .....	117

POTENTIAL OF HARVESTING RESIDUES FROM THINNING AND FINAL FELLING AS FUEL Kairi Kiivit, Merlika Niidumaa and Peeter Muiste .....	123
METHOD TO SEPARATE PRODUCTS OBTAINED BY THERMOCHEMICAL LIQUEFACTION OF RENEWABLE AND FOSSIL FUELS MIXTURES Vilja Palu, Rein Veski and Hans Luik .....	128
THE BIGGEST ESTONIAN WIND FARM AT THE PAKRI PENINSULA Tiit Kallaste, Enn Kareda, Anton Laur and Koidu Tenno .....	136
NPO EESTI VESKIVARAMU Mae Juske, Anto Juske and Katrin Poell .....	141
BIOENERGY RESOURCES IN ESTONIAN FORESTRY AND AGRICULTURE Margot Mäesaar and Jaan Kivistik .....	148

# TULEVIK KUULUB TAASTUVATELE ENERGIAALLIKATELE

*Valdur Tiit*

Eesti Põllumajandusülikool, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu, e-post: vtiit@neti.ee

Viies taastuvate energiaallikate uurimisele ja kasutamisele pühendatud konverents TEUK-V toimus 6. novembril 2003. a Tartus Eesti Põllumajandusülikooli aulas. Sellest võttis osa ligemale 200 inimest üle kogu Eesti. Konverentsil esitati 23 ettekannet, millest enamik on trükitud käesolevas kogumikus.

Siin on esitatud töid biomassi kasutamisest ja võimalustest seda toota energeetika tarbeks, samuti edusammudest päikese- ning tuuleenergeetika arengus.

Viiel TEUK-konverentsil esitatud ettekanded ja nende põhjal koostatud kogumikud on kindlasti aidanud Eestis levitada teadmisi taastuvate energiaallikate olemuse, ressurside ning kasutamisevõimaluste kohta. Kokku on viiel konverentsil esitatud 128 ettekannet, millest enamik on koos ingliskeelse resümeega kogumikes publitseeritud. Konverentsil toimunud arutelud on aidanud kaasa uute kontaktide ja ideede tekkimisele ning innustanud inimesi selles valdkonnas edasi töötama.

Konverentsidel on selgunud taastuvate energiaallikate kasutamisega seotud edusammud ja vajakajäämised Eestis. Hea meel on märkida biopõhiste energiakandjate kasvatamise ja kasutamise jätkuvat arengut, sh ettevalmistusi biodiislikütuse ulatuslikuks tootmiseks. Jätkub edukas tegevus jõgede vee-energia kasutamisel elektri tootmiseks. Selle valdkonna tippsündmus oli Eesti suurima, 1,1 MW võimsusega Linnamäe HEJ uuesti käikulaskmine 2002. a detsembris. Hea algatus oli MTÜ Eesti Veskiaramu asutamine, et aidata kaasa vanade veskikohtade taastamisele ja korrashoiule. Ajalooliselt tähtsate objektidena on neil lisaks lokaalsele elektrienergia tootmisele jätkuvalt suur väärtus ka kui inimese kujundatud looduselementidel ja turismiobjektidel.

Tuuleenergeetika jaoks oli suursündmus Eesti esimese kaasaegse 1,8 MW võimsusega kolme tuulikuga tuulepargi avamine 2002. a oktoobris. Märkimisväärne on seejuures Eesti Energia AS-i, kes on praegu suurim nn roheline energia tootja Eestis, osaluse kasv tuule- ja veejõu kasutuselevõtul.

Vaatamata positiivsetele tulemustele, millest on siin nimetatud vaid mõned, peaks energeetikaga seonduvad küsimused ja sh taastuvate energiaallikate ulatuslik kasutuselevõtt jääma nii riigi kui kogu ühiskonna tähelepanu keskpunkti. Oluliselt rohkem on vaja anda sellealast haridust, teostada uuringuid ja arendada kohalikku tootmist.

Eestil on suurepärased looduslikud eeldused katta tulevikus kogu oma energiatarve taastuvate varude abil. Seda arvestades püstitas taastuvenergeetika nõukogu aastal 2001 eesmärgi toota aastal 2050 vähemalt 75 protsenti soojus- ja elektrienergiast taastuvate energiaallikate abil.

**Soovi ja sihikindla töö tulemusena on võimalik kogu Eesti energiatarbimine viia selle sajandi jooksul otstarbekalt üle taastuvate energiaallikate kasutamisele.**

See on väärikas eesmärk, mille saavutamisele aitavad kaasa TEUK-konverentsid.

# THE FUTURE BELONGS TO THE RENEWABLE ENERGY SOURCES

*Valdur Tiit*

Estonian Agricultural University, e-mail: vtiit@neti.ee

The 5<sup>th</sup> conference devoted to the investigation and usage of renewable energy sources (TEUK-V) took place on 6<sup>th</sup> November 2003 in Tartu in the hall of the Estonian Agricultural University. There were about 200 participants from all over Estonia. Most of the 23 papers presented at the conference have been printed in this conference proceeding. The papers published are on the utilisation of biomass and the possibilities of its production for energetics, also on the progress in the development of solar and wind energetics.

The speeches presented at the five TEUK-conferences and the proceedings based on them have most definitely helped to spread the knowledge of the nature, resources and possibilities of the usage of renewable energy sources in Estonia. At the five conferences a total of 128 presentations have been made, most of which have been published in the conference proceedings with an abstract in English. The discussions at the conferences have helped to develop new contacts, generate ideas and motivated people to keep working in this area.

The progress and shortcomings related to the usage of renewable energy sources in Estonia have become clear at the conferences. I am glad to note the continued development of the growth and usage of bio-based energy carriers, including the preparation for the extensive production of bio-diesel. The successful activities on the subject of turning water energy in the rivers into electricity continues. The highlight of this area was re-launching Estonia's biggest, 1.1 MW Linnamäe hydroelectric plant in December 2002. A great initiative was the founding of NPO Eesti Veskivaramu to help restore and maintain the old mill sites. As historically significant objects they continue to have great value as man-made elements in nature and tourism objects in addition to producing local electric energy.

The highlight of the wind energy movement was the launch of Estonia's first modern wind park with three wind turbines with the total capacity of 1.8 MW in October 2002. It is significant that Estonian Energy Ltd has increasingly started to use wind and water power, making them the largest so-called green energy producer in Estonia at the moment. Despite the positive results, of which just a few have been mentioned here, the energy-related issues including taking renewable energy sources into extensive usage should remain the focus of the state and the society. The education provided in this area, the research done and the development of the local production should be noticeably increased. Estonia has great natural potential to provide its entire energy requirement with renewable energy sources in the future. Considering this, the Renewable Energy Board set a goal in 2001 that in 2050 at least 75% of thermal and electric energy should be produced using renewable energy sources.

**With the desire to and as a result of determined work it is possible to transfer Estonia's entire energy consumption in a practical manner to the usage of renewable energy sources during this century.**

TEUK-conferences help to achieve this noble goal.

# TUULEENERGIA ARENGUKAVAD MAAILMAS

*Toomas Frey*

Teadusühing IM SAARE, Uus 5–49, 50603 Tartu, e-post: Toomas.Frey@mail.ee

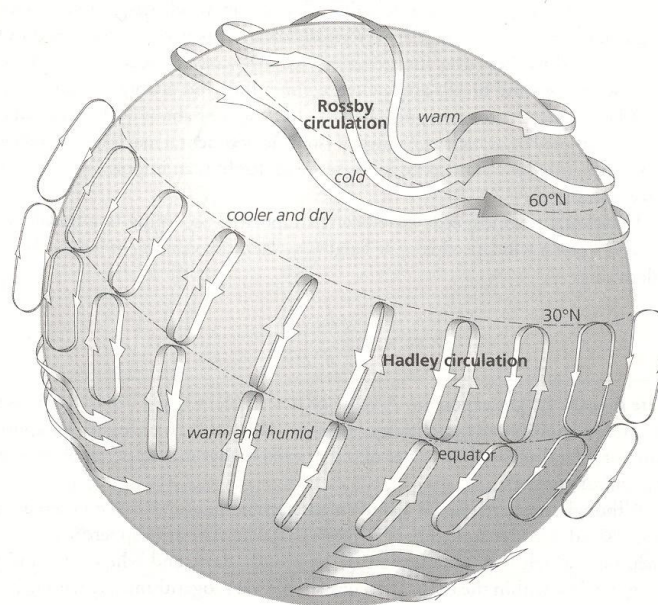
## **Annotatsioon**

Enamik riikidest tunnustab vajadust vähendada kaevandatavate kütuste kasutamist ja seeläbi kliimamuutusi tekitavate kasvuhoonegaaside vallapäästmist, seda eriti pärast 1997. a Kyoto protokollit. Tuuleenergeetika (1 GW·h tuuleenergiat säästab 600 tonni CO<sub>2</sub>) on taastuvate energiaallikate seas, aga ka üldse energeetikaturul kõige kiiremini arenev majandusharu. Tuuleparkide (55 000 turbiini, 70 000 töökohta) võimsuse aastane kasvutempo oli viimasel viiel aastal 30%. Keskmise 1 MW rajamismaksumus oli (2002) 823 000 eurot ja paremates tingimustes kujunes kW·h hinnaks 3,88 euro senti. Viimase viie aastaga langes kW·h hind 20%.

## TUULEENERGIA, VÕIMSUSED, HIND, ARENGUKAVAD

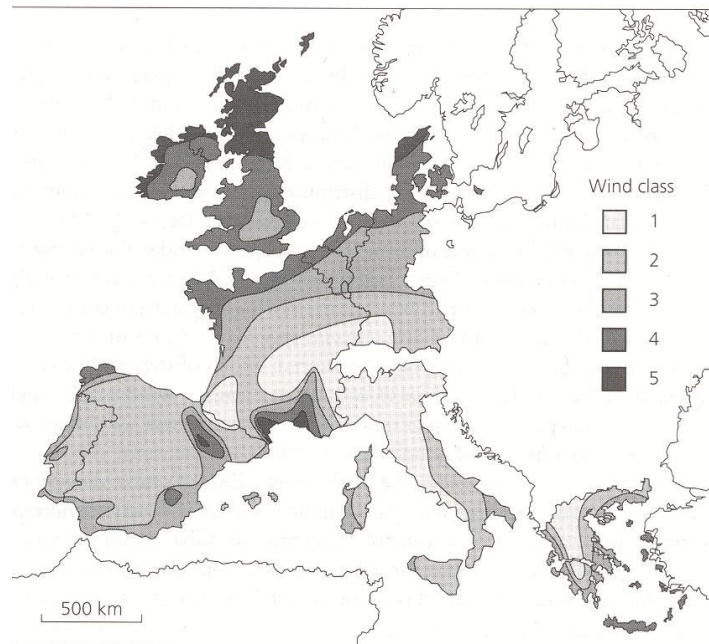
### **Tuuleenergia varud**

Tulenevalt maa, mere ja õhu temperatuuri laiuskraadilistest erinevustest ning Maa pöörlemisest tekkiva Coriolise jõu tõttu kujunevad globaalsed tuule põhimustrid (Hadley ja Rossby tsirkulatsioon, joonis 1), neile lisanduvad ilmastikunähtustest põhjustatud (sünoptilised) tuuled (joonis 2) ja kohalikust pinnamoest (mäed-orud, kaugus rannajoonest) tingitud valitsevad tuuled (joonis 3). Tuuleenergia on piirkonniti väga erinev, mistõttu eelistatud olukorras on suurriigid (Kanada, USA, Venemaa, Hiina, India), kus leidub igasuguseid tingimusi.

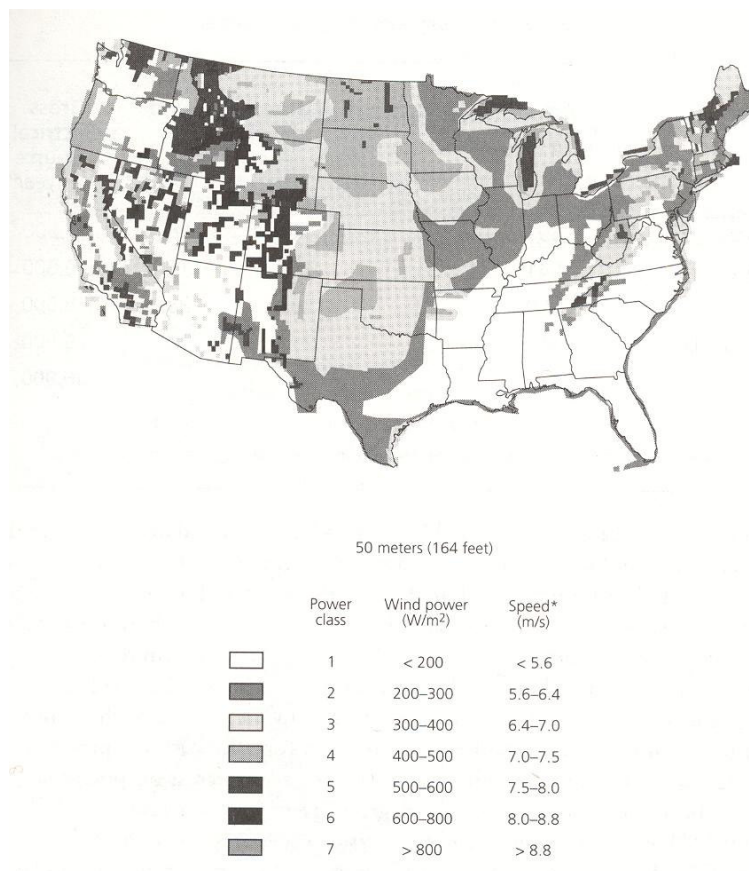


*Joonis 1. Maailma peamised tuulerajad (WMO, 1981)*

*Figure 1. Global wind systems (WMO, 1981)*



Joonis 2. Euroopa Liidu tuulekaart (Troen ja Petersen, 1989). Võimsusklassid 50 m kõrgusel rannikul 1: <math><150</math>, ... 5: <math>>700</math> W/m<sup>2</sup>  
 Figure 2. European Union wind energy resources (Troen and Petersen, 1989). Wind power densities at 50 m on sea coast 1: <math><150</math>, ... 5: <math>>700</math> W/m<sup>2</sup>



Joonis 3. Peamiselt reljeefist tingitud USA tuulekaart (Elliot jt, 1986)  
 Figure 3. Wind map of the USA heavily fashioned by relief (Elliot et al, 1986)

## I arengukava. Maismaa tuuleenergia varude hindamine ja kaardistamine (riikide tuuleatlased)

*Kasutatav varu on hinnanguliselt 53 000 TW·h/aastas, mis on 2 korda suurem kui kogu inimkonna nõudlus aastal 2020 (25 883 TW·h/a).*

Üksikasjalikumad uuringud näitavad sageli märksa suuremaid varusid. Nii leidis Saksamaa Majandusministeeriumi töörühm, et sealsed maismaa tuulevarud on seni hinnatud 24 TW·h (12 000 MW) asemel 124 TW·h (64 000 MW). Sellest lähtuvalt püstitas Euroopa Tuuleenergia Assotsiatsioon hiljuti eesmärgiks igati toetada uute tuuleparkide rajamist ja aastal 2002 oli võimsuste juurdekasv 40%.

*Tabel 1. Elektrienergia kogutarbimine ja maismaa tuuleenergia varu piirkonniti (Grubb ja Meyer, 1993)*

*Table 1. Electricity total demand and wind energy resources by regions (Grubb and Mayer, 1993)*

Piirkond /Area	Tarbimine /Demand TW·h/aastas (1997) (muudetult, Wind Force12, 2002, järgi)	Varu /Resource TW·h/aastas (Grubb ja Meyer, 1993)
Aafrika	399	10 600
Austraalia	1249	3000
Aasia (Venemaata)	2070	4600
Ladina-Ameerika	863	5400
Põhja-Ameerika	4246	14 000
Ida-Euroopa	2197	10 600
Lääne-Euroopa	2925	4800
<b>Maailm / World</b>	<b>13 949</b>	<b>53 000</b>

Maailmas keskmiselt (tabel 1) on tuuleenergia varu ligi 4 korda suurem, kui oli energiatarbimine 1997. aastal, ja siingi võivad täiendavad uuringud hinnanguid muuta. Loomulikult on arengumaade võimalused veelgi suuremad (Aafrika varu on 25 korda suurem!), ehkki rajamiskulude katmine on ja jääbki problemaatiliseks. Praegu annab maailma energeetikas hüdroenergia 19, tuumaenergia 16 ja tuuleenergia 1%, kuid aastaks 2020 on tuuleenergia osa vähemalt 12%.

Tuuleenergia varude ja turgude kindlaksmääramisest on huvitatud nii turbiinitootjad (sulgudes turuosa): Taani Vestas Wind Systems (18), Taani NEG Micon (8), Taani-Saksa Nordex (9), Saksa firma Enercon (34), Saksa GE Wind Energy (14), USA Enron Wind (7) kui energeetika- (Hispaania Iberdrola ja Gamesa, Prantsusmaa Suez ja La Compagnie du Vent, Belgia Electrabel, Hollandi Nuon, USA FPL Energy) ja tehnikafirmad (Saksa Siemens AG, Hispaania Gamesa, USA General Electric).

Kiire laienemise peamiseks takistuseks on suhteliselt suur rajamismaksumus, kuid oluliseks eeliseks on asjaolu, et tuuleparkide hooldamise (3% rajamismaksumusest aastast) kui nendega seotud kaudsed kulud on tuuleenergia puhul väga väikesed. Euroopa Liidu hinnangul (Extern E project, 2001) on kaudsed kulud (maa, transpordi-



ja ülekandekulud, keskkonnakahju) iga kW·h kohta tuuleenergiat 0,05–0,25, tuumaenergiat 0,2–0,6, maagaasil 1–4 ja kivisüüel 2–15 euro senti. Samas ei kaasne tuuleenergia kasutamise ja süsihappegaasi ega ka teiste kasvuhooonegaaside ja/või saasteainete teke, rääkimata radioaktiivsest saastest.

### Tuuleenergia tihedus

Tuuleenergia tihedus  $P_w$  (watt/m<sup>2</sup>) oleneb õhumassi tihedusest  $\rho$  ja eelkõige tuule kiirusest  $v$ :

$$P_w = \frac{1}{2} \rho v^3. \quad (1)$$

Õhumassi tihedus sõltub (juhuslikest) ilmastikuoludest, tuule kiirust aga kujundab lisaks ilmastikuoludele aluspinna karedus. Kasutatakse järgnevat kareduse klasse, sulgudes kareduse mõõt (cm): 0 – veekogu pind (0,02), 1 – avamaa (3), 2 – põllumajanduspiirkond väheste tuuletakistustega kaugemal kui 1 km (10), 3 – metsa ja asula piirkond (40). Seega on energia ülekandetegur veepinna kohal mitu korda suurem kui teistes tingimustes (joonis 4). Seetõttu on eriti Saksamaa (rajamisel olev Põhjamere tuulepark Butendieckis koosneb 80 turbiinist à 3 MW), Taani, Inglismaa, USA ja Kanada tähelepanu pälvinud tuulerootorite paigutamine merre. Pealegi on teadaolevad tuuleparkidele suurepäraselt sobivad kohad mitmes riigis juba hõivatud.

### II arengukava. Merealade tuuleenergia varude hindamine ja kaardistamine

***Euroopa Liidu merealade tuulevaru on 3028 TW·h, Põhja- ja Läänemerele on juba kavandatud 20 000 MW võimsusega tuuleparkide rajamine.***

*Tabel 2. Merealade tuuleenergia varud Euroopas (TW·h/aasta, Hassan ja Lloyd, 1995)*

*Table 2. Offshore wind energy resources in Europe (TW·h/year, Hassan and Lloyd, 1995)*

Mere sügavus m <i>Water depth m</i>	Kuni 10 km kaldast <i>Up to 10 km offshore</i>	Kuni 20 km kaldast <i>Up to 20 km offshore</i>	Kuni 30 km kaldast <i>Up to 30 km offshore</i>
10	551	587	596
20	1121	1402	1523
30	1597	2192	2463
40	1852	2615	3028

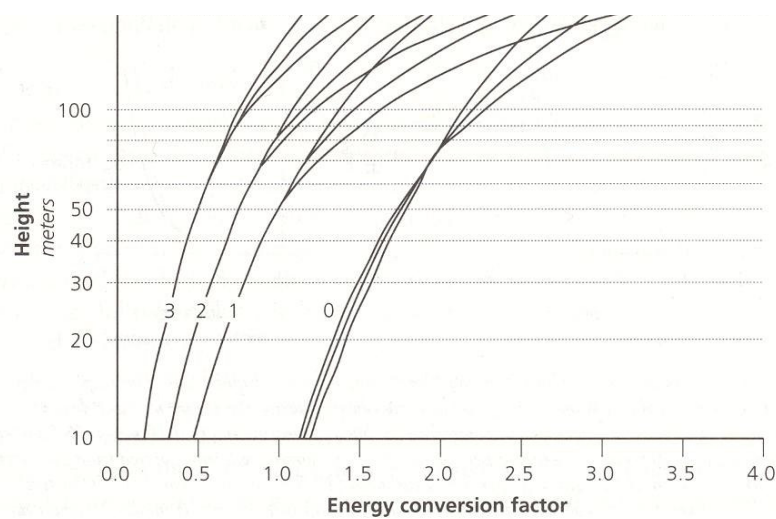
Tuuleenergia tihedus kasvab tuule kiiruse 10-protsendilise suurenemise tõttu umbes 30 protsenti. Seetõttu on tuulevarude hindamisel oluline teada tuule kiiruse olenevust seoses kaugusega pidurdavast aluspinnast karedusega  $z_0$  (joonis 4). Kiirused  $v_1$  ja  $v_2$  kõrgustel  $h_1$  ja  $h_2$  avaldatakse logaritmilise ekstrapoleerimise teel:

$$v_2 = v_1 \ln(h_2/z_0) / \ln(h_1/z_0), \quad (2)$$

sageli kasutatakse ekstrapoleerimisel ka astmefunktsiooni:

$$v_2 = v_1 (h_2/h_1)^\alpha, \quad (3)$$

kus  $\alpha = 1/7 = 0,143$  mere ja ranniku, 0,16 avamaa ja vähemalt 0,30 metsa ja asulate puhul.



Joonis 4. Energia ülekandetegur seoses aluspinna karedusega ja kaugusega aluspinnast (Grubb ja Meyer, 1993)

Figure 4. Energy conversion factor (Grubb and Meyer, 1993)

### III arengukava. Rootorite ja mastide tehniline täiustamine

**Valitsevaks on horisontaalteljega, 3 füberlabaga pealttuulerootorid võimsusega 1–1,5 MW, mis paiknevad 70–80 m kõrgusel ja on varustatud elektroonilise juhtimisega. Tuule kiirusel 7,5 m/s ja rajamismaksumusega 700 USD/kW on tuuleenergia konkurentsivõimeline maagaasiga.**

Labade ehituse, materjalivaliku ja rootorite siseehituse ning eriti elektroonika tehnilised täiustused, aga ka paiga tuulejõu iseärasuste arvestamine on rootorite kasutegurit (20-lt 25%-le) tuule tiheduse muundamisel elektrienergiaks pidevalt suurendanud. Kohaliku energiavõrgu sagedusele kohandatud kindla rootori pöörlemiskiirusega turbiinide kõrval on kasutusel ka muutuva pöörlemiskiirusega rootorid, mille elektroonika kohaldab pöörlemiskiiruse tuulekiirusega nii, et nende suhe jääb piiresse 4–8, mis läbi energiaväljund suureneb 10%. Elektrivõrku antava voolu kvaliteeti kontrollib elektroonika rootorivoolu pinge ja vooluhulga faasinihke koosinuse (võimalikult 1,0) seadistamisega, mis kahandab oluliselt ülekandekadusid.

### Tuuleenergia kasutamine

Viimase 20 aasta jooksul on tuuleenergia kW·h omahind vähenenud koguni 5 korda, viimase 5 aasta jooksul 20%. Uute tuuleparkide rajamiskulutus Põhja-Ameerikas on 765 USD/kW ja elektrienergia kW·h maksab keskmiselt 3,61 USA senti. EL andmeil maksis 2000. a 1 kW·h 6–11 euro senti, 2002. a oli 1 MW rajamismaksumus 823 000 eurot ja paremates tingimustes kujunes kW·h hinnaks 3,88 euro senti. Ajakirja *Windpower Monthly* teatel on tuulekiirusel 7,5 m/sek ja rajamismaksumusel

700 000 USD/MW tuuleenergiaga toodetava elektri maksumus võrdne maagaasi abil saadavaga.

Uusi tuuleparke rajatakse igal aastal enam kui eelmisel (tabel 3) ja seegi alandab keskmist hinda.

*Tabel 3. Tuuleparkide võimsuste kasv maailmas 1996–2002 (Wind Force 12, 2002)*

*Table 3. Growth in World wind power market 1996–2002 (Wind Force 12, 2002)*

Aasta <i>Year</i>	Rajatud, MW <i>Installed, MW</i>	Kasvu % <i>Increase %</i>	Koguvõimsus, MW <i>Cumulative, MW</i>	Kasvu % <i>Increase %</i>
1996	1292		6070	
1997	1568	21	7636	26
1998	2597	66	10 153	33
1999	3922	51	13 932	37
2000	4495	15	18 449	32
2001	6824	52	24 927	35
2002	7073	4	32 000	28
<b>Keskmine <i>Mean</i></b>	<b>964</b>	<b>35</b>	<b>4322</b>	<b>32</b>

Erinevate riikide looduslik, majanduslik ja kultuuriline eripära (investeermise võimalused ja kohalik haridustase, riiklikud, omavalitsuste ja firmade soodustused taastuv-energeetika arendamiseks – eriti Saksamaal ja USA-s) on kujundanud tuuleenergia rakendamise juhtriigid (tabel 4), mahajääjad (tabel 5) ja kõrvalejääjad.

*Tabel 4. Kümne juhtriigi tuuleparkide võimsuste kasv maailmas 1998–2003 (BTM Consult ApS, 2002, täiendustega)*

*Table 4. Growth rates of the “Top Ten” wind energy markets 1998–2003 (BTM Consult ApS, 2002, extended)*

Riik / <i>Country</i>	1998	1999	2000	2001	2002	2003 <sup>1</sup>
Saksamaa	2874	4442	6107	8734	12 001	14 836
USA	2141	2445	2610	4245	4685	(6000)
Hispaania	880	1812	2836	3550	4830	5060
Taani	1420	1738	2341	2456	2881	2916
India	992	1035	1220	1456	(1820)	2000
Holland	379	433	473	523	678	805
Suurbritannia	338	362	425	525	552	586
Itaalia	197	277	424	700	788	800
Hiina	200	262	352	406	468	468
Kreeka	55	158	274	358	297	354
<b>10 juhtriiki</b>	<b>9476</b>	<b>12 964</b>	<b>17 062</b>	<b>22 953</b>	<b>(29 000)</b>	<b>(33 825)</b>
<b>Maailm / <i>World</i></b>	<b>10 153</b>	<b>13 932</b>	<b>18 449</b>	<b>24 927</b>	<b>32 000</b>	

<sup>1</sup> Andmed on esialgsed, vt tabel 6. Toim märkus.

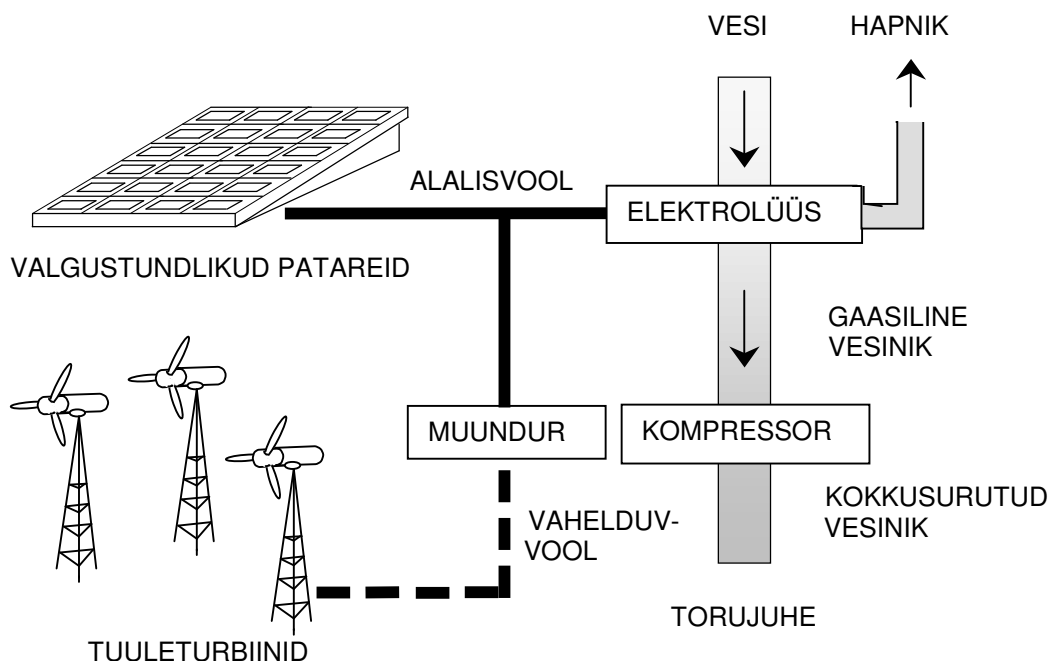
Tuuleparkide kasutamise kitsaskohaks on tuule muutlikkus tuulevaikusest tormideni ning tuulepargi tootlikkuse ja elektrienergia tarbimise tipphetkede ajaline ebakõla. Väikesaartel ja ülekandeliinidest eemal (eriti Indias) kasutatakse seetõttu tuuleparke, mis on ühildatud diisलगeneraatoritega.

#### IV arengukava. Tuuleenergia kasutamise ja salvestamise võimaluste arendamine

*Tuuleenergiat saab kasutada vesiniku tootmiseks, suruõhuhoidlate täitmiseks, taskutelefonide laadimiseks jms.*

Ehkki prootonvahetusmembraanidel põhineva kütuselemendi kasutamine on veel arenemisjärgus, pööratakse sellele võimalusele üha suuremat tähelepanu. Aasta algul lubas president Bush 1,2 miljardit USD sel aastal ja igal järgmisel viiel aastal 720 miljonit, et edendada vesiniku tootmist, ladustamist ja teisaldamist, eriti aga vesinik-elementidega hübriidautode kasutuselevõttu (heitmevabade autode tootmise nõue kehtestati Californias alates 2003). Los Angelese Vee ja Energia Üksus on edukalt rakendanud 2 MW kütuselementidel töötava elektrit ja soojust tootva jõujaama. Iowa munitsipaalenergiakavandab aastaks 2006 käiku lasta 200 MW suruõhuelektrijaama, mida hoiab käigus 100 MW tuulepark. Varem, 12 aastat tagasi käivitus McIntoshi suruõhujääm Alabamas ja juba 25 aasta eest CAES jaam Huntorfis Saksamaal.

Jaapani Fuso Rikaseihin ja USA Motorola toodavad tuulejõul töötavat taskutelefoni laadijat, Briti Freeplay tuuleraadiot ja Jaapani Toshiba pisikesi kütuselemente sülearvutitele.



Joonis 5. Vesiniku tootmine tuule- või päikeseenergiaga (Anttila jt, 1996)

Figure 5. Processing hydrogen by wind or solar energy (Anttila et al, 1996)

## V arengukava. WIND FORCE 12 – aastaks 2020 katab tuuleenergia 12% elektrienergia kogutarbest maailmas

*Lähtudes Taani Energia- ja Arengufoorumi (FED) konsultatsioonifirma (BTM Consult) analüüsist ja Rahvusvahelise Energia Assotsiatsiooni (IEA) 2000. a ülevaatest “Maailma Energeetika Võimalused” (World Energy Outlook), koostasid Euroopa Tuuleenergia Liit (EWEA) ja Greenpeace koostöös G8 Taastuvenergia Sihtrühmaga ulatusliku dokumendi, julgustamaks maailma tuuleenergia üha laienevamale kasutamisele.*

Praegu katab tuuleenergia vaid kuni 1% maailma elektritarbest ja sedagi peamiselt Saksamaa, USA, Hispaania ja Taani toodangu näol. Tuuleparkide aastane võimsuse kasv on aga jätkuvalt 25–30% piires. Uusi tuuleparke aastaks 2010 kavandab Saksamaa 20 000, USA 8000, Hispaania 13 000, Taani 4000, India 5000, Holland 2000, Inglismaa 6000, Itaalia 8000 MW ulatuses, Hiina ja Kreeka kohta pole teateid.

*Tabel 5. Tuuleenergia alal teisejärgulised riigid*  
*Table 5. Countries of second-ranking in wind energy*

Riik / Country	Rajatud, MW Installed, MW	Rajamisel, MW Initiated, MW	Kavandatud kuni 2010. a, MW Added by 2010, MW
Rootsi	328		
Kanada	312	150	10 000
Iirimaa	200	520	
Portugal	196		
Prantsusmaa	148	2200	10 000
Austria	139		
Norra	97	80	
Austraalia	83	600	
Ukraina	46		
Belgia	44	100	
Soome	41	100	
Uus-Meremaa	40	100	

Riikide tähelepanu Kyoto 1997. a protokollist tulenevatele CO<sub>2</sub> kvootidele (1 kW·h tuuleenergiat säästab, kivisöe, gaasi ja õli keskmisena, 0,6 kg CO<sub>2</sub>) on suurendanud valitsuste, pankade ja firmade aktiivsust tuuleenergia arendamisel ja rahastamisel.

### Kokkuvõte

Lähtuvalt Kyoto protokollist (1997) on arendatud hulgaliselt kasvuhoonegaaside vähendamise piirkondlikke ja riiklikke kavasad, mis omakorda on olnud aluseks taastuvate energiaallikate, sealhulgas tuule senisest ulatuslikumale kasutamisele eesmärgiga tõsta taastuvenergia osatähtsust energia kogutarbimises. Selle eesmärgi olulisemaks poliitiliseks tugitalaks on Johannesburgis 2002 peetud ÜRO jätkusuutliku arengu maailmakonverents. Hiljuti Greenpeace'i ja Euroopa Tuuleenergia Liidu poolt välja antud dokument Wind Force 12 ([www.ewe.org](http://www.ewe.org)) veenab, et kogu maailma elektritarbest katab aastal 2020 tuuleenergiast saadav 12%.

Tabel 6. Euroopa riikide ja maailma tuuleturbiinide võimsused 2003. a lõpus  
 Table 6. Wind capacity in European countries and in the World at the end of 2003

Riik <i>Country</i>	Koguvõimsus 2003. a, MW <i>Total by 2003, MW</i>	Kavandatud (EU-15) kuni 2010. a, MW <i>Target (EU-15) by 2010, MW</i>
Saksamaa	14 609	
Hispaania	6202	
Taani	3110	
Holland	912	
Itaalia	904	
Inglismaa	649	
Austria	415	
Rootsi	399	
Kreeka	375	
Portugal	299	
Prantsusmaa	239	10 000
Iirimaa	186	
Belgia	68	
Poola	57	
Soome	51	
Läti	24	
Luksemburg	22	
Tšehhi	10	
Eesti	3	
Slovakkia	3	
Hungari	3	
Küpros	2	
Leedu	0	
Malta	0	
Sloveenia	0	
<b>Kokku / Total</b>	<b>28 542</b>	<b>75 000</b>
Norra	101	
Ukraina	57	
Šveits	5	
Rumeenia	1	
<b>Kokku / Total</b>	<b>164</b>	
<b>Maailm kokku World Total</b>	<b>39294</b>	<b>150 000–250 000</b>

Viimaste aastate andmed näitavad, et uute tuuleparkide võimsus ületab uute tuumaenergiarajatiste võimsuse. Praegu on töös üle 55 000 tuuleturbiini maksumusega üle 5 miljardi USA dollari ja nende teenindamiseks on loodud 70 000 uut töökohta. Maailma ulatuses katab tuuleenergiast pärinev elekter 14 miljoni majapidamise ja 35 miljoni elaniku vajadused.

Sedamööda, kuidas turg avardub, langeb kiiresti omahind, mis nüüd on 5 korda madalam kui 20 aastat tagasi. Tööstusliku õppekurvi teooria kohaselt väheneb tuuleelektri omahind 20% võrra iga kord, kui toodetud energiakogus kahekordistub. Juba praegu on tuuleelekter konkurentsivõimeline uute kivisõejaamade toodanguga ja mõnes piirkonnas võimeline võistleva maagaasiga. Selleks aitab kaasa uute turbiinide võimsuse kasv, mis praegu käigusolevatel küünib 4500 kW-ni.

Mitmed arvutused ja hinnangud näitavad, et maailma tuuleenergia varud on väga suured ning enamiku piirkondade ja riikide huve silmas pidades võrdlemisi hästi jaotunud. Praegusi tehnilisi võimalusi silmas pidades hinnatakse aastast tuuleenergia varu 53 000 teravatt-tunnile, mis on tubli kaks korda suurem kui kogu maailma hinnanguline elektritarve aastal 2020. Niisiis ei ole tuuleenergia kättesaadavus mingiks piiranguks tuuleelektri kasutamisel ja selle edasise laiendamisel.

Tuuleenergia kasutamise edendamiseks on nii Euroopa kui teiste piirkondade riigid välja töötanud mitmesuguseid tuuleturgu toetavaid meetmeid. Need varieeruvad toodetud energiaühiku hinnakärpest kuni soodustusteni energiafirmadele kooskõlas taastuvenergia osakaaluga kogutoodangus. Tuuleturu õitseng on pälvinud pankade ja investeerijate tõsise tähelepanu, nii et lisanduvad üha uued tegijad, nagu näiteks naftafirmad.

Maailma ulatuses on olulisemateks arengukavadeks tuuleenergia varude senisest täpsem kaardistamine maismaal ja meredel, turbiinide edasine tehniline täiustamine ning vesiniku tootmise, kütuselementide arendamise ja teiste tuuleenergia salvestamise ning kasutamise võimaluste edendamine ja, eelkõige, tuuleturu arengut pidurdavate nafta, kivisõe ning tuumaenergia baasil töötavate elektrijaamade konkurentsivõimet kindlustavate subsiidiumide kõrvaldamine.

## **Kirjandus** ✕ **References**

1. Anttila, P., Ojanen, M., Puhakka, M., Vuorisalo, T., Frey, T. (1996) Globaalsed keskkonnaprobleemid. Tallinna Tehnikaülikool. Eesti Loodusfoto. Tartu: 207.
2. BTM Consult ApS (2002) Tsit Wind Force 12 (2002) järgi.
3. Elliot, D. L., Holladay, C. G., Barchett, W. R., Foote, H. P., Sandusky, W. F. (1986) US Department of Energy, DOE/CH 100934, Washington DC.
4. Extern E Project (2001).
5. Grubb, M. J., Meyer, N. I. (1993) Wind energy: resources, systems, and regional strategies. *In: Renewable Energy. Sources for fuels and electricity* (Ed. Johansson, T. B. *et al.*). USA: Island Press, 1160.
6. Hassan, G., Lloyd, G. (1995) Study of Offshore Wind Energy in EC. Tsit Wind Force 12 (2002) järgi.
7. Troen, I., Petersen, E. L. (1989) European Wind Atlas. Risø National Laboratories, Denmark.
8. Wind Force 12 (2002). <http://www.ewea.org/03publications/WindForce12.htm>.
9. WMO (World Meteorological Organization) (1981) Technical Note 175, Meteorological Aspects of the Utilization of Wind as an Energy Source, WMO, Geneva, Switzerland.

# TRENDS IN THE WORLD WIND ENERGY MARKET

*Toomas Frey*

Teadusühing IM SAARE, e-mail: Toomas.Frey@mail.ee

Starting with the 1997 Kyoto Protocol, a series of greenhouse gas reduction targets have cascaded down to a regional and national level. These in turn have been translated into targets for increasing the proportion of renewable energy, including wind.

One key political forum for action is the United Nations World Summit on Sustainable Development held in Johannesburg 2002. Greenpeace and the European Wind Energy Association have recently demonstrated the opportunity to harness the natural energy of wind for the benefit of all. The corresponding document – Wind Force 12 – a blueprint to achieve 12% of the World's electricity from wind power by 2020 is available now. ([www.ewea.org](http://www.ewea.org)).

Over the past few years, new installations of wind power have surpassed new nuclear installations. There are over 55,000 wind turbines installed today. Globally, the industry employs around 70,000 people, is worth more than US \$ 5 billion and is growing at a rate of almost 40% per year. Around the World today, wind power already meets the electricity demand of around 14 million households, more than 35 million people.

As the market has grown, wind power has shown a dramatic drop in cost. The production cost of a kilowatt-hour of wind power is one fifth of what it was 20 years ago. Industrial learning curve theory suggests that costs decrease by some 20% each time the number of units produced doubles. Wind is already competitive with new coal-fired plants and in some locations can challenge gas. Individual wind turbines have also increased in capacity, with the largest commercial machine now reaching 2,500 kW.

A number of assessments confirm that the world's wind resources are extremely large and well distributed across almost all regions and countries. The total yearly available resource that is technically recoverable is estimated to be 53,000 Terawatt-hours. This is over twice as large as the projection for the world's entire electricity demand in 2020. Lack of the resource is therefore unlikely ever to be a limiting factor in the utilisation of wind power for electricity generation.

In order to achieve further progress, countries in both Europe and elsewhere have adopted a variety of market support mechanisms. These range from premium payments per unit of output to more complex mechanisms based on an obligation of power suppliers to source a rising percentage of their supply from renewable energy. The blooming wind energy business has attracted serious attention from the banking and investment market, with new players such as oil companies entering the market.

One can conclude that today the main trends in the wind power business exist as follows.



More detailed mapping of the potential onshore and offshore wind power resources, further technical evolution in turbine and wind park design, improvement of hydrogen production, fuel cell and other wind energy accumulation and exploitation facilities, and finally, to ensure that market distorting subsidies get removed.

# TUULEENERGEETIKAST EUROOPA LIIDUS JA EESTIS

*Jaan Lepa, Andres Annuk, Kuno Jürjenson ja Tõnis Peets*

Eesti Põllumajandusülikooli põllumajandusenergeetika instituut  
Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu

e-post: jlepa@eau.ee, annuk@eau.ee, kuno@eau.ee, tpeets@eau.ee

## **Annotatsioon**

Euroopa Liidus ja ka maailmas juhvad praegu tuuleenergeetika valdkonnas absoluutset edetabelit Saksamaa ja Hispaania. Võrreldes tuuleelektrijaamadesse installeeritud võimsust riikide elanike arvuga ja pindalaga, paigutub esimeseks Taani. Eesti jääb selle tabeli lõppu, kuigi oma pika merepiiriga ja saarte rohkusega võiks olukord olla tunduvalt parem. Ajalooliselt on see seotud põlevkivienergeetika domineerimisega ning valitseva energiapoliitikaga. Seoses Euroopa Liitu astumisega ilmselt olukord paraneb tunduvalt ning edasise arengu kindlustamiseks tuleb enim tegelda tuuleelektrijaamade koormuste ühtlustamise probleemidega.

## TUULEGENERAATORID, INSTALLEERITUD VÕIMSUS, ELEKTRIBILANSS, KOORMUSTE ÜHTLUSTAMINE, ENERGIA

### **Ülevaade**

Euroopa Liit on tuuleenergeetika valdkonnas käesoleval ajal maailmas kindlalt juhtpositsioonil ning riikide absoluutset edetabelit juhib Saksamaa. Kui veel 1996. aastal oli tuuleelektrijaamade installeeritud võimsuse poolest maailmas esikohal USA (1591 MW), Saksamaa teisena (1546 MW) (Valma, 1999), siis 2003. aastal ületas Saksamaa tuulejaamade installeeritud võimsus (14 609 MW) Ameerika Ühendriikide oma (6374 MW) üle kahe korra. USA-ga on peaaegu võrdne Euroopa Liidu liikmesriik Hispaania 6202 MW-ga (<http://www.awea...>). Saksamaal on tuuleenergia kasutamisel pikaajalised traditsioonid. Ruhri Ülikooli geograafiinstituudi klimatoloogia-õppejõu Jürgen Steinrücke andmeil (Steinrücke, 1994) oli Saksamaal tuulikute hiilgeajal XVII sajandil umbes 60 000 tuuleagregaati, Põhja-Saksamaal 1875. a veel vähemalt 30 000. Eestimaa kuberner 1801. a aruanne viitab 117 nn Hollandi tuuliku ja 886 pukktuuliku olemasolule (Eestimaa kubermang hõlmas tol ajal ainult praegust Põhja-Eestit). Iseseisvuse algusajal (1919) oli Eestis tervikuna 1540 tuule jõul töötavat jahuveskit ja 19 tuulelektrigeneraatorit. Tuuleveskid töötasid enamasti saartel ja rannikualadel, kuid neid oli arvukalt ka sisemaal (Juske, 1993). Peale ametlikus statistikas peegelduvate tuulikute oli eraldiseisvates majapidamistes ka 6 V autogeneraatorite ja akumulaatoritega valgustusotstarbelisi tuulejõuseadmeid. Tarbijateks muidugi autolambid aga ka juba kaasaegses majapidamises kasutatavatele sarnased 6 V pirnid. Ka käesoleval ajal töötab Eestis rida autonoomseid tuuleelektriseadmeid, mille ülesandeks on põhiliselt ruumide kütmine (Talvar, 2003). Käesolev kirjutis käsitleb aga eelkõige üldkasutatavamaid elektrivõrku energiat andvaid tuulejõujaamu.

Interneti aadressil (<http://www.awea...>) on toodud andmed tuuleelektrijaamade installeeritud võimsuse kohta eelkõige Euroopa Liitu kuuluvates, aga ka teistes riikides 2003. aasta lõpus.

Toodud tabelist selgub, et eraldi rühma Euroopa Liidu riikidest moodustavad Saksamaa, Hispaania ja Taani, kus igaihes on tuuleelektrijaamade installeeritud võimsus üle 3000 MW.

*Tabel 1. Tuuleelektrijaamade installeeritud võimsus mõnedes Euroopa Liidu riikides 2003. a lõpus*

*Table 1. Wind power capacity installed in the some EU countries by the end of 2003*

Riik	Koguvõimsus, MW	Elanikke, mln	Pindala, km <sup>2</sup>	W/elan	kW/km <sup>2</sup>
Saksamaa	14 609	82,4	358 854	177,3	40,7
Hispaania	6202	40,4	504 782	153,5	12,3
Taani	3110	5,4	43 084	574,3	72,0
Holland	912	16,1	41 885	56,6	21,8
Itaalia	904	59,8	301 200	15,1	3,0
Inglismaa	649	60,1	244 110	10,8	2,7
Rootsi	399	9,0	449 964	44,3	0,9
Kreeka	375	10,8	131 975	34,7	2,8
Prantsusmaa	239	59,4	551 602	4,0	0,4
Austria	415	8,1	83 850	51,2	4,9
Portugal	299	10,3	92 390	29,0	3,2
Iirimaa	186	3,9	70 283	47,7	2,6
Belgia	68	10,3	30 518	6,6	2,2
Poola	57	38,6	312 680	1,5	0,2
Soome	51	5,2	338 145	9,8	0,2
Läti	24	2,5	64 889	9,6	0,4
Eesti	3	1,4	45 228	2,1	0,1

Absoluutarvudes on teistest riikidest kaugelt üle Saksamaa. Eesti jääb kaheksa korda alla isegi naabervabariigile Lätile. Absoluutarvude võrdlemine aga ei anna päris õiget pilti riigi tuuleenergeetika tasemest. On ju selge, et Taani oma 5,4 miljoni elanikuga ja 43 084 –ruutkilomeetrise (ilma Fääri saarte ja Gröönimaata) pindalaga ei saaks kunagi konkureerida enam kui 82-miljonilise elanikkonnaga Saksamaaga. Sellest lähtudes leiti tuuleseadmete võimsus ühe elaniku ja riigi pindala ühe ruutkilomeetri kohta. Vastavad andmed on toodud tabeli 1 viimastes lahtrites. Selgub, et ühe elaniku kohta on töötavate tuulejõuseadmete võimsus väikeses Taanis üle 3 korra suurem kui Saksamaal, ühe ruutkilomeetri kohta ligi kaks korda. Seega ületab Taani Saksamaad tuuleenergeetika arengutasemelt tunduvalt. Eesti on toodud tabelis kõikide näitajate poolest kindlalt viimasel kohal, jäädes umbes samasuguse pindalaga Taanist tuulikute koguvõimsuselt maha ligikaudu 1000 korda!

Kui mahajäämus Taanist on nii majanduslikku kui ka geograafilist olukorda arvestades arusaadav ja andestatav, siis kaheksakordne allajäämine Lätile on lihtsalt arusaamatu. On ju Läti tuulele avatud rannajoon Eesti omast tunduvalt väiksem. Ka puuduvad Lätil saared, mis samuti on ideaalseteks kohtadeks tuulikute paigaldamiseks. Võib-olla on põhipõhjuseks “nõukogude korra viljastavates tingimustes” forsseeritult välja arendatud põlevkivienergeetika, mis oma kehva reguleeritavuse tõttu on halvasti

ühildatav kiiresti muutuva väljundvõimsusega tuulejõujaamadega. Läti hüdrojaamad sobivad tuulejaamadega koostöökis muidugi palju paremini.

Rahvusvaheline Energiaagentuur ja Euroopa Tuuleenergia Assotsiatsioon ennustavad aastaks 2010 tuuleelektrijaamade koguvõimsuseks Euroopas 75 000 MW (<http://www.ewea...>), mis on viimaste aastate arengutempot arvestades igati reaalne ning võib positiivse majandusarengu jätkudes ka ületatud saada. Eestis tootis tuuleelektrienergiat üldkasutatavasse elektrivõrku Taani riigi abiga 1997. a Tahkunas paigaldatud 150 kW võimsusega tuuleagregaat Genvind, mis on regulaarselt andnud aastas elektrivõrku ~ 320 MW·h elektrienergiat. Ka Saaremaal Torgu vallas töötab 225 kW võimsusega tuuleagregaat Vestas V-27. Tõelise läbimurde alguseks Eesti tuuleenergeetikas kujunes kolme Enercon E-40 600 kW nimivõimsusega tuuleagregaaadi käikulaskmine Virtsus 11. oktoobril 2002 (Reinap, 2002), millega tuulejõujaamade installeeritud võimsus suurenes korraga 13 korda. Ja kuigi nende aastatoodang (4,8 GW·h) ei mõjuta veel märgatavalt Eesti elektribilanssi (aastatoodang ~ 9000 GW·h), on see siiski esimese sammuna arvestatav.

Euroopa Liidus on ametlikult võetud suund taastuvate energiaallikate osatähtsuse suurendamisele. 27. oktoobril 2001. a jõustus Euroopa Liidu direktiiv 2001/77 EC, mis seab liikmesriikidele eesmärgi suurendada taastuvatest energiaallikatest toodetava elektrienergia osa elektribilansis. Kuigi see on Euroopa Liidu esimeseks õigusaktiks taastuvatest energiaallikatest elektrienergia tootmise osas, ei oma ta esialgu veel kohustuslikku jõudu (Tepp, 2003).

Majanduslike raskuste tõttu ei ole Eesti Vabariik seni suutnud iseseisvalt paigaldada ühtegi arvestatavat tuulejõuseadet. Praegu töötavad on paigaldatud põhiliselt Taani ja Saksamaa abiga. Moodsad, muutuva sagedusega sünkroongeneraatoriga või kahekordse ergutusega asünkroongeneraatori, alaldi ja inverteriga tuulejõuseadmed ei häiri oluliselt elektrivõrgu tööd, mistõttu muutuks paindlikumaks ka nende kasutamine.

TTÜ energeetika ja soojustehnika instituudi uurimuse “Tuule võimsuse ja elektrienergia tarbimise korrelatsioon Eesti läänerannikul” kohaselt võiks Eesti Energia elektrivõrk koos töötada kuni 176 MW installeeritud praeguse süsteemi tuulegeneraatoritega, ilma et see mõjutaks Eesti Energia võimsuste kuumreservi vajadust (Tepp, 2003).

Küllaltki aktuaalseks muutub tuulegeneraatorite kasutamine rannikust ja suurematest saartest kaugemal meres paiknevate väikesaarte elektrienergiaga varustamisel, kus sageli võivad paikneda ka riikliku tähtsusega objektid (nt piirivalvekordonid ja radari-seadmed) (Rohtmaa, 2002). Katkematu toite tagamiseks saab sellisel juhul kasutada diislgeneraatoreid ja akupatareid. Taolised hübriidsüsteemid on edukalt kasutusel mitmel pool Põhjamaadel. Oluliseks tuuleagregaatide poolt toodetava energiakoguse sõltuvuse vähendamiseks tuule puhangulisusest on nende hajutamine (Tomson, 2000), sest samal ajal kui ühes kohas tuule kiirus väheneb, võib see teises kohas hoopis tõusta.

Tuule kiiruse mõõtmine EPMÜ tehnikateaduskonna õppehoone katusel (Tamm jt, 1999), aga ka teiste uurijate töödega tutvumine näitab, et tuule kiirus võib kõikuda samas kohas mõnesekundiliste intervallidega, millest võib järeldada, et juba mõnekümne meetri kaugusel mõõtmiskohast (tuuliku asukohast) võib tuule kiirus olla tunduvalt erinev. Näiteks katsemõõtmistel selgus, et 20–30 sekundi jooksul muutus tuule

kiirus kaks korda ja energia vastavalt ~ 8 korda (Tamm jt, 1999). Seega tuule keskmisel kiirusel 5 m/s võisid selliste erinevate kiirustega kohad paikneda 100–150 m kaugusel. Järelikult teatud koormuse silumine võib toimuda juba sama tuulepargi piirides.

### **Järeldusi ja ettepanekuid**

1. Seoses Eesti astumisega Euroopa Liitu on oodata nii poliitilist survet kui ka majanduslikku abi meie tuuleenergeetika abistamiseks.
2. Tuleks kaaluda tuulikute koormuse ühtlustamiseks tuuleelektrijaamades vesiniku tootmise võimalusi selle hilisema kasutamiseks sisepõlemismootorite või kütuselementidel kütusena, kuna vastavasuunalisi uurimistöid tehakse ka Eestis edukalt (Tamm, 2002).
3. Uurimist vajaks tuuleagregaadi dünaamika mõju koormusühtlustajana.

### **KirjandusReferences**

1. <http://www.awea.org/pubs/documents/globalmarket2004.pdf>
2. <http://www.ewea.org>
3. Juske, A. (1993) Vesiveskid. Valgus, Tallinn: 224.
4. Reinap, A. (2002) Virtsu tuulikud annavad poole taastuvenergiast. Postimees 238 .
5. Rohtmaa, K. (2002) EMPOWER ehitab saartele tuuleelektrijaamu. Elektriala 4: 20.
6. Steinrücke, J. (1994) Tuulejõud. Eesti Loodus 2: 61–62.
7. Talvar, T. (2003) Ehitame koduõue tuulejõujaama. Maamajandus 6: 23.
8. Tamm, J. (2002) Kütuselement – keskkonnasõbralik energiaallikas. Kolmanda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Tartu: 65–69.
9. Tamm, T., Palge, V., Lepa, J. (1999) Tuuleenergia kasutusvõimalusi Tartu ja Pärnu maakonnas. EPMÜ tead tööde kog, Põllumajandustehnika, -ehitus ja -energeetika, 204, Tartu: 205–210.
10. Tepp, J. (2003) Taastuvad energiaallikad ja Euroopa Liit. Ehituskaar 1: 62–67.
11. Tomson, T. (2000) Eesti Lääneranniku tuule loomus. Eesti Loodus 7/8: 280–281.
12. Valma, A. (1999) Tuuleenergeetika areng maailmas. TTÜ kirjastus, Tallinn: 52.

## **ABOUT WIND ENERGETICS IN THE EU AND ESTONIA**

*Jaan Lepa, Andres Annuk, Kuno Jürjenson and Tõnis Peets*

Estonian Agricultural University, Institute of Agricultural Energy Engineering  
e-mail: [jlepa@eau.ee](mailto:jlepa@eau.ee), [annuk@eau.ee](mailto:annuk@eau.ee), [kuno@eau.ee](mailto:kuno@eau.ee), [tpeets@eau.ee](mailto:tpeets@eau.ee)

### **Abstract**

Estonia holds the last position in the EU in the installation capacity to wind power plants. In the near future this situation will improve, from the technical side the main concern is load-harmonizing problems.

# EESTI ESIMENE KAASAEGNE TUULEPARK

*Raimo Pirksaar<sup>1</sup> ja Valdur Tiit<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Eesti Energia AS-i Taastuenergia ettevõtte, Laki 24, 12915 Tallinn

<sup>2</sup>Eesti Põllumajandusülikool, Kreutzwaldi 64, 51014 Tartu  
e-post: raimo.pirksaar@energia.ee, vtiit@neti.ee

## **Annotatsioon**

2002. a sügisel ehitati Eesti esimene kaasaegne tuulepark – Virtsu tuulepark, mis koosneb kolmest Enerconi E-40 tuulikust. Tuulikute koguvõimsus on 1,8 MW. Tuulikud käivitasid pidulikult Eesti Vabariigi president Arnold Rüütel, Saksa Liitvabariigi Majandus- ja Tehnoloogiaministeeriumi osakonnajuhataja Wolfhart von Stackelberg, Eesti Energia juhatuse esimees Gunnar Okk ja firma Enercon esindaja Peter Klessascheck. Juba oma esimesel tööaastal tootis Virtsu Tuulepark 4,98 GW·h elektrienergiat, mis on hea tulemus.

## **VIRTUSU TUULEPARK**

### **Virtsu tuulepargi iseloomustus**

Eesti tuuleenergia ressurs on väga suur – hinnanguliselt 10 TW·h aastas (Koppel ja Ots, 2000) – ja tema kasutuselevõtt elektrienergia tootmiseks vajalik, kui Eesti riik soovib suurendada taastuvate energiaallikate osakaalu. Üheks sobivaks kohaks kaasaegsete tuulikute püstitamiseks on Lääne-Eesti. Hea ligipäätavuse ja sobivate elektriinide olemasolu tõttu otsustati ehitada esimene Eesti kaasaegne tuulepark Virtsu sadamast paarsada meetrit lõuna poole mere äärde. 2002. a 16. augustil paigaldati seal nurgakivi Virtsu tuulepargile.

Kavandatud Virtsu tuulepark on OÜ Roheline Ring, Eesti Energia AS-i ja elektri-  
tuulikute tootja ettevõtte Enercon GmbH ühisprojekt. Virtsu tuulepargi tuulikud (mark Enercon E-40) töötavad, vastavalt tuulele, kuni nimivõimsusega 0,6 MW. Seega on Virtsu tuulepargi koguvõimsuseks 1,8 MW. Arvestades asjaolu, et 2002. a sügisel oli Eestis töötava kahe suure kaasaegse tuuliku koguvõimsuseks vaid 375 kW (Tahkunas 150 ja Sõrves 225 kW), oli see oluline edasimineku.

Kui Tahkunas ja Sõrves töötavad tuulikud on varustatud nn käigukastiga, mis suurendab generaatori jaoks tiiviku pöörlemiskiirust, siis Virtsu omadel seda pole. Tuulikutel on turbiini võll otse (ülekangeta) ühendatud generaatori omaga.

Tuulikute püstitamist alustati septembri alguses, aga vundamendid valmisid juba 1,5 kuud varem. Tööd toimusid sujuvalt ja lõppesid edukalt kuu aja pärast. Projekti kogumaksumuseks kujunes ligikaudu 36 mln krooni (sellest märkimisväärse osa moodustas Saksamaa tagastamatu abi), tööde teostajaks oli Enercon GmbH, alltöövõtjateks Veemaailm Inc OÜ ja Pekkaniska OY. Joonisel 1 on esitatud episood tuuliku monteerimisest.

Elektrituulikute tehnilised andmed on järgmised: masti kõrgus 63 m, rootori diameeter 44 m ja tiiviku ühe laba pikkus 21 m. Turbiini pöörlemiskiirus on 18–34 pöört

minutis, nimituulekiirus 12 m/s, tuulik alustab tööd tuulekiirusel 2,5 m/s ja seiskub 28–34 m/s juures.

Tuulepargi kolmest tuulikust kaks kuuluvad Saaremaa ettevõttele OÜ Roheline Ring ja üks tuulik Eesti Energia AS-ile. See on Eesti Energia esimene nn rohelist energiat tootev tuulik.

### **Virtsu tuulepargi pidulik avamine**

Virtsu tuulepargi pidulik vastuvõtmine toimus 11. oktoobril 2002. Sellest võttis osa arvukalt inimesi, sh Eesti Vabariigi president Arnold Rüütel koos abikaasa Ingrid Rüütliga, Saksamaa Liitvabariigi suursaadik Eestis Jürgen Dröge ning Saksamaa Liitvabariigi Majandus- ja Tehnoloogiaministeeriumi osakonnajuhataja Wolfhart von Stackelberg (vt joonis 2).

Tseremooniat juhatas Eesti Energia taastuenergia ettevõtte direktor Martin Kruus, kes sissejuhatajuseks ütles: “Oleme kogunenud täna siia, et tähistada Eesti energeetika jaoks tähtsat päeva, avama Eesti esimest tuuleparki.”

Oma sõnavõttus ütles Eesti Energia juhatuse esimees Gunnar Okk: “Tuulepark valmis kolme firma, Saaremaa ettevõtte Roheline Ring, Eesti Energia ja Saksamaa suurima tuulegeneraatorite tootja Enerconi koostöös. Oluline panus oli ka Saksamaa Liitvabariigi Majandus- ja Tehnoloogiaministeeriumil. Suur tänu neile selle eest.” Edasi kirjeldades Gunnar Okk Eesti energeetikas valitsevat olukorda ja perspektiive ning sõnas lõpetuseks: “Üleeile avaldati Euroopa Komisjoni edu raport. Selle Eestit puudutavas osas märgitakse ära taastuenergeetika arengu paigalseisu ja vajakajäämist Eesti riigis. Täna siin avatava tuulepargiga me astume suure sammu selle vajakajäämise tasategemiseks.”

Eesti Vabariigi president Arnold Rüütel (joonis 3) rõhutas oma sõnavõttus Virtsu tuulepargi avamise tähtsust edasisele tegevusele ja lisis: “On vaja enam tegelema hakata alternatiivsete võimalustega ja tänane selle tuulepargi avamine ongi esimene ja tõsine samm sellel teel.” President hindas väga positiivseks erakapitali ja Eesti Energia vahendite kasutamisest ühise eesmärgi saavutamiseks. President lõpetas oma sõnavõtu järgmiselt: “Ma tahaksin kasutada võimalust, et tänada Saksamaa suursaadikut hr Jürgen Dröget tagastamatu rahalise abi ja toetuse eest nii suurepärase kompleksi ehitusse. Suur tänu teile kõigile ja palju jõudu järgnevalks.”

Regionaalminister Toivo Asmer rõhutas oma sõnavõttus Virtsu tuulikute ehitamise tähtsust ja tõdes, et selle edukalt teostatud ettevõtmisega on “Eesti Energia ja Roheline Ring teinud tõelist, Eesti arengut soodustavat regionaalpoliitikat.”

Järgmisena sõna saanud Saksamaa Liitvabariigi Majandus- ja Tehnoloogiaministeeriumi osakonnajuhataja Wolfhart von Stackelberg rääkis tuuleenergeetika arengust Saksamaal, mis on sel alal maailma liider. Ta ütles: “Selline keskkonnasõbralik energiaga varustamise viis on kõigi Euroopa riikide ja kogu maailma huvides.” Tema sõnul aitab Saksamaa oma kogemuste levitamisega kaasa tuuleenergeetika arengule Eestis. See toimus edukalt juba Virtsu tuulepargi ehitamise käigus ja siin saavad nüüd Eesti spetsialistid edasisi kogemusi. Pöörates tähelepanu keskkonnahoiule, üles ta: ”Lubage mul soovida, et kõik tuulikute asukohad Eestis alati nii õnnelikult valitaks, et sellise

keskkonnasõbraliku energiavarustuse maine elanike hulgas mitte ei langeks, vaid tõuseks.”



*Joonis 1. Tuuliku generaatori montaaž Virtsus*  
*Figure 1. Installation of the generator to the wind-turbine in Virtsu*



*Joonis 2. Virtsu tuulepargi avamine. Esiplaanil on Wolfhart von Stackelberg, Jürgen Dröge ja Ingrid Rüütel*  
*Figure 2. Commissioning of the Virtsu Windpark. On the forefront: Wolfhart von Stackelberg, Jürgen Dröge and Ingrid Rüütel*



*Joonis 3. Eesti Vabariigi president Arnold Rüütel kõnelemas*  
*Figure 3. The President of the Republic of Estonia Arnold Rüütel delivers his speech*



*Joonis 4. Vaade Virtsu tuulepargile*  
*Figure 4. View to the Virtsu Windpark*



Hanila vallavanem Arno Peksar meenutas Virtsu tuulepargi ehitamise lugu ja selle käigus antud lubadusi püstitada valda uusi tuulikuid. Ta hindas senist tegevust positiivselt ja avaldas lootust, et tuuleenergeetika areng selles piirkonnas jätkub edukalt.

Virtsu tuulepargi kahe tuuliku omaniku OÜ Roheline Ring juhatuse liige Tullio Liblik rääkis tuulepargi kohta: “Arvan, et tegemist ei ole mitte niivõrd ärilise objekti, kuivõrd sümboliga. Ja inimesed vajavad sümboleid. Me oleme loonud sümboli vähemalt Virtsule kui ka Hanila vallale, Läänemaale ja võib-olla ka Eestile. See avab uue ajajärgu Eesti energeetikas. Koostöös võivad ettevõtted, aga miks mitte ka ettevõtlikud inimesed, püstitada tuulikuid ja vääristada meie kohal puhuvat tuult.”

Järgnevalt jõudis kätte oodatud suursündmus. Tullio Liblik kutsus tuuliku juurde Eesti Vabariigi presidendi Arnold Rüütli, Eesti Energia juhatuse esimehe Gunnar Oki, Saksamaa Liitvabariigi Majandus- ja Tehnoloogiaministeeriumi osakonnajuhataja Wolfhart von Stackelbergi ja firma Enercon esindaja Peter Klessaschecki. Moodustatud meeskond käivitas pidulike marsihelide saatel kõik kolm tuulikut ja kell 16.35 hakkasid vaikes tuules nende kõigi tiivikud pöörlema. Arvukad pidulikust sündmusest osavõtjad tervitasid ajaloolist hetke rõõmuhõisete ja aplausiga.

### **Kokkuvõte**

1,8 MW võimsusega Virtsu tuulepargi käivitamine 2002. a sügisel oli Eesti taastuvenergeetika jaoks oluline samm. See sai teoks mitme organisatsiooni koostöös ja Saksamaa tagastamatu rahalise abi toel. Tuulepargi senine töö on näidanud, et ta toodab elektrienergiat vastavalt prognoositule, 4,8 GW·h aastas. See on hea tulemus. Esialgsed hirmud tuulikute kahjulikust mõjust ümbruskonnale on suuresti ülepaisutatud. Nad on pigem kujunenud Virtsu vaatamisväärseks.

### **KirjandusReferences**

1. Koppel, M., Ots, M. (2000) Taastuvate energiaallikate kasutamine Eestis. Esimese konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate kasutamine ja uurimine. EPMÜ kirjastus. Tartu: 10–20.
2. Tiit, V. (2002) Koduarhiiv. Virtsu tuulepargi avamine 11. 10. 2002. Magnetlint.

## **THE FIRST ESTONIAN MODERN WIND PARK**

*Raimo Pirksaar<sup>1</sup> and Valdur Tiit<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Eesti Energia Ltd, BU Renewable Energy, <sup>2</sup>Estonian Agricultural University  
e-mail: raimo.pirksaar@energia.ee, vtiit@neti.ee

### **Abstract**

The first modern wind park in Estonia, 1.8 MW, built with German support, was inaugurated by the President of the Republic of Estonia Arnold Rüütel, Wolfhart von Stackelberg, Gunnar Okk and Peter Klessascheck on 11<sup>th</sup> of October 2002 in Virtsu. Last year the wind park has produced in total 4.98 GW·h electricity. It is a good result.

# TUULEENERGIA PROGNOOSI TÄPSUSE UURING

Teolan Tomson<sup>1</sup>, Maire Hansen<sup>1</sup> ja Raimo Pirksaar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TTÜ Eesti Energeetika Instituut<sup>1</sup>, Akadeemia tee 23A, 12618 Tallinn  
e-post: teolan@staff.ttu.ee

<sup>2</sup>Eesti Energia, Laki 24, 12915 Tallinn, e-post: raimo.pirksaar@energia.ee

## Annotatsioon

Virtsu ilmajaama 10 m kõrgusel sooritatud tuulemõõtmiste baasil tehnilisele kõrgusele 63 m transponeeritud keskmine tuulekiirus osutus 1,35 ja elektritoodang ~2 korda väiksemaks, kui Virtsu tuulepargis tegelikult fikseeriti. Uurides reas teistes tuulemõõtepaikades keskmiste tuulekiiruste vertikaalepüüri, saab järeldada, et Eestis on pinnakaredus märksa suurem kui kirjanduses antud soovitustest järelduks, ja näib, et senised meteoroloogiateenistuse baasil tehtud tuuleenergia prognoosid Eesti kohta on pigem pessimistlikud. Esimene ekspluatatsioonikogemus näitas, et kohalikes oludes töötavad tuulikud suhteliselt hästi. Väiksevõimsuselised tuulepargid ei mõjuta Eesti elektrivõrgu tööd, pigem on asi vastupidi.

TUULEKIIRUS, ELEKTRITOODANG, PROGNOOSI TÄPSUS, ELEKTRITUULIKU EKSPLUATATSIOONIKOGEMUS

## Sissejuhatus

Traditsioonilised tuulemõõtmised Eestis on tehtud Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi ilmajaamades standardisel 10 m kõrgusel ning valdav osa seniseid prognoose Eesti tuuleressursi kohta ja uurimusi tuule omadustest (Kull, 1996; Tomson jt, 2002; Tomson, 2002) on saadud nende andmete transponeerimisest tehnilisele kõrgusele (sageli 50 m). Transponeerimisel on seni kasutatud kirjanduses soovitatud tuule vertikaalprofiili kõverust määravat pinnakareduse koefitsienti  $z_0$  logaritmilise aproksimatsiooni puhul (Mortensen *et al.*, 1993) või nn Hellmanni koefitsienti  $k_H$  astmelise aproksimatsiooni puhul (Ветроэнергетика, 1982). Mõlemad meetodid annavad praktiliselt kokkulangeva tulemuse.

Logaritmilise valemi järgi on tuule kiirus kõrgusel  $z_2$  seotud tuule kiirusega kõrgusel  $z_1$  järgmise teoreetilise sõltuvusega:

$$u(z_2)/u(z_1) = (z_1 \cdot \ln(z_2/z_1) - \ln z_0) / (\ln z_1 - \ln z_0), \quad (1)$$

kus  $z_0$  on ümbruskonna pinnakaredust iseloomustav kareduskõrgus (otsetõlkes – kareduspikkus).

Empiirilise Hellmanni valemi järgi

$$u(z_2)/u(z_1) = (z_2/z_1)^{k_H}, \quad (2)$$

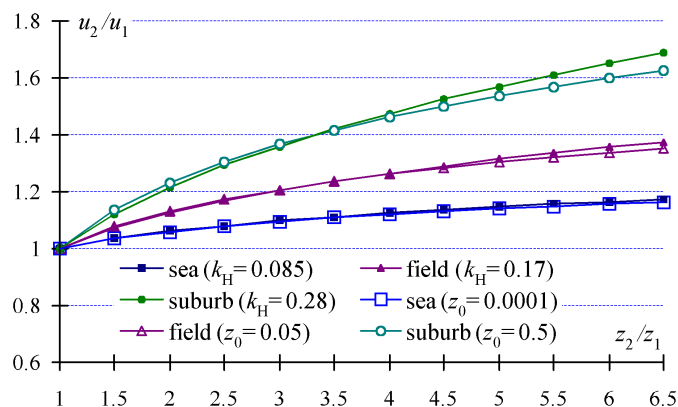
milles astendaja  $k_H$  on ümbruskonna pinnakaredust iseloomustav nn Hellmanni tegur.

---

<sup>1</sup> TTÜ EI on likvideeritud alates 01.01.2004; autor Teolan Tomson jätkab TTÜ materjaliteaduse instituudi vanemteadurina. Autorite märkus.

Joonisel 1 on illustreeritud tuulekiiruse suhtelised vertikaalprofiilid kolme kirjanduses soovitatud iseloomuliku maastikutüübi jaoks: meri (*sea*), avatud põllumaa (*field*) või agul (*suburb*).

Paraku jääb pinnakareduse hindamine ka moodsamate transponeerimisprogrammide rakendamisel (näiteks WindPro2 ..., 2001) tööd teostavale eksperdile ning tulemuse tõepära sõltub tema subjektiivsetest kogemustest ja silmamõõdust. Ehkki Eestis on alustatud (energeetilisi) tuulemõõtmisi ka tehnilistele lähedastel kõrgustel (10/27 m, 20/40 m), pole need (v.a Kihnus) mõõtepaigad ilmajaamadega koos ja nimetatud koefitsientide sobivus 10 m kõrguste mõõteandmete transponeerimiseks jääb lahtiseks<sup>2</sup>.



Joonis 1. Tuulekiiruse vertikaalprofiilide näited  
Figure 1. Examples of the typical wind shear

Andmete transponeerimiseks kasutatavate koefitsientide sobivuse selgitamine ongi käesoleva töö eesmärgiks ja võimaluse selleks andis Virtsu ilmajaama vahetus (kaugus ~400 m) läheduses asuva Virtsu Tuulepargi käivitamine 2002. a oktoobris.

### Kasutatud andmestik ja selle ettevalmistamine

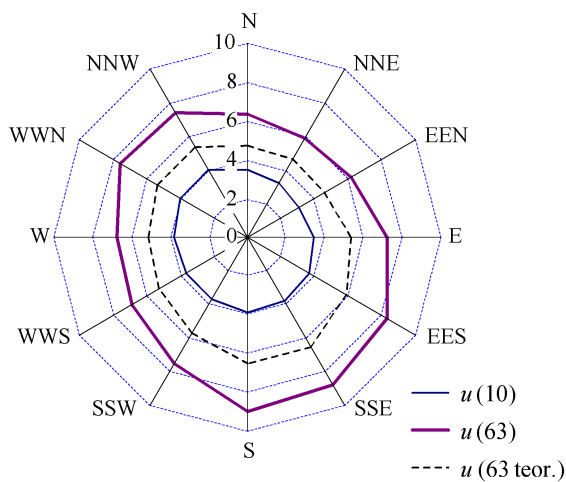
Kasutatud andmestike ühisosa oli viis kuud (1. nov 2002 kuni 31. märts 2003), mis andis kolmetunnise mõõtmisintervalli juures 1208 sampi. Autorid kasutasid Virtsu ilmajaamas 10 m kõrgusel registreeritud tuulekiirusi (ja asimuute), mida registreeritakse nullmeridiaani ajaskaalas (UTC) 3-tunnise intervalliga. Virtsu tuulepargis (täpsemalt Eesti Energiale (EE) kuuluval elektrituulikul E-40) registreeritakse palju näitajaid, millest kasutust leidsid tuule keskmine kiirus 10-minutises intervallis, selle asimuut ja samas intervallis genereeritud keskmine võimsus. See andmestik salvestatakse Kesk-Euroopa ajaskaalas (UTC+1h), kuid paraku see ajaskaala nihkub. Sellest annab tunnistust asimuutide võrdlus: kui novembri ja detsembri jooksul asimuutide vastastikune korrelatsioon oli kõrge, siis veebruaris-märtsis asimuutide vastastikune korrelatsioon vähenes. Võrrelda saab ainult sünkroonseid andmeid ja seetõttu tuli Virtsu tuulepargi andmestikust teha 3h sammuga väljavõtted.

<sup>2</sup> Ükski autoreile teadaolev  $k_H$  tutvustav kirjalik allikas ei defineeri toodud väärtuste rakendamispiirkonda sõltuvalt mõõtekõrgusest. Autorite märkus.

## Tegeliku ja arvutusliku keskmise tuulekiiruse võrdlus

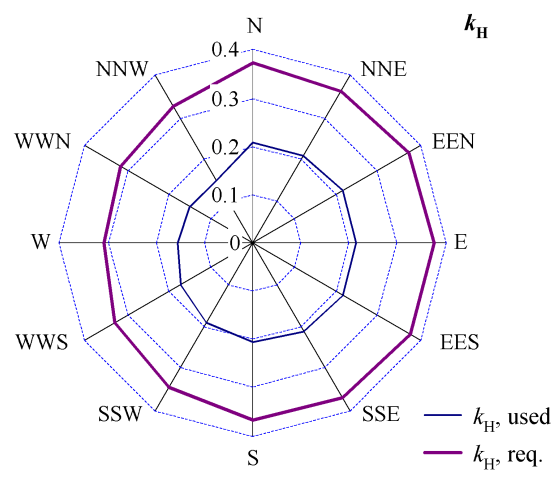
Mõistagi saab võrrelda vaid samal kõrgusel olevaid andmeid ja seepärast transponeeriti Virtsu ilmajaama andmed 63 m kõrgusele (elektrituuliku E-40 võlli kõrgus). Transponeerimisel kasutati Hellmanni koefitsiendi eeldatud väärtusi  $k_H(\text{exp})$ , mida samas paigas oldi varem kasutatud (Tomson jt, 2002). Arvutatud ja tegeliku tuulekiiruse võrdlus esitatakse joonisel 2. Lahkumine on oluline, ~1.35 korda, ja see kajastub võimendatuna allpool elektritoodangu arvutuses.

Tegeliku tuulekiiruse leidmiseks 63 m kõrgusel tuleks kasutada märksa suuremaid karedusnäitajaid  $k_H(\text{VRT})$ , mida leiti tagurpidise tehte järgi. Nimelt määrati “uus” arvutuslik tuulekiirus sobivalt valitud  $k_H(\text{VRT})$  abil, mis tagas kokkulangevuse 63 m kõrgusel  $0,001 \text{ m s}^{-1}$  täpsusega. Tulemust illustreerib joonis 3, millel vastandatakse Virtsu eeldatud ja selgitatud pinnakaredust jämeda joonega kujutatud graafikute abil.



Joonis 2. Tuulekiirused Virtsus nov 2002 kuni märts 2003

Figure 2. Wind speed in Virtsu site November 2002 till March 2003



Joonis 3. Soovituslik ja tegelikult sobiv pinnakaredus Virtsus nov 2002 kuni märts 2003

Figure 3 Recommended and actually suitable roughness in Virtsu site November 2002 till March 2003

## Pinnakareduse tõeväärtuse hinnang

Oluline lahknevus eeldatud ja “vajaliku” pinnakareduse vahel, mida tõlgendame tegelikuna, sunnib meid tegema järelkontrolli. Ettevaatlikkusele sunnib ka asjaolu, et teoreetilise tuulekiiruse arvutamise juures ignoreerisime raskesti määratletavate kohalike tuuletakistuste (hooned) mõju. Seepärast kasutame muudes mõõtepaikades erinevail kõrgustel mõõdetud tuuleandmeid, et nende paikade tegelikku  $k_H$  sama meetodika järgi leida. Andmed võrreldavate mõõtepaikade kohta esitatakse tabelis 1 ja karedusdiagrammid joonisel 4.

Kommentaariid mõõtepaikade iseloomustamiseks on järgmised.

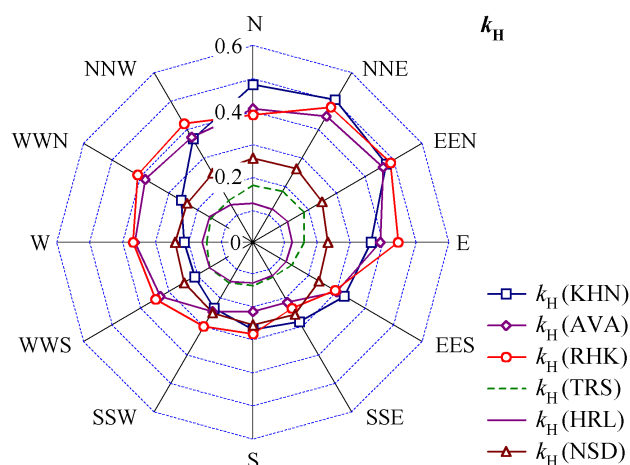
**Kihnu:** (KHN) asus vahetult EMHI (vana) ilmajaama kõrval, NNW-NNE suunal 100 m kaugusel on madal mets (võpsik), muud suunad on merele praktiliselt avatud.

**Avaste mägi:** (Vigala vallas) (AVA) SSE-SSW suunal pikalt rohumaa, W-100 m kaugusel 8–10 m astang (alla), NEE-EES suunal 200 m kaugusel metsatukk, NNW suunal 100 m kaugusel laohoone. **Rohuküla:** (RHK) – võpsik kõigis suundades, mereni SW-NW suunal umbes 1,5 km.

**Harilaid:** (HRL) metsatu laid keset Hari kurku, lähemate saarteni mitu kilomeetrit mereavarust.

*Tabel 1. Kontrolliks kasutatud tuulemõõtmised*  
*Table 1. Wind measurements, used for the control*

Mõõtepaik	Lühend	z1	z2	Algus	Lõpp	Intervall	Sampe
Kihnu	KHN	10	27	29.10.99	14.02.00	3h	427
Avaste	AVA	10	27	26.09.02	11.03.03	1h	3981
Rohuküla	RHK	20	40,5	01.11.02	28.02.03	1h	2880
Harilaid	HRL	20	50	01.01.98	31.12.98	1h	8736
Türisalu	TRS	20	40,5	01.09.02	28.02.03	1h	4346
Näsudden	NSD	10	53	01.01.88	31.12.89	1h	14 460



*Joonis 4. Kareduskoeffitsiendid võrreldavates paikades*  
*Figure 4. Roughness indices in control sites*

**Türisalu:** (TRS) lähiümbruses valitseb sarapuuvõsa ja risti-rästi mõne meetri kõrgused mullavallid igas suunas. 1–2 km kaugusel SW-N suunal asub kuni 40 m astang alla (rannapank).

**Näsudden:** (NSD) kaardi järgi asub mõõtepaik Gotlandi edelatipus vahelduval maastikul, S-SW suunal on meri 1,5 km kaugusel, NNW-NNE suunal jääb tuulele ette kogu Gotlandi saar.

Võrdlusest selgub, et kirjanduses soovitatud  $k_H$  väärtused sobivad HRL ja NSD mõõtepaikadele, mujal on probleeme. Türisalu (TRS)  $k_H$  madalad, merele sobivad väärtused sunnivad oletama süstemaatilist mõõteviga. Mujal leitud  $k_H$  väärtused on lähedased Virtsule leituga. Mitte üheski paigas ei näi kohalikel takistustel otsustavat mõju olevat,

ehkki asümmeetria on ilmne. Kirjanduses soovitatud väärtused langevad kokku pika mõõteperioodiga; võimalik, et mõnekuine mõõteperiood jääb liiga lühikeseks.

### Arvutuslik ja tegelik energiatoodang

Suurt huvi pakub see, kui palju tuule (transponeeritud andmetega leitud) arvutuslik ressursid erineb tegelikust. Arvutustes kasutatakse elektrituulikute väljundkarakteristiku  $P(u)$  kataloogiandmeid või nende aproksimatsiooni, Virtsu elektrituuliku mõõteandmetel põhinev tegelik väljundkarakteristik  $P(63)$  on kujutatud joonisel 5. Näeme, et see erineb mõnevõrra kataloogis esitatud E-40 karakteristikust ja sisaldab hälbeid ning ilmseid vigaseid andmeid. Pärast ilmsete vigade eemaldamist ja hälvete silumist saame reaalse väljundkarakteristiku “real” joonisel 6. Samal joonisel on kujutatud selle empiirilise aproksimatsioon “appr.” järgmise valemi järgi, mida kasutame arvutusliku energiatoodangu leidmiseks:

$$P = 0, \quad (3)$$

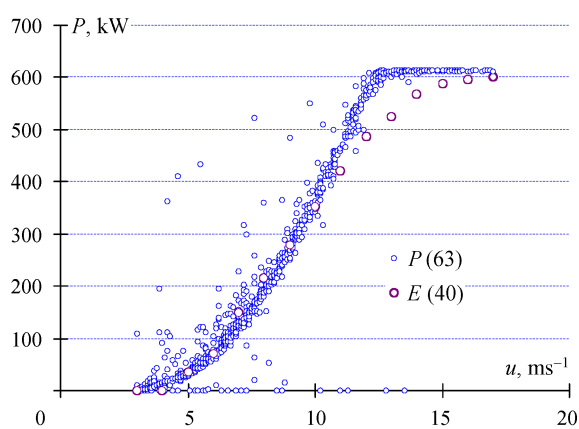
kui  $u < 3,75 \text{ m s}^{-1}$ ,

$$P = 600 \cdot (u - 3,25)^{1,75/47}, \quad (4)$$

kui  $3,75 < u < 11,99 \text{ m s}^{-1}$  ja

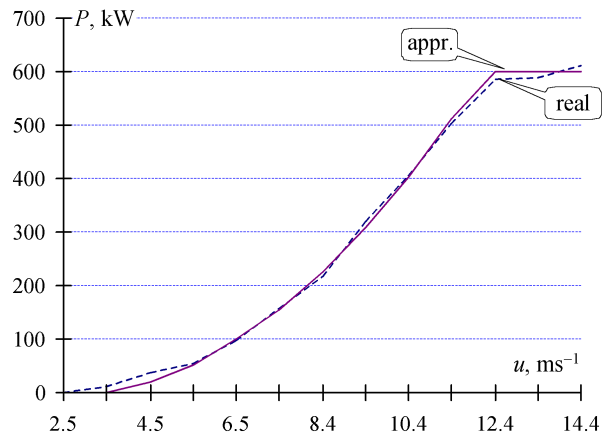
$$P = 600, \quad (5)$$

kui  $u > 12 \text{ m s}^{-1}$ .



Joonis 5. Elektrituuliku E-40 kataloogijärgne ja eksploatatsioonil selgunud väljundkarakteristik

Figure 5. The power curve of E-40 model and real fixed power  $P(63)$  values



Joonis 6. E-40 silutud tegelik väljundkarakteristik (real) ja selle aproksimatsioon (appr.)

Figure 6. Debugged real power curve of E-40 and its approximation

Tabelis 2 esitatakse nimetatud viie kuu energiatoodang, kusjuures kaks esimest veergu vastab kolmetunnisele arvutus- (ja mõõtmis-) sammule, kolmas veerg aga registreeritud toodangule 10 min pikkuse sammuga.

Tabel 2. Virtsu E-40 arvutuslik ja tegelik elektritoodang Virtsu tuulepargis  
 Table 2. Calculated and real energy production of E-40 in Virtsu Virtsu wind farm

	Arvutusl (3 h)	Tegel (3 h)	Tegel (10 min)
Viie kuu elektritoodang, kW·h	400 935	771 543	925 661

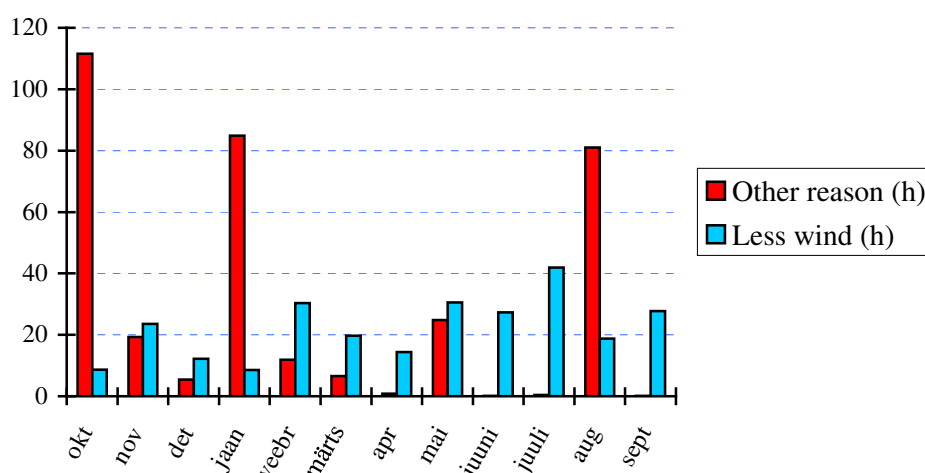
Näeme, et kirjanduses soovitatud kareduskoeffitsientide alusel 10 m kõrguselt mõõdetud tuuleandmete põhjal leitud energiatoodang on tegelikust ~2 korda väiksem.

### Elektrituuliku ekspluatatsioonikogemus

Saksa kontserni Enercon GmbH valmistatavad elektrituulikud on tuntud konkurentidest suurema toodangu, kuid ka keerulisema ehituse poolest. Iga Virtsu elektrituuliku sisemuses on 11 protsessorit, mis juhivad erinevate komponentide talitlust. Piltlikult väljendades kontrollib pidevalt 11 personaalarvutit elektrituuliku tööd.

Lisaks elektroonika riketele võivad tõrkuda mehhanismid. Näiteks esimesel aastal oli Eesti Energia AS elektrituuliku ekspluatatsiooniline valmidus 96,2%, s.o aeg, kus töötamisperiodist on maha arvatud rikete, võrguhäirete, hooldustöö tegemise aeg. Seejuures esimesel, testimise kuul oli see näitaja 84,8% ja seitsmel kuul üle 99%.

Iganädalaseks probleemiks tuulikul on olnud elektrivõrgu häiringud, mille esinemisel elektrituulik alati seiskub ning käivitub uuesti mõne minuti jooksul. Neist sagedamini esinevateks on pinge ühes faasis alla või üle normi ning võrgusageduse kõikumine. Elektrituulikus on kõik elektrivõrgust sõltuvad parameetrid sätitud maksimaalselt tolerantseks. Kuid võrgupinge ja -sagedus muutuvad pisut suuremas ulatuses, mida ka lubab Eestis rakendatud pinge tunnussuuruste standard (EVS-EN 50160:2000). Kokku on elektrituulik seisnud võrguhäiringute tõttu pisut üle 1 h. Samas elektrituuliku häirivast mõjust elektrivõrgu tööle artikli autoreil andmed puuduvad.



Joonis 7. Elektrituuliku tuulest (“less wind”) ja muudest teguritest (“other reasons”) põhjustatud seisakud

Figure 7. Stalled hours caused by wind and other reasons (example: maintenance, grid fault, wind converter errors etc.)

Elektrituuliku rikete ja hooldustööde tõttu on seisakuid ligi 350 h. Võrdluseks olgu öeldud, et näiteks vaikse tuule (tuule kiirus alla 2,5 m/s) pärast on seisakuid olnud alla 300 h. Suurimaks tõrkeks võib lugeda jaanuaris 3,5-päevast seisakut, mille põhjustas temperatuuri järsk langus. Häiret andnud konverterite jahutussüsteemi töösseviimiseks piisas tarkvara täiendamisest. Täpselt sama viga esines nii ülejäänud Virtsu elektrituulikutel kui ka eelmisel aastal Lätti püstitatud 33 elektrituulikul.

Suurimaks meelehärmi tekitajaks on olnud vandalism. Korra on üritatud elektrituuliku ust lahti muukida ning mitmel korral on ukse ja trepikäsipuu peal ihurammu kasutatud.

Kokkuvõttes võib elektrituuliku töökindluse ja toodanguga rahule jääda.

### **Kokkuvõte**

Madalalt, 10 m kõrguselt tehtud mõõtmiste alusel tehtav tuulekiiruse prognoos jääb tegelikust maha ~30% võrra ja energiatoodangu prognoos ~100% võrra.

Näib, et Eesti tuuleressursi senine hinnang on pigem tagasihoidlik kui ülehinnatud, sest maastiku tegelik pinnakaredus ületab üldjuhul (Lääne-Euroopa jaoks?) väidetut.

Senine ekspluatatsioonikogemus on positiivne ja väiksevõimsuselised tuulepargid ei mõjuta Eesti elektrivõrgu tööd, pigem on asi vastupidi.

### **KirjandusReferences**

1. Kull, A. (1996) Eesti tuuleatlas. Magistritöö. TÜ geograafia instituut. Tartu: 95.
2. Mortensen, N. G. *et al* (1993) Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP). Risoe NL. Roskilde, Denmark: 1: 126.
3. Tomson, T. (2002) Simultaneity of the wind power in Estonia. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 8(4): 270–275.
4. Tomson, T. Hansen, M., Nõva, A., Puust, M. (2002) Tuule sumbumisest ranna lähedal. Kolmanda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 102–108.
5. Ветроэнергетика (1982) Под. ред. Д. де Рензо. Энергоатомиздат. Москва: 272.
6. WindPro 2 seminari õppematerjalid (2001) Kärdla. CD-kettad.



# INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF PROGNOSED WIND ENERGY

*Teolan Tomson<sup>1</sup>, Maire Hansen<sup>1</sup> and Raimo Pirksaar<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Estonian Energy Research Institute at Tallinn University of Technology

<sup>2</sup>Eesti Energia

e-mail: post: teolan@staff.ttu.ee, raimo.pirksaar@energia.ee

## **Abstract**

The energy yield prognosis, made on the basis of wind measurements, held in the Virtsu meteorological station at the height of 10 m and transposed onto real height of 63 m shows reduced values: wind speed is 1.35 and produced energy is ~2 times less compared to the real one. Control investigation of the wind shear in a number of surrounding sites shows that the real roughness of the landscape in Estonia exceeds the values recommended in the literature. Therefore the Estonian wind energy recourse calculated earlier on the basis of meteorological measurements seems to be rather pessimistic. The first practical experience with wind farms shows positive results and small-powered wind farms do not influence the grid, but backward influence does exist.

# PÄIKESEENERGIA – OLMEENERGIA KOKKUHOID JA KUIVATUS

*Taito Mikkonen*

Saarenmaantie 430, 36200 Kangasala, Soome, e-post: taito.mikkonen@pp.inet.fi

## **Annotatsioon**

Pidevat majanduskasvu nõudva poliitikaga ei saa me rikkaks ega vabane toimetulekukimbatustest, vaid hävitame elu eeldusi. Rahuldus ja heaolu on kättesaadav ainult kestvate võimaluste piires. Arengu eesmärk peab olema kahandada tarbimist, aga ka energia ja tootmise vajadusi, mitte kapitali rohkendada.

## **ENERGIAKASUTUS, SÄÄSTEV ARENG, PÄIKESEMAJA, VILJAKUIVATUS**

### **Passiivne päikesemaja**

Peale liikluse on tänapäeval eraisiku või perekonna suur energiatarve maja kütmine. Elutubade ja teiste ruumide kütmise osakaal kogu energiakasutuses on suur – veerand kuni viiendik. Võttes arvesse fossiilsete kütuste eluhävitava mõju ja kütteenergia jätkusuutlikkuse võimalused, on parim lahendus kasutada majade soojuseks päikeseenergiat passiivsel viisil. Passiivne päikesemaja tähendab, et maja ise on kollektor ja salvestaja ning saab päikeseenergiat kiirgusena akendest sisse.

Kuna ilm on just kiirguse vähesuse tõttu külm, võib tunduda paradoksaalne, et päikesekiirguse abil saab maja soojendada. Talvel paistab päike madalalt ja selle kiirguse kimp jaguneb laiale alale maapinnal, lumi peegeldab sellestki kuni 90%. Aga lõunaseinal asetsevast aknast heidab päike sisse otsest kiirgust ja lumest peegeldub lisa. Siiski ei saa väike maja Eestis kütmata läbi. Suure pilvisuse kestes vahel mitu päeva või nädal-kaks järjest läheb aknast isegi rohkem soojust välja, kui tuleb sisse.

Eesmärk maja energeetika projekteerimisel on saada kütmine ja muu energiatarve (elekter) väikseks, mitte kasutada palju päikeseenergiat. Maja peab olema hästi isoleeritud, õhuvahetus hallatud, võimalusi energia kokkuhoiduks tuleb leida rohkem, kui kulub raha kokkuhoiduks odava hinna järgi rikkalikku eluhävitavat energiat. Näiteks ei kahjusta inimese töö tasakaalu rohkem kui jõudeolek.

Kui aken on hea,  $k = 1,3 \text{ W/m}^2/\text{K}$  ja väljas on  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ , toas  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ , siis kaotab aken energiat tunnis  $32,5 \text{ W}\cdot\text{h/m}^2$  ja ööpäevas  $0,78 \text{ kW}\cdot\text{h/m}^2$ . Kui aknast tuleks päikeseenergiat 6 tundi  $130 \text{ W/m}^2$ , siis aken ei kaotaks ega tooks sooja majja. Aga päikesekiirgust võib tulla aknast sisse isegi  $1 \text{ kW/m}^2$  ja harilikult tulebki päeval sooja rohkem sisse, kui terve ööpäeva jooksul akna kaudu kaob. Tavalise kütteperioodi suurema osa vältel tuleb aknast energiat nii palju, et ei ole vaja kütta.

Kui päikesepeaiste on tõhus, tuleb suurtest akendest suur soojusvõimsus. Kiirgus peab sattuma soojendama põrandat, seinu ja lage, mille sisemised kihid peavad sooja salvestamiseks olema massiivsed ja soojust hästi juhtivad – kivist, betoonist, klinkrist.

Teisiti tõuseks puitmajas toatemperatuur piinavaks. Salvestavast kihist väljaspool on teine, isoleeriv kiht, takistamas sooja väljajuhtimist. Normaalne elu majas toodab sooja, elaniketa maja jääks selle võrra külmemaks.

Minu maja Tartumaal vajab simulatsioonarvutuste järgi kütmiseks 300–500 kg puid aastas. Nii väikese koguse põletamiseks ei tasu muretseda ahju ega keskkütet, vaid selle saab põletada maja sees asuva sauna kerise või köögipliidi all. Kui puupliidil tehtaks iga päev süüa, poleks vist muud kütet vajagi.

Passiivne päikesemaja ei ole siis tavamajast kallim, vaid võib olla odavam. Aga odav ja hea ei kõlba, see pole uhke. Ka ei oska projekteerimise ja ehituse tellija tihti nõuda päikeseenergia kasutamist, projekteerijad omakorda ei oska ega viitsi võtta vaevaks seda kliendile soovitada. Pealegi on mõlemad harjunud turumajanduse tegutsemisviisiga, kui üks toodab, teine müüb, kolmas ostab, neljas rahastab. Sellesse sobib paremini sokutada ostjale kollektorid, mis on kallid ja tihti mittekasulikud, ebarentaablid. Tarkusel pole poolehoidjaid, nagu need on kauplejail äritegevuse ning majanduse kasvu nimel.

Selektiivklaasist aknad lasevad soojust välja vähem kui ilma selektiivsuset klaasid, aga kahjuks ka sissetulev kiirgus kahaneb. Kui väljaminek kahanebki rohkem kui sissetulek, pole suurt viga. Selektiivklaasid vähendavad toatemperatuuri kõikumist.

Et soojust tubades salvestatakse, peab leppima sellega, et päikesepaistel tuba soojeneb ja pärast jaheneb, salvestunud soojus aeglustab jahtumist.

## **Üldisem olmeenergia kokkuvõide**

Õhuvahetuseks väikemajja sissetulevat õhku saab pakase ajal soojendada selle toru kaudu, mis on pandud 30 m pikkuselt 2 m sügavusele maa sisse. Vähemalt lühikest aega on siis sissetuleva õhu temperatuur +8 °C ringis, sõltumata sellest, kui külm on ilm. Puhuri võimsus on väike, 25 W, selle elektritarbimine tasub juba siis, kui õhk soojeneb 1 °C. Suvel saab toru kaudu tuppja jahedat õhku, aga torus jahtuvast õhust võib torru kondenseeruda vett, mis võib põhjustada pisikute paljunemise ja tuppja sattumise.

Asjatult suur õhuvahetus on raiskamine, kuna see lisab kütmisvajadust. Kui koldes on tuli, läheb selle kaudu välja õhku ~5 m<sup>3</sup> ühe kg põlenud puidu kohta. Selleks ajaks võiks järelikult katkestada teise õhuvahetuse. Et süüa tehakse puupliidil ja kõrbelõhna ning auru tahetakse välja juhtida, võib pliidi tegemisel muretseda toru, mis tõmbab pliidi pealt kuplist õhku kolde resti alla põlemiõhuks. Korstna tõmbest piisab õhu imemiseks kuplist toru kaudu koldesse, kui pliidiuksed on kinni. Pole mõtet juhtida korraga lisaks pidevale õhuvahetusele õhku kolde ja veel kupli kaudu välja.

Inimene vajab hingamiseks ööpäevas 15 m<sup>3</sup> õhku, aga 60 m<sup>2</sup> korteris on normaalne õhuvahetus 2400 m<sup>3</sup> ööpäevas ehk 160-kordne. Selle õhuhulga soojendamine 25 °C võrra võtab energiat 21 kW·h ehk 6 kg puid. Õhuvahetus peab olema suur õhuniiskuse tõrjumiseks sooja ilmaga, inimese- ja prügikastihaisude, pisikute kontsentratsiooni ja maja sees olevate materjalide emissiooni äratuulutamiseks. Väljajuhitavat õhku oleks soodne võtta akna alt madalalt, kus on toa jahedam õhk.

Majja tuleva külma veega on võimalik jahtuda isoleeritud kasti ehk minikeldrit köö-

gis. Selles kastis võib hoida vähemalt tihedalt pakitud toitu ja jooke. Minikeldri temperatuur oleneb tuleva vee temperatuurist, veetarbimisest, keldri suurusest ning isolatsioonist, toatemperatuurist jm.

Dušis kasutatud 40 °C soojust veest saab soojusvaheti abil kanda soojust minikeldrist tulevasse vette, mis läheb edasi soojaveevärki ja duši külmaks veeks. Puude, prügi ja prahiga köetavaks soojaveevärgiks sobib isoleeritud roostekindlast terasest veenõu kolde peal. Selles vesi ei vahetu ja on surveta. Soojusvahetist tulev vesi ringleb soojaveenõus ~24 m vasktorus ning läheb dušši ja kööki soojaks veeks. Väiketarbimise puhul on tarvis kütta üks kord nädalas.

Kui elekterkütet ei ole, saab elektrit kokku hoida nn säästupirnidega.

Maal on päikesemajade jaoks häid kohti, lihtsam puid omal käel muretseda ja õhuruumi suitsule. Linnade asendi- ja detailplaanide koostajad ei ole päikeseenergia kasutamist üldse tähele pannud või kui, siis ainult püüdnud takistada. Passiivne päikesekorrumaja on väikemajast veel edukam, kusjuures rõdud võiksid varjata aknaid suvel otsese päikesepaiste eest.

### **Kuivatamine – teravili, hein, puiduhake**

Soomes kasutati varem arvatavasti rohkemgi salvkuivateid teravilja jaoks. Läbi viljakihi puhuti puhurist ainult 1 °C võrra soojenenud õhku. Kuivatamine võttis aega ja kuivatis oli ruumi terve saagi jaoks. Nimetus 'salvkuivati' ~ 'ladukuivati' ~ 'külmõhkuivati' (*varastokuivuri, kylmäilmakuivuri*) tulenes sellest, et õhku ei soojendatud.

Üldiselt on energiat majanduslikum kasutada õhu puhumiseks kui õhu soojendamiseks, kuivõrd õhk soojendamatagi saab võtta viljast niiskust: õhku pole vaja kokku hoida, pigem energiat.

Teravilja kuivatamisel kahekordistub õhu kuivatusvõime, kui õhku soojendatakse 2–3 °C võrra. See kindlustab soovitud kuivatustulemuse ja kahandab kuivamisaega ehk puhuri elektritarvet. Kui õhu kiirust viljakihis saab seejuures aeglustada, kahaneb puhuri töösurve ja võimsuse vajadus. See võib olla lahenduseks, kui elektri võimsusest on nappus.

Õhku saab lihtsalt ja odavalt soojendada päikeseenergia abil. Kui päike paistab (seina)pinnale, parem, kui tumedale, soojeneb pinna läheduses õhk. Siit saab puhuri abil väikese survevahega imeda sooja õhku pinna sees olevate aukude ja pragude kaudu. Kui imetakse näiteks ruutmeetri kohta 0,1 m<sup>3</sup> õhku sekundis ja päike paistab võimsusega 400 W/m<sup>2</sup>, soojeneb õhk 3 °C võrra. Kui õhuvool on suur, jääb temperatuuri tõus väikeseks, aga kasutegur on üllatavalt hea.

### **Järeldus**

Kui asendame keskkonda rikkuva elektrikasutuse päikeseenergiaga, saame päikesest soojusena rohkem kasu kui elektrina, ja võime säästetud biokütuse abil toota elektrit. Kestvaist võimalustest on nappus. Kas neid on vähe või on meid, tarbijaid, paljunenud mittejätkusuutlike vahendite abil liialt? Elu mittehävitavad energiaallikad ja taastuvad varad kestavad paremini, kui püüame korraldada hea elu võimalikult vähe tarbimist vajavaks ega taotle majanduskasvu.

# SOLAR ENERGY – ECONOMY AND DRYING IN EVERYDAY USE OF ENERGY

*Taito Mikkonen*

Saarenmaantie 430, FIN 36200 Kangasala, Suomi, e-mail: taito.mikkonen@pp.inet.fi

## **Abstract**

Striving for continuous economical growth, we can neither get rich nor be free from existential hardships but rather we destroy preconditions for life. Satisfaction and well-being are accessible only in the framework of lasting, permanent possibilities. The aim of development must be the contraction of consumption and of needs of energy and production, but not multiplication of capital.

In addition to traffic, the need for energy by private persons or families is high already for heating the houses. The share of heating living rooms and other rooms is a quarter or one fifth of all the consumption of energy. When taking into account the life-destroying influence of heating with fossil fuels, and possibilities of continuing combustible energy, we must agree on the best solution for heating houses. This seems to be the use of solar energy in the passive mode. 'Passive sunhouse' means that the house itself is a collector and a store, obtaining solar energy as solar radiation through windows.

It may be paradoxical that you can heat the house by means of solar radiation, as the weather is cold just because there is so little of radiation. In winter the sun is shining low and the bundle of rays breaks up on the broad area of ground, and the snow is reflecting away even about 90% of that. Nevertheless the sun throws its rays straight in the window in the south wall, and the snow is reflecting supplement. But yet the small houses in Estonia cannot function without heating. There may be many days running, or even weeks, that are cloudy, and through windows more warmth is going out than comes in. This paper introduces some important inferences of the author as a builder of two passive sunhouses.

In rural economy it is useful to dry corn, or hay, or broken wood by air, which is easily and cheaply heated by solar energy. Warm air is sucked through the wall, better if the wall is dark, by means of a blower into the layer of dryable matter. It is more economical to use the energy for blowing than for heating of air, as the air can take moisture from the corn without heating. Replacing the energy, which destroys the environment with solar energy we can get more advantage using it not for electricity, but for heat, and then to get more electricity from the biological fuel saved.

There are a few possibilities for the future. Maybe we, consumers, are reproduced overmuch by discontinuous means? If we try to arrange our good life, consuming as little as possible, and shall not apply for economical growth, then the sources of energy which do not destroy our life, just as well as reproducible resources, will last better and longer.

# PÄIKESE TERMOTUUMAREAKTOR – MÄEKÕRGUSELT PARIM ENERGIAALLIKAS; ISOMEERSEISUNDID – KAS TUUMAENERGIA AKUMULAATORID?

*Karl K. Rebane*

Tartu Ülikooli Füüsika Instituut, Riia 142, 51014 Tartu  
e-post: rebanek@fi.tartu.ee

## **Annotatsioon**

Päike on stabiilne ja ohutu termotuumareaktor, mis töötab veel palju miljoneid aastaid. Päikesekiirguse mõjul on arenenud elu maakeral ja ta käivitab kõik taastuvad energiaallikad. Päikesekiirguse kasutamise viise on mõistlik jätkuvalt uurida ka Eestis, sest ta on tasuta ja saastevaba. Samas ühiskonna energiatarve kasvab.

Väga aktuaalne on energia salvestamise probleem taastuvate allikate kasutamisel. Selleks võivad ühe huvitava lahenduse anda aatomituumade isomeerseisundid, mis on suutelised pikka aega säilitama väikeses ainehulgas palju energiat. Praegu on see siiski vaid lootust-andev võimalus, mille realiseeritavuse peavad näitama edasised uuringud.

**PÄIKESEKIIRGUS, TERMOTUUMAREAKTOR, ENERGIA SALVESTAMINE,  
AATOMITUUMADE ISOMEERIA**

## **Tuumareaktsioonid kui energia- (negentroopia-) allikad**

Seda see ongi: võimas ülisuure energia (tegelikult muidugi negentroopia) varuga allikas, taastuv nagu teisedki **taastuvad** energiaallikad – tähendab, korralikus teostuses hästi pikkamisi ammenduv.

Kuid hea üksnes siis, kui on inimese elukeskkonna sõbralik, töökindel ja stabiilne, lihtne käsitseda, täisautomaatselt juhtimise all, malbe inimese olemusele, tema hingeseisundile. Täielikult kaitstav terrorismi vastu.

Muidugi ei võta ükski firma niisugust reaktorit tõsimeeli ehitamisele. Meie kõigi meeleheaks, majanduslikuks superabiks, ülimaks õnneks on selline elu ilusaks tegev termotuumareaktor looduse poolt antud ja juba olemas – Päike meie taevas.

Ta on ohutu tänu tugevale gravitatsiooniväljale, mis ei lase radioaktiivseid osakesi kaugele eemale, tuumareaktsiooni kahjulikud produktid, sh kiirgus meieni maakeral ei jõua. On piisavalt kaugel, et elektromagnetiliste kiirguste mõju on siia jõudmisel parajasti nõrgenenud. Küllalt lähedal, et tema elektromagnetilise kiirguse negentroopia-voog jõuaks maakeral veel parajasti võimsana. “Parajasti” tähendab muidugi seda, et elu maakeral on arenenud just nii, et Päikese kiirgus oleks “paras” võimsuselt ja oma spektraalselt koostiselt. Elu on just selline nagu Päike-tuumareaktor seda on võimaldanud. Päike on kättesaamatu terrorismile. On töötanud ja töötab veel aastamiljoneid täisautomaatselt ja stabiilselt. Päikese kiirgus nagu kõik parim siin maailmas on tasuta. Tänu Päikesele-termotuumareaktorile on Maal tuuled ja nende kasutamisest saanud tubli taastuv energiaallikas.

Päikesekiirgust ei tohiks tuuleenergia kõrval kuidagi unustada ka Eestimaal, kuigi meil on tema sära nõrgem kui lõunamaadel. Ümardades saab kenasti meelde jääva arvu: päikesekiirgus toob maapinna igale ruutmeetrile ühe kilovati kvaliteetset energiavõimsust. Ühele ruutkilomeetrile langev päikesevalgus võrdub võimsuselt miljoni-kilovatisega elektri jaamaga. Ostes selle hulga Eesti Energialt, peaksime maksma umbes üks miljon krooni tunnis.

Päikesepatareid on täiesti arvestatavad elektrienergia allikad, sõltuvalt otstarbest ja keskkonningimustest mõnikord juba ka majanduslikult tasuvad, pahatihti **ainuvõimalikud**.

Et negentroopia püramiidi kõrgemaks ehitada (piisavalt kiiresti olelusvõitluse seisukohast) tuleb see negentroopia **kontsentreerida**, s.o taset veelgi tõsta. Emake loodus on kavalad teed leidnud. Teinud fotosünteesi.

Põhiline sõnum seoses TEUK-iga on aga selles, et tuleks sügavamalt uurida ja katsetada päikesekiirguse energia kogumist ja salvestamist. Seda ka *soojuse* varumiseks, mitte üksnes elektri või meile siin kaugel põhjamaal eluliselt vajalike keemiliste ühendite (põllumajandus!) tootmiseks ja säilitamiseks. Põllumajandus mitte üksnes toidu, vaid palju laiemalt kui praegu ka teiste kütuste tootmiseks. Küttepuid on kallid ja üha kallimaks lähevad. Tublide taastuvate energiaallikate tähtsus on seetõttu tublisti tõusmas.

Nii et kokku võttes: elagu termotuumareaktsioonid ja nende energia – elusa looduse võimas alus, ja Päike – parajalt lähedane ning ohutult kauge suur sõber.

### **Tuumade isomeerseisundid kui energia (negentroopia) akumulaatorid**

Aatomituumade isomeerseisundid on teada juba ammu (vt nt *Физическая ...*, 1990). Viimastel aastatel on leitud mitmeid uusi isomeerseisundeid, mis on tuuma tavaenergiatega võrreldes huvitavad oma madalate üleminekuenergiatega.

Nende seas on rekordiline ja tõepoolest üllatav <sup>229</sup>Th tuuma isomeerseisund ergastusenergiaga kõigest ligikaudu 3,5 eV. See üleminek on resonantsis elektronüleminekuga aatomis ja pakub esmajärgulist huvi nii tuuma- kui elektronfüüsikas. Rakenduslikku perspektiivi on nähtud ka informaatikas (Rebane, 2004a). On küllaltki ühtne seisukoht, et neist seisundest peaks lähtuma ka luminesents, nn tuumavalgus. Tänaast artiklist jääb see ülihuvitav ja ülivärske küsimuste ring välja (Rebane, 2004a; Rebane, 2004b; Tkalya, 2003).

Teiste uute (st peale <sup>229</sup>Th 3,5 eV) isomeerseisundite energia (ühe aatomi kohta) on sadu tuhandeid kordi suurem keemilisest energiast, s.o elektronüleminekute omast, samal ajal sada korda väiksem energiast, mis vabaneb tuumade tavaüleminekutel tuumaelektri jaamades, tuumapommides, päikeses. Isomeerolekute eluead on väga erinevad, nende hulgas on hästi pikki – kestusega päevi ning nädalaid.

Seega on isomeerseisundid suutelised pikka aega säilitama väikeses aine hulgas palju energiat. Omadus muutub ülirasulikuks siis, kui erinevalt tuumaenergiast pommis ja märksa paremini kui tuumareaktoris on võimalik varutud energiat soovikohaselt välja ja kasutusele võtta. Ongi esialgseid eksperimenditulemusi, mis viitavad võimalusele röntgenikiirgusega tugevasti stimuleerida isomeerikiirgust (<sup>125m</sup>Te) ja ergastatud isomeeroleku kustumist (<sup>178m</sup>Hf). Hf puhul tähendab see väljavaadet luua

aatomipomm, mida on suhteliselt puhas säilitada (peamiselt üksnes  $\gamma$ -kiirgus on esindatud radioaktiivsuses), kriitilist massi pole tarvis – plahvatama saab panna ükskõik millise koguse. Vabanevat energiat oleks kaaluühiku kohta küll umbes 100 korda vähem kui tavalises aatomipommis, aga see, olles reguleeritav isomeeri hulgaga, oleks ju ennem sõjalist kasutust laiendav kui taunitav omadus.

Igatahes on isomeerolekute näol olemas head väljavaated senistest mäekõrguselt mahukam ja võimsam energiaakumulaator saada. Asi on alles uuringute päris alguses ja mida tegelikult saab, näitab nende edasine käik.

Inimkonna tänase eluolu taustal ei saa mööda vaadata kohutavast võimalusest, et hafniumipommi realiseerimine tähendaks uue koletusliku relva sünni, mis eriti “sobiks” terroristidele kasutada.

### **KirjandusReferences**

1. Физическая энциклопедия (1990) Под ред Прохорова А. М. Москва: 2: 15–16.
2. Rebane, K. K. (2004a) Purely electronic zero phonon lines. Recent developments. *J. Lumin.* 107: 122–128.
3. Rebane, K. K. (2004b) Управляемое уширение бесфононных линий с помощью эффекта Доплера и перспективы использования в оптической информатике выжигания спектральных провалов. *Opt. i Spectr.* (St. Petersburg) (accepted).
4. Tkalya E. V. (2003) Свойства перехода оптической энергии в ядре  $^{229}\text{Th}$ . *Uspekhi Fiz. Nauk.* 173: 323–328 (in Russian).

## **SUN – THE BEST NUCLEAR REACTOR; ISOMER STATES OF THE NUCLEI – THE ENERGY ACCUMULATORS OF THE FUTURE?**

*Karl K. Rebane*

Institute of Physics of the University of Tartu, e-mail: rebanek@fi.tartu.ee

### **Abstract**

Sun is a nuclear reactor, placed at a proper distance from the Earth.

Recently low and very low lying excited isomer levels were discovered. These levels are interesting in several aspects. For instance, the very low energy (3.5 eV) level in  $^{229}\text{Th}$  draws attention as an educational example of resonant interaction between the nuclear state and atomic electronic states.  $^{178}\text{Hf}$  stores 2.445 MeV for a half-life of 31 years. It means that a piece of  $^{178}\text{Hf}$  would store per gram 1.3 GJ  $\approx$  360 kW·h. The point is that irradiation with X-rays can possibly accelerate the spontaneous emission. If it turns out to be true and higher efficiency will be achieved this means the possibility to trigger explosion – isomer bomb or quiet controllable release of peaceful energy. The latter would mean a very effective accumulator – the device extremely needed for renewable energy systems.



# KAS PÕLEVKIVI ANNAB TEED TAASTUVATELE ENERGIAALLIKATELE?

*Marko Kaasik*

Tartu Ülikooli keskkonnafüüsika instituut, Ülikooli 18, 50090 Tartu  
e-post: mkaasik@ut.ee

## **Annotatsioon**

Artikkel annab kriitilise ülevaate 2002. aasta novembris Tallinnas toimunud rahvusvahelisest põlevkivisümposionist ja sellele järgnenud arengutest. Sümpoosionil käsitleti põlevkivi kaevandamise ja töötlemise tehnoloogiaid ja keskkonnaprobleeme vastava tehnoloogilise protsessi kontekstis. Valdav osa esinejaid ei näinud Eestis põlevkivienergiele alternatiivi ettenähtavas tulevikus. Eesti kogemust käsitleti “katseuringuna” maailma põlevkivivarude kasutuselevõtuks, mis võib toimuda pärast teiste fossiilsete kütuste, eelkõige nafta, ammen-dumist. Ökoloogilis-ökonoomiline prognoos näitab aga, et energiavaese ja keskkonnaohtliku põlevkivi jätkusuutlikkus Eestis ammendub lähema 10–15 aasta jooksul, st tunduvat enne põlevkivivarude ammen-dumist. Et teadvustada poliitilistele otsustajatele ja avalikkusele taastuvate energiaallikate võimalusi, tuleks teha ja avaldada põhiliste taastuvergeetika tehnoloogiate kogu tootmistsükli hõlmavad rahalised ja energeetilised tasuvusarvutused Eesti jaoks. Taastuvergeetika asjatundjatel tuleks aktiivsemalt osaleda traditsioonilise energeetika foorumitel ja esitada oma alternatiivsed lahendused.

**PÕLEVKIVI, JÄTKUSUUTLIKKUS, LOODUSKAITSE, SÜSINIKUHEITMED,  
TAASTUVAD ENERGIAALLIKAD**

## **Sissejuhatus**

Eesti põlevkivi, mille kaevandamist alustati Esimese maailmasõja kriisiolukorras ning suurendati hirmuäratavate mahtudeni nõukogude plaanimajanduse tingimustes, on saamas rahvuslikust rikkusest rahvuslikuks nuhtluseks (Kukk, 2003).

Suhtumises põlevkivisse on eesti ühiskonna teadlikum osa jagunenud kaheks: ühed, kes teadvustavad, et põlevkivi koondab endasse fossiilse kütuse halvimal omadused ja on seetõttu (vähemalt kütusena) paratamatult jätkusuutmatu, ning teised, kes traditsioonist lähtudes peavad vajalikuks või isegi möödapääsmatuks põlevkivienergeetikat arendada, kaasajastada ja sellesse investeerida. Viimasest mõttelaadist oli kantud 2002. aasta novembris Tallinnas toimunud rahvusvaheline põlevkivisümposion. Sümpoosioni organiseerimiskomitee käsitles seda 1968. aastal samuti Tallinnas toimunud põlevkivisümposiooni jätkuna, seega oli tegemist juba teise rahvusvahelise põlevkivisümposioniga. Käesolev artikkel kujutab endast nimetatud sümposiooni materjalide ja sellele järgnenud arengute kriitilist analüüsi, pidades silmas taastuvate energiaallikate arendamise vajadust ning võimalusi.

## **Sümpoosionil kõlama jäänud mõtteid**

Üldmõiste “põlevkivi” all tuntakse pruunsöest madalama kütteväärtusega fossiilseid kütuseid sõltumata tekkemehhanismist. Maailma põlevkivivarude suuruseks hinnatak-

se umbes  $10^{13}$  tonni (Reinsalu jt, 2003), Eesti varude suuruseks 5 miljardit tonni, millest 1,5 miljardit on aktiivne varu, st varu energiatootlikkusega vähemalt 35 GJ kaevandatava pinna ruutmeetri kohta väljaspool kaitstavaid alasid (Veiderma, 2003). Kaevandatavate ja kaitstavate alade paigutuse tõttu võib tekkida konflikt looduskaitsega juba 10–15 aasta pärast (Reinsalu jt, 2003).

Globaalses kontekstis on tähelepanu äratanud võimalus asendada naftasaadusi põlevkiviõliga, kui maailma naftavarud ammenduvad. Sellest lootusest on ajendatud sõnad sümposiumi lõppdeklaratsioonist: “Loodetavasti on Eesti eksperiment põlevkivitööstuses huvitav maailma üldsusele.”

Põlevkiviõlile ümber arvatult hinnatakse maailma põlevkivivarusid 411 miljardile tonnile, millest tervelt 304 miljardit tonni on USA-s, 39 miljardit Venemaal ja 12 miljardit Brasiilias (Dyini, 2002).

Eesti põlevkivienergeetika kompleksi hinnatakse majanduslikult “elujõuliseks” kulude ja tulude tasakaalu mõttes (kuid siiski mitte investoritele atraktiivseks maksimaalse kasumi mõttes) vaid juhul, kui riik katab kõik nõukogudeaegse pärandi renoveerimise kulud. Neist suurimaiks hinnatakse investeeringuid põletamise tehnoloogiasse, 5,1 mld kr, ja jäätmemajandusse, 700 mln kr (Brendow, 2003). Suurema osa sellest moodustab ühe Eesti ja ühe Balti elektriijaama energiaploki (kokku u  $\frac{1}{4}$  vajaminevast võimsusest) ümberehitamine keevkihi kateldele, milleks Eesti Energia on võtnud välislaenu 3,9 mld kr ja mis peaks lisaks amortiseerunud katelde väljavahetamisele andma olulist lendtuha ning mõningast vääveldioksiidi ja süsinikdioksiidi heitmete vähenemist. See tööetapp valmis 2004. aastal. Ülejäänud võimsuse renoveerimine otsustatakse hiljem.

Sümposiumil käsitletud teemade ring oli keskendatud põlevkivi kaevandamise ja töötlemise tehnoloogiatele, sellega seonduvaid keskkonnaprobleeme vaadeldi vastava tehnoloogilise protsessi kontekstis. Domineeris seisukoht, et keskkonnaprobleemid ei saa ühelgi juhul olla takistuseks põlevkivitööstuse säilitamisele ja arendamisele.

### **Põlevkivienergeetika ja jätkusuutlikkus**

Üks põhilisi argumente põlevkivienergia kasuks taasiseseisvunud Eestis on olnud selle odavus. Odav energia põhineb 1) suhteliselt odaval tööjõul ja 2) pidevalt amortiseeruva nõukogudeaegse tehnika kasutamisel. Järjekindla arengu ja avatud majanduse korral ei ole kumbki eeldus püsiv. Prognoositakse elektriijaamadest elektrienergia müügihinna tõusu 2001. aasta 2,4 eurolt 100 kW·h kohta vähemalt 4 euronit 100 kW·h kohta 2010. aastaks. Seda lähtudes senise suhteliselt leebe Eesti keskkonnapoliitika jätkumisest (2010. aastaks prognoositud CO<sub>2</sub> saastetasu 30 kr/t). Kui Euroopa Liidu survele kehtestatakse kõrgemad keskkonnamaksud (arvestatud 150 kr/t CO<sub>2</sub>), võib 2010. aastaks tõusta elektrienergia hind 4,9 euronit 100 kW·h kohta, mis on päris kõrge ka juba Euroopa praegust keskmist hinnataset silmas pidades. Samas jääb põlevkivi ka pärast elektriijaamade rekonstrueerimist kõrge süsinikuemissiooniga fossiilseks kütuseks. EL direktiivist 2001/80/EC lähtuvad piirangud ei võimalda Narva elektriijaamadest väljastada 2008. aastast alates rohkem kui 5340 GW·h elektrit aastas, see on veidi vähem kui 2001. aasta tase (Tenno ja Laur, 2003). Samal ajal tuleb avada Eesti energiaturg välisriikidele, 2013. aastaks 100% ulatuses. Lisaks ettenähtavale hinna-

tõusule tuleb silmas pidada renoveerimisega kaasnevaid riske. Eesti ja Balti elektri- jaamade renoveerimise käigus ehitatakse ülekaalukalt maailma suurimad põlevkivil töötavad keevkihiakad. Nagu unikaalsete suurprojektide puhul sagedane, võib töö käigus või hilisemal käitamisel ette tulla tehnilisi probleeme, mille lahendamine nõuab lisakulutusi. See aga muudaks põlevkivienergia avatud turu tingimustes juba konkurentsivõimeetuks. Olukord on igati mõistetav, kui arvestada, et põlevkivi kütteväärtus on võrreldes maailma põhiliste fossiilsete kütustega (maagaas, nafta, kivisüsi) mitu korda väiksem, mistõttu sama energiahulga saamiseks tuleb teha rohkem tööd. Arvestades Euroopa Liidu kindlalt väljendatud taht täita Kyoto protokolliga nõudeid sõltumata teiste riikide otsustest, ei ole kaugemas perspektiivis oodata jätkuvaid järeleandmisi põlevkivitööstusele. Selle asemel pannakse järjest suuremat rõhku taastuvate energiaallikate kasutuselevõtule.

Põlevkivienergeetika säilitamise korral suureneb lähitulevikus kaevandajate surve looduskaitsealade kaitsereežiimile. Lasundi tootlikkuse mõttes kaevandamisväärsel maal asub tervenisti Kurtna mõhnastik, suurem osa Puhatu ja väiksem osa Muraka rabast, lisaks väiksemaid kaitsealasid. Aladel, kus lähema 20 aasta jooksul võib tekkida huvi kaevandamise vastu, lasub umbes 110 miljonit tonni põlevkivi, mis moodustab ligi 8% looduskaitse tõttu passiivseks kuulutatud varust. Põlevkivitööstuse arendajate poolt vaadates peetakse mõeldavaks looduskaitsereežiimi revideerimist allmaakaevandamise lubamiseks. Veelgi ohtlikum on seaduse "aukude" ärakasutamine: "Eesti maaõiguse ja klassikalise mäeõiguse kohaselt saab maapinnalt lähtuvat keeldu täie rangusega rakendada vaid pärastjääaegse tekkega maavarade suhtes" (Reinsalu, 2003). Samas ei ole kõigil aladel kaugelki mitte selge, kuivõrd kaevandamine mõjutaks pinnaveereežiimi ja sedakaudu ökosüsteemi (Strandberg, 2003).

Põlevkivielektri jaamade korstnatest aastakümnete jooksul välja lennanud ja maapinnale sadenenud lendtuht on muutnud ümberkaudsete rabade pinnasevee aluseliseks, mistõttu kõige enam kahjustatud rabades (Kõrgesoo) on kadunud turbasamblad ja ilmunud hulganisti mineraalmaa taimeliike, sealhulgas lubjalembeseid. Lisaks rabade välisilme moondumisele on lakanud või pidurdunud turba kasv, mis tähendab atmosfäärist süsiniku sidumise lakkamist ja isegi turbas varem talletunud süsiniku vabanemist. Kuigi see süsinikubilansi muutus moodustab maksimaalselt mõne protsendi elektri jaamade otsesest CO<sub>2</sub> heitkogusest, on tegemist järeelmõjuga, mis jääb toimima aastakümneteks pärast leelissaaste lakkamist. Kahjustatud on ühtekokku umbes 100 km<sup>2</sup> raba, sellest suurem osa kaitstaval alal Puhatu sootikus (Kaasik jt, 2003).

## Järeldused

Eelnev analüüs näitab, et nii majanduslikult kui ka keskkonnahoiu seisukohalt ammendub põlevkivienergeetika jätkusuutlikkus täielikult lähema 10–15 aasta jooksul, seega tunduvalt enne varude ammendumist. Seda muidugi eeldusel, et maailm tervikuna areneb taastuvate energiaallikate kasutuselevõtu ja energia kokkuhoidu võimaldavate tehniliste lahenduste, mitte järjest madalama kütteväärtuse ning keskkonnohtlikumate fossiilsete kütuste kasutuselevõtu suunas (mis oleks pikemas perspektiivis ennasthävitav). Jätkuv investeerimine põlevkivienergeetikasse tähendab lähitulevikus kas investeringute kaotust konkurentsivõitluses või suurt koormust maksimaksjale

(otsese või varjatud subsideerimise korral). Jätksuutliku arengu tagamiseks on tarvis üle vaadata Eesti energeetika arengukava, nähes ette ülemineku taastuvatele energiaallikatele ja imporditavale elektrile, kusjuures kodumaine toodang peaks katma miinimumvajaduse. Viimane aeg on kavandada sotsiaalsed meetmed sujuvaks üleminekuks polüfunktsionaalse majanduse arendamise kaudu Kirde-Eestis.

Paraku ei järgi tegelik areng alati jätkusuutlikkust ega isegi mitte hetke majanduslikku otstarbekust. Suur tähtsus on mõtteinertsil või -pändlikkusel ning survegruppide tegevusel. Et taastuvenergeetikale välja võidelda kaalukas positsioon tuleviku Eestis, tuleb ennekõike:

1. tõestada taastuvate energiaallikate elujõudu üksikasjalike tasuvusarvutustega nii rahalises kui ka energeetilises väljenduses (kuivõrd väidetav negatiivne või nullilähedane energiabilanss on üks peamisi skeptikute vastuväiteid) kogu tootmistsükli ulatuses;
2. taastuvenergia asjatundjatel senisest enam sekkuda põlevkivi kasutamise üle peetavatesse diskussioonidesse, esitada oma alternatiivlahendused energiavarustuse probleemidele, võtta aktiivselt osa traditsioonilise energeetika foorumitest, sealhulgas 2006. aastaks kavandatud järgmisest rahvusvahelisest põlevkivi-sümposionist.

Vastus pealkirjas esitatud küsimusele sõltub sellest, kui hästi õnnestub seda programmi täita. Arvestades nii fossiilkütuste varude lõplikkust kui ka (veel enam) süsinikdioksiidi emissioone, on küsimus siiski pigem ajas ja jõupingutuse suuruses kui lõpptulemuses.

## **KirjandusReferences**

1. Brendow, K. (2003) Restructuring Estonia's oil shale industry. *Oil Shale* 20(3): 304–310.
2. Dyni, J. R. (2002) Origin and resources of some world oil shale deposits. *Symposium on Oil Shale. Toim. Seepõld, M. Abstracts. Tallinna Tehnikaülikool. Tallinn: 7.*
3. Kaasik, M., Ploompuu, T., Alliksaar, T., Ivask, J. (2003) Alkalisiation and nutrient influx from the air as damaging factors for sub-boreal ecosystem. *Proceedings of 8th International Conference on Environmental Science and Technology. Lemnos, Greece: 365–372 (CD-väljaanne).*
4. Kukk, T. (2003) Kas rahvuslik rikkus või pigem nuhtlus? *Eesti Loodus* 11/2003: 2.
5. Reinsalu, E. (2003) Ainulaadne põlevkivi ootab kaevandamist. *Eesti Loodus* 11/2003: 6–9.
6. Reinsalu, E., Rudi, Ü., Soone, J. (2003) Editor's page: *Symposium on Oil Shale, 18–21 November 2002. Tallinn, Estonia. Oil Shale* 20(3): 288–289.
7. Tenno, K., Laur, A. (2003) Sustainability of oil shale-based electricity production. *Oil Shale* 20(3 special): 388–397.
8. Strandberg, M. (2003) Kivistunud päikesevalgus ja kunstlilled. *Eesti Loodus* 11/2003:12–14.
9. Veiderma, M. (2003) Estonian oil shale – resources and usage. *Oil Shale* 20(3): 295–303.

# DOES OIL SHALE LEAVE A PLACE FOR RENEWABLE SOURCES OF ENERGY?

*Marko Kaasik*

Institute of Environmental Physics, University of Tartu, e-mail: mkaasik@ut.ee

## **Abstract**

This paper gives a critical overview of the international symposium on oil shale, which took place in Tallinn, November 2002 and some developments thereafter. The technologies of oil shale mining and processing and environmental problems in the context of respective technologies were dealt with. The majority of speakers did not see any alternative to the oil-shale-based energy production in Estonia in the foreseeable future. The Estonian experience was considered as a “pilot study” for the exploitation of worldwide oil shale resources, which might take place after the other fossil fuels (oil at first) will be exhausted. Ecological-economic prognosis concluded that the sustainability of oil shale (low energetic value, high environmental impact) will be terminally exhausted in the next 10–15 years, i.e. well before the exhaustion of its deposits. To make the political decision makers and the public aware of the possibilities of sustainable energy production, it is necessary to carry out and publish the calculations of profitability (in both financial and energetic terms) for the main renewable energy technologies for Estonia. Specialists in renewable energy production should participate more actively in the forums of traditional energy production in order to present their alternative solutions.

# BIOKÜTUSED + JÄÄTMED. KAS TULEVIKUS ENERGEETIKA PÄÄSETEE?

*Ülo Kask*

Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituut, Kopli 116, 11712 Tallinn  
e-post: ykask@staff.ttu.ee

## **Annotatsioon**

Miks räägitakse taastuvatest energiaallikatest ja nende kasutusele võtmisest energia muundamiseks (tootmiseks)? Arvatakse, et fossiilsete kütuste põletamine põhjustab kliimamuutusi ja fossiilsed energiaallikad on lõplikud. Tulevikus võiksime olla valmis katma taastuvate energiaallikatega ja jäätmetega osaliselt, kuid veel parem kui kogu Eesti energiavajaduse.

TAASTUVAD ENERGIAALLIKAD, KLIIMAMUUTUSED,  
KASVUHOONEEFEKT, BOKÜTUSED

## **Kliimamuutuste põhjendamise kaks äärmuslikku suunda**

Tänapäevased kliimamuutused on inimtekkelised.

Võrreldakse CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni ajalist muutust atmosfääris ja keskmise õhutemperatuuri ajalist muutust Maal – saadakse vaieldamatu kokkulangevus.

Tänapäevased kliimamuutused on looduslik protsess.

Antarktika kilomeetrite paksuses jääkilbis sisalduvate õhumullide CO<sub>2</sub>-sisalduse uurimisel on selgunud, et tänapäevasele sarnaseid süsihappegaasi kontsentratsioone ja sellega kaasnevat Maa keskmise temperatuuri kasvu esineb iga 100 000 aasta tagant (kõikumine 20 000 aastat) (Lehed ja tähed, 2003).

Teiseks mängib atmosfääris olev veeaur kasvahooneefekti tekkimises märksa olulisemat osa, selle integraalne mustsusaste on kolm korda suurem kui CO<sub>2</sub>-l ja integraalselt neelab ta seega rohkem soojuskiirgust.

## **Kasvahooneefektist**

Jättes arvestamata veeauru kui kasvuhooonegaasi mõju nn kasvuhoooneefektile, on tähtsuselt järgmine mõjur süsihappegaas 72,4%-ga.

Kui arvestada aga veeauru mõju, kahaneb CO<sub>2</sub> (kokku inimtekkeline ja looduslik) osa 3,6%-ni, kus inimtekkelise CO<sub>2</sub> osaks jääb 0,12% (Broecker, 2003).

Mida järeldada?

Inimtekkeline süsihappegaas moodustab planeedi süsinikuringest tühise osa, kuid ökosüsteemis toimuvaid protsesse võib soovimatus suunas kallutada seegi. Sarnasust võib leida bakterite ja viirustega, kelle elusaine mass on inimesega võrreldes tühine, kuid nende põhjustatud muutused inimkehas osutuvad sageli ebamugavaks ja ohtlikukski.

Tabel 1. Inimtekkeliste kasvuhoonegaaside (kaasa arvatud veeaur) osa kasvuhoone-efektis väljendatud %-des

Table 1. Anthropogenic (man-made) contribution to the greenhouse effect, expressed as % of Total (water vapor INCLUDED)

Põhineb kontsentratsioonidel, mis on määratud aine termilise takistuse karakteristikutega <i>Based on concentrations (ppb) adjusted for heat retention characteristics</i>	Osa kasvuhoonegaasidest, % <i>Part of all greenhouse gases, %</i>	Looduslik, % <i>Natural, %</i>	Inimtekkeline, % <i>Man-made, %</i>
Veeaur / <i>Water vapor</i>	95,000	94,999	0,001
Süsinikdioksiid <i>Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>)</i>	3,618	3,502	0,117
Metaan / <i>Methane (CH<sub>4</sub>)</i>	0,360	0,294	0,066
Dilämmastikoksiid <i>Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O)</i>	0,950	0,903	0,047
Freoonid <i>Misc. gases (CFC's, etc.)</i>	0,072	0,025	0,047
Kokku / <i>Total</i>	<b>100,00</b>	<b>99,72</b>	<b>0,28</b>

### Kliimamuutuste põhjendamise vahepealne suund

Inimtekkeline CO<sub>2</sub> ja teised kasvuhoonegaasid ning üldine loodust kujundav inimtegevus võib võimendada kliimamuutusi.

Inimese loodud tehnilistest vahenditest on raadiolambid ja transistorid näiteks, kuidas väikeste energiavoogudega saab juhtida suuri energiavooge. Pole just kosutav tõdeda, et oma tegevusega oleme tekitanud nn kliimatransistori, kus väikeste CO<sub>2</sub> koguste lisamisega kasvatame märkimisväärselt energia hulka atmosfääris. (Lehed ja tähed, 2003). Viimane omakorda vallandub sagedaste keeristormide, taifuunide, üleujutuste, põudadega jne. Sagedasti korduvad ja katastroofiliste tagajärgedega loodusõnnetused kurnavad ka riikide majandust.

### Järeldused

1. Rajada rohkem autonoomseid ja hajutatud energiamuundamise seadmeid (CHP, kütuselemendid, päikesekollektorid, tuulikud).
2. Töötada välja efektiivsemaid energiamuundamise ja tarbimise tehnoloogiaid ja seadmeid.
3. Kasutada rohkem lihtsaid ja väikese energiatarbimisega elukeskkondi (nn ökomajad, looduslikud ehitusmaterjalid jne).
4. Juurutada ökoloogilise majandamise põhimõtteid (säästvus, ettevõtete ökoloogiline pankrott, tuua sisse mõõde *ökoloogiliselt kasumlik ettevõtte*, mis loob juurde keskkonnaruumi).

## Fossiilsete kütuste lõplikkus

Süsinikupõhiselt energeetikalt vesinikupõhisele energeetikale, taastuvate energiaallikate kasutamisele ja jäätmete energiaks muundamisele (taaskasutamisele) – need on kaasaja olulisemad tehnoloogilised suundumused energeetikas, mille eiramist Eestis ei saa me hiljem millegagi õigustada.

### Biomass – biokütused

Biokütuste teoreetiline potentsiaal ja orgaaniliste jäätmete kogused on meil piisavad, et rahuldada kogu Eesti soojusevajadus, umbes 8,5 TW·h aastas, mis eeldatavasti tulevikus ei suurene, ja Eesti elektrivajadus, viimastel aastatel 5,6 TW·h, mis tõenäoliselt suureneb (Kütuse ..., 2002).

Elektri ja soojuse tootmiseks kasutatavate taastuvate kütuste ressursside teoreetiline ja majanduslik potentsiaal aastas primaarenergia sisalduse järgi esitatakse tabelis 2.

*Tabel 2. Elektri ja soojuse koostootmiseks kasutatavate taastuvate kütuste ressursside teoreetiline ja majanduslik potentsiaal aastas primaarenergia sisalduse järgi*  
*Table 2. Theoretical and economical potential of renewable fuels for heat and power cogeneration by primary energy content*

Taastuv kütus	Teoreetiline potentsiaal		Majanduslik potentsiaal	
	PJ	TW·h	PJ	TW·h
Puit	36,36	10,1	20,60 *	5,72 *
Põhk	2,88–3,6	0,8–1,0	–	–
Energiataimed	35,32	9,81	–	–
Pilliroog	1,98	0,55	–	–
Biogaas	1,44	0,4	(0,11)	(0,03)
Olmejäätmed	5,8	1,6	(2,7)	(0,8)
<b>Kokku</b>	<b>83,78–84,5</b>	<b>23,27–23,47</b>	<b>23,41</b>	<b>6,55</b>

\* Kasutatav elektri ja soojuse koostootmiseks, kui vajalikud seadmed paigutada olemasolevatesse puitkütusel töötavatesse katlamajadesse

### **Vajalikud tegevused**

Nimetatud potentsiaalide rakendamiseks tuleb:

- 1) inseneride ja tehnoloogide tasandil leida ning arendada sobivaid ja efektiivseid energiamuundamise seadmeid ning tehnoloogiaid, mis võimalikult vähe häiriks looduskeskkonda;
- 2) riiklikul tasandil luua regulatsioon taastuvate kütuste kõigi liikide teoreetilise potentsiaali kasutusele võtmiseks ja nende energia majanduslikult tulusaks muundamiseks;



- 3) rahvusvahelisel tasandil osaleda kõikvõimalikes koostöövormides potentsiaali rakendamiseks (emissioonikaubandus, ühisrakendusprogramm, roheliste sertifikaatide müük jne).

### **Lõpetuseks**

Loomulikult ei suudeta lähitulevikus taastuvate energiaallikatega ja jäätmetega katta Eesti kogu energiavajadust, kuid kaugemas tulevikus võiksime selleks valmis olla. Alternatiiviks jääb tuumaenergia.

### **KirjandusReferences**

1. Kütuse ja energiamajanduse pikaajaline riiklik arengukava aastani 2015, (visiooniga 2030) (2002) Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. Eelnõu: 32. <http://www.mkm.ee/dokumendid/Kytuse-ja%20energiamajanduse%20arengukava%20a>.
2. Lehed ja tähed (2003) MTÜ Loodusajakiri. Tallinn: 254.
3. Broecker, W. (2003) Water Vapor Rules the Greenhouse System. Global warming. USA, 13.

## **BIOMASS + WASTE. IS IT THE SALVATION OF FUTURE ENERGY?**

*Ülo Kask*

Thermal Engineering Department of Tallinn University of Technology  
e-mail: [ykask@staff.ttu.ee](mailto:ykask@staff.ttu.ee)

### **Summary**

Why are renewable energy sources and their adoption for transforming (generating) into energy talked about? It is recognised, that the combustion of fossil fuels causes global climate changes and fossil fuels resources are finite. In the distant future we could be ready to cover part or better still, the total amount of our demand for energy in Estonia with the use of renewable sources and waste.

# PILLIROO PÕLETUSKATSETE TULEMUSI

*Aadu Paist, Ülo Kask ja Livia Kask*

Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituut, Kopli 116, 11712 Tallinn  
e-post: apaist@staff.ttu.ee, ykask@staff.ttu.ee, livia.kask@ttu.ee

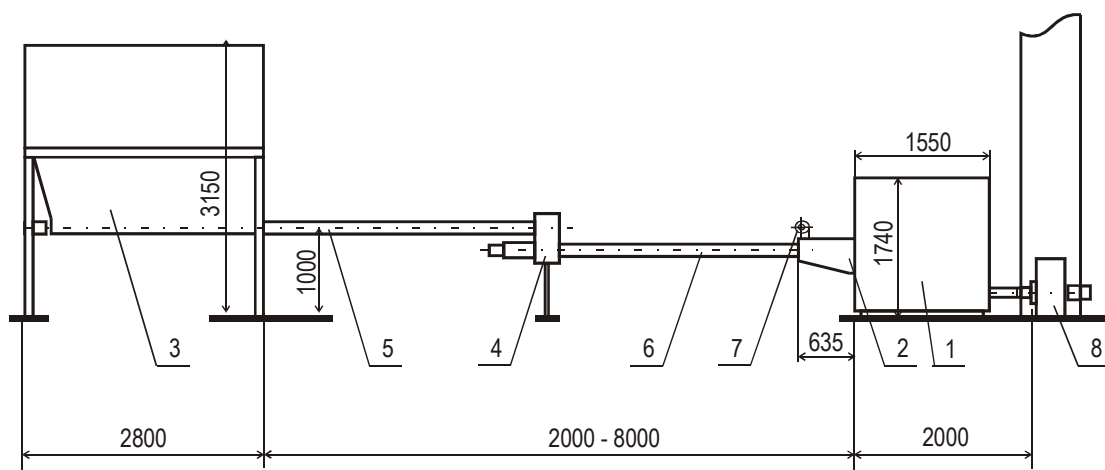
## Annotatsioon

Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituudi katlalaboris viidi läbi pilliroo ning pillirooro ja hakkpuidu segude katsepõletamised ajavahemikus november 2002. kuni aprill 2003. Kasutati tiguetteandega, mehaanilise segamisega kütusepunkriga ja stokkerpõletiga katelseadet nimivõimsusega 250 kW. Tehti nii tiguetteandesüsteemi jõudluse katseid kui ka põletuskatseid puhta kütuse ja kütusesegudega, mille käigus mõõdeti kütuse kulu, katlast lahkuvate suitsugaaside koostist ja katla tööparameetreid. Esimesed tööstuslikud katsed viidi läbi ASi Kuressaare Soojus Kalevi katlamajas 2003. aasta augusti alguses. Katlamaja kütuselattu toodi katusematerjali valmistamise jäägid, mis olid heinapakkimismasinaga kokku pressitud.

## PILLIROOG, HUNDINUI, KATSEID

### Katseseadme skeem

Pilliroo ning pillirooro ja hakkpuidu segude katsepõletamised viidi läbi Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituudi katlalaboris ajavahemikus november 2002 kuni aprill 2003. Kasutati tiguetteandega, mehaanilise segamisega kütusepunkriga ja stokkerpõletiga katelseadet nimivõimsusega 250 kW (joonis 1).



*Joonis 1. TTÜ soojustehnika instituudi katelseadme skeem. Katelseadme osad: katel 1, stokkerpõlet 2, punkerladu 3, vahepunker 4, tigusööturid 5 ja 6 koos ajamitega, põlemisõhu ventilaator 7 ja tõmbeventilaator 8*

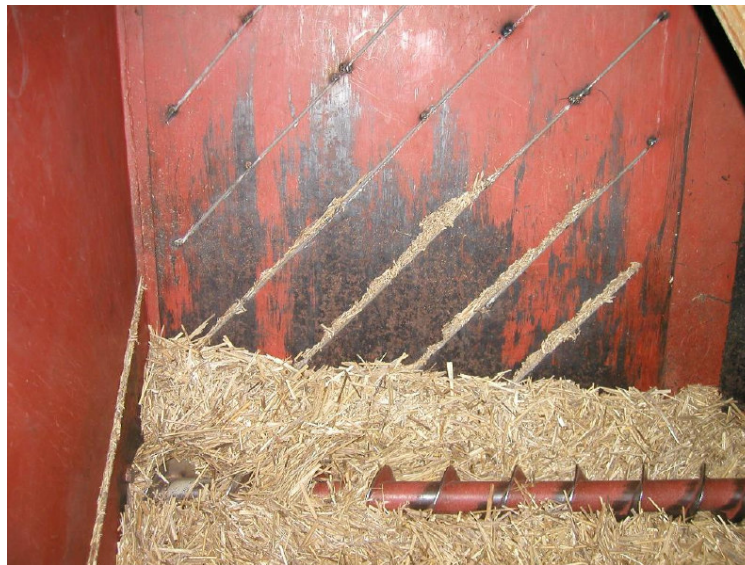
*Figure 1. Scheme of the boiler equipment at the Thermal Engineering Department of Tallinn University of Technology*

## Laboratoorsed katsed TTÜ soojustehnika instituudis

Soojustehnika instituudis tehti nii tiguetteandesüsteemi jõudluse katseid kui ka põletuskatseid puhta kütuse ja kütusesegudega, mille käigus mõõdeti kütuse kulu, katlast lahkuvate suitsugaaside koostist ja katla tööparameetreid. Katsetel kasutati hakkpuitu lähteniiskusega 54,85%,  $Q_a^t = 7,15$  MJ/kg (1,99 kW·h/kg) ja pilliroogu lähteniiskusega 14,7%,  $Q_a^t = 14,3$  MJ/kg (3,97 kW·h/kg). Esimesed katsed tehti pillirooga, mille kõrre pikkus oli 45–50 cm, kuid tigüsöötur ei suutnud roogu kütuse-



*Joonis 2. Käsitsi peenestatud pilliroog tigüsööturist väljumal*  
*Figure 2. Hand-ground reed exiting from fuel feeding screw*



*Joonis 3. Traatsuunajad katla punkri liikuvatel seinaplaatidel*  
*Figure 3. Wirecascade on the moving plates of fuel hopper*

punkrist väljutada ega edastada. Järgmiseks katseks varuti pilliroogu kõrrepikkusega 15–20 cm. Need suutis tigüsöötur punkrist väljutada, kuid sööturi jõudlus ei ületanud oluliselt 1 kg/h, mis vastanuks stokkerpõleti võimsusele 4,2 kW. Mõlemal juhul osutusid pilliroo kõrred liiga pikaks.

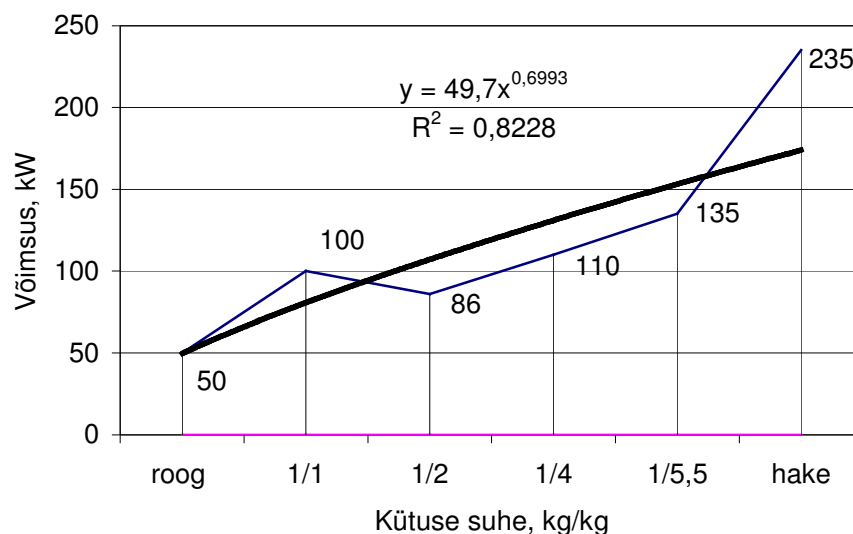
Järgnevate jõudluskatsete jaoks peenestati pilliroogu oksakääridega käsitsi kõrrepikkuseni 4–7 cm, hilisemate põletuskatsete läbiviimiseks saadi Saaremaalt giljotiiniga lõigatud roogu kõrrepikkusega 5–10 cm.

Parimaks osutus käsitsi peenestatud roog pikkusega 4–7 cm (joonis 2), mida tigüsöötur edastas 15 kg/h, mis teeb stokkerpõleti võimsuseks kütuse järgi kuni 62 kW.

Pilliroo tõhusamaks väljutamiseks punkrist ja võlvitekke vältimiseks keevitati punkri liikuvatele seinaplaatidele traadist ( $\varnothing$  4 mm) suunajad  $45^\circ$  nurga all (joonis 3). Suunajate olemasolu mõjus kütuse varisemise paranemisele eriti täis punkri korral, kütuse nivoo alanemisel suunajate mõju vähenes.

### Katsed pilliroo ja hakkpuidu segudega

Mida rohkem oli hakkpuitu segus, seda enam tigüsöötur kütust edastas. Optimaalsem kütuste vahekord ja sellele vastav võimsus saavutati massisuhtel 1:5,5, kus segus oli  $1 \text{ m}^3$  pilliroogu segatud  $1 \text{ m}^3$  hakkpuiduga (joonis 4, kus  $y = f(x)$  – kõvera funktsioon ja R – ruutkeskmine hälve). Pilliroo niiskus oli 7% ja hakkpuidu niiskus 50,5%.



Joonis 4. Etteande võimsused pilliroo ja hakkpuidu segu põletamisel  
Figure 4. Feeding capacity of reed and wood chips mixture on combustion tests

### Põletuskatsed

Esimese kolmetunnise põletuskatse ajal põletati 38,8 kg puhast pilliroogu ( $W = 14,6\%$ ). Katla keskmine võimsus püsis 80 kW, kohati ulatus isegi 100–120 kW-ni. Pärast kolmandat katsetundi hakkas katla võimsus vähenema pilliroo etteande

kõikumise tõttu. Häiritud oli kütuse langemine punkris olevale tigusööturile nii kütusekihi raskusjõu vähenemise kui ka võlvi tekkimise tõttu.

Pärast põletuskatseid määrati pilliroo tuhas oleva põlevaine sisaldus (2,05%), mineraalosa sisaldus ( $A_m = 97,95\%$ ) ning tuha fosforisisaldus ( $P_2O_5 = 1,75\%$ ).

Teine põletuskatse tehti pilliroo ( $W = 14,6\%$ ) ja eelnevalt kuivatatud hakkpuidu ( $W = 36,6\%$ ) seguga (segu  $W = 33,85\%$ ) vahekorras 1:4 (mahuliselt 1:1). Kütus langes punkris kogu katse jooksul küllaltki ühtlaselt tigusööturi peale. Kahetunnise katseperioodi jooksul põletati ära 63,38 kg roo ja hakkpuidu segu ning katla keskmine võimsus püsis 80–100 kW. Tuhas oleva põlevaine sisaldus oli 1,6%.

Puhta pilliroo põletamisel tekkiv tuhk on väga kerge ja sõrestikulise struktuuriga ega vaju kokku (joonis 5). Pärast katse lõppu jäi stokkeri restile hõre tuhakuhi. Samas oli orgaaniline aine peaaegu täielikult välja põlenud (~ 98% ulatuses). Puhta pilliroo põletamisel puitkütuse ja põhupõletuskateldes võib tekkida probleeme tuha väljutamisel koldest seoses tuha suure mahuga ja selle püsiva struktuuriga.

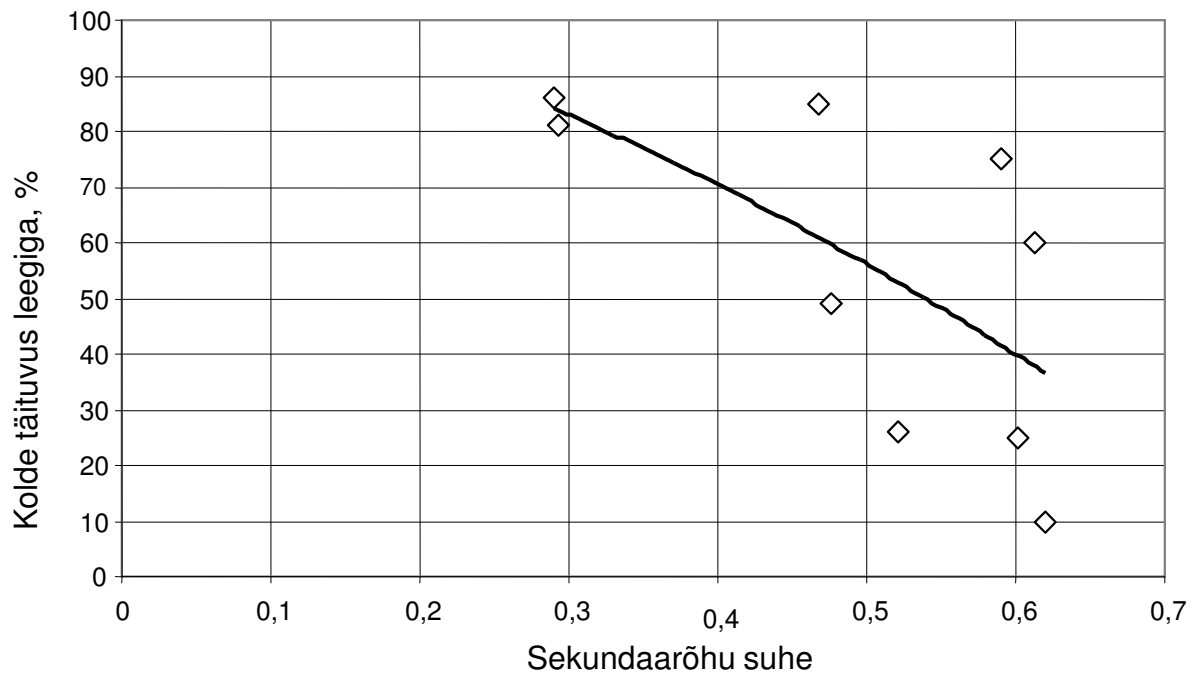


*Joonis 5. Pilliroo põlemisel järele jääv tuhk*  
*Figure 5. Reed ash after combustion*

Põletuskatsete üheks eesmärgiks oli jälgida ja kirjeldada ka leegi suuruse muutumist sõltuvalt primaar- ja sekundaarõhu pealeandmisest. Selleks filmiti katse käigus leegi suurust ja suurendati või vähendati primaar- või sekundaarõhu juurdepääsu (joonis 7). Filmilõike stoppkaadrite kaupa analüüsidest saadi seoseid leegi suuruse ning primaar- ja sekundaarõhu vahekorra kohta.

Jooniselt 6 on näha, et sekundaarõhu koguse kasvuga väheneb leegi pikkus. Põlemisreaktsiooni kiirus on kõrgeim ja leegi pikkus lühim siis, kui sekundaarõhu kogus on stöhhiomeetrilises suhtes kütuse lendosade sisaldusega. Samal ajal on soojuse ülekande katla seinale maksimaalne ning koldest väljuva gaasi temperatuur on madalaim, CO ja C (tahm) kogus on koldest väljumisel minimaalne.





*Joonis 6. Kolde täituvus leegiga erineva sekundaarõhu suhte juures*  
*Figure 6. Furnace fillability of flame at different rate of secondary air*



*Joonis 7. Pilliroo ja hakkpuidu segu leek stokkerist väljumisel*  
*Figure 7. The flame of reed and wood chips mixture in outlet of stocker*

Joonisel 7 näha oleval leegi fotol oli katla võimsus 74 kW.

Lühikese leegi eeliseks on see, et leek ei ulatu katla konvektiivküttepindade torudeni, kus võiks kõrgel temperatuuril alata tuha paakumine ja seega küttepindade intensiivne saastumine.

## **Tööstuslikud katsed ASis Kuressaare Soojus**

Esimesed tööstuslikud katsed viidi läbi ASi Kuressaare Soojus Kalevi katlamajas 2003. aasta augusti alguses. Katlamaja kütuselattu toodi katusematerjali valmistamise jäägid, mis olid heinapakkimismasinaga kokku pressitud. Seal eemaldati sidumisnöörid ning greiferkraana segas pilliroo puukoore ja saepuru seguga, mis suunati kraapkonveieri abil katla koldesse. Pilliroo kõrrepikkus jäi vahemikku 20–40 cm ja selle osakaal põletatavas kütuses oli ligikaudu 7% (massi järgi). Põlemine toimus probleemideta, vaid korra sattus katla ees olevasse vahepunkrisse korraga liiga palju roogu, mis veidi takistas kütuse pealeannet koldesse. Põletatava pilliroo arvel saadi täiendavalt 5,5–6 MW·h soojust.

Kalevi katlamajja on paigaldatud kaks puitkütusel töötavat katelt, neid toidetakse ühest laost ja seoses kütuse etteande süsteemi tehnilise lahendusega ei saa probleemideta kasutada pilliroogu puitkütuse lisandina siis, kui töötavad mõlemad katlad korraga. See asjaolu selgus septembris toimunud järelkatsetel. Kraapkonveieri järel olevast jaotuspunkrist ei saanud piisavalt kütust tigukonveier, millega edastatakse kütust 4 MW-le katlale.

Järgnevaid katseid tehakse eelnevalt peenendatud (hekseldatud) pilliroo ja puitkütuse segudega. Hinnanguliselt peaks pilliroo kõrrepikkus jääma vahemikku 10–15 cm. Pilliroo varud Saare maakonnas on piisavad, et ASi Kuressaare Soojus Kalevi katlamaja puitkütuse vajadusest 10% saaks asendada rooga, kui leitakse tehniliselt sobiv ja majanduslikult tasuv logistiline skeem roo käitlemiseks ja põletamiseks.

# THE RESULTS OF COMBUSTION TESTS OF REED

*Aadu Paist, Ülo Kask and Livia Kask*

Thermal Engineering Department of Tallinn University of Technology  
e-mail: apaist@staff.ttu.ee, ykask@staff.ttu.ee, livia.kask@ttu.ee

## **Summary**

Combustion tests of reed a and mixture of reed and wood chips were carried out in the boiler lab of the Thermal Engineering Department of Tallinn University of Technology during the period of November 2002 until April 2003. A boiler with screw-feed equipment, mechanical mixing, fuel hopper and stocker burner with nominal capacity of 250 kW was used in the tests.

Screw-feed system productivity tests as well as combustion tests with pure fuel and fuel mixtures were made. Also fuel consumption, content of flue gases and operating parameters of boiler were determined.

The first industrial tests were made in the district heating company Kuressaare Soojus Ltd in August 2003. The mixture of wastes of roof building material (reed) and wood waste were burned in the wood boiler.



# BIOKÜTUSTE TUHA KOOSTISE MÕJU KATLA TÖÖLE

*Teet Parve, Aadu Paist, Maaris Nuutre ja Raaja Aluvee*

Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituut, Kopli 116, 11712 Tallinn,  
e-post: tparve@staff.ttu.ee

## **Annotatsioon**

Käesoleval ajal on Eesti kohalikel biokütusel (hakkpuit, puukoor, puidujäätmed jne) töötav väikeenergeetika jõudnud olukorrani, kus põletusseadmetes kasutatava biokütuse kvaliteet on hakanud oluliselt muutuma. See on osaliselt tingitud kvaliteetse biokütuse soodsa ekspordi võimalikkusest. Teisest küljest on üha rohkem hakatud kasutama puidujäätmeid, mis varasematel aastatel oleks viidud lihtsalt prügimäele. Vaatamata sellele, et halvimategi biokütuste tuhasus ei ületa viit protsenti, mõjutab selline kütus oluliselt katelseadmete tööd, sest need ei olnud sellise kvaliteediga biokütusele projekteeritud. Kütuse lohakil transpordil lisandiks sattuv pinnas ja liiv aga ka näiteks noorte kuusekasvude ning lehtede koostises olevad leelismetallide ühendid tekitavad põletamisel olukorra, kus katla küttepinnad kattuvad korrosiooniaktiivsete tuhasadestustega ning esineb tõrkeid tuhaarastussüsteemis. Uute seadmete projekteerimisel ja vanade rekonstrueerimisel on vaja täpselt teada selliseid biokütuste olulisi omadusi nagu niiskus, tuhasus, tuha keemiline koostis jne.

## **BIOKÜTUSTE KOOSTIS, TUHA KEEMILINE KOOSTIS, KÜTTEPINDADE SAASTUMINE**

### **Siin kasutatud lühendid**

$W^t$  – kütuse tarbimisaine niiskusesisaldus,  
 $Q_a^t$  – kütuse tarbimisaine alumine kütteväärtus,  
 $A^k$  – tuhasus kütuse kuivaines.

### **Biokütus Eesti soojusenergeetikas**

Viimase 10 aasta jooksul on oluliselt muutunud Eesti linnade ja asulate katlamajade seadmestik. Nõukogudeaegsed masuudil töötavad katlad on enamuses üle viidud kohalikele kütustele. Kütustena kasutatakse neis katlamajades hakkpuitu, tükkturnvast ja puidujäätmeid. Statistikaameti andmeil on Eestis üle 800 kohalikul kütusel töötava katla installeeritud koguvõimsusega umbes 800 MW.

Vabakaubanduse ja -turu tingimustes on kohaliku kütuse hind oluliselt tõusnud, kvaliteedinäitajad aga oluliselt muutunud. Eestisse jääva biokütuse kvaliteedinäitajad, nagu näiteks tarbimisaine niiskus ja mittepõlevate lisandite sisaldus, on kõrgemad kui varasematel aastatel ning seetõttu esineb häireid katelseadmete normaalses töös.

### **Biokütuse tuhk**

Kuigi puidupõhised kütused (hakkpuit, puidujäätmed, puitbrikett, pelletid e graanulid) kuuluvad vähese tuhasusega tahkete kütuste hulka (võrdluseks: tükkturnbas on 2–11%, kivisöes sõltuvalt päritolust 11–25%, põlevkivis umbes 50% tuhka), on puidupõhiste kütuste tuhas täheldatud suuri erinevusi keemiliste komponentide sisalduse osas. Kü-

tuse tuhk koosneb tinglikult aluselistest ja happelistest komponentidest, mis esitatakse oksiididena (vaata tabel 1). Mõjutatuna temperatuurist, ajafaktorist, gaasilisest keskkonnast katelseadmes annavad erineva keemilise koostisega tuhad erinevate omadustega sadestusi. Sadestused häirivad liikuvate katlaosade tööd (liikuvad restid) ning väheneb soojusülekanne põlemisgaasidelt küttepindadele. Tulemuseks on häired kogu katelseadme töös, kasuteguri langus ja kõrgem soojuse hind tarbijale.



Joonis 1. Okaspuu (kuusk) koor;  $W^t = 50-55\%$ ,  $Q_a^t = 7-8 \text{ MJ/kg}$ ,  $A^k = 3-5\%$   
 Figure 1. Softwood (spruce) bark;  $W^t = 50-55\%$ ,  $Q_a^t = 7-8 \text{ MJ/kg}$ ,  $A^k = 3-5\%$



Joonis 2. Metsajäätmed;  $W^t = 45-60\%$ ,  $Q_a^t = 6-9 \text{ MJ/kg}$ ,  $A^k = 1-3\%$   
 Figure 2. Forest residue;  $W^t = 45-60\%$ ,  $Q_a^t = 6-9 \text{ MJ/kg}$ ,  $A^k = 1-3\%$

### Tuha koostis

Biokütuste uuringud TTÜ-s ja teistes põhjamaade ülikoolides on näidanud, et puidutuha keemiline koostis sõltub puu liigist, aga ka sellest, milliseid puu osi (tüvepuit, oksad, okkad, lehed) põletusseadmetes kasutatakse. Tuha keemilist koostist mõjutab oluliselt kasvupinnas. Rõhutada tuleb siinjuures seda, et kuna puidu tuhasus on üldiselt väike võrreldes teiste tahkete kütustega, mõjutab iga väiksema lisand (liiv, pinnas jne)

kütuses tuha keemilist koostist oluliselt, millest tulenevalt muutuvad katelseadme küttepindade töötingimused.

*Tabel 1. Nelja erineva puuliigi (kuusk, mänd, kask, haab) puu osade tuha põhilised keemilised komponendid massiprotsentides (Werkelin, 2002)*

*Tabel 1. Chemical composition of ash in four trees (spruce, pine, birch, aspen) of different species, weight-% (Werkelin, 2002)*

Puuliik	Puu osa	SiO <sub>2</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	A <sup>k</sup>
Kuusk	Tüvi	1,0	45,9	0,07	4,2	0,2
	Okkad	32,2	27,3	0	6,6	5,8
	Kasvud	1,2	10,7	0,71	45,7	3,8
Mänd	Tüvi	0,7	38,6	0	6,5	0,3
	Okkad	1,6	26,6	0	19,7	2,5
	Kasvud	4,1	15,3	0,04	35,2	3,1
Kask	Tüvi	0,6	36,9	0,1	11	0,3
	Lehed	1,0	23,8	0	24,7	5,4
	Oksad+koor	2,8	42,6	0,24	6	4,5
Haab	Tüvi	0,4	42,4	0,18	6,5	0,2
	Lehed	0,6	16,2	0	39,7	7,7
	Oksad+koor	1,3	39,5	0	11,8	5,7

## Kokkuvõte

Koostöös biokütuste tootjate ja tarbijatega on selgunud, et esmapilgul puitkütuste vähene tuhasus (mõni kümnendik protsenti puhta tüvepuidu tarbimisaines) võib lisandite olemasolul ning puu eri osade (koor, ladvad, lehed, okkad jne) koospõletamisel kaasa tuua olulisi probleeme katelseadmete käitamisel. Probleemideks võivad olla küttepindade liigne saastumine, gaasikäikude ummistumine, probleemid tuha eemaldamisega katla allosast jne. Kütuse tuhaga seotud probleemide (küttepindade saastumine, korrosioon, keskkonna heitmed) ennetamiseks ja lähtematerjali saamiseks uute katelseadmete projekteerimisel viiakse läbi mitmeid laboratoorseid uuringuid: kütuseproovide laboratorne tuhastamine (550 °C või 815 °C juures), laboratoorse tuha keemilise koostise määramine, tuha sulamiskarakteristikute registreerimine jne. Laboratoorsete uuringute põhjal võib anda soovitusi ja analüüsida, millised probleemid võivad kerkida kütuste põletamisel, ning hinnanguliselt välja tuua põhjused (komponendid), mis neid esile kutsuvad.

## KirjandusReferences

1. Hansen, L. A. (1998) Melting and sintering of ashes. Ph. D. Thesis. Lyngby, Denmark: 210.

2. Werkelin, J. (2002) Distribution of ash-forming elements in four trees of different species. Master Thesis. Turku, Finland: 67.
3. Zevenhoven, M. (2002) The prediction of deposit formation in combustion and gasification of biomass fuels. Report 01-02. Turku, Finland: 24.

## **THE INFLUENCE OF ASH-FORMING ELEMENTS ON THE RUNNING OF BIOMASS FIRED BOILERS**

*Teet Parve, Aadu Paist, Maaris Nuutre and Raaja Aluvee*

Thermal Engineering Department of Tallinn University of Technology  
e-mail: tparve@staff.ttu.ee

### **Summary**

Biomass has gained increased usage as a fuel for heat and power production in the last two decades. Biomass, in general, has a high content of hydrogen and oxygen, high volatile content, and low heating value. Bio-waste products (such as bark and forest rescue), have a troublesome inorganic portion where in particular alkali/silicon part and chlorine/sulfur cause deposition problems when burned in industrial boilers. Uncontrolled deposits on heat transfer surfaces reduce heat transfer and with ash handling problems can interfere with operation, and cause unscheduled boiler shut downs.

### **BIOMASS FUEL ASH, SINTERING, FOULING, ALKALI METALS**

#### **Behaviour of biomass ash**

During combustion, the inorganic species will transform into ash that may deposit on surfaces in the combustion system. Uncontrolled deposits on heat transfer surfaces in a boiler can interfere with operation and cause un-scheduled shut downs or reduce efficiency. With partial blockage between heat transfer tube banks, increased gas velocities may lead to increased erosion, and major incidents of internal damage due to fused material falling to the bottom of the boiler may occur. Corrosion of the heat transfer surfaces may also be increased due to ash deposition.

There are several ways to predict fuel ash behavior on the boiler. A laboratory traditional total ash analysis gives first quantitative value to ash behaviour. Fuel inorganic chemical consisting shows the constituent of the predicting ash. Based on that we can bring out problems that can arise early in the work of the heating boiler.

Supplementary help in this area comes from co-operation with the Nordic universities and the use of data banks (solid solution phase diagrams, FactSage<sup>TM</sup>, ChemSage<sup>TM</sup> etc.). After that there are many pore investigation methods. Using a High Temperature Microscope we can document the agglomeration process of the biomass ash. Extra info about first melting point of the ash is possible to get by using differential thermal analysis (DTA) and simultaneous thermogravimetric analysis (TG).

# JÄÄTMAADE ENERGIAPOTENTSIAALI ANALÜÜS PALAMUSE JA SAARE VALLA NÄITEL

*Moonika Ani*

Eesti Põllumajandusülikooli Keskkonnakaitse Instituut, Kreutzwaldi 5, 51014 Tartu  
e-post: moonikaani@hot.ee

## **Annotatsioon**

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks oli analüüsida Jõgevamaal asuvate Palamuse ja Saare valla mahajäetud põllumajandusmaade kasutussobivust energeetiliselt tarbitava biomassi kasvatamiseks. Välja on rehkendatud potentsiaalne energiahulk, mida oleks võimalik koguda, juhul kui analüüsitud maa-aladel kasvatada eri kultuure. Potentsiaalne energiahulk on välja rehkendatud mitmete õli-, etanooli-, energiametsa kultuuride, roht- ja puittaimede energiasisaldust arvesse võttes. Analüüsi tulemustest selgub, et energiakultuuride kasvatamine põllumajanduslikust kasutusest välja jäänud maadel on suhteliselt perspektiivikas ning kasvuvõimalustega tegevus.

## **ENERGIAKULTUUR, ENERGIAPOTENTSIAAL, JÄÄTMAAD**

### **Sissejuhatus**

Eesti on oma arengus jõudnud tasemeni, mil kasutusest on välja jäetud enam kui 200 000 ha hiljuti haritud põllumajandusmaadest, ja fossiilkütuste põletamisega kaasneb suur keskkonnareostus. Samal ajal on maapiirkondades elavate inimeste painavaimaks probleemiks tööpuudus. "Loodusvarade säilitamist ohustab traditsioonilise põllumajandusliku maakasutuse taandumine" (Strateegilise ..., 2002).

Sellises situatsioonis on jäätmaade taaskasutusele võtmine energeetilise toorme kasvatamise eesmärgil igati teretulnud. Majanduslikust ja keskkonnakaitsest vaatevinklist on mõttekam maad harida ja hooldada, selmet sellel tarbetuna seista lasta.

Riiklikul tasandil pole Eestis kasutamata põllumajandusmaade rekultiveerimise tasuvust, otstarbekust ja vajadust energiakultuuride kasvatamise vaatenurgast süvendatult uuritud. Mitmed teadlased ning asjahuvilised on teinud arvutusi, et välja selgitada taastuvenergia ressursi. Energiavõsa kasvatamise potentsiaali tehnilise ressursi energeetiliseks väärtuseks Eesti mahajäetud põldudel on hinnatud 5 TW·h (Lausmaa, 2002).

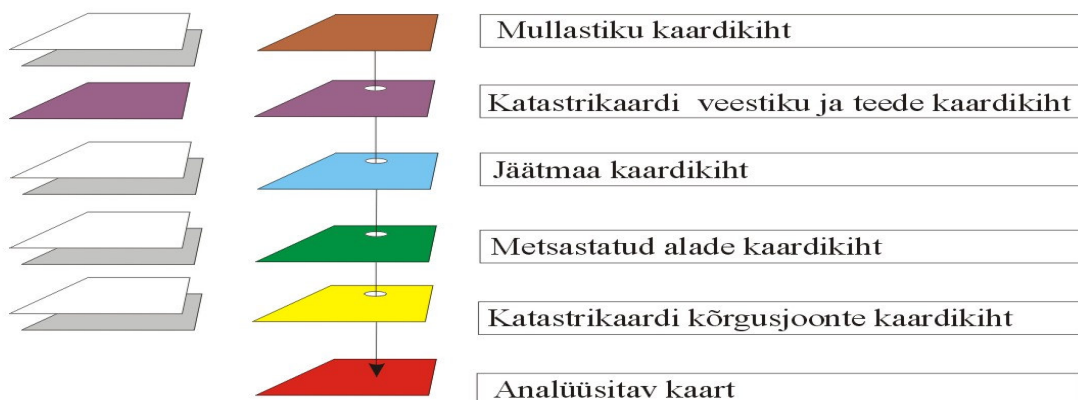
Palamuse ja Saare vald on olnud läbi aegade traditsioonilised põllumajanduspiirkonnad, kuid põlluharimise tavades on toimunud lähiminevikus mitmeid muutusi. 2002. aastal oli Palamuse ja Saare vallas ühtekokku peaaegu 4300 ha mahajäetud põllumajandusmaid. Jäätmaade kaardistatud maaüksuste keskmine pindala oli Palamuse vallas 8,6 ha, Saare vallas 13,2 ha. Jäätmaa moodustas katastrisse kantud põllumaa ja loodusliku rohuma pindalast Palamuse vallas 17,5%, Saare vallas 35%.

## Välitööde metoodika

Põllumajanduslikust kasutusest välja jäänud alasid iseloomustavad andmed koguti visuaalse hindamise teel, rakendades välikaardistamise meetodit. Sellisel viisil oli võimalik kindlaks määrata maakasutuse olukord Jõgevamaal 2002. aastal ning luua kogutud andmete põhjal digitaalkaardi vektorkiht *MapInfo Professional*'i vahenditega. Välitöid tehti augustis ja septembris. Uurimisala läbiti autoga. Kui kõlvikupiirid polnud selgesti määratletavad, kõnniti uuritav ala läbi jalgsi. Taustkaardina kasutati katastrikaarti mõõtkavas 1:10 000. Põllumajanduslikust kasutusest välja jäänud alad märgiti katastrikaardile ligikaudu kõlvikueralduse täpsusega, kasutades maastikul leiduvaid orientiire (kõlviku piirid, kraavid, teed, veekogud, kivikuhilad, elektriliinid vms). Kasutusest välja jäänud aladeks loeti põllu- ja rohumaad, mida polnud vähemalt 5 aastat haritud. Taustakaardile kantava mahajäetud põllumajandusmaa minimaalne suurus oli 0,5 ha, väiksema pindalaga alasid kaardile ei märgitud.

## Andmete kogumise, töötlemise ja analüüsi metoodika

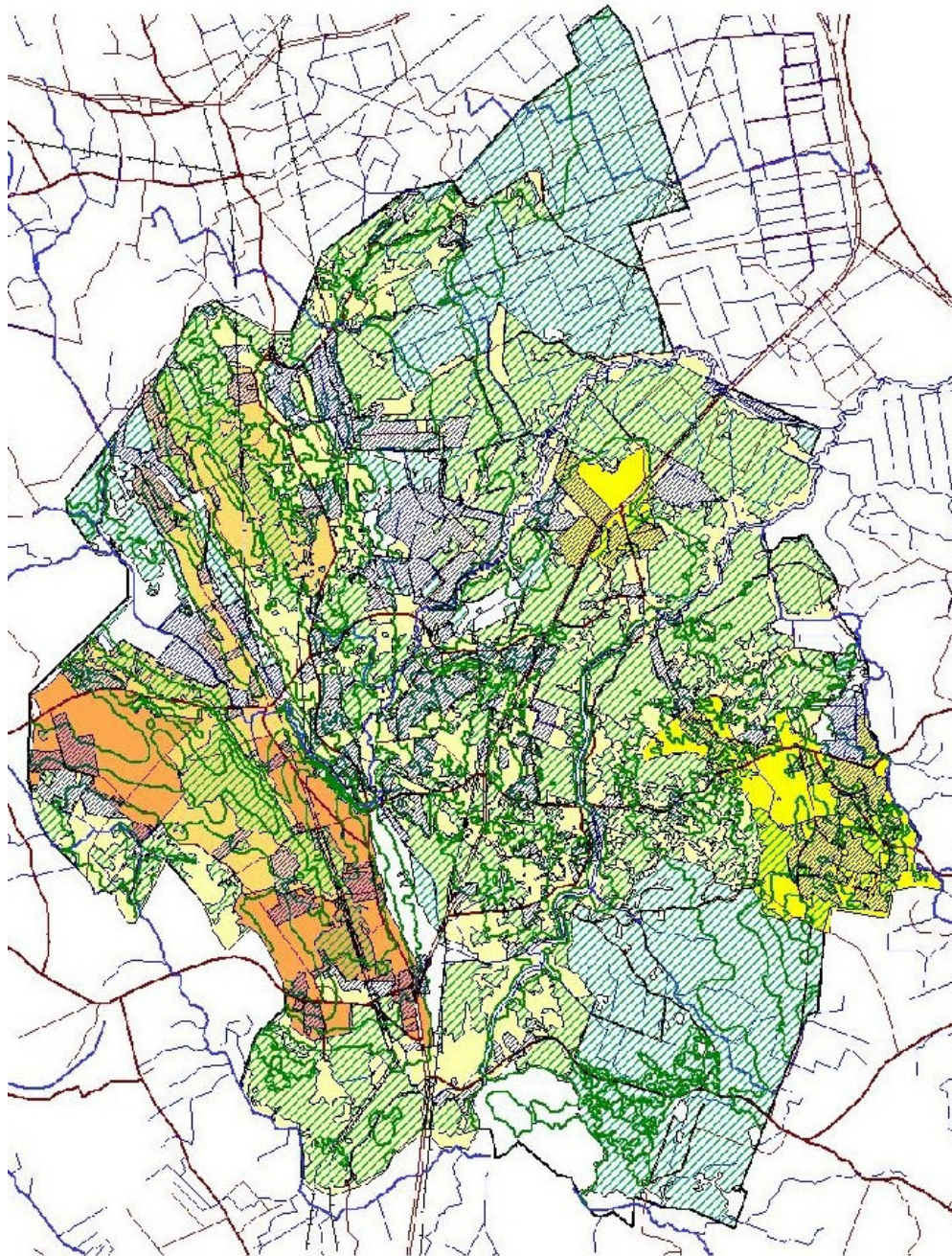
Töö koostamiseks vajaminevad statistilised andmed koguti Eesti Statistikaameti virtuaalsest andmebaasist, statistika aastaraamatutest ning kasutati teabenõuetele antud vastuseid. Kaardianalüüsi tegemiseks kasutati mullaviljakuse, teedevõrgu ja veestiku, jäätmaade, metsade ning kõrgusjoonte teemakaarte. Vektoriaalsed kaardikihid loodi *MapInfo Professional 7,0* arvutiprogrammi vahenditega Eesti põhikaardi projektsioonis olevale maakasutusplaanile mõõtkavas 1:10 000. Mullastikku iseloomustavad andmed saadi digitaalsel kujul Jõgeva Maavalitsuse planeerimisosakonnast. Aluskaardid mullaviljakuse kohta (teemakaardid, millel on määratletud muldade jaotumine hindepunktide alusel), koostati Jõgeva Maavalitsuse arengu- ja planeerimisosakonna talituses. Analüüsimiseks sobilik maakatte hindepunktide teemakaart kujundati *MapInfo Professional 7,0* keskkonnas. Teedevõrku ja veestikku iseloomustavat baaskaardi kihti kasutati antud töös valmiskujul, esitlusviisis muudatusi ei tehtud. Välitöödel kogutud jäätmaade pindala ja asukohta iseloomustavate andmete alusel loodi digitaalne andmebaas.



Joonis 1. Teemaatiliste kaardikihtide liitmine analüüsitavaks kaardiks  
Figure 1. Thematic map creation for the analyzing process



Põllumajanduslikust kasutusest välja jäänud alad kanti katastrikaardile ligikaudu kõlvi-kueralduse täpsusega, mille alusel valmis jäätmaade teemakaart, millel on kirjas jäätmaade asukoht ja pindala. Metsade teemakaart formeeriti katastrikaardile (mõõtkava



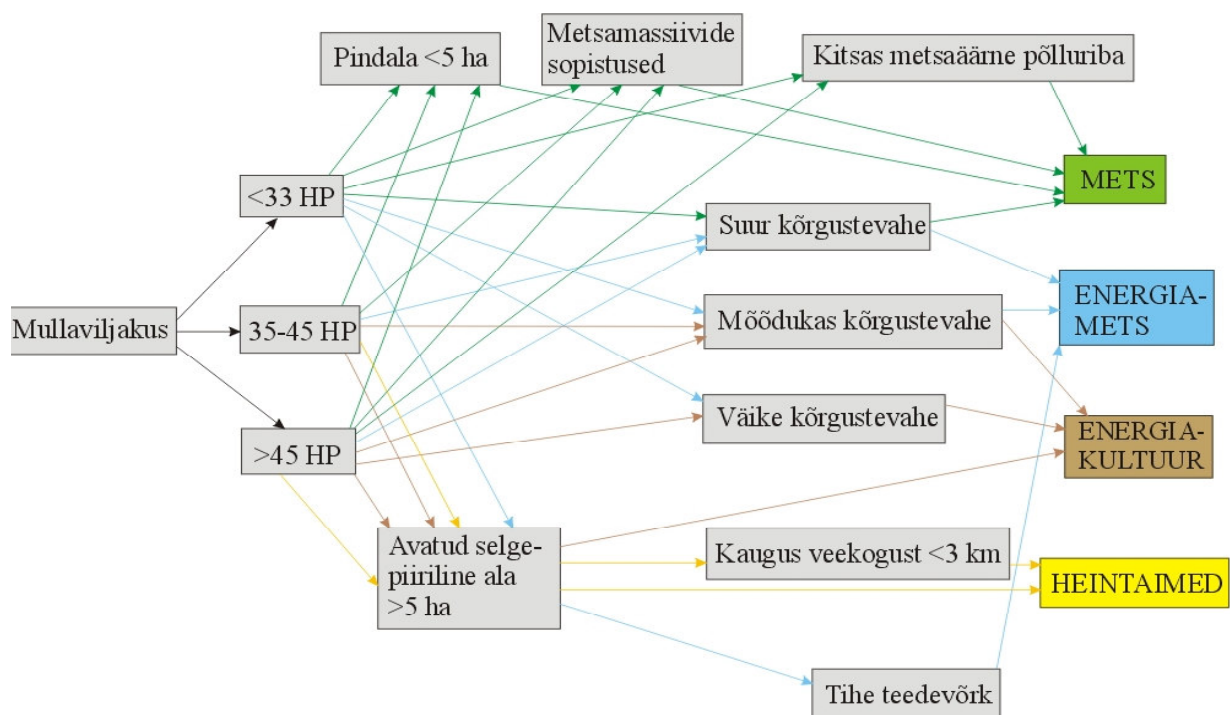
Joonis 2. Saare valla jäätmemaade energeetiline potentsiaal

Figure 2. Energy potential of the abandoned areas in Saare local municipality

1:10 000). Metsaks loeti nii puistuid kui ka põõsastikke. Vastavalt metsaalade piiridele joonistati taustkaardile pindalalised objektid, mis illustreerivad metsastatud alade asukohta ja pindala. Puistuliiki teemakaart ei peegelda. Eesti baaskaardi (mõõtkava 1:50 000) kõrgusjoonte kihi alusel loodi analüüsiks vajalik kõrgusjoonte teemakaart. Teemakaartide esitusviisi valikul lähtuti kaardikihtide võrdluse meetodi teostatavusest. Eelpool kirjeldatud teemakaartide üksteisele asetamisel moodustus analüüsiv kaart (vt joonis 1 ja joonis 3), mille põhjal määrati kindlaks/valiti välja jäätmaal kasvatamiseks sobilikud energiakultuurid.

### Sobiva energiakultuuri väljavaliku meetodika

Kaardikihtide võrdluse meetodil teostatud analüüsi alusel valiti välja kultuurid, mida oleks mahajäetud aladel otstarbekas kasvatada (vt joonis 3).



Joonis 3. Jäätmaal kasvatamiseks sobiliku energiakultuuri väljavaliku skeem

Figure 3. Using possibilities of abandoned areas for planting different energy plants

Jäätmaad jagati analüüsitulemuste alusel nelja kategooriasse (mets, energiamets, õli- ja etanoolikultuurid ning heintaimed). Analüüsi tulemuste põhjal koostati jäätmaadel kasvatamiseks sobilike energiakultuuride teemakaardid. Madala mullaviljakusega alad, mille pindala on väiksem kui 5 hektarit, on soovitatav metsastada. Sellesse maakasutustüübi klassi kuulusid ka metsamassiivide sopistused, kitsad metsaäärsed põlluribad ja eraldiseisvad äärealad. Õli- ja etanoolikultuure on soovitatav kasvatada sellistel aladel, mis on tasased, suhteliselt korrapärase piiriga, teede läheduses, mullaviljakusega 10 kuni 45 hindepunkti ning millel on võimalik kasutada kaasaegset põllumajandustehnikat. Kiirekasvulisi puittaimi on soovitatav kasvatada jäätmaadel, mille mullaviljakus jääb 33 kuni 45 hindepunkti piiresse, kuid ka madalama mullaviljakusega alad pole välistatud. Eelistatud on liigniisked, suhteliselt suure



pindalaga, teede läheduses olevad tasased alad. Kui ala mullaviljakus on suur, kuid maapinna kõrguste vahe suur, siis võiks sellel samuti energiametsa kasvatada. Analüüsitud valdades on üpriski palju jäätmaid, mille piires esinevad suhteliselt suured maapinna kõrguste vahede erinevused ja tavapäraste agrotehniliste võtete rakendamine pole alati võimalik või on väga kulukas. Sellised alad on mõttekas metsastada, sama kehtib ka väikeste (<5 ha), ebakorrapärase piiri ja eraldiseisvate jäätmaade kohta. Heintaimede kasvatamine on soovitatav niisketel aladel või veekogude ääres, kus intensiivse põllumajanduse võtted võivad ohustada keskkonda orgaanilise reostusega.

Põllukultuuride kasvatamiseks sobilike alade puhul analüüsiti 9 õlikultuuri (raps, õilina, õlinaeris, õlirõigas, valge sinep, õlituder, õlimagun, harilik saialill, aedkoriander) ja 4 etanoolikultuuri (teravili, suhkrupeet, söödapeet, kartul), energiametsa puhul 4 puuliigi (paju, hall lepp, haab, hübriidhaab, sanglepp), metsa puhul 3 puuliigi (kuusk, mänd, kask) ning rohhtaimede puhul 5 kultuuri (energiahein, hundinui, pilliroog, jõgitakjas, kõrkjas) energeetilist potentsiaali. Võttes arvesse kultuuride kuivaine saagikust ja kütteväärtust, arvatati välja jäätmaade energeetiline potentsiaal. Potentsiaalse energiahulga arvutamisel võeti arvesse mitmete Eestis kasvatatavate energiakultuuride tootlikkust ning energiasisaldust.

### Saare ja Palamuse valla jäätmaade energeetiline potentsiaal

Palamuse ja Saare valla jäätmaadest on sobilik energiametsaga katta 61%, põllukultuuridega 29%, metsaga 5,3% ning rohhtaimedega 4,6% jäätmaadest (vt tabel 1).

*Tabel 1. Saare ja Palamuse valla jäätmaade energeetilise potentsiaali hindamise koondtabel*

*Table 1. Energy potential of abandoned areas in Palamuse and Saare local municipalities*

Vald	Jäätmaa pindala ha	Jäätmaal kasvatamiseks sobilike energia- kultuuri tüüpide pindala								Jäätmaade maksimaalne energeetiline potentsiaal GJ/a	Jäätmaade minimaalne energeetiline potentsiaal GJ/a
		Energiamets ha	%	Õli- või etanoolikul- tuurid ha	%	Mets ha	%	Rohhtaimed ha	%		
Palamuse	1257	567	45	457	36	200	16	33	3	213 441	71 580
Saare	3040	2062	68	788	26	26	1	165	5	564 257	73 302
Kokku	4297	2629	61	1244	29	226	5	198	5	777 698	144 882

### Järeldused

2629 ha Palamuse ja Saare valla jäätmaadest on sobilik energiametsaga katta, soovitatav on kasvatada kohalikke kiirekasvulisi puuliike. Energiametsa kultuuridest on suurima energeetilise potentsiaaliga liik hübriidhaab. Selle liigi kasvatamine jäätmaadel on otstarbekas ka seetõttu, et puidu kasutamine kütusena on Eestis laialdaselt levinud. Paju kasvatamine jäätmaadel on otstarbekas, sest paju on suure biomassi-

produksiooni ja energeetilise potentsiaaliga liik; välja on aretatud haigus-, kahjuri-kindlaid ning pinnasest ja veest saasteainete ärastamise võimega liike. Et paju juurestik on pinnase lähedane, on maad pärast istanduse likvideerimist kerge taas kasutusele võtta (Põldvere, 2002).

Energeetilist potentsiaali arvesse võttes on lepa kasvatamine vähem efektiivne kui haava ja paju kasvatamine. Et lepp on mullaomadusi parandava toimega ning külma- ja haiguskindlam kohalik puuliik kui paju, on soovitatav seda bioloogilise mitmekesisuse tõstmise eesmärgil energiametsa kasvatamiseks sobivatel jäätmaadel viljelda.

Põllukultuuridest on suurima energeetilise potentsiaaliga etanoolikultuurid. Nende kultuuride kasvatamine on töömahukas ja keerukas, kuid eeliseks on see, et saagist on võimalik toota mootorikütust. Praegu pole etanoolis sisalduv energia hinna poolest võimeline fossiilkütustest saadava energiaga konkureerima, kuid kui saastemaksud ning välismaise päritoluga primaarenergia hinnad tõusevad, on nii sööda- ja suhkrupeedi kui ka kartuli ja teravilja kasvatamine energeetiliselt mõttes otstarbekas tegevus. Alternatiiviks etanoolikultuuridele on õlitaimed, mida võiks samuti ligikaudu 29%-l Palamuse ja Saare valla jäätmaadest kasvatada. Õlikultuuride energeetiline potentsiaal on varieeruv. Suurimat saaki annavad raps, õlituder ja -rõigas. Et naftakütuste hind on tõusnud biodiislikütuse valmistamiskulude tasemele ja Oru Taimeõlitööstuses toimub tsehhi osaline rekonstrueerimine biodiislikütuse tootmisvõimaluste laiendamiseks (Pangsep ja Olak, 2001) ning biodiisli valmistamisvõimalusi uuritakse ka Jõgevamaal asuvas ettevõttes AS Werol Tehased, on suure saagikusega õlikultuuride kasvatamine energeetiliselt tulus tegevus.

Samas on sellele ka mitmeid vasturääkivaid tegureid, mistõttu õlitaimede kasvatamine pole eriti mõttekas. Suure energeetilise potentsiaaliga kultuurid on kasvutingimuste suhtes nõudlikud, saagi õlisisaldus sõltub mitmetest agrokliimatilistest ja -tehnilistest teguritest, Eestis ei toodeta biodiislikütust praegu tööstuslikul moel ja niisugust kütust tarbivat tehnoloogiat kasutatakse suhteliselt vähe. Palamuse ja Saare vallas oleks soovitatav istutada metsa ligikaudu 225 hektarile jäätmaast. Kohalikest puuliikidest on suurima energeetilise potentsiaaliga kask. Kohalike puittaimede kasvatamine energeetiliselt eesmärgil on põhjendatud, sest puidu energeetiline potentsiaal on suur ning puidu kasutamine kütusena laialdaselt levinud. Vasturääkivateks teguriteks on aga nende puuliikide tunduvalt pikem kasvuperiood kui teistel energiakultuuridel, ning et puidu kasutamine tööstuses on ökonoomsem kui selle põletamine, pole mahajäetud alade metsastamine energeetilise toorme kasvatamise eesmärgil siiski eriti mõttekas. Metsastamisel tuleks lähtuda pigem puidu- kui energiaturu vajadustest. Rohttaimede kasvatamine energiakultuuridena on vähetulus tegevus. Suurimat saaki annavad rohttaimedest veelembesed kultuurid pilliroog ja hundinui. Kõik rohttaimede kasvatamiseks väljavalitud jäätmaad ei ole liigniisked, seega pole maksimaalse energeetilise potentsiaali tootmine teostatav. Et rohttaimede kasvatamine on suhteliselt väikese töömahukusega ja taimed on kasvutingimuste suhtes vähenõudlikud, siis on nende kasvatamine lihtsam kui teiste energiakultuuride puhul. Rohttaimedes salvestuv energiahulk on väike, seetõttu tasub nende tootmine kütteinena majanduslikult end vaid siis, kui tema transpordi vahemaa on lühem kui 100 km (Koppel ja Ots, 2000). Tooret on tarvis töödelda ja tarbida tekkekohas või sellele võimalikult lähedal.

Lähtuvalt eelpool kirjutatust toob autor siinkohal mõningad soovitused, kuidas oleks jäätmaade taaskasutamisel ning alternatiivsete energiakultuuride kasvatamisel põllumajandussektoris otstarbekas toimida.

1. Energiakultuuri saamise eesmärgil kasvatada kiirekasvulisi puuliike (nt paju, lepp, hübriidhaab).
2. Puitu kasutada tööstusliku toormena, kütusena tarbida vaid jääkpuitu ning metsatööstuse jäätmeid.
3. Viljakatele ja keskmise viljakusega aladele rajada energiametsa istandusi, kasvatades erinevaid külma- ja kahjurikindlaid liike üheskoos.
4. Kasutada pajuistandusi reovee ja saastunud pinnase puhastamiseks, seeläbi suureneb biomassi tootlikkus ja saadava toorme kütteväärtus.
5. Energeetiliste põllukultuuridena kasvatada sööda- ja suhkrupeeti, kartulit või teravilja ja/või suure energeetilise potentsiaaliga õlitaimi (raps, õlirõigas jms).
6. Taimeõli kasutada toiduainetööstuse toormena.
7. Rohhtaime kasutamine kütusena on otstarbekas vaid sel juhul, kui tarbijad on Palamuse vallas või Jõgevamaal; selleks on tarvis luua kohalik biomassipõhine koostootmisjaam või katlamaja.
8. Kui energiakultuuri (nt puit- ja rohhtaimed) on võimalik kasutada mõnel ökonoomsemal viisil kui põletamine, on soovitatav seda teha.

## **Kokkuvõte**

Palamuse ja Saare vallas oli 2002. aastal kokku 4297 ha jäätmaid. Analüüsi tulemused näitavad, et energiataimede kasvatamine omab neil aladel suurt potentsiaali. Valdade tsentraalsete katlamajade aastane energiatarve on 9068 GJ/a (Jõgevamaa ..., 2001). Kui antud aladel kasvatada suurima energeetilise potentsiaaliga energiakultuure – mis olid selle uurimistöo puhul raps, söödapeet, pilliroog, hübriidhaab, kask – suudetaks nimetatud energiatarvet ületada ligi 85 korda. Kui analüüsitud jäätmaadel kasvatada väikseima energiapotentsiaaliga taimi (harilik saialill, teravili, energiahein, sanglepp, mänd), siis toodetakse peaaegu 16 korda rohkem bioenergiat, kui valdade tsentraalsetes katlamajades aastas keskmiselt tarbitakse.

## **KirjandusReferences**

1. Jõgevamaa planeerimisosakond (2001) Maakonnaplaneeringu taustainfo. <http://www.toots.ee/planeering98/mpc-1-2.htm>, 17.04.2003.
2. Koppel, M., Ots, M. (2000) Taastuvate energiaallikate kasutamine Eestis. Esimese konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu:10–20.
3. Lausmaa, T. (2002) Säästva energeetika võimalikkusest Eestis. Kolmanda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 14–21.
4. Pangsep, T., Olak, H. (2001) Rapsiõli baasil biodiislikütuste valmistamise ja kasutamise kogemusi. Teise konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 65–70.

5. Põldvere, E. (2002) Paju energiavõsa kasvatamine reoveel. <http://www.keskkonnaveeb.ee/kirjandus/raamatud/paju.pdf>, 21.05.2003.
6. Strateegilise Algatuse Keskus (2002) Eesti Riiklik Arengukava. Ühtne programm-dokument 2003–2006. <http://www.sak.ee/RAK.pdf>, 02.05.2003.

## **ANALYSIS OF ENERGY POTENTIAL OF ABANDONED AREAS IN PALAMUSE AND SAARE LOCAL MUNICIPALITIES**

*Moonika Ani*

Estonian Agricultural University, e-mail: moonika@eau.ee

### **Abstract**

The paper analyses the usage of the abandoned areas in Palamuse and Saare local municipalities. Questions such as where those areas are and how could they be used for producing biofuels (biomass-based and biomass-derived fuels) will be answered.

In 2002 there were 4,297 hectares of abandoned areas of arable land in Palamuse and Saare local municipalities.

The cultivation of energy plants on those areas has a large energy potential. The use possibilities of the abandoned areas were determined by analysis of the landscape maps. Thereby the areas were divided into the following four categories:

1. For cultivation of oil- and ethanol cultures;
2. For cultivation of fast-growing forests;
3. For cultivation of energy grasses;
4. For cultivation of local tree species.

Hereafter the energetic potential of 9 oil plants, 4 ethanol plants, 4 fast-growing tree species, 5 energy grass species and 3 local tree species was calculated. The conclusions of the study stated that 29% of the area of the abandoned fields is suitable for cultivation of oil or ethanol plants (sugar beet, oil plants like raps and oil radish). The largest part (69%) of the abandoned area is suitable for the cultivation of energy forest. For this purpose local species are preferred. As the biological variety and soil quality are to be taken into consideration also aspen and alder should be cultivated. Energy grasses should be cultivated on 5% of the abandoned areas. The energy potential of such plants is rather small. 25% of the area is suitable for the cultivation of local tree species like birch, fir and pine. The growth period of these trees is much longer than the growth period of the other energy plants, so it is more practical to use the wood in the industry than for energy production.

The potential of abandoned areas in Palamuse and Saare local municipalities is huge. If we take into account the actual state influences and factors, realistic estimate would be that it would be possible to produce annually 16–85 times more energy than needed by those municipalities.

# PILLIROO TERMOKEEMILINE DESTRUUKTSIOON

*Rein Veski<sup>1</sup>, Vilja Palu<sup>1</sup>, Irina Bljakhina<sup>1</sup>, Kristjan Kruusement<sup>1</sup>, Natalia Vink<sup>1</sup>,  
Livia Kask<sup>2</sup> ja Ülo Kask<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Tallinna Tehnikaülikooli Põlevkivi Instituut, Akadeemia tee 17, 12618 Tallinn  
e-post: rein.veski@mail.ee

<sup>2</sup> Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituut, Kopli 116, 11712 Tallinn  
e-post: ykask@staff.ttu.ee, Livia.Kask@ttu.ee

## Annotatsioon

Energeetika varustuskindlust saab suurendada kodumaiste energiaallikate kasutamisega. Pilliroog on üheks energiaallikaks, mille põletamisel on Eestis kujunemas oma kogemus. Käesolevas töös vaadeldakse pilliroogu vedelkütuse toormena.

## PILLIROOG, *PHRAGMITES AUSTRALIS*, TERMOKEEMILINE DESTRUUKTSIOON

### Pilliroo levik ja energeetiline kasutamine

Kõrgekasvuline niiskuslembene roomava risoomiga kõrreliste sugukonda kuuluv rohttaim pilliroog kasvab kogu maakeral. Eestis arvatakse olevat 7 või 8 liiki pilliroogu. Neist harilik pilliroog (*Phragmites australis* ehk *P. communis*) kasvab peaaegu kogu maakeral, moodustades ka Eestis roostikke. Roostikud toodavad orgaanilist ainet 10–40 t/ha aastas. Põhja-Euroopa, sh Eesti suurima ja Euroopa ühe suurima, Matsalu märgala biomassitoodang on näiteks umbes 10 t/ha aastas (Lausmaa, 2000; Lotman, 2000).

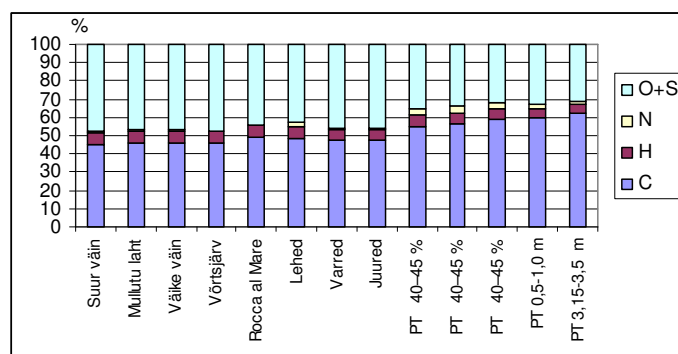
Eestis on lõikuseks sobivate üle 100 ha suuruste roostike pindala 11 275 ha, samas kui märgalade pindala on üle kahe korra suurem, ~26 000 ha. Kui koristada pilliroog  $\frac{2}{3}$  märgalalt, võrduks selle primaarenergiasisaldus 1,69 PJ/a ehk 0,47 TW·h/a (Kask ja Kask, 2003; Paist jt, 2003). Seega saaks pillirooga asendada 1,3% muid kütuseid elektri- ja soojusenergia tootmisel. 2001. aastal oli puitkütuse osa näiteks 5,8%. Kui Eestis rakenduks täiel määral reoveega väetatavate kunstlike märgalade projekt (kuni 0,3 mln ha), võiks pilliroo ja hundinuia osatähtsus kasvada kuni 17%-ni energeetilise kütuse bilansis (Kask ja Kask, 2003). Pilliroog võib olla ka lähtematerjaliks vedelkütuste saamisel.

Soomes arvestatakse roo keskmiseks hektarisaagiseks 5 t/a (maksimaalselt 10–12 t) ja varuks 30 000 t/a, varumine nõuab 3–4% saadavast energiast (Kauppi jt, 1981).

### Pilliroo keemiline koostis

Pilliroo orgaanilise aine (OA) elemendikoostis on Eestis võetud proovidel ühtlane, v.a Rocca al Marest võetud proovid, mis sisaldavad veidi enam süsinikku (Paist jt, 2003; joonis 1). Samuti näeme joonisel, et sügisel võetud pilliroolehed ja varred erinevad pilliroost tervikuna veidi suurema lämmastikuisalduse poolest (Rakovski ja Pigulevskaja, 1978). Juurte lämmastikuisaldus on võrreldav pillirooturba omaga, kuid

turvas (lagunemisaste 40–45%) sisaldab võrreldes pillirooga peamiselt enam süsinikku ja vähem hapnikku (Belkevich ja Gaiduk, 1972; Belkevits jt, 1968; Mazina jt, 1965; Rakovski ja Pigulevskaja, 1978). Pilliroo väävlisisaldus on ~0,1%.



Joonis 1. Pilliroo orgaanilise aine elemendikoostis (PT – pillirooturvas, protsendid väljendavad turba lagunemisastet, meetrid lasundi sügavust) %

Figure 1. Elemental composition of organic matter of reed (PT – reed peat, percentage shows the degree of decomposition, meters depth of peat bed) %

Pilliroog sisaldab benseenis ja piiritusbenseenis lahustuvat bituumenit vastavalt 2,4 ja 7,2 (kokku 9,6), lisaks vees lahustuvaid aineid 5,0 ja kergesti hüdrolüüsuvaid aineid 24,8, tselluloosi 37,6 ja hüdrolüüsumatut jääki 19,6% (Rakovski ja Pigulevskaja, 1978). Samale allikale viidates sisaldab pillirooturvas erinevalt pilliroost bituumenite (4,9 ja 2,7, kokku 7,6), kergesti hüdrolüüsuvate ainete (20,4) ja hüdrolüüsumatu jäägi (19,5) kõrval raskesti hüdrolüüsuvaid aineid (5,1, sh tselluloosi vaid 4,6) ja mattunud orgaanilisele ainele iseloomulikke uudismoodustisi humiin- (46,2) ja fulvohappeid (1,2%). Seega on pilliroo OA komponentkoostis rohkem erinev pillirooturba omast kui elemendikoostis.

### Õli, koks ja gaas pilliroost või pillirooturbast

Pilliroo termokeemilist destruktsiooni on seni vähe uuritud, eriti vedelkütuse lähtematerjalina. Kui pilliroo vahetust energeetilisest kasutamisest teatakse üht-teist, siis teave selle termilise destruktsiooni kohta on lünklik. Ajalooliselt on asjad kulgenud selliselt, et suurem osa teaduslikke uurimis- ja juurutustöid tehti algselt puiduga, hiljem turba, sh pillirooturbaga ja ka turvast moodustavate taimedega, k.a pilliroog.

On teada Hoeringu (1911) patent, millega kaitsti pilliroobriketi koksistamist, ja Waeseri (1921) ülevaateartikkel, kus viidatakse kõrgjale ning pilliroole kui turba asendajatele koksistamisel. Mitmed uurimistööd pilliroo ja pillirooturba termokeemilise destruktsiooni kohta pärinevad Vene teadlastelt, millest selgub, et peenendatud pilliroo utmine inertgaasikeskkonnas suurendab vedelsaaduste saagist. Uuriti ka võrdlevalt kuiva pilliroo ja puidu pürolüüsisaadusi (Lyamin ja Solov'ev, 1939a; Ljamin ja Ssolowjew, 1939b), pillirooturba termolüüsi (Belkevich ja Gaiduk, 1972), k.a veeauru atmosfääris (Mazina jt, 1965).

Termokeemilise vedeldamise saaduste analüüsimetoodika on kirjeldatud Palu ja kaasautorite poolt käesolevas kogumikus (Palu jt, 2004).

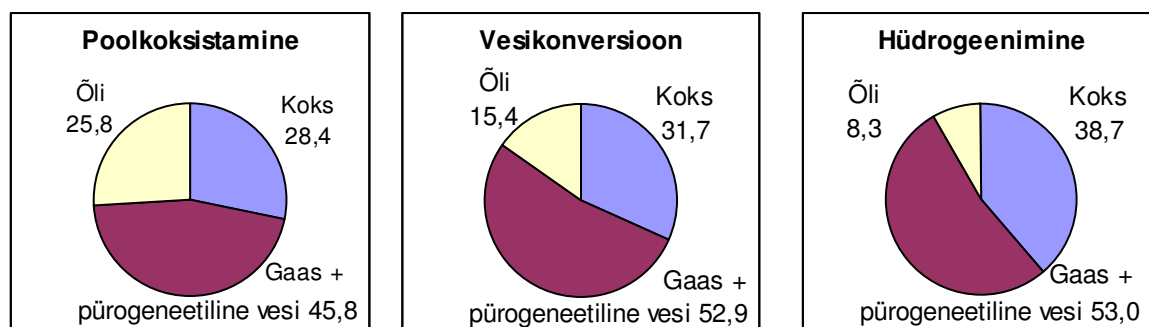
### Katsetingimused ja -tulemused

Pilliroog (niiskus  $W^a$  7,2, tuhasus  $A^d$  3,0, OA 97%) poolkoksistati Fischeri alumiumretordis standardtingimustel, allutati vesikonversioonile ja katalüütilisele hüdrogeenimisele autoklaavis (tingimused vt tabel 1).

Tabel 1. Pilliroo termokeemilise destruktsiooni tingimused  
Table 1. Conditions of thermochemical destruction of reed

Mõjutusviis	Tingimused		
	Temperatuur °C	Aeg min	Muud
Poolkoksistamine Fischeri retordis	Tõus kuni 220 220–520	10 60	22 g roogu
Vesikonversioon autoklaavis	Tõus kuni 380 380±10	110 240	60 g roogu + 180 g vett, algrõhk 1, lõpprõhk 18 atü
Hüdrogeenimine autoklaavis	Tõus kuni 380 380±10	75 240	60 g roogu + 6 g katalüsaatorit, H <sub>2</sub> algrõhk 68, lõpprõhk 61 atü

Poolkoksistamisel saadi pilliroo orgaanilise aine kohta 25,8% õli, 28,4% koksi ja 45,8% gaasi koos pürogeneetilise veega, seega enam õli kui teiste meetoditega (joonis 2). Vesikonversiooni ja eriti katalüütilise hüdrogeenimise tingimused osutusid roole liiga karmideks.

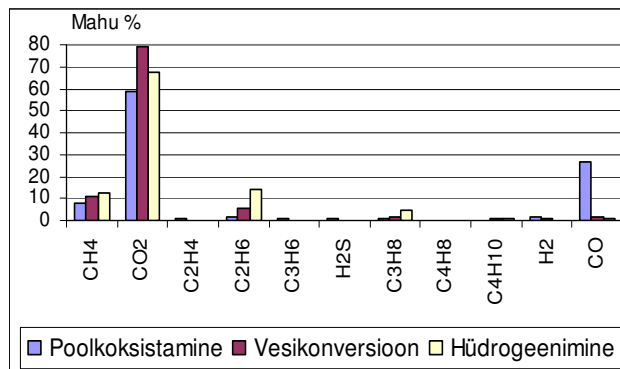


Joonis 2. Pilliroo termokeemilise destruktsiooni saadused % OA-st  
Figure 2. Products of thermochemical destruction of reed % of organic matter

Tekkinud gaasid sisaldasid peamiselt mittepõlevat CO<sub>2</sub> (joonis 3). Metaani, etaani ja propaani suurem sisaldus hüdrogeenimiskatsetes on seletatav destruktsioonil tekkinud veelahustuvate hapnikuühendite hüdrogeenimisega. Sellega saab seletada ka väikest CO-sisaldust.

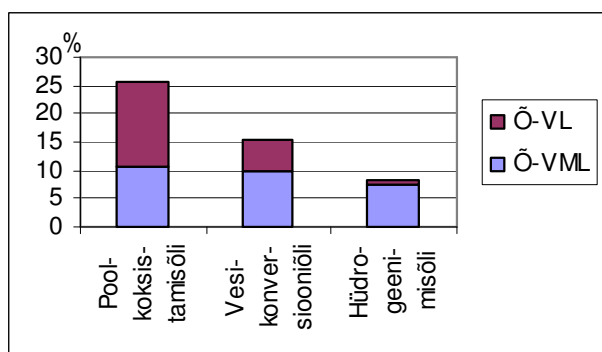
Nagu nähtub jooniselt 4, on summaarse õli saagis autoklaavikatsetel väiksem peamiselt vees lahustuva õli saagise vähenemise tõttu. Samaaegselt vähenes veidi ka vees mittelahustuva õli saagis.

Vees mittelahustuva õli saagis vähenes benseenis lahustuva osa arvel, samas kui (benseenis lahustumatu) atsetoonis lahustuva osa saagis jäi peaaegu samaks (joonis 5). Ühtlasi selgus, et vees lahustuva õli saagis väheneb järsult katalüütilisel hüdrokeenimisel.



Joonis 3. Pilliroo termokeemilisel destruktioonil tekkivate gaaside koostis %

Figure 3. Composition of gas formed by thermochemical destruction of reed vol%



Joonis 4. Vees lahustuva (Õ-VL) ja vees mittelahustuva (Õ-VML) õli saagis olenevalt pilliroo termokeemilise destruktiooni meetodist % OA-st

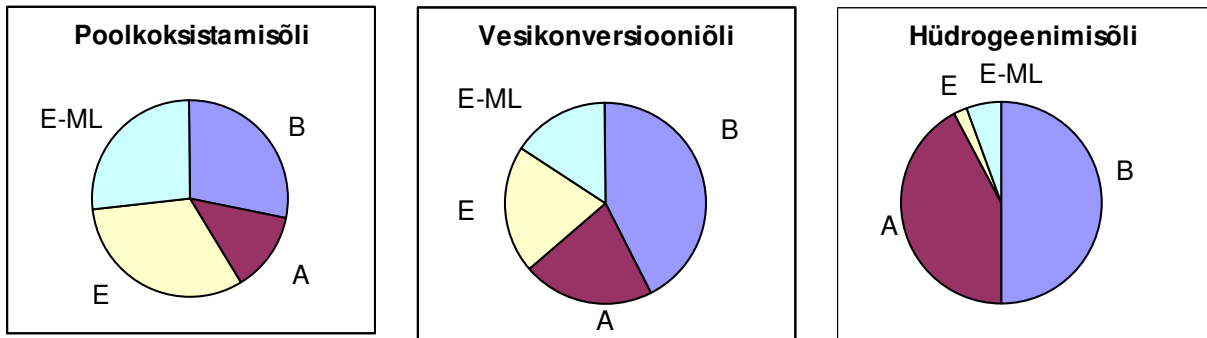
Figure 4. Water soluble (Õ-VL) and insoluble oil (Õ-VML) yield depending on the method of thermochemical destruction of reed organic matter vol%

Seega kui summaarse õli saagis väheneb reas poolkoksistamine → vesikonversioon → katalüütiline hüdrokeenimine (joonis 3), suureneb benseenis lahustuva õli osatähtsus 28,4-lt kuni 50,1%-ni teiste osiste osatähtsuse vähenemise arvel (joonis 6).

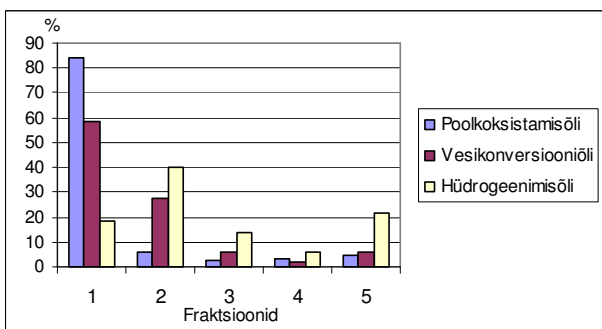
Õhekihikromatograafia andmed näitavad, et vaatamata benseeniekstrakti saagise suhtelisele püsivusele pilliroost valitud destruktioonitingimustel pole püsiv tema komponentkoostis. Viimases väheneb polaarsete ühendite osatähtsus olenevalt pilliroo mõjutustingimustest suunas poolkoksistamine → vesikonversioon → katalüütiline hüdrokeenimine, samas kui vähempolaarsete fraktsioonide osatähtsus suureneb (joonis 7). Õli koostisosade elemendianalüüs näitas, et pilliroo süsinikust kandub poolkoksistamisel õlisse rohkem süsinikku ja vesinikku kui teistel meetoditel (joonis 8).

Samas on õli olulisema komponendi – benseenis lahustuva osa – saagis nii lähtepilliroo süsiniku kui ka vesiniku üleminekut arvestades poolkoksistamise ja vesikonversiooni korral võrdne, hüdrokeenimise korral aga tunduvalt väiksem. Atsetoonis lahustuvasse õlisse kandub kõige rohkem süsinikku ja vesinikku üle hüdrokeenimisel, vees lahustuvasse õlisse poolkoksistamisel (joonis 9).

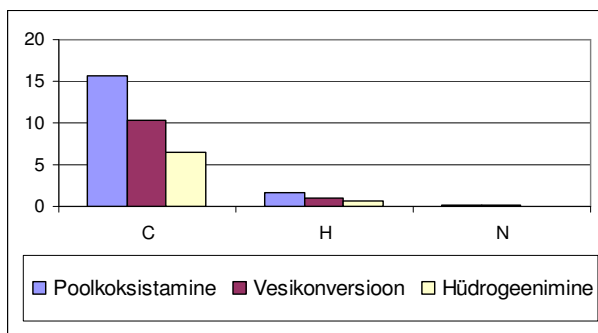




Joonis 6. Õli koostis lahustuvuse järgi %  
Figure 6. Composition of oil according to solubility %



Joonis 7. Benseenis lahustuva õli komponentkoostis õhekihikromatograafia andmetel %  
Figure 7. Components of benzene soluble oil by thin-layer chromatography %

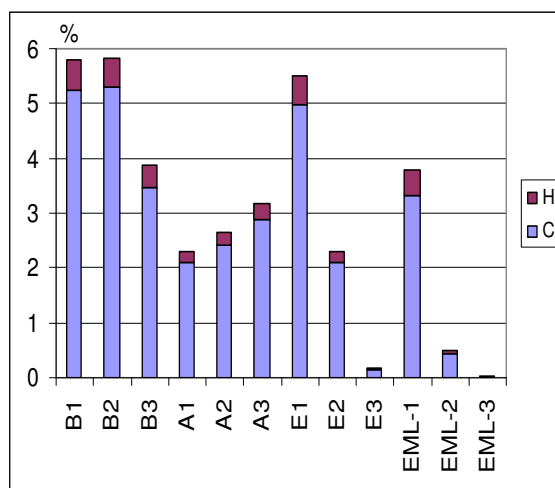


Joonis 8. Lähte pilliroo OA keemiliste elementide üleminek summaarsesse õlisse %  
Figure 8. Transition of chemical elements of initial reed to summary oil %

## Kokkuvõte

Käesolevas töös saadi esmakordselt võrdlevad andmed kolme termokeemilise destruktsioonimeetodi (sh ühe standardse, nn etalonmeetodi) rakendatavuse kohta pilliroost õli saamiseks. Pilliroost saadi standardsetel koksistamistingimustel rohkem õli ja vähem koksi kui pillirooturbast ning Eesti turvastest. Haava, kase, männi, kuuse ja tamme koksistamisel standardsetel tingimustel saadi õli ning koksi nii rohkem kui ka vähem kui pilliroost samadel katsetingimustel (tabel 2).

Tehtud töö on vajalik pilliroo ja selle segude (põlevkivi ja põlevjäätmega) termokeemilise destruktsiooni katsete kavandamisel.



Joonis 9. Vees lahustumatu õli benseeni- (B) ja atsetooni- (A) ning vees lahustuva õli eetrikstrakti (E) ja järelejäävate ühendite (EML) süsiniku ja vesiniku saagis pilliroo orgaanilise aine süsinikust ja vesinikust (1 – poolkoksistamine, 2 – vesikonversioon, 3 – hüdrogeenimine) %

Figure 9. Yields of carbon and hydrogen of benzene (B) and acetone (A) extracts of water not soluble, and ether extracts (E) and other compounds of water soluble oil (EML) from reed organic matter % (1 – semicoking, 2 – water conversation, 3 – hydrogenation)

Tabel 2. Pilliroo, turba ja puidu koksistamisel tekkiva õli ja koksi saagiste võrdlus %  
Table 2. Comparison of yields of oil and char (coke) from reed, peat and wood %

Saadus	Pilliroog	Pillirooturvas (Mazina jt, 1965)		Eesti turvas (Avaste, 1947)	Puit (Termoliz..., 1975)
		auruta	auruga		
Õli	25,8	16	17	7,6–15,6	18,4–34,4
Koks	28,4	47,3	40,8	36,2–42,4	22,7–39,5

Katsed pillirooga tehti eesmärgil saada andmeid töö järgmise etapi kavandamiseks ning võimaldavad järeldada, et:

- pilliroogu tuleks töödelda autoklaavikatsetes pehmemates tingimustes, ennekõike katalüütilisel hüdrogeenimisel, et hoida ära tekkiva õli lagunemist koksiks, gaasiks ja pürogeneetiliseks veeks;
- tuleks põhjalikumalt uurida vees lahustuva õli ja koksi koostist, k.a mineraalosa;
- termokeemilise destruktsiooni saaduste analüüsil tuleb täiendavalt kaasata kromatograafia- ja spektraalanalüüsi meetodeid.

## Tänuavaldus

Uurimistöö on valminud Eesti Teadusfondi grandide nr 5360 toetusel.

## Kirjandus ✕ References

1. Avaste, A. (1947) ENSV turba katselisi koksistamisi. RK Teaduslik Kirjandus. Tartu: 60.
2. Belkevich, P. I., Gaiduk, K. A. (1972) Thermolysis of peat and its components. In: Proc. Int. Peat Congr., 4<sup>th</sup>: 143–164.
3. Белькевич П. И., Гайдук К. А., Минкевич М. И. (1968) Исследование кинетики низкотемпературного термолиза тростникового торфаю. Докл. АН БССР 12(8): 710–714.
4. Hoering, P. (1911) Coke. GP 1128139 (C. A. 1911, 7, 883).
5. Kask, L., Kask, Ü. (2003) Pilliroo ja hundinuia potentsiaal energiataimedena. Ehituskaar 3: 64–67.
6. Kauppi, P., Ojanen, T., Puttonen, P., Toivonen, H. (1981) Järviruoko energiakasvinen. Tuotasarvio, tekniset mahdollisuudet ja ümpäristönsuojelu. Vesihallitus-Tiedotus 210: 48.
7. Lausmaa, T. (2000) Matsalu märgala biomass biokütusena. Esimese konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 38–48.
8. Lotman, A. (2000) Taastuvate energiaallikate kasutus kui osa Matsalu märgala kaitsekorraldusest. Esimese konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 49–51.
9. Lyamin, V. A., Solov'ev, S. N. (1939a) Increasing the yields of liquid products in dry distillation of reed. SciFinder (R). (Лесохимическая промышленность 2(12): 36–40.
10. Ljamin, W. A., Ssolowjew, S. N. (1939b) Trockene Destillation von Schilf. Chem. Zentr. 1940, 111, 3319. (Лесохимическая промышленность 2(11): 36–41.
11. Мазина О. И., Макеева Г. П., Микулич С. М., Хоняк В. П., Раковский В. Е. (1965) Изучение механизма термической деструкции торфа и лигнина в атмосфере водяного пара. Сообщение 1. Образование дегтя при термической деструкции торфа и лигнина. В кн.: Комплексное использование торфа. Москва-Ленинград. Недра: 98–103.
12. Paist, A., Veski, A., Kask, Ü., Kask, L. (2003) Solid biofuels and peat in Estonia. Proc 8<sup>th</sup> Polish-Danish workshop on Biomass for Energy. Starbienino, Poland: 113–121.
13. Palu, V., Veski, R., Luik, H. (2004) Taastuv- ja fossiilkütusesegude termokeemilise vedeldamise saaduste lahutamise meetod. Viienda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 124–128.
14. Раковский В. Е., Пигулевская Л. В. (1978) Химия и генезис торфа. Москва. Недра: 232.
15. Термолиз гумифицированных видов сырья. (1975) Отв. Ред. Калниньш А. Л. Зинатне. Рига: 142.
16. Waeser, B. (1921) The carbonization of peat and wood. Angewandte Chemie, 34 (Aufsatzteil): 51–54. (SciFinder (R)).

# THE THERMOCHEMICAL DESTRUCTION OF REED

*Rein Veski<sup>1</sup>, Vilja Palu<sup>1</sup>, Irina Bljakhina<sup>1</sup>, Kristjan Kruusement<sup>1</sup>, Natalia Vink<sup>1</sup>,  
Livia Kask<sup>2</sup> and Ülo Kask<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Oil Shale Research at Tallinn University of Technology  
e-mail: rein.veski@mail.ee

<sup>2</sup> Thermal Engineering Department of Tallinn University of Technology  
e-mail: ykask@staff.ttu.ee, Livia.Kask@ttu.ee

## **Abstract**

Reed (*Phragmites australis* or *P. communis*) stands are common in Estonia (26,000 ha, of which 11,275 ha are suitable for cutting). It is suggested to burn reed in straw boilers or as an additive in wood burning boilers (Kask and Kask, 2003, Lausmaa, 2000, Lotman, 2000, Paist *et al*, 2003). The current paper gives an overview of experimental work on thermochemical destruction (semicoking, water conversation and hydrogenation) of reed.

# ENERGIARESSURSID EESTI VÄLISKAUBANDUSES JA NENDE PIIRKONDLIK KASUTAMINE

*Anton Laur ja Koidu Tenno*

TTÜ Eesti Majanduse Instituut, Estonia pst 7, 10143 Tallinn  
e-post: antonl@tami.ee, koidut@tami.ee

## **Annotatsioon**

Eesti majanduse suure avatuse negatiivseks kaasnähtuseks on väliskaubandusbilansi tasakaalustamatus, mis omakorda nõrgendab majanduskasvu. Paraku on väliskaubanduse defitsiit seni pidevalt suurenenud. Seoses Eesti elektrituru järkjärgulise avanemisega ja energiaressursside impordimahu võimaliku kasvuga on oluline hinnata energiaressursside osa Eesti väliskaubanduses ja prognoosida selle muutumist energiaressursside impordi suurenemise korral. Samuti, lähtudes Eesti majanduse regionaalse arengu ebaühtlusest, analüüsime regionaalset makromajanduslikku arengut ja energiaressursside piirkondlikku kasutamist.

ENERGIARESSURSID, MINERAALSED KÜTUSED, VÄLISKAUBANDUS, EKSPORT, IMPORT, SISEMAJANDUSE KOGUPRODUKT, LISANDVÄÄRTUS, PIIRKONDLIK ENERGIATARVE, ELANIKE KULUTUSED ELEKTRILE

## **Kasutatud lühendid**

SKP – sisemajanduse koguprodukt;  
RSKP – regionaalne sisemajanduse koguprodukt;  
EJ – elektri jaam;  
AK – arengukava.

## **Sissejuhatus**

Eesti majandust iseloomustavad taasiseseisvumisest möödunud aastate jooksul toimunud suured struktuursed muutused. Tootmissektori osatähtsuse languse ja teenuste sektori jõudsa arengu ning majanduse järjest suureneva avatuse negatiivseks kaasnähtuseks on väliskaubandusbilansi suur tasakaalustamatus. Nimelt on Eesti suhteliselt kiire majanduskasv tingitud eeskätt sisenõudluse kasvust, mis võimendab tugevalt importi. Samal ajal on tootmissektori nõrgenemise tõttu Eesti ekspordisuutlikkus suhteliselt väike. Negatiivne väliskaubandusbilanss nõrgendab omakorda majanduskasvu, kui seda ei suudeta kompenseerida kapitali pideva sisseveoga – välisinvesteeringutega.

Käesolevas töös analüüsime energiaressursside osatähtsust Eesti väliskaubanduses ja selle võimalikku muutumist tulevikus Eesti energeetika erinevate arengukavade rakendamise korral. Samuti analüüsime Eesti regionaalse arengu iseärasusi ja eriti energiaressursside piirkondliku kasutamise küsimusi.

## **Energiaressursid Eesti väliskaubanduses**

Eesti väliskaubandusbilanss on praktiliselt kogu taasiseseisvusperioodi jooksul olnud negatiivne. Vahepeal vähenenud väliskaubandusbilansi puudujääk on viimastel aastatel

uuesti kasvanud, jõudes 2002. aastaks 22,5 miljardi kroonini, mis moodustab 19,3% SKP väärtusest (tabel 1). Väliskaubanduse negatiivse bilansiga on seotud ka üks tähtsamaid makromajanduslikke näitajaid – maksebilansi jooksevkonto defitsiit. Viimane on vaadeldavatel aastatel samuti tublisti suurenenud ning jõudnud 2002. aastaks enneolematult kõrgele tasemele – 11,9 miljardile kroonile.

*Tabel 1. Energiressursside eksport ja import väliskaubanduses*  
*Table 1. Export and import of energy resources in foreign trade*

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
SKP jooksevhindades, mln kr *	55 966,7	68 327,6	78 341,2	81 639,7	92 717,1	104 337,7	116 869,0
SKP reaalkasv, %	4,5	10,5	5,2	-0,1	7,8	6,4	7,2
<b>Kaupade põhiexport, mln kr</b>	21 283,4	29 585,7	35 232,2	35 024,5	53 893,6	57 856,7	56 921,4
<b>sh mineraalsed kütused, mln kr</b>	<b>1025,7</b>	<b>1120,3</b>	<b>723,3</b>	<b>652,9</b>	<b>1074,4</b>	<b>974,2</b>	<b>1296,6</b>
Osatähtsus ekspordis, %	4,8	3,8	2,1	1,9	2,0	1,7	2,3
Elektrienergia, mln kr	329,9	382,8	211,6	235,6	319,6	248,8	387,1
Osatähtsus ekspordis, %	1,6	1,3	0,6	0,7	0,6	0,4	0,7
Osatähtsus kütustes, %	32,2	34,2	29,3	36,1	29,7	25,5	29,9
<b>Kaupade põhiimport, mln kr</b>	34 936,0	48 929,8	55 220,7	50 438,8	72 213,1	75 078,6	79 465,7
<b>sh mineraalsed kütused, mln kr</b>	<b>3094,3</b>	<b>3717,0</b>	<b>3012,4</b>	<b>2845,0</b>	<b>4239,5</b>	<b>4388,7</b>	<b>4430,1</b>
Osatähtsus impordis, %	8,9	7,6	5,5	5,6	5,9	5,8	5,6
Maagaas (energia), mln kr	643,4	645,7	608,7	569,9	722,3	754,5	766,7
Osatähtsus impordis, %	1,8	1,3	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
Osatähtsus kütustes, %	20,8	17,4	20,2	20,0	17,0	17,2	17,3
Kivisüsi, mln kr	81,5	63,8	46,5	32,9	49,4	49,5	32,4
Osatähtsus impordis, %	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Osatähtsus kütustes, %	2,6	1,7	1,5	1,2	1,2	1,1	0,7
<b>Väliskaubandusbilans, mln kr</b>	<b>-13 652,6</b>	<b>-19 344,1</b>	<b>-19 988,5</b>	<b>-15 414,3</b>	<b>-18 319,5</b>	<b>-17 246,8</b>	<b>-22 544,3</b>
<b>Väliskaubandusbilansi suhe SKP-sse, %</b>	<b>24,4</b>	<b>28,3</b>	<b>25,5</b>	<b>18,9</b>	<b>19,8</b>	<b>16,5</b>	<b>19,3</b>

\* Eesti Panga andmetel ([http://www.eestipank.info/dynamic/itp\\_report\\_2a.jsp?reference](http://www.eestipank.info/dynamic/itp_report_2a.jsp?reference))

Energiressursside eksport ja import väliskaubandusstatistikas kuuluvad kaubagrüppi, mille üldnimetus on **mineraalsed kütused**. Selle kaubagrüpi osatähtsus Eesti väliskau-

banduses on suhteliselt väike, moodustades 2002. aastal ekspordist vaid 2,3% ja impordist 5,6% (tabel 1). Kaubagrupi-siseselt on suhteliselt suur osatähtsus elektrienergia ekspordil – 29,9%. Impordis on kõige suurem osatähtsus mootorikütustel ja kütteõlidel, maagaasi osatähtsus 2002. aastal oli aga 17,3%. Ka kogu mineraalsete kütuste ekspordi-impordi saldo on läbi aastate negatiivne, moodustades 2002. aastal 3,1 miljardit krooni.

*Tabel 2. Elektrivajaduse katmiseks täiendavalt imporditavate energiaressursside osa kaupade impordis*

*Table 2. Share of additionally imported energy resources for electricity supply in the import of commodities*

	2010		2015		2030	
	Elektritarbimine		Elektritarbimine		Elektritarbimine	
	min	max	min	Max	min	Max
Kaupade import, mln EUR						
I variant (AK 3)	12 430		21 210		76 140	
II variant (AK 1)	10 850		16 840		46 820	
<b><u>I stsenaarium</u></b>						
Imporditavate energiaressursside maksumus, mln EUR						
min hinnad	39,0	66,9	53,7	101,1	290,3	459,2
max hinnad	47,5	81,4	68,9	129,6	401,3	634,9
<b>osa kaupade impordis, %</b>						
<b>min hinnad / I variant</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>
<b>max hinnad / II variant</b>	<b>0,4</b>	<b>0,8</b>	<b>0,4</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1,4</b>
<b><u>II stsenaarium</u></b>						
Imporditavate energiaressursside maksumus, mln EUR						
min hinnad	41,9	71,8	58,7	110,6	326,0	515,6
max hinnad	52,0	89,1	82,8	155,8	553,2	875,1
<b>osa kaupade impordis, %</b>						
<b>min hinnad / I variant</b>	<b>0,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,7</b>
<b>max hinnad / II variant</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	<b>0,9</b>	<b>1,2</b>	<b>1,9</b>
<b><u>III stsenaarium</u></b>						
Imporditavate energiaressursside maksumus, mln EUR						
min hinnad	38,8	66,6	52,7	99,1	281,9	445,9
max hinnad	46,4	79,5	70,1	132,0	441,6	698,5
<b>osa kaupade impordis, %</b>						
<b>min hinnad / I variant</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>
<b>max hinnad / II variant</b>	<b>0,4</b>	<b>0,7</b>	<b>0,4</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1,5</b>

Tabelis 2 on esitatud analüüsi tulemused, mille eesmärgiks on hinnata, kui palju suureneb energiaressursside osakaal Eesti impordi üldmahus juhul, kui pärast 2005. aastat tõenäoliselt tekkiv elektrienergia defitsiit kaetakse imporditavate energiaressursside arvelt. Lähtudes elektri sisemaise tarbimise prognoosist, praeguseks teada olevatest piirangutest põlevkivielektri tootmisele, samuti elektri tootmisvõimaluste prognoosist taastuvate energiaallikate baasil ja Iru EJ-s, on selle defitsiidi suuruseks hinnatud 2010. aastaks 1400–2400, 2015. aastaks 1700–3200 ja 2030. aastaks 5500–8700 GW-h

elektrienergiat (Laur jt, 2003b). Defitsiidi katmiseks on vaatluse alla võetud kolm stsenaariumi. Esimeses (I) stsenaariumis kaetakse kogu elektri defitsiit täiendava tootmisega maagaasist (lisaks Iru EJ toodangule). Teine (II) stsenaarium näeb ette defitsiidi katmise 60% ulatuses gaasielektriga ja 40% ulatuses elektri impordiga. Kolmandas (III) stsenaariumis on gaasielektri osa 50%, elektri impordi osa 25% ja ülejäänud 25% kaetakse kivisöe baasil toodetava elektriga.

Impordi mahtu tulevikus on hinnatud seose alusel SKP juurdekasvuga, arvesse võttes ka tarbijahinnaindeksi muutumist (Laur jt, 2003a). Sealjuures on SKP pikaajalise prognoosi aluseks Rahandusministeeriumi prognoos (2002), mida käesoleva töö autorid on täpsustanud ja varieerinud kütuse- ja energiamajanduse arengukava tarvis (Kütuse- ..., 2002). Olgu märgitud, et viimase paarikümne globaliseerumisest mõjutatud aasta praktika näitab, et enamikus maailma riikides kasvavad impordi ja ekspordi mahud kiiremini kui SKP mahud.

Arvutustulemused näitavad, et lähtuvalt koguimpordi prognoosist ja vaadeldavate energiaressursside hinnaprognosidest võib elektrienergia defitsiidi katmiseks vajalik energiaressursside täiendav import suurendada nende ressursside osakaalu koguimpordis 2015. aastal 1% ja 2030. aastal 2% piires.

### **Eesti regionaalne makromajanduslik areng ja energiaressursside piirkondlik kasutamine**

Eesti regionaalne areng on väga ebaühtlane, mis kajastub nii makromajanduslikus arengus kui ka üksikute harude tasandil. Makromajanduslikku arengut näitab kõige täielikumalt **regionaalne sisemajanduse koguprodukt**, mis on arvatud põhimõttel, et lisandväärtus kantakse sellesse regiooni, kus tootmisüksus tegutseb.

Eesti Statistikaametis on praegu kasutusel regionaalne jaotus järgmisel kujul:

- Põhja-Eesti – Harju maakond (koos Tallinnaga);
- Kesk-Eesti – Järva, Lääne-Viru ja Rapla maakond;
- Kirde-Eesti – Ida-Viru maakond;
- Lääne-Eesti – Hiiu, Lääne, Pärnu ja Saare maakond;
- Lõuna-Eesti – Jõgeva, Põlva, Tartu, Valga, Viljandi ja Võru maakond.

Kõige suurema panuse riigi SKP-sse annab Põhja-Eesti, kusjuures see panus pidevalt kasvab teiste regioonide RSKP kahanemise arvel (tabel 3). 2001. aastal moodustas Põhja-Eesti RSKP 61% Eesti SKP-st, Kesk-Eesti osa oli aga vaid 6,8%. Ka elaniku kohta on Põhja-Eesti RSKP mäekõrguselt üle teiste regioonide ja kogu Eesti näitajast (159%), kusjuures kõige väiksem RSKP elaniku kohta on Kirde-Eestis (54% Eesti keskmisest).

Regionaalne lisandväärtus kujuneb nii kogu Eestis kui ka Põhja-Eesti regioonis eeskätt müügi-, transiidi- ja finantsvahendusega tegelevates harudes. Põhja-Eestis moodustas nendes harudes loodud lisandväärtus 59%, kogu Eestis 47,6% lisandväärtusest. Erandlik on teiste regioonide hulgas Kirde-Eesti, kus suurem osa lisandväärtusest luuakse tööstuse ja energeetika baasil (2001. aastal 46% lisandväärtusest).

Ka tööturu olukord on regiooniti väga erinev. Kuigi kogu riigi ulatuses on tööhõive viimastel aastatel suurenenud ja töötus vähenenud, on erinevused maakonniti väga suured. Kõige kõrgem oli töötuse määr 2002. aastal Ida-Viru (18,9%) ja 2001. aastal



Jõgeva maakonnas (20,5%), kusjuures töötuse määra kõikumised on aastati väga suured. Jooksvate statistiliste andmete alusel võib väita, et töötuse määr pole ka 2003. aastal oluliselt vähenenud.

Tabel 3. Regionaalne sisemajanduse koguprodukt jooksevhindades 1999–2001, mln kr  
Table 3. Regional gross domestic product at current prices in 1999–2001, million EEK

	Aasta	Põhja-Eesti	Kesk-Eesti	Kirde-Eesti	Lääne-Eesti	Lõuna-Eesti	Eesti Kokku
<b>Sisemajanduse koguprodukt turuhindades</b>	1999	44 843,9	5778,5	5924,8	6964,7	12 815,2	<b>76 327,1</b>
	2000	52 199,2	6126,8	6643,2	7878,0	14 531,3	<b>87 378,5</b>
	2001	59 752,8	6719,5	6947,5	8448,2	16 026,5	<b>97 894,5</b>
<b>Regioonide osatähtsus SKP-s, %</b>	1999	<b>58,7</b>	<b>7,6</b>	7,8	9,1	16,8	<b>100,0</b>
	2000	<b>59,8</b>	<b>7,0</b>	7,6	9,0	16,6	<b>100,0</b>
	2001	<b>61,1</b>	<b>6,8</b>	7,1	8,6	16,4	<b>100,0</b>
<b>Aastakeskmise rahvaarv</b>	1999	527 132	144 898	181 290	167 027	355 307	<b>1 375 654</b>
	2000	525 564	144 124	179 519	166 194	354 114	<b>1 369 515</b>
	2001	524 280	143 497	178 183	165 447	352 694	<b>1 364 101</b>
<b>SKP ühe elaniku kohta, krooni</b>	1999	<b>85 072</b>	39 880	<b>32 681</b>	41 698	36 068	<b>55 484</b>
	2000	<b>99 320</b>	42 511	<b>37 006</b>	47 402	41 036	<b>63 803</b>
	2001	<b>113 971</b>	46 827	<b>38 991</b>	51 063	45 440	<b>71 765</b>
<b>SKP ühe elaniku kohta, % Eesti keskmisest</b>	1999	<b>153,3</b>	71,9	<b>58,9</b>	75,2	65,0	<b>100,0</b>
	2000	<b>155,7</b>	66,6	<b>58,0</b>	74,3	64,3	<b>100,0</b>
	2001	<b>158,8</b>	65,3	<b>54,3</b>	71,2	63,3	<b>100,0</b>

Piirkondliku **elektritarbimise** andmed (elaniku kohta) on toodud tabelis 4. Näeme, et vaadeldaval perioodil (1997–2002) on suurenenud nii elektrienergia kogu- kui ka kodutarbimine. Viimase kasv on olnud suhteliselt kiirem, mis ühelt poolt peegeldab elatustaseme tõusu, teiselt poolt aga viitab meie madalale lähteasendile selle näitaja osas. Maakondadest on suurima kogutarbimisega elaniku kohta olnud Ida-Virumaa, viimastel aastatel ka Lääne- ja Harjumaa. Siinjuures Ida-Virumaal on tegemist just ettevõtete suure tarbimisega, sest kodutarbimine elaniku kohta on seal olnud maakondadest madalaim. Üllatav on elektri kodutarbimise püsivalt kõrge tase Hiiumaal. Põhjuseks võib olla teiste energiaressursside vähesus ja raskem kättesaadavus selles maakonnas. Siinjuures tuleb märkida, et 2001. ja 2002. aasta statistiliste andmete osas on mõningaid küsitavusi (näiteks elektri kogutarbimise hüppeline kasv Lääne- ja ka Harjumaal).

Tabel 4. Elektrienergia tarbimine maakonniti elaniku kohta perioodil 1997–2002  
 Table 4. Per capita consumption of electricity by regions in 1997–2002

Haldus- üksused	Elektrienergia tarbimine, kW·h/elanik											
	Kogutarbimine						Kodutarbimine					
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Tallinn	3578	3837	4189	4070	4064	4046	1018	961	913	1062	1178	1198
Harjumaa	3218	4365	4258	4825	5262	6343	722	1275	1146	1094	1352	1387
Hiiumaa	3607	3541	3068	3521	3607	3613	<b>1244</b>	<b>1331</b>	<b>1611</b>	<b>1514</b>	1462	<b>1444</b>
Ida-Virumaa	<b>7482</b>	<b>6669</b>	<b>6009</b>	<b>5374</b>	6143	5466	<b>540</b>	<b>587</b>	<b>633</b>	<b>623</b>	<b>580</b>	<b>617</b>
Jõgevamaa	2967	2781	2044	2604	2581	2637	884	915	1100	1035	966	910
Järvamaa	3493	3813	3434	2950	3698	3850	736	1009	987	920	1021	969
Läänemaa	3445	3235	2979	3119	<b>9095</b>	<b>6957</b>	1177	1130	1473	1201	<b>2136</b>	1212
Lääne- Virumaa	5187	5155	4442	4557	4857	6175	939	1040	1141	1052	1095	1021
Põlvamaa	<b>2151</b>	<b>2473</b>	2027	<b>2291</b>	<b>2476</b>	<b>2552</b>	564	698	876	812	818	801
Pärnumaa	3746	3754	3756	3785	4084	4275	858	850	1099	1056	1225	1078
Raplamaa	4199	4128	3269	3374	4408	4987	1045	1036	1395	1379	1550	1355
Saaremaa	3205	3042	2665	2358	3148	3251	924	1059	1198	1085	1192	1177
Tartumaa	3011	3033	2666	2873	2995	3212	884	980	1062	982	1049	985
Valgamaa	2572	2582	<b>1976</b>	2504	2767	3040	767	799	966	930	973	952
Viljandimaa	2988	2992	2447	2906	2978	3099	831	861	1030	954	993	859
Võrumaa	2594	2628	2189	2625	2785	2908	738	822	940	906	947	877
EESTI	<b>3970</b>	<b>4038</b>	<b>3832</b>	<b>3849</b>	<b>4259</b>	<b>4354</b>	<b>857</b>	<b>930</b>	<b>988</b>	<b>990</b>	<b>1095</b>	<b>1051</b>

Statistikaameti leibkonnauuringute piirkondlikud andmed näitavad ootuspäraselt ka elanikkonna poolt elektrile tehtavate kulutuste kasvu (Tenno ja Laur, 2000). Eestis tervikuna on leibkonnaliikme kuukeskmise kulu elektrile kasvanud 33 kroonilt 1996. aastal 67 kroonile 2001. aastal (osatahtsus kogu väljaminekus on kasvanud vastavalt 2,3%-lt 2,9%-le). Maakondadest on suurimad kulutused elektrile olnud Hiiumaal (41 krooni leibkonnaliikme kohta kuukeskmisena 1996. a ja 81 krooni 2001. a) ja väikseimad Ida-Virumaal (vastavalt 20 ja 39 krooni), mis on kooskõlas tarbimisandmetega.

Tabelis 5 on toodud kütuste piirkondliku kasutamise analüüsi tulemused perioodil 1997–2002. Vaadeldud on eraldi importkütuste (kivisüsi, maagaas, importkütteõlid) ja kohalike kütuste (turvas, küttepuud, puiduhake ja -jätmed, põlevkiviõli) kasutamist. Arusaadavatel põhjustel pole vaatluse alla võetud importkütustest mootorkütuste ja kohalikest kütustest põlevkivi piirkondlikku tarbimist. Tulemustest selgub, et suurim importkütuste kasutaja on Harjumaa (koos Tallinnaga), kõige vähem on importkütuseid kasutatud Valgamaal. Kohalike kütustega on olukord vastupidine – kõige vähem tarbitakse neid Harjumaal. Suurim kohalike kütuste tarbija kogu vaadeldava perioodi vältel on olnud Pärnumaa. Siin on ilmseks põhjuseks kohalike kütuste suur ressurss (puit, turvas), rõhutada tuleb aga ka põlevkiviõli suhteliselt suurt kasutamist Pärnumaal teiste maakondadega võrreldes.

Kütuste kasutamise piirkondliku analüüsi põhjal võib väita, et kohalikke kütuseid kasutatakse intensiivsemalt just suuremate arenguraskustega piirkondades (nn ääre maadel Lõuna-Eestis) või seal, kus kohalike kütuste ressurss on lihtsalt suurem

Tabel 5. Kütuste tarbimine piirkonniti perioodil 1997–2002  
 Table 5. Regional use of fuels in 1997–2002

Haldusüksused	Importkütused, GJ/elanik						Kohalikud kütused, GJ/elanik					
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Harjumaa (koos Tallinnaga)	47,6	49,4	47,7	44,8	46,3	48,5	7,5	7,7	6,7	7,3	7,8	8,9
Hiiumaa	12,9	7,5	10,6	14,9	4,1	10,8	33,8	38,6	31,3	31,1	27,2	29,2
Ida-Virumaa	17,4	16,1	11,8	14,1	17,0	11,9	19,6	11,5	19,4	11,4	12,1	10,3
Jõgevamaa	12,3	9,8	8,5	7,1	7,3	9,2	44,2	32,4	35,7	36,3	36,3	35,3
Järvamaa	20,8	21,7	15,0	7,9	6,9	5,8	42,3	35,7	40,5	44,0	48,2	47,8
Läänemaa	24,5	22,1	20,4	13,8	6,3	8,2	24,7	17,2	18,6	26,1	30,1	28,5
Lääne- Virumaa	17,2	17,1	16,7	28,0	46,7	22,7	40,7	32,2	30,9	29,0	29,8	29,7
Põlvamaa	16,6	15,4	16,4	17,1	16,1	15,4	41,5	27,9	29,5	30,2	27,5	26,8
Pärnumaa	11,6	8,9	6,5	6,2	4,7	7,2	57,4	55,2	55,2	50,0	59,0	59,0
Raplamaa	22,6	20,9	20,2	22,4	21,5	21,6	28,3	19,1	22,5	26,7	28,1	25,7
Saaremaa	24,0	18,2	16,2	14,7	15,9	8,2	23,0	16,5	20,6	20,8	27,5	31,2
Tartumaa	17,4	17,1	16,2	11,5	11,6	13,3	33,4	34,0	24,6	23,5	26,7	27,7
Valgamaa	9,1	6,7	5,9	3,1	1,9	3,2	49,2	34,4	39,3	40,0	40,9	41,3
Viljandimaa	13,7	10,2	10,0	4,4	4,5	5,0	41,5	33,1	35,1	38,9	41,5	41,9
Võrumaa	10,9	9,1	9,9	5,5	4,3	3,9	46,3	39,0	40,4	40,6	41,7	43,3
EESTI	28,3	28,0	26,3	24,8	26,2	25,5	24,9	21,1	21,4	20,5	22,3	22,6

(Pärnumaa). Samas säästetakse just neis piirkondades importkütuseid, mis leevendab Eesti pingelist väliskaubandusbilanssi.

### Kokkuvõte

Kuigi Eesti väliskaubandusbilanss on kogu taasiseseisvusperioodi jooksul olnud defitsiidis, on energiaressursside osa selle kujunemises vähene – vastava kaubagrupi osakaal impordis on viimastel aastatel jäänud 5–6% piiresse. Tehtud analüüs näitab, et selle osakaalu hüppelist suurenemist prognoosida pole alust ka tulevikus, juhul kui osa elektrienergia tarbest (kuni 30%) kaetakse imporditavate energiaressursside baasil. Piirkondlikult on energiaressursside tarbimine väga ebahühtlane, mis peegeldab Eesti makromajandusliku arengu suuri regionaalseid erinevusi – areng on olnud liiga Tallinna- ja Harjumaa-keskne. Energiamaajanduse seisukohalt tuleks piirkondliku arengu ühtlustamiseks energiatootmist hajutada ning parandada energiaressursside kasutamise struktuuri, eeskätt suurendada taastuvate ressursside osatähtsust ja arendada gaasivarustussüsteemi.

### KirjandusReferences

1. Kütuse- ja energiamaajanduse pikaajaline riiklik arengukava aastani 2015 (visiooniga 2030) (2002) EV Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, TTÜ Elektroenergeetika Instituut. Tallinn: 103.
2. Laur, A., Rajasalu, T., Soosaar, S., Tenno, K. (2003a) Imporditavad energiaressursid väliskaubandusbilanssis. Lepingulise uurimistöö nr 18/12.12.2002 aruanne. TTÜ Eesti Majanduse Instituut. Tallinn: 45.

3. Laur, A., Soosaar, S., Tenno, K. (2003b) Development of Electricity Markets – Options for Estonia. Ennuste, Ü., Wilder, L. (Eds.). Essays in Estonian Transformation Economics. Estonian Institute of Economics at Tallinn Technical University. Tallinn: 211–244.
4. Tenno, K., Laur, A. (2000) Eesti regionaalne sotsiaalmajanduslik areng ja energiaressursside kasutamine. TTÜ Eesti Majanduse Instituut. Preprint 59. Tallinn: 50.

## **ENERGY RESOURCES IN ESTONIAN FOREIGN TRADE AND THEIR REGIONAL UTILISATION**

*Anton Laur and Koidu Tenno*

Estonian Institute of Economics at Tallinn University of Technology  
e-mail: antonl@tami.ee, koidut@tami.ee

### **Abstract**

A negative phenomenon accompanying the high openness of Estonian economy is foreign trade deficit, which in turn is weakening the economic growth. Unfortunately, the foreign trade deficit has been increasing so far. In connection with the gradual opening of the Estonian electricity market and a possible growth of energy resources import, it is important to evaluate the role of energy resources in Estonia's foreign trade and prognosticate its changes in the event imports of an energy resources increase. Also, based on the uneven regional development of the Estonian economy, we analyse regional macroeconomic development and regional utilisation of energy resources.

# BIOKÜTUSTE VEEKATELDES PÕLETAMISE SOOJUSTEHNILISTEST PROBLEEMIDEST

*Ants Veski ja Toomas Tiikma*

Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituut, Kopli 116, 11712 Tallinn  
e-post: [aveski@staff.ttu.ee](mailto:aveski@staff.ttu.ee); [tiikma@sti.ttu.ee](mailto:tiikma@sti.ttu.ee)

## **Annotatsioon**

Enamik biokütuseid, sealhulgas ka puidupõhised, sisaldavad palju lendosi, seetõttu kujuneb leek biokütuste põletamisel pikaks. Mitmete puiduhakkele ümberseadistatud masuudi- ja gaasikatelde koldest lahkuv suitsugaas on liiga kõrge temperatuuriga ning sisaldab palju põlemata lendosi ja tahkeid osakesi, katelde konvektiivpindadel tekivad paakunud tuhasadestised. Leegi pikkust saab mõningal määral reguleerida sekundaarõhu täpse juurdejuhtimisega. Töös analüüsitakse biokütuste tuhkade paakumisomadusi ning koldest lahkuva suitsugaasi kõrge temperatuuriga kaasnevaid probleeme.

## **PUIDUHAKE, VEEKATEL, TUHASADESTISED**

### **Kasutatud lühendid**

$B_0$  – Boltzmanni sarnasusarv (vt valem 1);  
 $T''$  – koldest või järelpõlemiskambrist lahkuva gaasi temperatuur;  
 $T_a$  – adiabaatne põlemistemperatuur;  
 $B$  – katla kütusekulu ajaühikus;  
 $\epsilon_k$  – kolde mustsusaste;  
 $\varphi$  – kolde soojussäilivustegur;  
 $\psi$  – kolde soojusliku efektiivsuse tegur;  
 $\sigma_0$  – Stefan-Boltzmanni konstant;  
 $F$  – kolde küttepind;  
 $V_{c_p}$  – põlemisgaaside soojusmahtuvus;  
 $Q_a^t$  – tarbimiskütuse alumine kütteväärtus;  
 $V_{kolle}$  – kolde maht.

### **Probleemi olemus**

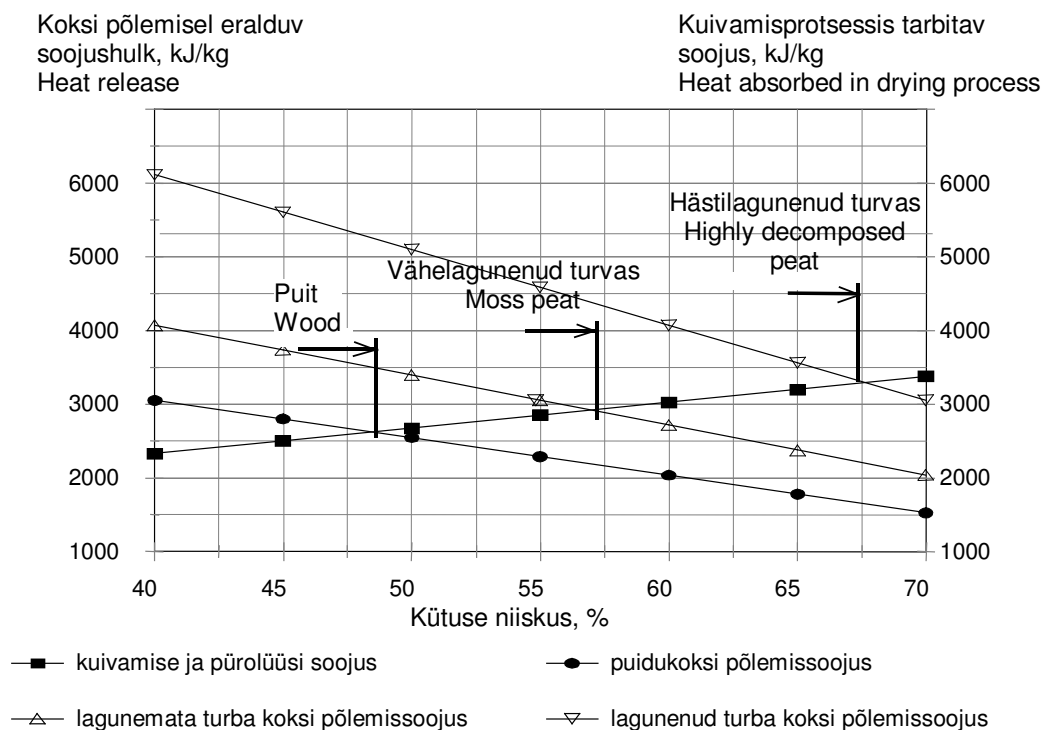
Eestis on viimase kümnendi vältel teostatud umbes 15 DKVR- ja DE-tüüpi katelt ümber seadistatud puidupõhise kütuse (peamiselt puiduhakke) kasutamisele. Seejuures on seda tehtud kahel põhimõtteliselt erineval viisil. Neist esimese korral on olemasoleva katla ette ehitatud üldjuhul mittejahutatav eelkolle, kust põlemisgaasid ja vahel ka leek suunatakse katla põhikoldesse. See tähendab sisuliselt suure põleti rakendamist katla olemasoleva kolde ees. Teise ümberseadistamise variandi korral paigutatakse rest olemasoleva masuudi- või gaasikolde alla. See variant on ehituslikult tunduvalt odavam, kuid autorid julgevad väita, et soojus- või põlemistehniliselt on eelkolde variant parem.

Järgnev püüab näidata, et algselt gaasi või õli põletamiseks mõeldud aurukatla või veesoojenduskatlaks ümber ehitatud katla kolle töötab biokütustel soojustehnilises

mõttes äärmiselt ebaefektiivselt, kuna piltlikult öeldes pikk biokütuse leek ei mahu koldesse ära. On mõningaid meetodeid probleemi leevendamiseks.

### Lendosaderikka kütuse põlemine

Biokütuse kui lendosaderikka kütuse põlemise eripära seisneb pikas leegis, mida saab lühendada kütuse ja põlemisõhu parema segunemisega, kuid see segunemiskoht tuleb oskuslikult valida. Teine probleem biokütuse kasutamisel on seotud tema kvaliteedi, eelkõige niiskusega. On võimalik näidata, et juhul kui kütuse põlemistsoon on ümbritsetud külmade pindadega (näiteks veesoojenduskatel), siis kütuse kuivatamiseks vajaliku ja koksi põlemisel eralduva soojushulga bilansi järgi ei ole puidu korral otstarbekas teda otse põletada niiskusel üle 47%, kuna sellisel juhul resti protsessil (süsiniku väljapõlemisel) eraldunud kogu soojus kulub värskete kütuse kuivatamiseks (Paist jt, 1997). Selle tulemusel alaneb kolde temperatuurinivoo ja halvenevad lendosade süttimistingimused. Samas seondub niiskusega ka kütuse kvaliteedi püsivuse aspekt. Erineva niiskusega puidu restil põletamisel tuleb erinevalt sättida primaar- (restialuse) ja sekundaarõhu vaherkord ning samuti on teada tõsiasi, et kütuse niiskuse kasvades suureneb paratamatult liigõhutegur.



Joonis 1. Puidu ja turba süttimistingimuste analüüs sõltuvalt kütuse niiskusest  
 Figure 1. The analysis of wood and peat ignition conditions depending on their moisture

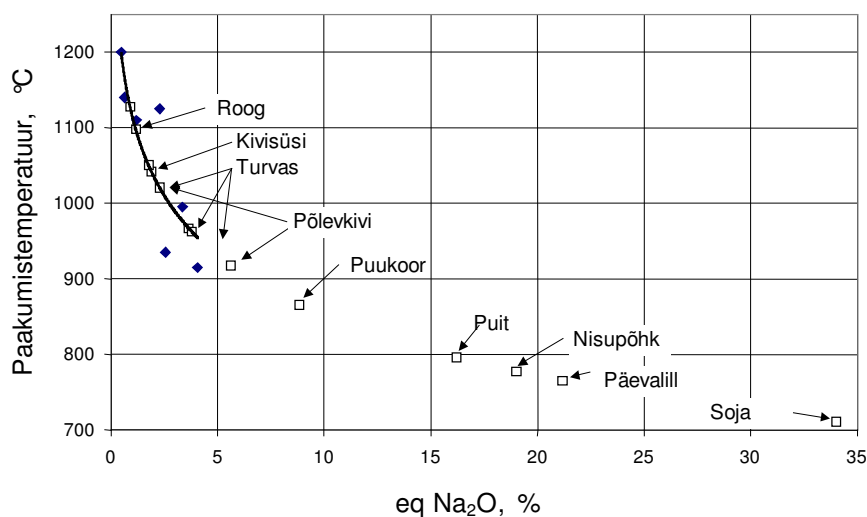
Joonisel 1 oleval graafikul on toodud kõverad, mis iseloomustavad puidu ja turba kuivamiseks ja pürolüüsiks vajalikku soojust ning nende koksi põlemisel eralduvat soojushulka kütuste niiskusest lähtudes. Kõverate lõikepunktid graafikul näitavad erinevate kütuste maksimaalset niiskusesisaldust, mille juures veel koksikihist eralduv soojus on võimeline kütust piisavalt süttimiseks ette valmistama. Graafikult selgub, et

koldeprotsessis, kus objektiivsetel või subjektiivsetel põhjustel pole võimalik pürolüüsigaaside põlemissoojust kütuse süttimiseelseks ettevalmistamiseks kasutada, on puidu põletamisel selle piirniiskus ~47%, vähelagunenud turbal ~55% ja hästilagunenud turbal ~67%.

Joonisel 1 näidatud kütuste süttimistingimuste bilanss viitab sellele, et kütuse suure niiskuse korral lendosade süttimistingimused halvenevad määrani, kus vingugaasi ja süsivesinike täielik põlemine on välistatud. Põlemisõhu hulga suurendamine süttimistingimusi ei paranda. Toimub vaid gaasisegu lahjendus ja kõrgeast liigõhutegurist tulenev katla kasuteguri langus, millele lisandub keemiliselt mittetäieliku põlemise soojuskadu.

### Valest kolde soojusrežiimist tingitud pindade saastumine

Liiga pikk leek ja katla kolde ebapiisav soojusvastuvõtt tingivad kõrgema temperatuuriga suitsugaasi suubumise konvektiivkäiku, mis võib eriti biokütuste põletamisel põhjustada teatud lisaprobleeme paakunud sadestiste tekkimisega konvektiivpindadel. Arvestades biokütuse tuhas esinevat märkimisväärset leelismetallide ühendite sisaldust, on biokütuse tuha paakumistemperatuur ootamatult madal. Toetudes Arvo Otsa (Ots ja Želkovski, 2001) uurigutele ja teaduskirjanduses toodud andmetele (Skrifvars jt, 1998) on tuhade paakumisele kalduvust võimalik vältida neis ekvivalentse  $\text{Na}_2\text{O}$  sisalduse kaudu. Vastav analüüs (joonis 2) näitab, et biokütustel võib paakumistemperatuur langeda  $700\text{ }^\circ\text{C}$ -ni, milleni võib tõusta ka konvektiivosa algusesse kogunenud tuhasadestise kihi välispinna temperatuur. Rauarikaste tuhade korral (see probleem esineb Lõuna-Eesti puidu kasutamisel pooltaandavas keskkonnas (mittetäieliku põlemise saaduste esinemine koldest väljuvas gaasis) võib see temperatuur veelgi langeda. Sellega võib seletada mõnede puiduhak-



Joonis 2. Erinevate kütuste tuhade paakumistemperatuuri sõltuvus leelismetalliühendite sisaldusest, kus  $\text{eq Na}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} + 0,659 \cdot \text{K}_2\text{O}$  %

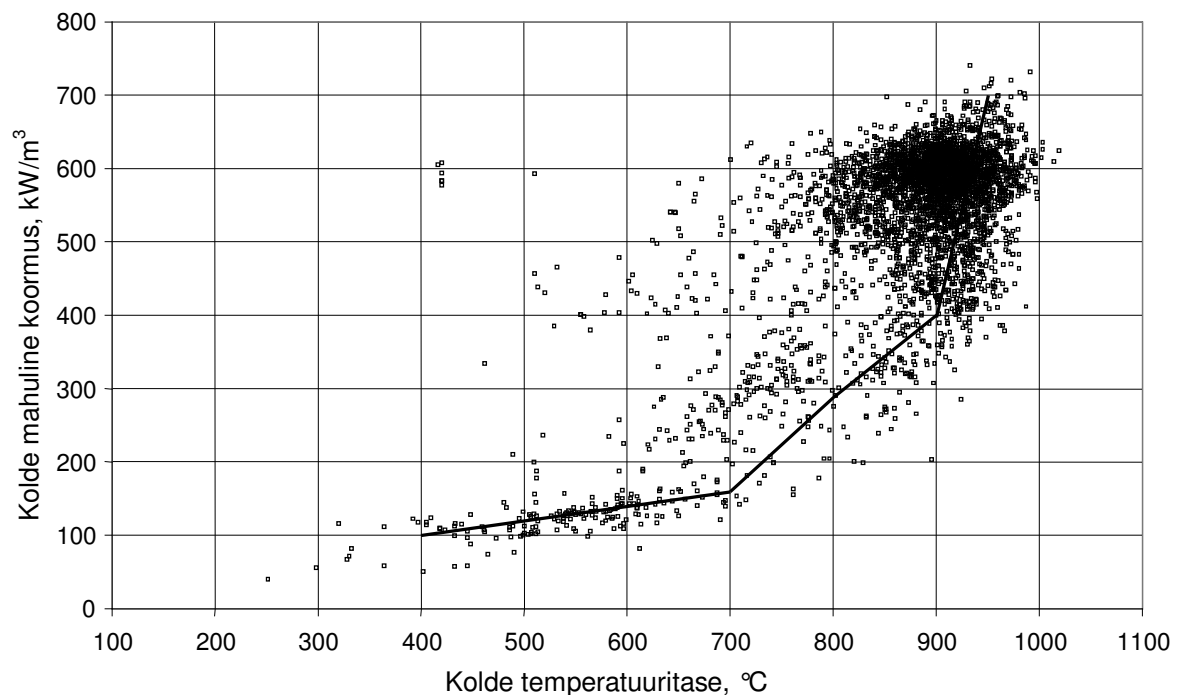
Figure 2. The dependence of sintering temperature of ashes of different fuels on the content of alkali metal compounds, where  $\text{eq Na}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} + 0,659 \cdot \text{K}_2\text{O}$  %

kele üle viidud DKVR-tüüpi katelde konvektiivosa algusesse tekkivaid üsna suure paksusega sadestisi, mida nõrgatoimelised (näiteks akustiline) puhastusmeetodid ei suuda kõrvaldada.

### Katla kolde mahulise soojuskoormuse mõju

Pikaaegsed biokütuste põletamise uuringud on näidanud, et puidu põletamisel restiga kamberkoldes ei tohiks kolde mahuline soojuskoormus  $BQ_a^t/V_{kolle}$  ületada  $400 \text{ kW/m}^3$ . Kõrgematel mahulistel koormustel on eeldatavasti tegemist põlemisprotsessi kandumisega koldest välja. Probleem on seotud biokütuse leegi pikkusega suure lendosade sisalduse tõttu. Joonisel 3 on näidatud ühe DKVR-10-13-tüüpi veesoojenduskatla mahulise soojuskoormuse ja kolde temperatuuritaseme sõltuvus, mis näitab kolde temperatuuritaseme teatud “küllastust” alates koormustest  $400 \text{ kW/m}^3$  (vaatamata põletatava kütuse hulga suurenemisele temperatuur koldes ei tõuse).

Samal katlal teostatud mõõtmistel selgus, et 53% niiskusega puiduhakke põletamisel kolde koormusel  $550 \text{ kW/m}^3$  oli kolde järel suitsugaasi CO-sisaldus ligi 1%, mis viitas põlemise jätkumisele järelpõlemiskambri väljumisel. Siinjuures tuleb märkida, et CO-sisaldusega ligilähedaselt samas suurusjärgus võib halbade süttimistingimuste korral suitsugaasis esineda metaani ja teisi süsivesinikke (VOC), mille määramisele katelde katsetamisel Eestis seni vähe tähelepanu pööratakse.



Joonis 3. Puiduhakkel töötava veekatla DKVR-10 kolde temperatuurinivoo ja kolde mahulise soojuskoormuse vaheline katsetel määratud seos

Figure 3. The experimental relationship between furnace volumetric load and temperature level in furnace for hot water boiler DKVR-10 at using wood chips

Joonisel 4 on dimensioonita kujus võrreldud katla katsetamisel mõõdetud ja teoreetilisel arvutusel saadud suitsugaaside temperatuuri kolde järel. Et katsetel mõõdeti



temperatuuri järelpõlemiskambri järel, siis on vastava Boltzmanni arvu (Teplovoi ..., 1973) leidmisel küttepinnana kasutatud kolde ja järelpõlemiskambri summaarset pinda. Boltzmanni arv on leitud järgmisest seosest:

$$Bo = \frac{\varphi BV c_p}{\psi \sigma_0 F T_a^3}, \quad (1)$$

kus  $\varphi = 0,99$ ;  $\psi = 0,6$  on võetud kogemuslikult.

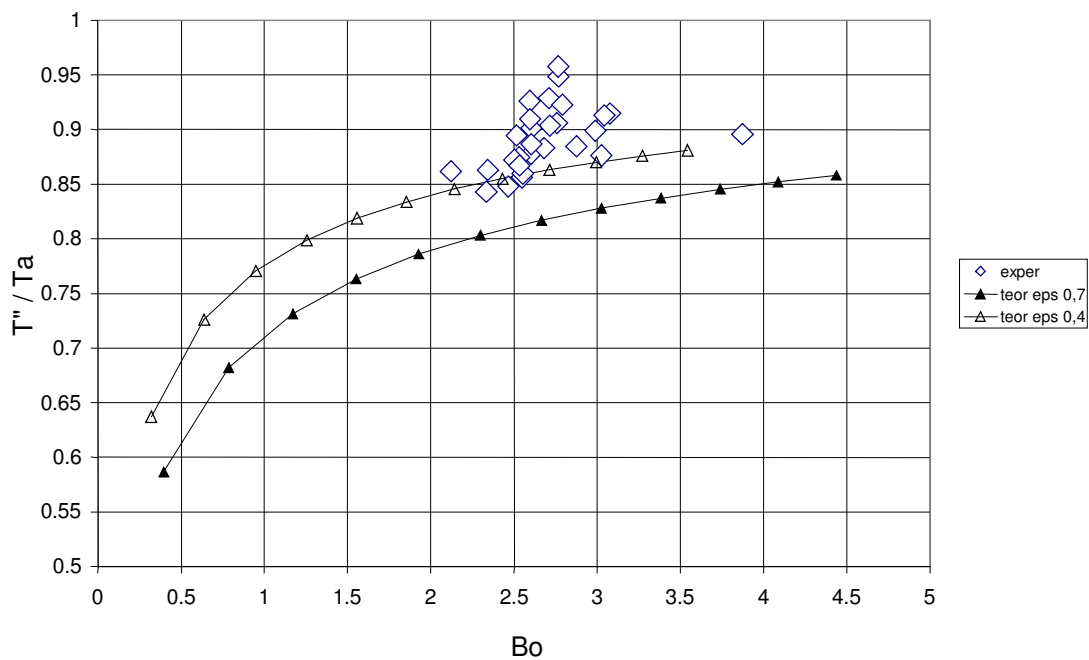
Koldest (järelpõlemiskambrist) lahkuva suitsugaasi temperatuur leitakse tuntud seosest (Teplovoi ..., 1973) lähendusarvutust kasutades (suuruse Bo väärtus sõltub otsitavast temperatuurist  $T''$ ):

$$T'' = \frac{T_a}{M \left( \frac{\varepsilon_k}{Bo} \right)^{0,6} + 1}, \quad (2)$$

kus  $M = 0,5$  (kogemuslikult) – kolde geomeetiline parameeter;  $\varepsilon_k = 0,4 \dots 0,7$  – kolde mustsusaste.

Olgu märgitud, et valem (2) kehtib juhul, kui põlemine toimub täielikult kolde.

Joonisel 4 toodud andmed võrdlevad vaadeldava kolde teoreetilist ja tegelikku lahkuvgaasi temperatuuri erinevatel soojusülekande tingimustel.



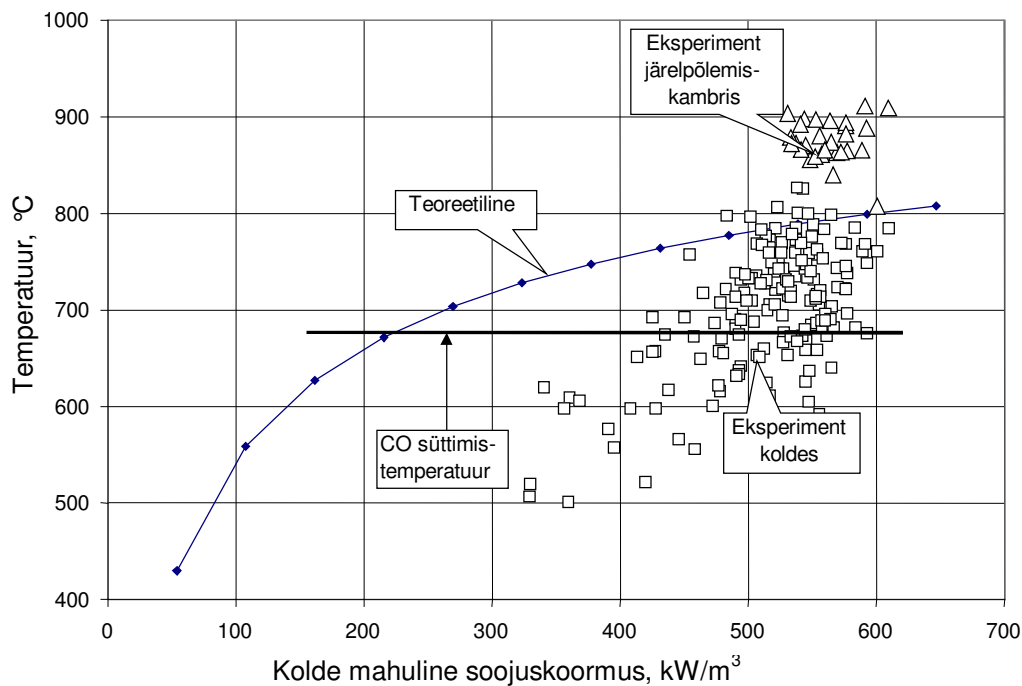
Joonis 4. Katla DKVR-10 kolde teoreetiline (kolde kahel mustsusastmel  $\varepsilon_k$  (eps)) ja tegelik koldest lahkuva suitsugaasi dimensioonita temperatuur

Figure 4. Obtained during experiments and theoretical (at furnace emissivities between 0,4–0,7) dimensionless furnace exit temperature at different Boltzmann numbers

Tulemused joonisel 4 näitavad, et väga niiske (katse päeval 53%) puiduhakke põletamisel kolde soojuskoormusel  $550 \text{ kW/m}^3$  on konvektiivossa suubuvate gaaside tempe-

ratuur tunduvalt kõrgem, kui seda näitab matemaatiline mudel (valem 2) sama liigõhuteguri korral. Gaasianalüüs järelpõlemiskambri lõpus näitas CO-sisaldust kuni 1%, mis ilmselt viitas põlemisprotsessi ülemäärasele piknemisele. Märkigem, et CO süttimistemperatuur on ligi 700 °C, mis tähendab, et koldest (järelpõlemiskambrist) väljumisel ei ole tema süttimine enam võimalik.

Joonisel 5 on toodud samad andmed, esitatuna temperatuuri sõltuvusena kolde mahulisest soojuskoormusest, kust tõesti selgub, et mõnel juhul suitsugaasi temperatuur on alla CO süttimistemperatuuri ning samas järelpõlemiskambri lõpus on temperatuur kõrgem kui kolde, mõõdetuna termopaariga kolde seina lähedal.



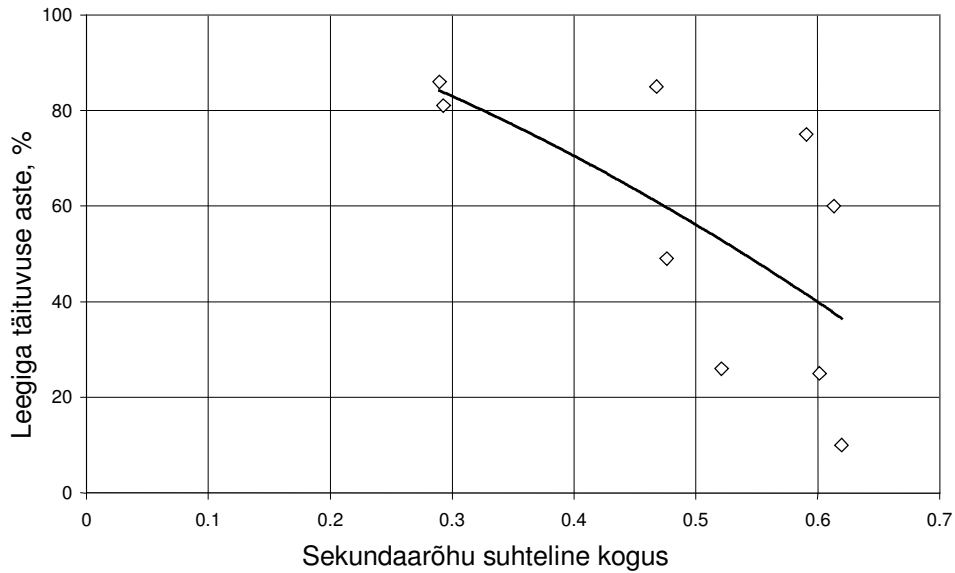
Joonis 5. Katla DKVR-10 kolde teoreetilise ja tegeliku koldest lahkuva suitsugaasi temperatuuri sõltuvus kolde mahulisest soojuskoormusest kütuse niiskusel 53%  
 Figure 5. Dependence of the theoretical and measured temperature of flue gas at the end of furnace and at the exit of after-burning chamber on the volumetric load of furnace at fuel moisture 53%

Olukorda parandas mingil määral sekundaarõhu juurdejuhtimise täiustamine katlas. Katla konvektiivse osa alguse saastumine kergelt paakunud puidutuhaga on ilmselt põhjustatud kuni 10% võrra kõrgemast temperatuurist suitsugaasi sisenemisel konvektiivkäiku.

Nagu on näidanud autorite varasemad uurimused (Tiikma ja Veski, 2003), on sekundaarõhu õige doseerimisega võimalik kütuse põlemise leegi pikkust vähendada. Joonis 6 iseloomustab stokerpõletiga katla põhikolde leegiga täituvuse astme (leegi pikkusega seotud suuruse) sõltuvust sekundaarõhu suhtelisest hulgast  $V_{\text{sek}}/(V_{\text{prim}}+V_{\text{sek}})$ .

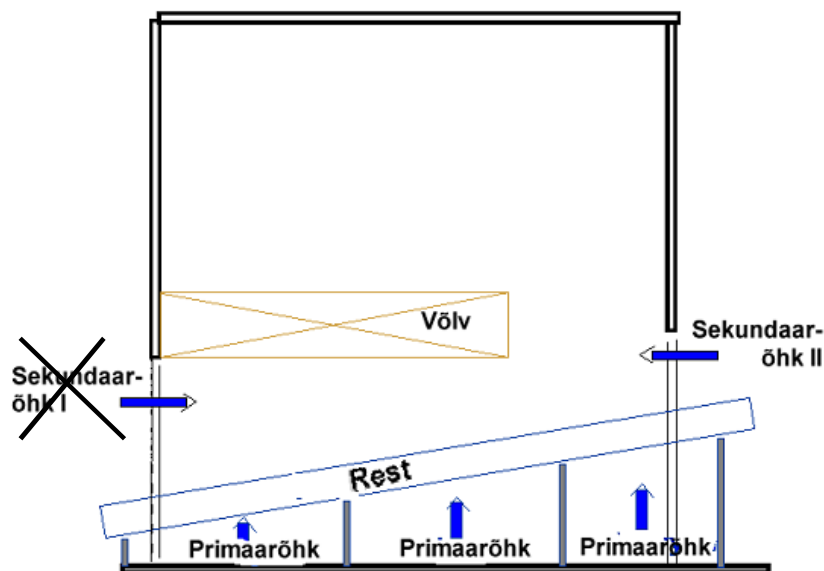
Joonisel 6 toodud andmed on saadud protsessi filmimisel ning saadud kaadrite töötlemisel, hindamaks leegi nähtava osa suurust kogu viseeritava ala suhtes. Jooniselt selgub, et sekundaarõhu hulga suurenemisel leek oluliselt lüheneb õhu ja lendosade parema segunemise ja kiirema põlemise tõttu.

Ülalmainitud DKVR-10 katla korral õnnestus mõnevõrra vähendada CO emissiooni, juhtides enamiku sekundaarõhust leegi väljumislõikesse võlvialusest ruumist (joonis 7).



Joonis 6. Biokütuse leegi pikkuse sõltuvus sekundaarõhu kogusest stokerpõletis (roopõletamise näitel)

Figure 6. The character of biofuel flame length in stoker burner at different secondary air supply rate (on the example of burning of reed)



Joonis 7. Katla DKVR-10 sekundaarõhu ümberjagamine

Figure 7. The replacing of the point of secondary air supply for DKVR-10 boiler

## Järeldused

1. Restkolde forsseerimine niiske biokütuse põletamisel annab küll soovitud võimsuse, kuid toob kaasa pindade saastumise ja põlemiskaod.
2. Probleemi aitab osaliselt leevendada sekundaarõhu juhtimine tsooni, kus lendosade eraldumine on lõppenud, kusjuures peab olema tagatud õhu ja põlemisgaaside hea segunemine ning soovitatavalt kohas, kus on mittejahutatavad pinnad.
3. Sekundaarõhu regulaatori häälestamisel tuleb arvestada võimaliku väärtõhuga konvektiivkäigus.
4. Parim lahendus märga biokütust kasutava katla jaoks on spetsiaalselt kütuse põlemistehnilisi näitajaid arvestava kolde konstrueerimine, kus üldjuhul on põlemistsoonis tegemist mittejahutatavate pindadega ning on võimalused sekundaarõhu juurdejuhtimise reguleerimiseks nii koguseliselt kui ka ruumiliselt (eelkolde väljumislõike eri kohtades).

## Tänuavaldus

Käesolev uuring on teostatud Eesti Teadusfondi toetusel (grandid nr 5179 ja 5916).

## KirjandusReferences

1. Ots, A., Želkovski, J. (2001) Determination of fusion and sintering characteristics of ashes. Proc. of 5<sup>th</sup> International Conference Heat Engines&Environmental protection. 28–30 May 2001. Balatonfüred, Hungary: 10.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов (1973) Под ред Кузнецова, Н. В. и др. Энергия. Москва: 296.
3. Paist, A., Poobus, A., Tiikma, T., Vares, V. (1997) Turba ja puidu süttimis-tingimustest koldeprotsessis. Eesti Turvas, suvi 1997: 38–42.
4. Skrifvars, B.J., Backman, R., Hupa, M. (1998) Characterization of the sintering tendency of ten biomass ashes in FBC conditions by a laboratory test and by phase equilibrium calculations. Fuel Processing Technology Vol.56: 55–67.
5. Tiikma, T., Veski, A. (2003) Air Distribution Influence to the Boiler Efficiency at Burning of Biofuels. 8<sup>th</sup> Polish-Danish Workshop on BIOMASS FOR ENERGY, June 12–15, 2003. Starbienino, Poland: 185–190.

# **SOME THERMAL ENGINEERING PROBLEMS IN BURNING BIOFUELS IN WATER HEATING BOILERS**

*Ants Veski and Toomas Tiikma*

Thermal Engineering Department of Tallinn University of Technology  
e-mail: [aveski@staff.ttu.ee](mailto:aveski@staff.ttu.ee); [tiikma@sti.ttu.ee](mailto:tiikma@sti.ttu.ee)

## **Summary**

Wood based fuels like most biofuels have a long burning flame due to their high volatile content, if the special actions for right secondary air supply are not used. As a result of long flame in some boilers converted from using gas or heavy oil boilers into using biofuels water heating boilers at high loads have high temperature of flue gas at the exit of furnace and the high content of unburned volatiles. The higher temperature of flue gas supports the sintered ash deposits appearing at convective tubes, which are not removable by cleaning methods of weak interaction (sonic cleaners for example). The right secondary air supply with guaranteed mixing it with volatiles can reduce the above-mentioned problems.

# ÜHISRAKENDUSPROJEKTIDE TEOSTAMISEST EESTIS

*Inge Roos*

Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituut, Kopli 116, 11712 Tallinn  
e-post: inge@eeri.ee

## **Annotatsioon**

Artiklis on antud ülevaade ÜRO kliimamuutuste raamkonventsioonist, Kyoto protokollist ja protokolliga sätestatud kolmest paindlikust mehhanismist kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamiseks. Detailsemalt on kirjeldatud ühisrakendust kui ühte võimalust keskkonna- projektide täiendavaks finantseerimiseks. Esitatud on ka ülevaade ühisrakendusprojektide hetkeseisust Eestis.

KASVUHOONEGAASID, ÜHISRAKENDUS, BAASJOON, KLIIMAMUUTUSTE  
RAAMKONVENTSIOON, KYOTO PROTOKOLL

## **Kasutatud lühendid**

COP – *Conference of the Parties* – kliimakonventsiooni liikmesriikide osapoolte konverents;

ERU – *Emission Reduction Units* – emissioonide vähendamise ühikud;

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* – valitsustevaheline kliimamuutuste ekspertrühm;

JI – *Joint Implementation* – ühisrakendus;

KHG – kasvuhoonegaasid;

MOU – *Memorandum of Understanding* – ühiste kavatsuste memorandum;

PDD – *Project Design Document* – projekti dokumentatsioon;

PIN – *Project Identification Note* – projekti lähteülesanne;

UN FCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change* – ÜRO kliimamuutuste raamkonventsioon.

## **Sissejuhatus**

1991. aasta veebruaris moodustati rahvusvaheline kliimamuutuste raamkonventsiooni läbirääkimiste komitee (*The Intergovernmental Negotiating Committee for a Framework Convention on Climate Change, INC*). 15 kuud hiljem, 9. mail 1992 kiitis komitee kliimamuutuste raamkonventsiooni heaks ja see avati allakirjutamiseks 1992. aasta 4.–14. juunini toimunud ÜRO keskkonna- ja arengukonverentsil Rio de Janeiro Brasiilias. ÜRO kliimamuutuste raamkonventsioon jõustus 21. märtsil 1994. Täna on konventsiooniga liitunud ehk konventsiooni osapoolteks saanud 186 riiki ja üks riikide ühendus – Euroopa Liit. Selleks, et saada konventsiooni täieõiguslikuks osapoolteks, peab liikmesriik lepingu ratifitseerima. Eesti ratifitseeris konventsiooni 1994. aastal.

Konventsiooni põhiliseks eesmärgiks on kasvuhoonegaaside kontsentratsiooni ohutul tasemel stabiliseerimine atmosfääris. Selliseks ohutuks tasemeks on KHG-de selline kontsentratsioon, mis võimaldaks ökosüsteemil loomulikult kohaneda kliimamuutuste-

ga, tagades põllumajandussaaduste tootmise ja võimaldades riikide majanduse säästva arengu.

Konventsioon jagab liikmesriigid kahte gruppi: konventsiooni I lisa osapooled (“*Annex I Parties*”) ja mitte I lisa osapooled (“*non-Annex I Parties*”).

Konventsiooni I lisa riikideks ehk osapoolteks (vt tabel 1) on arenenud tööstusriigid, OECD (*Organization for Economic Cooperation and Development*) liikmed, kelle tegevus on juba pikka aega mõjutanud kliimamuutusi, kui ka turumajandusele ülemineku riigid (Venemaa ja teised Kesk- ja Ida-Euroopa riigid).

*Tabel 1. ÜRO kliimakonventsiooni I lisa riigid ja nende 1990. aasta heitekogused*  
*Table 1. Countries included in Annex I to the UNFCCC and their 1990 emissions*

Osapool	Heitekogused (Gg)	%
Austria	59 200	0,4
Austraalia	288 965	2,1
Belgia	113 405	0,8
Bulgaaria	82 990	0,6
Kanada	457 441	3,3
Tšehhi	169 514	1,2
Taani	52 100	0,4
<b>Eesti</b>	<b>37 797</b>	<b>0,3</b>
Soome	53 900	0,4
Prantsusmaa	366 536	2,7
Saksamaa	1 012 443	7,4
Kreeka	82 100	0,6
Ungari	71 673	0,5
Island	2 172	0,0
Iirimaa	30 719	0,2
Itaalia	428 941	3,1
Jaapan	1 173 360	8,5
Läti	22 976	0,2
Liechtenstein	208	0,0
Luksemburg	11 343	0,1
Monako	71	0,0
Holland	167 600	1,2
Uus-Meremaa	25 530	0,2
Norra	35 533	0,3

Allikas: UN FCCC (Nations ... ANNEX I)

I lisa riigid on kohustatud koostama regulaarselt rahvuslikke kliimaaruandeid (*National Communications*), mis peavad sisaldama ka poliitikat ja meetmeid kliimamuutuste leevendamiseks. Samuti on osapooltel kohustus koostada igal aastal kasvuhoonegaaside inventuur koos võrdlusandmetega baasaasta (1990) suhtes. Kliimaaruanded on aga omakorda UNFCCC sekretariaadi ekspertide grupile aluseks iga kolme aasta järel riikide individuaalsete kontrollaruannete (*In-Depth Review*) koostamisel.

Alates 1994. aastast valmib Eestis iga-aastane kasvuhoonegaaside inventuuriaruanne. Kasvuhoonegaaside inventuur põhineb valitsustevahelise kliimamuutuste ekspert-rühma IPCC poolt koostatud meetodikal ja sisaldab informatsiooni nii KHG-de heitkoguste kui ka neeldajate kohta. Kasvuhoonegaaside heitkoguste andmebaasi haldab TPÜ Ökoloogia Instituut. Eesti on koostanud ka kolm rahvusvahelist kliimaaruannet, esimene kliimaaruanne valmis 1995., teine 1998. ja kolmas 2001. aastal (*Estonia's First ...*, 1995; *Estonia's Second ...*, 1998; *Estonia's Third ...*, 2001).

OCED liikmesriigid, kes on I lisa riikide nimekirjas, kuuluvad ka nn II lisa riikide nimekirja (tabel 2). Need on riigid, kellel on täiendavad finantskohustused arengumaade ja turumajandusele ülemineku maade ees, abistades neid riike kliimamuutuste leevendamise meetmete täitmisel kui ka keskkonnasõbraliku tehnoloogia-siirdega.

Tabel 2. ÜRO kliimakonventsiooni II lisa riigid

Table 2. Countries included in Annex II to the UN FCCC

Ameerika Ühendriigid	Austraalia	Austria
Belgia	Euroopa Liit	Hispaania
Holland	Iirimaa	Island
Itaalia	Jaapan	Kreeka
Kanada	Luksemburg	Norra
Portugal	Prantsusmaa	Rootsi
Saksamaa	Soome	Suurbritannia
Šveits	Taani	Türgi
Uus-Meremaa		

Allikas: UN FCCC (Nations ...ANNEX II)

Kõik ülejäänud riigid, mis on põhiliselt arengumaad, moodustavad konventsiooni osapoolte teise grupi – mitte I lisa riigid (*Non-Annex I Parties*).

Kui valitsused võtsid vastu kliimamuutuste raamkonventsiooni, siis nad teadsid, et selles toodud kohustused ei garanteeri veel konventsiooni lõppeesmärgi saavutamist. Seetõttu alustasid nad uut läbirääkimiste ringi rangemate ja üksikasjalikumate kohustuste üle. Pärast kaks ja pool aastat kestnud pingelisi läbirääkimisi võeti 11. detsembril 1997. a COP 3 ajal Kyotos vastu Kyoto protokoll.

Kyoto protokoll kohustab I lisa riike vähendama nn esimeseks aruandeperioodiks, aastateks 2008–2012, kasvuhoonegaaside heitkoguseid sellisel hulgal, mis tagaks üldise, vähemalt 5%-lise vähenemise võrreldes 1990. a tasemega. I lisa osapoolte individuaalsed kohustused on ära toodud protokollis lisas B (vt tabel 3) ning ulatuvad 8%-lisest vähendamisest EL 15 liikmesriigis ja paljudes teistes maades kuni vähemalt 10%-lise kasvuni Islandil. Protokollile vastavalt võib EL oma kohustuse 15 liikmesriigi vahel ümber jagada. Sellise skeemi suhtes, mis on tuntud “mullina”, on juba ka kokkuleppele jõutud. Konventsiooni I lisa osapooled Valgevene ja Türgi pole protokollis lisasse B sisse võetud, kuna nad polnud protokollis vastuvõtmise ajaks veel konventsiooniga ühinenud.



Tabel 3. *Kyoto protokoll* lisa B riigid ja nende kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamise kohustused

Table 3. *Countries included in Annex B to the Kyoto Protocol and their emission targets*

Riigid	Kohustus
EL-15, Bulgaaria, Tšehhi, Eesti, Läti, Liechtenstein, Leedu, Monaco, Rumeenia, Slovakkia, Sloveenia, Šveits	-8%
USA	-7%
Kanada, Ungari, Jaapan, Poola	-6%
Horvaatia	-5%
Uus-Meremaa, Venemaa, Ukraina	0
Norra	+1%
Austraalia	+8%
Island	+10%

Allikas: Kyoto protokoll (Kyoto ..., 1997).

Eesti kirjutas Kyoto protokollile alla 17. novembril 1998 ja ratifitseeris selle 3. septembril 2002 (Ühinenud ..., 2002). Kyoto protokoll sätestab konventsiooni I lisa nimetatud osaliste jaoks kasvuhoonegaaside (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, HFC, PFC ja SF<sub>6</sub>) heitkoguste vähendamise konkreetset protsendid. Kyoto protokoll kohaselt peab Eesti aastatel 2008–2012 vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid 1990. aastaga võrreldes 8% võrra.

Eesti on süsinikdioksiidi heitkogustes ühe elaniku kohta maailmas esimese kahekümne hulgas, kusjuures põlevkivi kütusena kasutamine majandusharudes kokku põhjustas 72% kogu Eesti CO<sub>2</sub> heitkogusest. 1990. aastal oli CO<sub>2</sub> heitkogus fossiilsete kütuste põletamisest 37 174 Gg ning 2002. aastal 10 937 Gg, mis moodustab vaid 29% CO<sub>2</sub> 1990. a heitkogusest, seega on Eesti riigil juba Kyoto protokoll kohustus täidetud (Greenhouse ..., 2003).

Kyoto protokollis esitati konventsiooni osapoolte jaoks kolm innovatiivset “mehhanismi”: *ühisrakendus* JI, *puhta arengu mehhanism* CDM (*Clean Development Mechanism*) ja *rahvusvaheline heitkogustega kauplemine* IET (*International Emission Trading*).

*Ühisrakendus*, mis on kaudselt määratletud ka Kyoto protokollis artiklis 6, võimaldab I lisa osapooltel realiseerida projekte, mis vähendavad kasvuhoonegaaside heitkoguseid allikate kaupa või parandada nende “sidumist” I lissasse kuuluvate riikide territooriumil ja krediteerida sellest tulenevad “heitkoguste vähendamise ühikud” oma riigi heitkoguste vähendamise kohustuste täitmiseks.

Artiklis 12 määratletud *puhta arengu kindlustamise vahendid* võimaldavad I lisa osapooltel realiseerida projekte, mis vähendavad kasvuhoonegaaside heitkoguseid I lissasse mittekuuluvate riikide territooriumidel. Nende lisaeesmärgiks on aidata I lissasse mittekuuluvatel osapooltel saavutada säästlikku arengut ning nad annavad oma osa konventsiooni lõppeesmärgini jõudmiseks. *Puhta arengu mehhanismi* raames

võivad I lisa osapooled sertifitseerida heitkoguste vähendamise kogused, mis tekivad projekti realiseerimisel I lissasse mittekuuluvates riikides ja kasutada neid oma riigi heitkoguste vähendamise kohustuste täitmiseks. *Puhta arengu mehhanismi* üle teostab järelevalvet vastav amet (*executive board*) ja osa projekti vahenditest kasutatakse ära selleks, et aidata kõige nõrgemaid konventsiooni osapooli (nn arengumaid) nende kohustuste täitmisel.

*Emissioonidega kauplemine*, nagu see on sätestatud artiklis 17, võimaldab I lisa osapooltel oma kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamise kohustust täita sel viisil, et üks I lisa riik võib teiselt I lisa riigilt osta tema “üle jäänud” KHG heitkogused ja kanda need vastavates ühikutes oma riigi arvele. Kogu seda heitkoguste kaubandust reguleerivad eraldi reeglid, põhimõtted ja menetlused.

## **Ühisorakendus**

Ühisorakendus on üks Kyoto protokolliga sätestatud paindlikest mehhanismidest, mille eesmärgiks on projektil põhinev kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamine ja mis lubab heitkoguste vähendamise ühikuid ühelt projektis osalenud riigilt teisele üle kanda.

Ühisorakendusprojektides saavad osaleda vaid konventsiooni I lisa osapooled. Projekti ainsateks tingimusteks on nende ökonoomsus, seetõttu viiaksegi projekte ellu riigis, kus kulutused on minimaalsed ja kasvuhoonegaaside heitkoguste alanemine pärast projekti rakendamist võimalikult suur.

Kuigi heitkoguste vähendamist arvestatakse konkreetsete läbiviidud projektide kaupa, eeldab ühisorakenduse mehhanismi käivitamine riikidevahelist kirjalikku kokkulepet, ühiste kavatsuste memorandumit MOU. Eestil on siiani sõlmitud ühiste kavatsuste memorandumid kolme riigiga:

- Eesti Vabariigi valitsuse ja Soome Vabariigi valitsuse vaheline kokkulepe kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamise ühisorakendusprojektide kohta sõlmiti 17. detsembril 2002. aastal;
- Eesti Vabariigi valitsuse ja Madalmaade valitsuse kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamise alase koostöö vastastikuse mõistmise memorandum vastavalt Kyoto protokollile 6 kirjutati alla 9. septembril 2003;
- Eesti Vabariigi valitsuse ja Taani Kuningriigi valitsuse ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooni Kyoto protokollile rakendamisel tehtava koostöö alane vastastikuse mõistmise memorandum kirjutati alla 25. septembril 2003.

Et osaleda ühisorakendusprojektides ja kasvuhoonegaaside heitkogustega kauplemises, tuleb luua riigisisene kasvuhoonegaaside vähendamise strateegia ja tegevuskava. Selleks alustas Keskkonnaministeerium 2001. aastal „Kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamise riikliku programmi aastateks 2003–2012“ eelnõu koostamist. Vabariigi valitsus kinnitas programmi 27. aprillil 2004. Riiklikus programmis analüüsitakse Kyoto protokollist tulenevaid kohustusi, esitatakse tegutsemisviisid ning nende täitmise meetmed. Eraldi punktina on programmis välja toodud ka ühisorakendusprojektide ja heitkogustega kauplemise struktuur ja elluviimise strateegia ning maksumus.

Eestis on siiani valminud kolm ühisrakendusprojekti, Kadrina, Tamsalu ja Paide katlamajade biokütustele ülemineku projektid, ja kolm tuuleprojekti on ette valmistatud ning varsti alustatakse ehitustöödega. Soome meie lähinaabrina on siiani olnud kõige aktiivsem ühisrakendusprojektide partner, kuuest ettevalmistatud projektist on neli sõlmitud Soomega, üks Taani ja üks Hollandiga (vt tabel 4).

*Tabel 4. Ühisrakendusprojektid Eestis seisuga mai 2004*  
*Tabel 4. Joint Implementation projects in Estonia in 2004*

Ühisrakendusprojekti nimi	Projekti arendaja	Installeeritav võimsus, MW	Projektikokkuleppe seis	Vähendatavad CO <sub>2</sub> heitkogused, tuh t CO <sub>2</sub> ekv <sup>1</sup>
<b>Eesti-Soome</b>				
Paide bioenergiaprojekt	OÜ Pogi	8	sõlmitud 10.10.2003	100
Kadrina bioenergiaprojekt	AS Kadrina Soojus	2,5	ettevalmistamisel (valmis 2000. a kui katseprojekt)	17,9
Tamsalu bioenergiaprojekt	AS Tamsalu Kalor	2,5	ettevalmistamisel (valmis 2000. a kui katseprojekt)	12,7
Pakri tuulepargiprojekt	OÜ Pakri tuulepark	18,4	sõlmitud 9.01.2004	451
<b>Eesti-Taani</b>				
Türisalu tuulepargiprojekt	OÜ Türisalu tuulepark	21,45	ettevalmistamisel	462
<b>Eesti-Hollandi</b>				
Paldiski tuulepargiprojekt	OÜ Paldiski tuulepark	50,6	hakatakse ette valmistama, kui Hollandi pädev asutus projekti heaks kiidab	986

**Tamsalu ja Kadrina bioenergiaprojektid** valmisid juba 2000. aastal kui Soome ja Eesti vahelise ühisrakenduse katseprojektid. Mõlema projekti eesmärgiks oli asendada fossiilkütustel töötanud katlad Wärtsilä Finland OY poolt toodetavate biomassil töötavate nn Bio Grate 2,5 MW katelde vastu.

**Paide bioenergiaprojekt valmis 2003. aastal.** Projekti eesmärk oli paigaldada Paide linna uus 8 MW võimsusega biomassiga köetav katel. Projekti partnerid olid OÜ Pogi (eraomanduses olev kaugkütte operaatorettevõte), Wärtsilä Finland Oy BioPower ja

<sup>1</sup> Ühisrakendusprojektide abil vähendatavad kasvuhoonegaaside heitkogused on saadud sõltumatute ekspertide poolt kinnitatud baasjooneuuringutega, arvestades konservatiivseid aastatoodanguid. Tegelikuses võivad ärahoitud kasvuhoonegaaside heitkogused varieeruda, sõltuvalt ilmastikutingimustest (tuuleprojektide puhul) või tegelikust energiatoodangust. Autori märkus.

Ühispank. Katlas põletatakse puidujäätmeid, kuid on võimalik põletada kuni 30% kütuse kogukulu ulatuses ka turvast. OÜ Pogi vaatenurgast oli uue katla paigaldamise eesmärk tagada ettevõtte pikaajaline kasumlikkus. See tähendab ühtlasi stabiilsemaid soojusenergia hindu ning SO<sub>2</sub> ja NO<sub>x</sub> heitkoguste vähendamist. Paide bioenergia-projekti ühisrakenduskokkulepe kirjutati alla 10. oktoobril 2003.

**Pakri tuulepargiprojekt.** Soome konsultatsioonifirma eksperdid valisid Soome puhta arengu mehhanismi ja ühisrakenduse katseprogrammi ka OÜ Pakri Tuulepargid poolt arendatava Pakri tuulepargiprojekti. Projekti kohaselt rajatakse Pakri poolsaarele 18,4 MW võimsusega tuulepark. Projekt peaks valmima 2004. aasta lõpuks.

**Türisalu tuulepargiprojekt.** 2002. aasta alguses tutvustas Taani Energia Agentuur Taani ja Eesti vahelise ühisrakenduse katseprojekti I etappi. Katseprojekti käigus valiti välja OÜ Türisalu Tuulepargi poolt arendatav tuulepargiprojekt. Projekt näeb ette 9–13 2,75 MW nimivõimsusega NEG Micon uusima tuulegeneraatori paigaldamist Türisalu endisele raketibaasi maa-alale. Taani on pakkunud kasvuhuonegaaside heitkoguste vähendamise ühikute hinnaks 3,50–4 eurot.

**Paldiski tuulepargiprojekt.** Hollandi Majandusministeeriumi agentuuri Senter International poolt 2000. aastal käivitatud ERU PT programm (*Emission Reduction Unit Procurement Tender*) ehk avalik pakkumine kasvuhuonegaaside heitkoguste vähendamise ühikute (ERU) ostmiseks. ERU PT otsib kogu maailmast majanduslikult efektiivseid kliimamuutuste leevendamisele suunatud energiaprojekte. ERU PT programm toetab neid projekte rahaliselt ja hangib seeläbi riigile avaliku konkursi korras nende projektide tulemusena kokkuhoitud kasvuhuonegaaside heitkoguseid, mis tal endal rahvusvahelise kohustuse täitmisest puudu jäävad. Hollandi ERU PT programmile esitas OÜ Paldiski Tuulepark Paldiski tuulepargiprojekti, mille kohaselt rajatakse Paldiski poolsaarele 50,6 MW võimsusega tuulepark. Ühiku lõpphind kujuneb läbirääkimistel projektiarendajaga. ERU PT programm maksab ühikute eest kuni 5 eurot.

## **Kokkuvõte**

Kyoto protokolliga sätestatud kasvuhuonegaaside heitkoguste vähendamise paindlikud mehhanismid soodustavad efektiivsete energiat säästvate uute tehnoloogiate toomist arenenud lääneriikidest üleminekumajandusega riikidesse, eriti energia-, kütte-, transpordi- ja tööstussektoris, aitavad parandada õhu kvaliteeti ning inimeste tervist. Kasvuhuonegaaside heitkoguste vähendamise ühikute edasimüük võib tuua märkimisväärsed rahavooge riikidest, kus süsiniku heitkogused ületavad Kyoto protokolliga kokkulepitud määra. Kyoto protokollide paindlike mehhanismide rakendamine toob Eestisse investeringuid tehnoloogia ja teadmiste näol ning aitab kaasa õhusaaste vähendamisele, keskkonnaseisundi parandamisele ning energiakasutuse tõhustamisele.

## KirjandusReferences

1. Greenhouse Gas Emissions in Estonia 1990–2002 (2003) Reporting according to the UNFCCC guidelines. National Inventory Report. Ministry of Environment of the Republic of Estonia. Tallinn: 42.
2. Estonia's First National Communication Under the UN Framework convention on Climate Change (1995) Ministry of Environment of the Republic of Estonia. Tallinn, Estonia: 55.
3. Estonia's Second National Communication Under the UN Framework convention on Climate Change (1998) Ministry of Environment of the Republic of Estonia. Tallinn, Estonia: 62.
4. Estonia's Third National Communication Under the UN Framework convention on Climate Change (2001) Ministry of Environment of the Republic of Estonia. Tallinn, Estonia: 70.
5. Keskkonnaregistri seadus (2002) (RT I 2002, 58: 361).
6. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change (1997), <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.
7. Nations Framework Convention on Climate Change, ANNEX I Countries, [www.unfccc.int/resource/conv/annex1.html](http://www.unfccc.int/resource/conv/annex1.html).
8. Nations Framework Convention on Climate Change, ANNEX II Countries, [www.unfccc.int/resource/conv/annex2.html](http://www.unfccc.int/resource/conv/annex2.html).
9. Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni kliimamuutuste raamkonventsiooni Kyoto protokollu ratifitseerimise seadus (2002) RTL II, 03. september 2002, 36:111.

# DEVELOPMENT OF JOINT IMPLEMENTATION PROJECTS IN ESTONIA

*Inge Roos*

Thermal Engineering Department of Tallinn University of Technology  
e-mail: inge@eeri.ee

## **Abstract**

The Estonian Parliament ratified the Kyoto Protocol in September 2002. The first Memorandum of Understanding on Joint Implementation was signed with Finland on December 17, 2002, followed by the Netherlands on September 9, 2003 and Denmark on September 25, 2003.

So far three joint implementation projects have been carried out in Estonia – transfer of Kadrina, Tamsalu and Paide boiler plants to biofuels and three wind energy projects are prepared and the construction works are ready to start. Finland as our close neighbour has been the most active partner in joint implementations projects – four out of six prepared projects have been signed with the government of Finland, one with Denmark and one with the Netherlands.

Execution of joint implementation projects brings additional investments to Estonia in the form of technology and knowledge, it also contributes to the decrease in air pollution and improvement of environmental conditions and higher efficiency of energy usage. But the main reason for the Estonian companies and project owners to be interested lies in the fact that JI is a good opportunity for additional financing of environmentally friendly energy projects, which would otherwise be economically unfeasible.

# KOOSTOOTMISE TEHNOLOOGIAD PUITKÜTUSE KASUTAMISEL

*Ülo Mets*

AS Enprima Estivo, Väike-Ameerika 8–303, Tallinn  
e-post: Ulo.Mets@enprima.com

## **Annotatsioon**

Artiklis antakse lühiülevaade nii üldlevinud kui ka uutest ja vähetuntud koostootmise tehnoloogiatest puitkütuse kasutamisel. Lisatud on tabelid tehnoloogiate kasutatavusest ja kasutegureist. On toodud erinevate tehnoloogiate puudused ja eelised ning tulevikuperspektiivid.

PUITKÜTUSED, ARENGUEELDUSED, TEHNOLOOGIAD, OTSENE PÕLETAMINE, AURUTURBIINID, AURUMASINAD, GAASISTAMINE, GAASITURBIINID, GAASIMOOTORID, STIRLINGMOOTORID, KÜTUSELEMENDID

## **Kasutatud lühendid**

SEK – soojuse ja elektri koostootmine;  
COGEN Europe – Euroopa Koostootmise Assotsiatsioon;  
KHG – kasvuhoonegaas;  
CO<sub>2</sub> – süsinikdioksiid, süsihappegaas, levinuim kasvuhoonegaas;  
NO<sub>x</sub> – lämmastikoksiidid;  
CFB – *Circulating Fluidized Bed* (tsirkuleeriva keevkihiga katlatehnoloogia);  
ORC – *Organic Rankine Cycle* (orgaaniline Rankine'i tsükkel);  
IGCC – *Integrated Gas Combined Cycle* (koostootmise tehnoloogia, kus kasutatakse gaasigeneraatorit gaasi tootmiseks, gaasiturbiini ja auruturbiini kombinatsiooni).

## **Arengu eeldused**

- Euroopa Ühendus on raskustes Kyoto protokolliga võetud kohustuste täitmisel. Soojuse ja elektri koostootmises nähakse selleks ainsat tõsist võimalust.
- SEK-jaamad gaasimootorite baasil kui praegu lihtsaim ning odavaim lahendus on Euroopas kiiresti arenenud, neid on tuhandeid. Eestis varustab selline sõltumatu jaam elektri ja soojusega Kristiine Kaubanduskeskust.
- Koostootmine ei saa areneda üksnes loodusliku gaasi baasil, nii Euroopas kui ka Ameerikas pööratakse üha suuremat tähelepanu koostootmisele taastuvate kütuste baasil. Euroopa Koostootmise Assotsiatsioon on leidnud, et Euroopas on potentsiaali 11 GW võimsuste juurutamiseks 2010. aastaks ning veel 8 GW võimsusi saaks juurutada aastaks 2020. Seega on taastuvatel kütustel töötavate koostootejaamade potentsiaali kokku ligi 10 Eesti tootmisvõimsuse ulatuses.
- Suurimad võimalused koostootmisjaamade juurutamiseks on riikides, kus on hästi väljaarendatud kaugküttesüsteemid. Need on Põhjamaad ning Ida-Euroopa riigid, sealhulgas Eesti.

## Koostootmise eelised

- Energiamuundamise suurem kasutegur (15–40% võrra suurem kui elektri ja soojuse lahustootmisel).
- Väiksem looduse saastamine, eriti CO<sub>2</sub>, põhilise kasvuhoonegaasiga, mida taastuvkütuse puhul ei arvestata.
- Suur kulude kokkuvõid, luues lisanduva konkurentsivõimaluse tööstuslikele ja äritarbijaile ning pakkudes vastuvõetava hinnaga sooja kodutarbijaile.
- Elektritootmise süvenev detsentraliseerimine, mis vähendab ülekandekadusid ja suurendab süsteemi paindlikkust.
- Paraneb varustuskindlus – kohalik koostootmine vähendab riski, et tarbijad võiksid jääda ilma elektrita.
- Vähenev kütuse kulu vähendab riigi sõltuvust kütuste impordist ja säästab kodumaise kütuse ressursi.
- Võimaldab suurendada valikut energiatootjate vahel, seega arendada konkurentsi.
- Koostootmine loob ühe tähtsaima abinõu energiaturgude liberaliseerimise soodustamiseks.
- Suurendab tööhõivet, genereerib uusi töökohti, seda eriti maapiirkondades, kus tööhõivega on suurimad probleemid.

## Suurimad võimalused

SEK-i rakendamine on otstarbekas

- paberi- ja tselluloositööstuses ning suuremates puidutööstustes;
- energiatootjail, täitmaks nn rohelise elektri osakaalu kohustusi;
- saeveskeis ja puidutööstustes, kus on vaja soojust puidu kuivatamiseks ning esineb keskkonnaprobleeme puidujäätmetega;
- vananenud, fossiilkütustel töötavates koostootmisjaamades, mille tegevust piirab emissioonide (SO<sub>2</sub> ja NO<sub>x</sub>) vähendamise kohustus;
- maa-asulais, kus pole töökindlat gaasi- ega elektrivõrku.

### SEK-jaama tasuvusest

- Et olla Euroopas konkurentsivõimeline, peab puidu baasil toodetava elektri ostuhind olema 1,35–1,7 kr/kW·h (Austria, Belgia, Taani) või peavad fossiilkütused olema riigis tugevalt maksustatud (nt Rootsis, Suurbritannias). On arvatud, et pärast süsiniku emissioonikaubanduse kehtestamist Euroopas (2005. aastast) on süsinikuvaba elektri keskmine ostuhind elektrivõrgu poolt 1,05 kr/kWh.
- Puidukütusel SEK-jaamade ühikinvesteeringute suuruse hinnang:
  - umbes 23 000 kr/kW<sub>e</sub> suurtele jaamadele;
  - kuni 45 000 kr/kW<sub>e</sub> väikestele ja mini-jaamadele.
- Toodud tingimustel võib puidutööstuse jaoks rajatav SEK-jaam end ära tasuda 3–5 aastaga, kaugkütte ettevõttele 7–9 aastaga.

### Riskidest

Suurimaks riskiks on puitkütuste hinnatõus, seda tänu kasvavale nõudlusele Euroopas. Nõudluse tulemusena on Eesti koduturul hind tõusnud sedavõrd, et maagaas on aktiivselt tagasi võitmas positsioone, mis kümme aastat tagasi kohalikele kütustele kaotati.



## Koostootmisjaamade tehnoloogiad

Suur huvi biomassist elektritootmise vastu on turule toonud uusi SEK-tehnoloogiaid. Näiteks puitkütusel SEK-jaamade seadmeid võib jagada kolme rühma:

- otsese põletamise seadmed;
- puidu gaasistamise seadmed;
- tulevikutehnoloogiad.

## Koostootmine puitkütuse otsese põletamisega

Tabelis 1 on kokkuvõtlikult esitatud puidukütuse otsest põletamist kasutavate tehnoloogiate peamised andmed.

*Tabel 1. Tehnoloogiad, mis seotud puitkütuse otsese põletamisega*  
*Table 1. CHP technologies based on burning biofuel*

Puidukasutamise viis	Soojuskandja	Jõuseade	Elektriline võimsus, kW	Elektritootmise kasutegur, %
Otsene põletamine katlas	Aur	Auruturbiin <sup>1</sup>	> 2000	15–40
		Aurumasin <sup>1</sup>	200–2000	10–12
		Kruvi-aurumasin <sup>3</sup>	20–2000	10–15
	Vahetu soojuskontakt	Stirlingmootor <sup>3</sup>	0,5–100	14–20
		Kuumaõhutamurbiin <sup>2</sup>	> 400	25–30
			Koospõletamine gaasiga <sup>3</sup>	> 20 000
Termaalõli		Orgaaniline Rankine'i tsükkel <sup>2</sup>	300–1500	10–12

<sup>1</sup> – töötav tehnoloogia, <sup>2</sup> – turuvalmis tehnoloogia, <sup>3</sup> – demonstratsiooniseadmed,

Tabelist näeme, et töökindlat läbiproovitud tehnoloogiat esindavad vaid auruturbiin ja aurumasin. Ülejäänud tehnoloogiad on kas kohe minemas kommertstootmisse või töötavad jätkuvalt katse- ja demonstratsiooniobjektidel.

## Katlad puidu otseseks põletamiseks

### Tsirkuleeriva keevkihiga katlad (levinuimad)

- Kasutatakse tavaliselt katla soojuslikel võimsustel üle 25 MW.
- Võimalik põletada laia valikuga (tüki suurus, niiskus, kütteväärtus) kütuseid.
- Lisaks puidule saab põletada ka turvast, tööstuslikke ja olmejäätmeid.
- Kütuseid saab põletada nii eraldi kui omavahel segatuna.

## Liikuvate restidega ja stokerkatlad

- Võimaldavad põletada ka suure niiskusega (kuni 65%) kütuseid.
- Nõuded kütuse kvaliteedile on piiratud, vajavad täpsustamist enne katla projekteerimist.
- Kütuste segamisel (puit/turvas) on samuti piirangud.
- Katelde töötavaks keskkonnaks, mis paneb tööle elektritootmiseseadmed, on kaks võimalust: aur või termoõli.

## **Elektritootmiseseadmed puidu otsesel põletamisel**

### Auruga töötavad seadmed

Aurutehnoloogiad on ammutuntud ja nende abil toodetakse suurim osa maailmas toodetavast elektrist. Auruturbiinid on levinuimad, viimasel ajal on turule tulnud ka aurumasinate uus põlvkond.

### Auruturbiinid

Kasutusel on tavaliselt kaht tüüpi turbiine: vasturõhu turbiinid ja vaheltvõttudega kondensatsiooniturbiinid. Kuid on olemas ka nende turbiinide kombinatsioone.

### Vasturõhuturbiinid

Need on turbiinid, kus aur paisub kuni vasturõhuni, milline on piisav vajaliku temperatuuriga soojuse tootmiseks. Puhas vasturõhuturbiin on sobivaim seal, kus vajatakse pidevalt konstantse temperatuuriga soojust või auru (tööstustes). Kaugkütte tarbeks sobib vasturõhuturbiin, kus lisaks vasturõhule on olemas kõrgema temperatuuriga auru vaheltvõttud. (Sobivuse all mõeldakse siin kõrgeimat keskmist kasutegurit.)

### Vaheltvõttudega kondensatsiooniturbiinid

Need on kondensatsiooniturbiinid, kust on võimalik teatud parameetritega auru võtta paisumisprotsessi vahelt. See võimaldab selle auru soojust kasutada alates nullist (seda rohkem toodetakse elektrit) kuni maksimaalse projekteeritud vaheltvõttuni (mille puhul soojatootmine on prioriteet).

### Kombineeritud vasturõhu-kondensatsiooniturbiinid

Need on lahendused, kus turbiini madalsurveastet on võimalik sisse/välja lülitada, seejuures moodsaimate turbiinide puhul ilma turbiini seiskamata.

### Auruturbiinide võimsused

Koostoote-auruturbiinide võimsuste vahemik on lai: 0,5–240 MW ning ka see pole piiriks. Kuid alla 5 MW turbiinide elektriline kasutegur on madal (10–20%) ning teenindus- ja hoolduskulud suhteliselt kõrged. Võimsustel 5–20 MW võib saavutada 25% kasutegureid, võimsustel üle 50 MW ka üle 30%. Teatavasti on kõrgem kasutegur seotud auru kõrgemate parameetritega, mida niiske puitkütuse puhul on raske või ebaotstarbekas saavutada.

### Auruturbiinide eelised

Auruturbiinide eelistena võib märkida:

- tehnoloogia on hästi tuntud ja töökindel;
- toodete hind on välja kujunenud ja konkurentsi tõttu stabiilne;
- sobiv puidutööstustele ja suurematele kaugkütte süsteemidele.

### Auruturbiinide puudused

Nende hulka kuuluvad:

- suhteliselt suured hoolduskulud;
- vajavad väga puhast (demineraliseeritud) toitevett;
- madalamatel koormustel efektiivsus langeb.

### Aurumasinad

Auruvedurite ajastul olid aurumasinad väga levinud. Tänapäeval järjest kasvav väikeste koostootmisjaamade turg on sundinud tootjaid ka sellel mõtlema. Näiteks varem peamiselt laevade aurumasinaid tootev Saksa firma Spilling (Maschinen- ..., 2004) on aurumasinat vastavalt täiustanud. Aurumasinaid toodetakse laias diapasoonis. Üle 300 masina on müüdud, sh üle 200 biomassi või jäätmeid põletavaile firmadele.

Toodetavate seadmete peamised näitajad:

- võimsused 0,2–2 MW<sub>e</sub>;
- auru kulu 0,5–40 t/h;
- rõhk 6–60 baari (sobiks ka meil laialt levinud DKVR aurukateldega);
- vasturõhk 1–25 baari.

Seadmete eelistena märgime:

- nad on õlivabad, ei vaja igapäevast silindriõli kontrolli ega kondensaadi analüüsi;
- neil on suur paindlikkus auru kvaliteedile (küllastatud aurust kuni ülekuumendatud auruni);
- neil on paindlikkus tööks väikestel koormustel;
- nad ei vaja nii suurt ega kallist toitevete ettevalmistust kui auruturbiinid.

Seadmete puudused:

- madal elektriline kasutegur (10–12%);
- suur müratase (ei sobi hästi haiglatele ja korterelamutele).

### Kruvitüüpi aurumasinad

Need masinad on töös demonstratsiooniobjektidel (Austrias ja Saksamaal), võimsustega 250, 710 ja 760 kW. Masin koosneb kahest spiraalrootorist, mille vahel auru töömaht pidevalt vaheldub. Aur paisub rootoreis, pannes pöörlema generaatori. Nimetatud masinad on omadustelt sarnased aurumasinaga. Nende võimsused on vahemikus 20 kW kuni 2 MW ja keskmine kasutegur piires 10–15%.

### Auru kasutamise eelised ja puudused

Eelised on:

- pikk kasutusaeg, suur töökindlus;
- juhtiv tehnoloogia suurtele biomassil töötavatele koostootmisjaamadele;

- auruturbiinid on enimsobivad suurtele ühtlastele koormustele;
- aurasinad on enim sobivad väikestele ja keskmistele koostootejaamadele, taluvad hästi alakoormust.

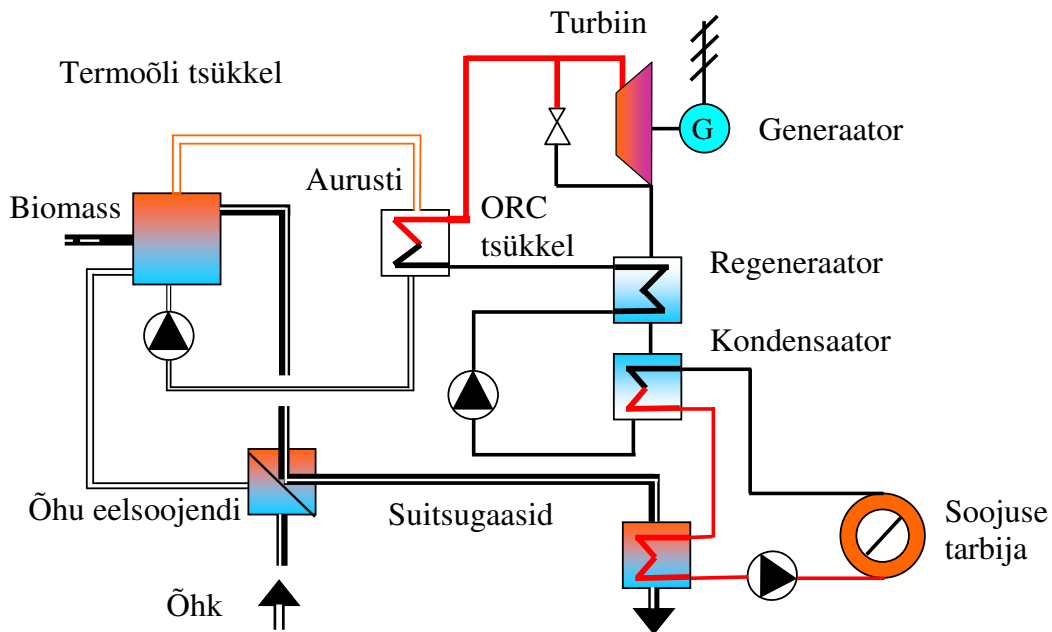
Peamised puudused:

- turbiinid taluvad halvasti väikseid koormusi;
- nende hoolduskulud on suured, sh seotud ka riikide auruseadmete hooldus-eeskirjade nõuetega (nõutav minimaalne personali arv);
- seadmed nõuavad kõrge puhtusastmega demineraliseeritud toitevett.

### Termoõli tehnoloogia

See on turuvalmis tehnoloogia, mis arendati välja geotermiliste- ja päikeseelektrijaamade tarbeks. Siin muundatakse soojust mehaaniliseks energiaks Rankine'i orgaanilise vedeliku tsükli (ORC) abil.

Tööprintsip: puidukatla esimeses astmes kuumutatakse termoõli kuni 300°C-ni ja soojus kantakse üle silikoonõlile soojusvahetis. Orgaaniline soojuskandja aurustub ja paisub kaheastmelises turbiinis. Tootjad: Saksa firma GET ja Itaalia Turboden (Turboden, 2004).



Joonis 1. Põhimõtteline skeem termoõli tsükliga  
Figure 1. Thermal oil cycle technology

Termoõli tehnoloogia eelisteks on:

- töötav kõrgtemperatuuriline termoõli on madala rõhuga, seda võib suunata suhteliselt pika vahemaa taha, seade on vaba aurule omastest piirangutest;
- ORC mooduli lisamine juba olemasolevale puidukatlale on suhteliselt lihtne;

- seade on kõrgelt automatiseeritav, praktiliselt mehitamata, hoolduskulud on palju väiksemad kui aurukatla puhul;
- töötav keskkond pole korrodeeriv, see ei kuluta turbiini labasid ega vanane;
- vee keemiline ettevalmistus pole vajalik;
- töötab suhteliselt vaikselt;
- väga lai koormusdiapasoon;
- suur töökindlus

Puudused:

- silikoonõli on kergesti süttiv, vajalikud on lekkimist vältivad süsteemid;
- suhteliselt suured investeeringud, sest tootjaid on veel vähe ja konkurents väike.

Nagu nähtub jooniselt 1, on termoõli tehnoloogia kahekontuuriline. Katlas toimub vaid soojuskandja – termoõli – kuumutamine. Termoõli annab soojusvahetis (aurustis) oma soojuse teisele orgaanilisele soojuskandjale, millel töötab turbiin. Muus osas sarnaneb see klassikalise auruturbiini skeemiga.

### **Stirlingmootorid**

Kolmas moodus põlemissoojuse muutmiseks mehaaniliseks energiaks on nn välise põlemise ehk Stirlingmootoris. See põhimõtteliselt lihtne mootor leiutati 1816. a, seega enne sisepõlemis- ja diiselmootorit. Mootor kujutab endast kolviga töösilindrit, mille üht otsa kuumutatakse (kasvõi leegis), teist otsa aga jahutatakse veesärgi abil. Kolb töötab temperatuuridest tekkiva rõhkude vahe abil. Lihtne jaotustoru suunab töögaasi (näiteks kuuma õhu) ühele või teisele poole kolbi. Mootor võib töötada iga kütusega, samuti koondatud päikesekiirte abil.

Tänapäeval on mootorit täiustatud ja teda kasutatakse ka elektri tootmiseks. Esimesed kodutarbeks mõeldud (0,5–6 kW) gaaskütusel Stirling-koostootmisseadmed on tänaseks kommertstootmises (toodavad 5 firmat USA-s, Saksamaal ja Uus-Meremaal).

Biokütusel töötavad moodsad Stirling-koostootmisseadmed on seni kasutusel vaid katse- või demonstratsioonseadmena. Loodetakse, et puidupelletpõletiga Stirling-koostootmisseade on kommertsvalmis 2004. a lõpuks. Põhitakistuseks on soojusvaheti ummistumine tuha ja puutõrva klinkriga. Stirlingmootori suhteliselt hea kasutegur (13–18%) on seotud soojusallika kõrge temperatuuriga (üle 600 °C).

Alternatiivne 35 kW neljasilindriline Stirlingmootor (kasuteguriga ligi 20%) on Taanis, Ansageris läbimas  $\beta$ -katsetusi, milles toodetakse puidust biogaasi ja põletatakse seda otse soojusvahetis. Seda seadet peetakse kommertstootmiseks valmis olevaks ja ühikmaksumust loodetakse viia tasemele 1600 eurot kilovati kohta.

Stirlingmootorid on ainus biomassi kasutatav koostootmise tehnoloogia, mis on tehnilis-majanduslikult teostatav võimsustel alla 50 kW. Nad töötavad vaikselt ning nõuavad minimaalselt hooldust (kord 5000 töötunni järel). Puuduseks on halb töö väikestel koormustel (The Stirling ..., 2004).



*Joonis 2. Sunpoweri (USA) puidukiütel Stirlingmootor kodutarbeks*

*Figure 2 Stirling engine on biofuel, produced by Sunpower (USA) for home use*

### **Puidu gaasistamine**

Puidust gaasi tootmine on tuntud vähemalt 150 aastat. Gaasigeneraatorite masstootmine toimus II maailmasõja ajal, kus sõjatandril liikus üle 1 miljoni gaasimootoriga auto. Kuid see tehnoloogia soikus sama kiiresti kui sündiski. Praegu on see mitmel pool maailmas jälle katsetusobjektiks, kuid töökindlat komertslikku lahendust pole ikka veel. Soojuse ja elektri koostootmine taastuvaist biokütustest on andnud puidu gaasistamise uuringuile uut hoogu.

Puidu energiast vabaneb kuni 85% gaasi kujul. Puidugaasi koostis on puu liigist, selle komponendid on järgmised:

- vesinik (H<sub>2</sub>)            8–20%;
- vingugaas (CO)        16–20%;
- metaan (CH<sub>4</sub>)        2%;
- lämmastik (N<sub>2</sub>)        48–52%.

Nagu näeme, pole siin veeauru ega CO<sub>2</sub>, kütuses olevast veest tekib heas gaasiseadmes vesinik, CO<sub>2</sub> redutseerub CO-ks.

Suur lämmastiku osakaal tekib sisseantavast põlemisõhust, kuid moodsas kaheastmelises keevkihtgaasistajas toimub gaasistamine suuresti ilma õhu osavõtuta, tulemuseks saadakse gaas, mis kütteväärtuselt läheneb maagaasile.

Toodetud gaasi saab kasutada koostootmisel nii katlas auru tootmiseks kui ka vahetu kütusena gaasiturbiinides ja gaasimootorites.

### **Koostootmine puitkütuse gaasistamisega**

Gaasistamise eelised võrreldes puidu otsese põletamisega:

- kõrgem elektriline kui ka kogu tsükli efektiivsus, eriti väikestel seadmetel;
- madalam emissioonide tase;
- väiksemad investeeringu kulud;
- võimalus biomassi kooskasutamiseks olemasolevais tahkekütuse-elektrijaamades;
- suuremate seadmete puhul saab kasutada nn integreeritud gaas-kombitsükli (IGCC) väga kõrge (45–50%) elektrilise kasuteguriga.

Tabel 2. Tehnoloogiad, mis on seotud puitkütuse gaasistamisega  
 Table 2. CHP technologies based on biofuel gasification

Puidu kasutamise viis	Puidugaasi kasutamise viis	Soojus- kandja	Elektrit genereeriv seade	Elektriline võimsus, kW	Elektri- tootmise kasutegur, %
Puidu gaasistamine	Gaasi põletamine	Aur	Kruvi-aurumasin <sup>1</sup>	20–2000	10–15
			Auruturbiin <sup>2</sup>	20–2000	10–12
			Auruturbiin <sup>2</sup>	> 2000	15–40
		Otsene kontakt	Stirlingmootor <sup>1</sup>	0,5–100	14–20
			Kuumaõhu turbiin <sup>3</sup>	> 400	25–30
			Energia- kandja	Puugaas	Integreeritud gaaskombitsükkel <sup>3</sup>
	Inversioongaasi- turbiin <sup>1</sup>	> 1000			18–22
	Gaasimootor <sup>3</sup>	100–2000			27–31
	Mikroturbiin <sup>4</sup>	5–100			15–25
	H <sub>2</sub> eraldus	Vesinik	Kütuselement <sup>4</sup>	20–2000	25–40
Koospõletamine		X <sup>1</sup>	> 20 000		

<sup>1</sup> – demonstratsiooniseadmed, <sup>2</sup> – töötav tehnoloogia, <sup>3</sup> – turuvalmis tehnoloogia, <sup>4</sup> – kontseptsiooni katsetus.

Paraku on mitmel pool maailmas biomassi gaasistamisel rajatud SEK-jaamad suletud või muudetud tavaliseks elektri-jaamaks. Kuigi algul saavutatakse ettenähtud kasutegurid, pole ükski gaasiturbiin veel vastu pidanud 5000-tunnist tööd. Põhjus on ikka sama: generaatorgaas, isegi pärast gaasipuhastust, sisaldab liiga palju tõrva ja kondensaate, mis põhjustavad tülakaid ladestusi turbiini töölabadel. Võimsaid tõrvavaba gaasi tootvaid generaatoreid pole ikka veel loodud, katsetused käivad väiksemate gaasistusseadmetega.

### Väiksemad gaasigeneraatorid

Alla 2 MW puidu gaasistamisel töötavates SEK-jaamades toodetakse puidugaasi liikumatu restiga gaasistajais, ning saadav lahja gaas käitab diisel- või kombikütusel sise põlemismootoreid. Kümneid seadmeid on töös kogu maailmas, kuid ükski neist pole läbinud puitkütusel SEK-jaama kommertsnorme (7000–8000 töötundi aastas). Ligi 500 sellist seadet töötab Hiinas ja Indias, kuid need pole lääne turule üle kantavad hinna- ja töökindluse nõuete tõttu. Seal kasutatakse vanu odavaid automootoreid ja need lihtsalt vahetatakse välja kui nad ära kuluvad või saastuvad. Entusiastid saaksid sama teha ka Eestis.

Ometi ei kuulu gaasigeneraatorid teadusliku fantastika valda. On katseseadmeid, mis on paljutootavad. Gaas lastakse läbi veekihi, et puhastada teda gaaskondensaadist ja tõrvast. Kuid sellega kaasneb teine kulukas probleem: selline vesi vajab ise keerukaid ja kalleid puhastusseadmeid.

Kui generaatorgaasi kasutada katlakütusena, Stirlingmootori kütuseks või kuuma õhuga töötava turbiini jaoks, siis pole gaasi puhtus nii oluline kui gaasiturbiini või gaasimootori puhul.

### **Kokkuvõtteks puidu gaasistamisest**

- Vaid suurtel organisatsioonidel on aega ja oskust kirjutada taotlusi finantsabi saamiseks uurimisprogrammidele.
- Uuringud on sageli liiga akadeemilised, ei tehta või tehakse liiga vähe koostööd väikefirmadega, kellel on suured katsetus-eksitus kogemused.
- Pole olemas rahvusvahelist andmebaasi, kus kajastuks kõik uurimisprojektid ja nende tulemused, nii teaduslikud uuringud kui praktikute kogemused.
- Ei tohi unustada valitsevate energiafirmade vastuseisu sõltumatu energiatootmise arengule, energia on suur äri ja ärihuvid on alati kaalukaimad.
- Gaasigeneraatorite maailmas on liiga palju salastatust, mis takistab arengut. Parimaks eeskujuks oleks siin tuuleenergia ebatavaline progress, mis saavutati tänu suurele avatusele ja vabale teadmiste vahetusele Taani tootjate vahel.
- Valulised tehnilised möödalaskmised on muutnud mõned eksperdid ja finantseerijad kahtlevaiks. Samas on ilmne, et biomassi gaasistamine mängib võtmerolli taastuvenergiaga SEK-jaamade arengus.
- Teavet puidu gaasistamisest vt kirjanduse loetelus toodud internetiaadressidelt.

### **Uued ja biokütuse tulevikutehnoloogiad**

- Kütuselemendid võivad kasutada puidugaasist toodetud vesinikkütust. Uuringud käivad krüogeen-eralditega ehk REDOX filtritega, ent arvatakse, et see tehnoloogia saab turuvalmis umbes 5 aasta pärast.
- On loodud ka kütuselemendid metanoolil; metanooli saab samuti toota puidukütusest.
- Aur-elementid. Saksa firma Enginon AG on arendanud kõrgefektiivse välispõlemismootori, nn aur-elementi, mis kasutab auru parameetritega 500° ja 500 baari. Seadet võib kohandada puitkütusele. Firma loodab 6/25 kW<sub>e</sub>/kW<sub>s</sub> seadme tuua turule aastaks 2005. Seda 0-emissiooniga katseseadet on katsetatud ka WW automootoris (Enginon AG 2004).
- Elekter otse koldest. On olemas tehnoloogia piesoelektri tootmiseks võimsusega 100–300 W. Selleks pole vaja muud kui paigaldada vastav pooljuhtplaat otse küttekoldesse või kaminasse ja ühendada voolutarbijaga.
- Teavet uutest tehnoloogiaist vt ka allikast (The platform ..., 2004).

### **Kokkuvõte**

On kindel, et mõne aasta pärast on kommertsvalmis tehnoloogiad, mis avavad laiemaid võimalusi elektri ja soojuse koostootmiseks, sh Eestile sobivast puitkütusest, ning hajutatud energiatootmine hakkab kiiresti arenema ka meil.

Nn elektri püsitasu kehtestamine on abinõu, mis sunnib üksiktarbijat aina rohkem vaatama oma isikliku energiatootmise suunas. Tavalise diisel- või bensinimootoriga



generaatori soetamine pole praegu enam probleemiks, uute tehnoloogiatega avarduvad need võimalused veelgi.

### **KirjandusReferences**

1. Maschinen- und Anlagenbauunternehmen Spilling (2004) <http://www.spilling.de>.
2. Turboden (2004) <http://www.turboden.it>.
3. The Stirling engine and hot air home page (2004) [www.stirlingengines.org.uk](http://www.stirlingengines.org.uk).
4. BioMatNet website (2004) <http://www.nf-2000.org/>.
5. GTI is the leading research, development and training organization serving the natural gas industry (2004) <http://www.gastechnology.org/>.
6. Energy Efficiency and Renewable Energy. U. S. Department of Energy (2004) <http://www.eren.doe.gov>.
7. Enginon AG (2004) <http://www.enginon.com/de/index.html>.
8. The platform for innovative energy technologies energytech.at (2004) <http://www.energytech.at/willkommen.html>.

# CO-GENERATION HEAT AND POWER TECHNOLOGIES USING BIOFUELS

*Ülo Mets*

Enprima Estivo Ltd, e-mail: Ulo.Mets@enprima.com

## **Abstract**

This article gives an overview of the current CHP technologies using biofuels. The well-known as well as the new technologies have been described. The technologies have been divided into two main groups: those using straight burning of the biofuels, and those with the biofuel pre-gasification; the generated gas to be used for power production. A brief comparison of these technologies has also been provided, with stress on the key issues: the technical characteristics, development status of technology, the capacity range and maximum efficiency of the power production. Also the estimated unit prices have been given for commercially available technologies.

Estonia has good preconditions to increase the share of biofuelled CHP:

- Well-developed district heating systems in most towns and settlements.
- Sufficient biofuel resources.
- Huge energy conservation potential in production, distribution and consumption.
- The Estonian government plan for remarkable (up to 5.1%) increase of renewable electricity by 2010.
- New Electricity Market Act with paragraphs supporting renewable energy production.
- The ratified Kyoto protocol (in Sept 03, 2002).

There is no doubt that developing modern technologies will increase the opportunities of Estonian companies to implement new CHP plants on biofuels.

# KÜTUSENA KASUTATAVATE RAIEJÄÄTMETE POTENTIAAL HARVENDUS- JA UUENDUSRAIES

*Kairi Kiivit, Merlika Niidumaa ja Peeter Muiste*

Eesti Põllumajandusülikooli metsatööstuse instituut, Kreutzwaldi 5, 51014 Tartu  
e-post: kairi@ecobirch.ee, merlika.niidumaa@mail.ee, peeter@eau.ee

## **Annotatsioon**

Küttepuidu nõudluse-pakkumise modelleerimiseks ja ressursside hindamiseks puuduvad seni usaldusväärsed andmed raiejäätmete kohta. Naabermaade andmed pole üldjuhul kasutatavad, sest metsade liigiline koosseis ja looduslikud tingimused on erinevad. Seoses sellega uurisid artikli autorid kütteks kasutatavate raiejäätmete potentsiaali erinevates puistutes nii uuendus- kui harvendusraies Eesti tingimustes.

## **RAIEJÄÄTMED, UUENDUSRAIE, HARVENDUSRAIE, BIOENERGIA**

### **Metoodika**

Välitööd koosnesid kahest etapist:

- 1) proovitükkide valimine, mõõtmine ja hindamine erinevates kasvukohatüüpides enne raiet;
- 2) proovitükkide mõõtmine ja hindamine pärast raiet, raiejäätmete kogumine ja mõõtmine, proovide võtmine ja analüüs.

Mõõtmisvahenditena kasutati mõõtekomplekti VERTEX, täpsuskluppi, GPS-i Magellan 320. Ringikujuliste proovitükkide raadius oli 10 m ja pindala 314 m<sup>2</sup>. Mõõtmistöid tehti põhiliselt kahekesi.

Raiejäätmete koguse määramisel kasutati kahte meetodit:

- 1) kaaluti kõik proovitükil olevad jäätmed, et välja selgitada kogu raiejäätmete kogus hektari kohta;
- 2) raiejäätmete vaalust kaaluti juhuslikult 5 m pikkused lõigud, et välja arvutada raiejäätmete kogus kg-des ühe meetri vaalu kohta. Selle meetodiga on võimalik välja arvutada raiejäätmete kogus hektari kohta, kui on teada langi pindala, vaalude pikkus ja arv.

Laboratoorsete analüüsidega määrati võetud proovidest kuivaine kütteväärtus ja tuhasisaldus. Raiejäätmete kaalu, niiskuse- ja tuhasisalduse järgi määrati raiejäätmete energiasisaldus.

### **Uurimistöö tulemused**

- Uurimistöö valimimahuks uuendusraies on 27 proovitükki, keskmise saagikusega hektari kohta proovitükkide meetodil  $65,1 \pm 36,9$  tonni ning vaalude meetodil  $137,2 \pm 162,0$  tonni. Et vaalude meetodil raiejäätmete hindamine on väga suure varieeruvusega, kasutati edasistes arvutustes tulemusi, mis saadi proovitükkide meetodil. Selline suur varieeruvus on tingitud jäätmete koguse suurest erinevusest

sõltuvalt metsa tüübist, tagavarast, boniteedist ning samuti raiejätmete ebaühtlusest langil (tabel 1). Proovitükkidega kaeti 10% pindalast.

- Raiejätmed kase enamusega segametsast on kõige suurema energiapotentsiaaliga – keskmiselt 694 GJ/ha puistus, mille keskmine tagavara on 209 m<sup>3</sup>/ha. Kuusikus, mille tagavara on 306 m<sup>3</sup>/ha, saab energiat 34% vähem, kaasikus tagavaraga 81 m<sup>3</sup>/ha 54% ja männikus tagavaraga 240 m<sup>3</sup>/ha 60% vähem (tabel 1).
- Kaasiku väike saagikus on põhjendatav antud puistu madala boniteedi ja tagavaraga. Sama võib öelda männiku boniteedi kohta, kuid seal mängib rolli ka männi suhteliselt väike võralisus (joonis 1).
- Raieprognoosi järgi võiks Eestis perioodil 2001–2010 teha uuendusraieid keskmiselt 33 540 ha aastas (Eesti Metsanduse ..., 2002). Erinevate ekspertide arvates on okaspuu väljaraie osakaal 49% ja lehtpuul 51%. Eesti Statistikaameti andmetel oli aastal 2001 primaarenergia kogutoodang ligikaudu 132 PJ, millest taastuvad energiaallikad moodustasid 17%. Antud uurimistöo tulemuse põhjal saame uuendusraie raiejätmetest 16,3 PJ energiat aastas, mis on ligikaudu 12% primaarenergia praegusest kogutoodangust. See on kõigest teoreetiline väärtus, tegelikult ei ole võimalik kõike metsast kätte saada ja umbes 1/3 raiejätmetest tuleks jätta langile, et vähendada toitainete äravedu. Kui 70% koguvarust saaks üles töötada saagikusega 60% teoreetilisest väärtusest, siis raiejätmete potentsiaal on 6,85 PJ aastas.
- Tüüpilises kuusikus ulatub raiejätmete hulk 67 t/ha, männikus 48 t/ha, kaasikus 34 t/ha ning segametsas 78 t/ha (tabel 1). Sellest kogusest on võimalik kätte saada 50 kuni 75% (Procurement ..., 2003).

Uurimistöo valimimahuks harvendusraies on 19 proovitükki keskmise saagikusega hektari puhul. Sel juhul on raiejätmete koguseks hektari kohta proovitükkide meetodil 20,9 ± 13,3 tonni ja vaalude meetodil 41,0 ± 31,5 tonni.

Tabel 1. Raiejätmed erinevates puistutüüpides uuendusraies

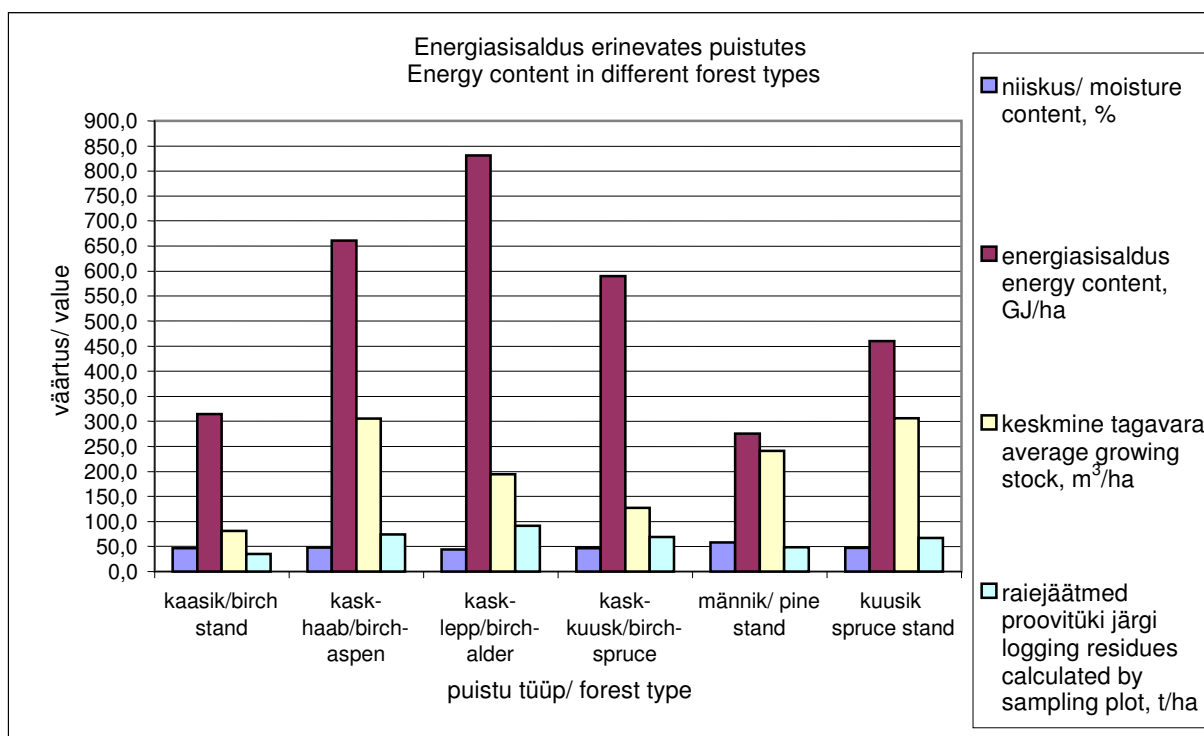
Table 1. Logging residues from different forest types in final felling

Valitsevad puuliigid <i>Dominant tree species</i>	Tagavara m <sup>3</sup> /ha	Prtk järgi kg/ha	Vaalu järgi kg/ha	Keskmine niiskus %	Energia GJ/ha	Boniteet	Lamapuit m <sup>3</sup> /ha
kask / <i>birch</i>	81,2	34 616,0	138 201,9	46,7	315,1	IV	8,7
kask, haab <i>birch, aspen</i>	305,8	74 007,0	96 500,0	48,0	660,8	I	21,5
kask, sanglepp <i>birch, alder</i>	194,7	91 320,0	291 068,5	44,0	831,6	I, II	37,4
kask, harilik kuusk <i>birch, spruce</i>	127,5	69 069,6	216 903,5	46,3	590,1	I, II	7,1
mänd / <i>pine</i>	240,5	48 191,6	30 809,6	58,0	275,8	IV	4,9
kuusk / <i>spruce</i>	306,6	67 589,0	42 920,6	47,2	459,9	I, II	76,9

Tabel 2. Raiejäätmed erinevates puistutüüpides harvendusraies  
 Table 2. Logging residues from different forest types in first thinning

Valitsevad puuliigid <i>Dominant tree species</i>	Tagavara m <sup>3</sup> /ha	Prtk järgi kg/ha	Vaalu järgi kg/ha	Keskmine niiskus %	Energia GJ/ha	Boniteet	Lamapuit m <sup>3</sup> /ha
lepp, haab <i>alder, aspen</i>	174,4	11 507,4	29 450,0	32,9	136,0	II	1,9
kask, sanglepp <i>birch, alder</i>	137,1	16 407,0	40 006,5	48,9	123,8	Ia, II	2,9
sanglepp, kask <i>alder, birch</i>	91,3	12 635,5	27 933,3	34,6	132,9	I	0,7
mänd / <i>pine stand</i>	159,2	20 501,0	0	29,0	259,4	I	2,7
kuusk / <i>spruce</i>	252,4	12 782,6	10 024,9	50,7	102,8	I	1,7

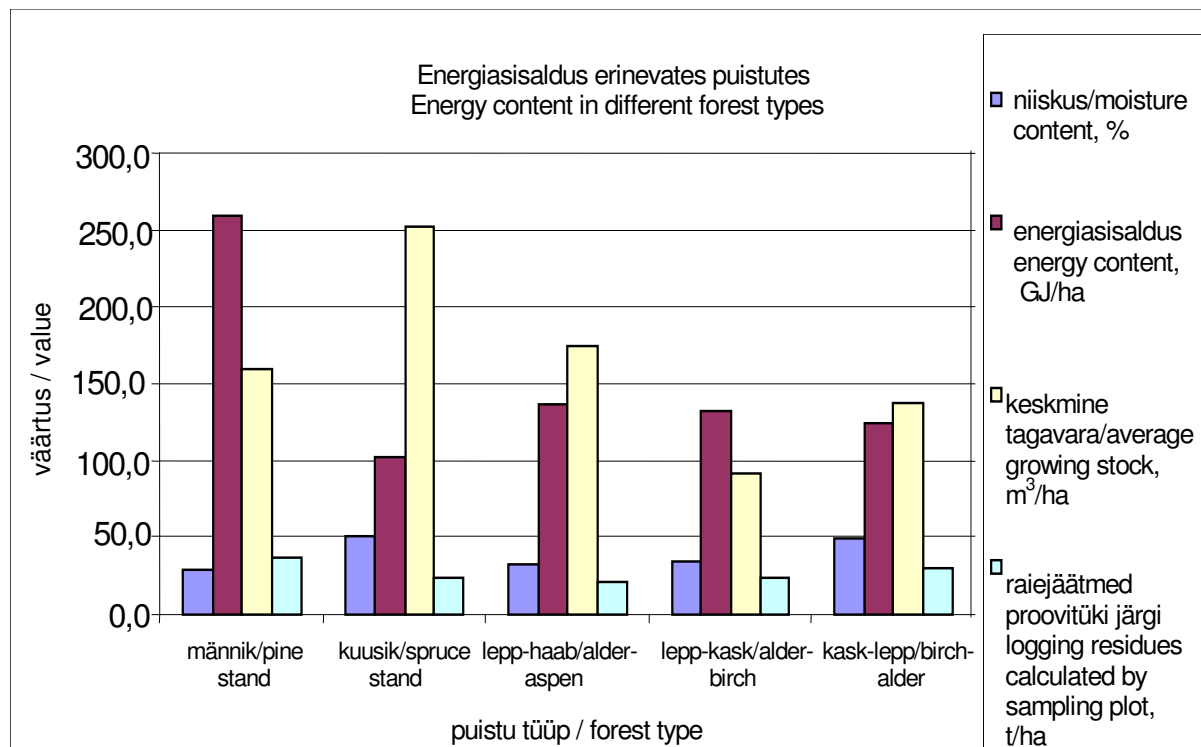
- Puhtmännikus ulatub raiejäätmete hulk 20 t/ha, kuusikus 12,7 t/ha ja lehtsegametsas keskmiselt 13,5 t/ha (tabel 2).



Joonis 1. Energiasisaldus erinevates uuritud puistutes uuendusraies  
 Figure 1. Energy content in different forest types in final felling

Männiku suur saagikus (joonis 2) on tingitud harvendusraiel välja raiutud ja maha jäetud tüvede rohkusest, kuusikus seevastu koosnesid raiejäätmed peamiselt peenikestest okstest, tüvenotte esines suhteliselt vähe. Seega on harvendusraiest saadavatest raiejäätmetest suurima energiapotentsiaaliga männikute raiejäätmed, keskmiselt

259,4 GJ/ha, puistu tagavaraga 159,2 m<sup>3</sup>/ha. Sanglepa-haava enamusega segametsast tagavaraga 174,4 m<sup>3</sup>/ha saab energiat 47,6% vähem, sanglepa-kase enamusega segametsast tagavaraga 91,3 m<sup>3</sup>/ha 48,7% vähem, 137,1 m<sup>3</sup>/ha tagavaraga kase-sanglepa enamusega segametsast 52,3% vähem ja kuusikust tagavaraga 252,4 m<sup>3</sup>/ha 60,3% vähem kui männiharvendusest (tabel 2).



Joonis 2. Energiasisaldus erinevates uuritud puistutes harvendusraies  
Figure 2. Energy content in different forest types in first thinning

## Järeldused

Uurimistulemus näitab, et Eestis on piisavalt suur potentsiaal looduslikult taastuval energiakandjal – raiejäätmetel. Põhjalikumad andmed saadi järgmiste metsatüüpide kohta: kaasik, kase ja haava enamusega segamets, kase ja sanglepa enamusega segamets, kase ja kuuse enamusega segamets, sanglepa ja haava enamusega segamets, sanglepa ja kase enamusega segamets, kuusik ja männik.

Metoodika oli antud tingimustes küllaltki töömahukas, mistõttu seda ei ole eriti otstarbekas kasutada sellelaadsetes uurimustes, kuid ta võimaldas saada andmeid väikeste inim- ja masinressurssidega. Meetodi eeliseks on väikesed kulutused võrreldes alternatiivsetega.

Uurimistöö tulemusena on saadud esmased andmed kütusena kasutatavate raiejäätmete potentsiaali kohta Eesti metsades erineva kooslusega puistutes harvendus- ja uuendusraies. Kasutatud metoodika korral oli proovitükkide raadiuseks 10 m, st proovitüki pindalaks oli 314 m<sup>2</sup>. Selliselt proovitükilt kogutud raiejäätmete kaal võis ulatuda uuendusraie korral 3200 kg-ni ja harvendusraie korral 1300 kg-ni. Jäätmete summaarne energiasisaldus uuendusraies on keskmiselt 522 GJ/ha, ulatudes 831 GJ/ha

kase-sanglepa segametsas ja harvendusraies keskmiselt 150,9 GJ/ha, saavutades väärtuse 259,4 GJ/ha männiharvenduses.

Uurimise tulemused on kasutatavad Eesti taastuvate energiaressursside hindamisel, metsade majandamise tasuvusarvutustel, lähteandmetena nõudluse-pakkumise modelleerimisel puidukaubanduses ja energeetikas.

### **Tänuavaldus**

Autorid on tänulikud SA Keskkonnainvesteeringute Keskusele, kelle uurimistoetust kasutati töö koostamisel (projekt nr 19).

### **Kirjandus** ✕ **References**

1. Eesti Metsanduse Arengukava aastani 2010 (2002)  
<http://www.metsad.ee/main.html>.
2. Procurement of forest chips at UPM Kymmene from residual biomass (2003)  
[http://www.opet-chp.net/download/wp3/upm\\_forestwood.pdf](http://www.opet-chp.net/download/wp3/upm_forestwood.pdf).
3. Energiastatistika [http://sise.ttu.ee/soojus/eesti\\_energeetika.htm](http://sise.ttu.ee/soojus/eesti_energeetika.htm).

# POTENTIAL OF HARVESTING RESIDUES FROM THINNING AND FINAL FELLING AS FUEL

*Kairi Kiivit, Merlika Niidumaa and Peeter Muiste*

Department of Forest Industry of Estonian Agricultural University  
e-mail: kairi@ecobirch.ee, merlika.niidumaa@mail.ee, peeter@eau.ee

## **Abstract**

Branches, tops, leaves and needles, as well as unmerchantable stemwood are considered as logging residue. Collection of the residues may be an additional benefit for the forest owners. In 1996–2002, the felling of firewood in Estonia amounted to 3 million solid cubic metres, of which wood waste and chips formed about 50%. It is estimated that presently the potential of logging residues from final fellings and first thinnings is underutilized in Estonia. As there is little reliable data about the residues, the aim of the present study was to determine the potential quantities and the energetic value of the logging residues from final fellings and first thinnings. For collecting data, 44 sample plots of final felling and 28 sample plots of thinning were selected. The measurement was carried out in two stages – preliminary measurement before harvesting and the main measurement in spring after harvesting. During the preliminary measurement the centres of sample plots were marked, the location was determined by GPS and then the basic forest inventory data was measured. During the next stage after harvesting, the harvesting residues from sample plots were collected and weighed. From every sample plot the samples of harvesting residues were taken and later in the laboratory the energy content was determined. The results of the study indicate that the average energy content of the harvesting residues from the final felling is 522 GJ/ha and 150.9 GJ/ha from the thinning.



# TAASTUV- JA FOSSIILKÜTUSESEGUDE TERMOKEEMILISE VEDELAMISE SAADUSTE LAHUTAMISE MEETOD

*Vilja Palu, Rein Veski ja Hans Luik*

Tallinna Tehnikaülikooli Põlevkivi Instituut, Akadeemia tee 17, 12618 Tallinn  
e-post: rein.veski@mail.ee

## **Annotatsioon**

Tallinna Tehnikaülikooli Põlevkivi Instituudis 2003. aastal alustatud uurimistöö „Puidu, teiste taastuvkütuste ja orgaaniliste jäätmete termokeemiline vedeldamine koos põlevkiviga vedelkütuse ja keemiliste ühendite saamiseks“ teostamiseks töötati välja uudne analüüsimetoodika, mis erinevalt varem teadaolevatest võimaldab võrrelda taastuv- ja fossiilkütuste ning nende segude termokeemilise vedeldamise saaduste saagist ja koostist.

## **KÜTUSED, TERMOKEEMILINE VEDELAMINE, ANALÜÜSIMETOODIKA**

### **Ülevaade probleemist**

Puidu termokeemilise destruktsiooni saaduste lahutamise ja analüüsi meetodid on arenenud koos puidukeemiatööstusega. Kui puusütt toodeti miilides (mullaga kaetud puidukuhikutes), läksid vedel- ja gaasilised saadused enamasti kaotsi. Miile kasutatakse puusöe tootmiseks peamiselt arengumaadel. Utteagregaatides saadakse lisaks puusöele ka vedelsaadusi ja -gaasi. Männi- ja pöögipuidust saadakse näiteks vastavalt (%) puusütt 37,8 ja 35,0, gaasi 14,6 ja 15,8 (peamiselt CO<sub>2</sub>), metanooli (puupiiritus) 0,9 ja 2,1, atsetooni 0,2 ja 0,2, metüülatsetaati 0,01 ja 0,03, äädikhapet 3,5 ja 6,0, naatriumatsetaadis lahustuvat osist 8,0 ja 5,9, puutõrva 11,8 ja 8,1 ning vett 22,3 ja 26,6. Puutõrv on keeruline segu orgaanilistest ühenditest molekulmassiga 60–8000. (Francis, 1965). Utmisel tekib veel ühe- kuni kolmealuselisi fenooli ja väga palju teisi ühendeid. Õli saagis ja koostis oleneb utmistingimustest ja lähtebiomassi iseloomust. Aeglasel destruktsioonil tekkivad vedelsaadused enamasti kihistuvad, kiirel destruktsioonil moodustavad aga homogeense segu tõrvast (õlist), veest ja selles lahustunud orgaanilistest ühenditest. Viimased on osaliselt eraldatavad orgaaniliste lahustitega ekstraheerimise teel. Tekkinud keemilisi ühendeid ja nende grupe eraldatakse (ning analüüsitakse) vastavalt turu nõudlusele (Fengel ja Wegener, 1984; Kalninš, 1943; Kitajev jt, 1966; Nikitin, 1962).

Areng puidu ja muu biomassi termokeemilise destruktsiooni valdkonnas on toimunud peamiselt kolmes suunas:

- söe tootmine, kus tekkiv gaas ja õli kasutatakse seadmes vajaliku temperatuuri hoidmiseks,
- bioõli tootmine, kus tekkiv gaas ja koks kasutatakse vajaliku temperatuuri hoidmiseks,
- gaasi tootmine, kus gaasi jäävad õliaurud on osutunud ebasoovitavateks lisanditeks.

Seega on säilinud õlitootmise suund ja vajadus õli analüüsimise järele. Selle suunaga haakub ka TTÜ Põlevkivi Instituudi uurimisvaldkond (Veski, 2003). Pikemaajalises

plaanis on kavas õli saamine taastuv- ja taastumatute tahkekütuste segudest. Õli koostise analüüsimine on vältimatu juhul, kui seatakse eesmärgiks kemikaalide saamine.

Viimastel aastatel on tehtud põhjalikke uurimusi õli saamiseks puidu jm biomassi kiirpürolüüsil. On saadud isegi tunduvalt üle 70% bioõli kuiva lähtebiomassi kohta. Õli sisaldab u 20% vett (Diebold, 1999; Elliott jt, 1991). Sellise veerikka õli tegeliku õlisisalduse (õigemini õlis oleva vee) täpne määramine nõuab kalleid reaktiive ja aparatuuri (Oasmaa jt, 1997). Enamik uurijatest on loobunud kiirpürolüüsiõli keemilise analüüsi teostamisest ja on pööranud enam tähelepanu selle õli energeetiliste parameetrite määramisele. Pealegi on õli tekkejärgselt ühtlase koostisega, mis hõlbustab selle energeetilist kasutamist. Probleemid tekivad peamiselt õli hoidmisel ja veol. Kui tingimused osutuvad ebasobivateks, toimub enam-vähem samasugune õli kihistumine nagu aeglasel pürolüüsil saadud utteõli korral. Kihistumist saab kiirendada näiteks vee lisamisega (Diebold, 1999; Oasmaa jt, 1997).

Meie uurimistöö antud faasis oli suure niiskusesisaldusega homogeenne õli teke välis- tatud valitud destruktsioonimeetodite tõttu. Neist vaid poolkoksistamine sarnaneb ülal- nimetatud biomassi termokeemilise destruktsiooni kolme suunaga selle poolest, et protsessi käigus vedel- ja gaasilised saadused eristuvad tahkest jäägist (vt joonis 1). Vesikonversiooni ja katalüütilise hüdrogeenimise katsete järel (vt joonis 2) on reakt- sioonisaadused rõhu alandamiseni koos (osa gaasilisi saadusi lahustunult vedelfaasis), kuni toimub gaasiliste saaduste eraldumine vedel- (õli, vesi, vees lahustuvad ühendid) ja tahkest faasist (koks või poolkoks). See välistas põlevkivi uttesaaduste lahutamise- ja analüüsimetodite kasutamise. Teisalt, biokütuste analüüsiks välja töötatud meetodid ei sobinud põlevkivide termokeemilise destruktsiooni saaduste analüüsiks. Uus meetod pidi võimaldama nii taastuv- ja taastumatutest kütustest eraldi kui ka nende segudest eri destruktsioonimeetoditega saadud produktide lahutamise võrreldavates tingimustes.

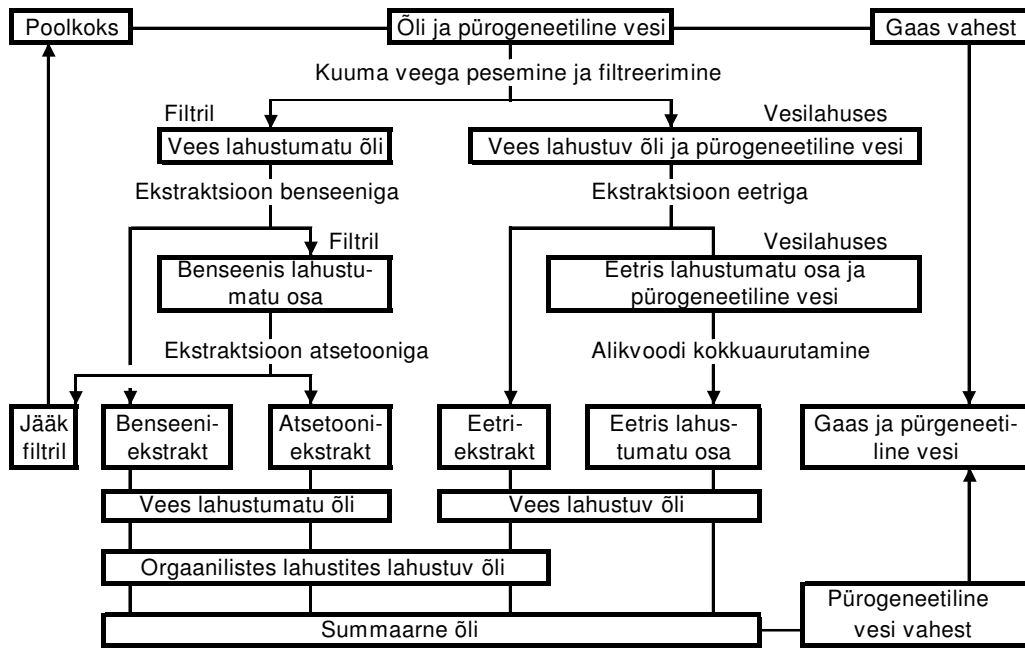
## Järeldused

Kui põlevkivi destruktsioonil tekib õli, mis on peaaegu täielikult benseenis lahustuv, siis isegi kuivatatud hapnikurikas bioõli on selles vaid osaliselt lahustuv. Eelkatsetega tehti kindlaks, et benseenis lahustumatu õli lahustus atsetoonis. Nimetame, et atsetooni kasutati edukalt turba ja sapropeeli utmisel tekkiva õli lahustamiseks (Kazakov, 1953). Lisaks tuleb arvestada veel asjaolu, et tahkete taastuvkütuste destruktsioonil tekib võrreldes näiteks põlevkiviga palju vees lahustuvaid orgaanilisi ühendeid.

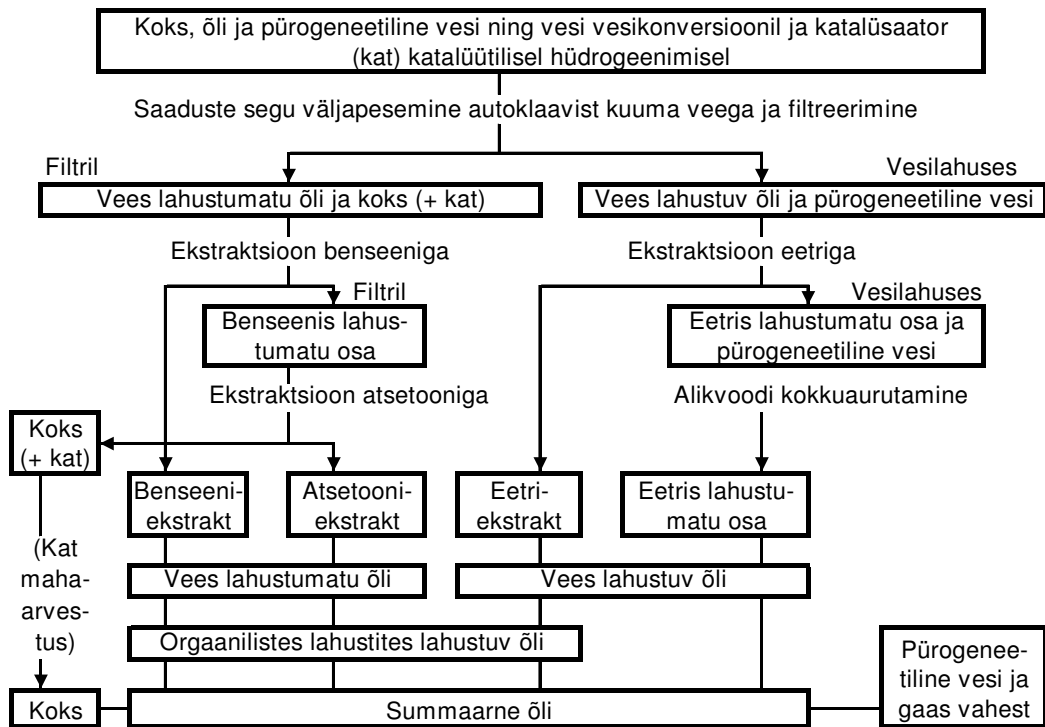
Uus meetod pidi tagama:

- termokeemilise destruktsiooni eri meetoditega saadud produktide võrreldava lahu- tamise;
- nii taastuv- kui ka taastumatute kütuste destruktsioonisaaduste võrreldava lahutamise, mis sobiks ka nende segude korral.

Kirjeldatud meetodit on kasutatud TTÜ Põlevkivi Instituudis taastuvkütuste (männisaepuru ja -koor, kuuseoksad, pajuviitsad, pilliroog, turvas) ja põlevkivide (kukersiit ja diktüoneemakilt) termokeemilise vedeldamise saaduste lahutamiseks.



Joonis 1. Poolkoksistamise saaduste lahutamise ja arvutamise skeem  
 Figure 1. Diagram for separation and calculation of semicoking products



Joonis 2. Vesikonversiooni ja (katalüütilise) hüdrogeenimise saaduste lahutamise ja arvutamise skeem  
 Figure 2. Diagram for separation and calculation of water conversion and (catalytic) hydrogenation products

Kasutusele võetud meetod (joonised 1 ja 2) võimaldab määrata nii õli osised nende lahustuvuse järgi vees kui ka vees lahustuva õli lahustuvuse eetris ja vees lahustumatu õli lahustuvuse benseenis. Summaarset õli esindab vees lahustuva ja lahustumatu õli summa, vees lahustumatut õli esindab järjestikku saadud benseeni- ja atsetooni-ekstraktide summa, vees lahustuvat õli – eetris lahustuvate ja lahustumatute ühendite summa.

## Tänuavaldus

Uurimistöö on valminud Eesti Teadusfondi grandide nr 5360 toetusel.

## KirjandusReferences

1. Diebold, J. P. (1999) A Review of the Chemical and Physical Mechanisms of the Storage Stability of Fast Pyrolysis Bio-Oil. Thermalchemie, Inc. U.S.A.: 51.
2. Elliott, D. C., Beckman, D., Bridgewater, A. V., Diebold, J. P., Gevert, S. B., Solantausta, Y. (1991) Developments in direct thermochemical liquefaction of biomass: 1983–1990. *Energy and Fuel* 5: 399–410.
3. Fengel, D., Wegener, G. (1984) *Wood (Chemistry, Ultrastructure, Reactions)*. Ed. by de Gryter, W. Berlin-New York: 221.
4. Francis, W. (1965) *Fuels and fuel technology*. Vol. 1. Pergamon Press. Oxford *et al*: 348.
5. Kalniņš, A. (1943) *Die Holzteerschwellung*. Verlagsgesellschaft Ostland mbH, Riga: 199.
6. Казаков, Е. И. (1953) Методика химического анализа дегтевых продуктов низкотемпературного разложения сапропеля и торфа. Методика изучения сапропелевых отложений. Изд. АН СССР. Москва: 49–59.
7. Китаев, И. В., Румянцев, М. М., Хлызов, А. Н., Морин, Д. И., Бахтияров, В. Д. (1966) *Продукты химической и химико-механической переработки древесины*. Справочник. Изд. 2-е. Лесная промышленность. Москва: 548.
8. Никитин, Н. И. (1962) *Химия древесины и целлюлозы*. Изд. АН СССР. Москва-Ленинград: 711.
9. Oasmaa, A., Leppämäki, E., Koponen, P., Levander, J., Tapola, E. (1997) Physical characterization of biomass-based pyrolysis liquids. Application of standard fuel oil analyses. VTT Publications 306. Espoo: 46 + app 30.
10. Veski, R. (2003) Puidu, orgaaniliste jäätmete ja fossiilkütuste termokeemiline koosvedeldamine vedelkütuste ning muude keemiliste ühendite saamiseks. Neljanda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 25–33.

# **METHOD TO SEPARATE PRODUCTS OBTAINED BY THERMOCHEMICAL LIQUEFACTION OF RENEWABLE AND FOSSIL FUELS MIXTURES**

*Vilja Palu, Rein Veski and Hans Luik*

Institute of Oil Shale Research at Tallinn University of Technology  
e-mail: rein.veski@mail.ee

## **Abstract**

Project „Thermochemical liquefaction of wood, other renewable fuels and/or organic wastes with oil shale for production of liquid fuels and chemicals“, initiated at the Institute of Oil Shale Research at Tallinn University of Technology in 2003 badly needs a new approach to separate products yielded (Fig. 1 and 2). That is the subject of the present publication.

# EESTI SUURIM TUULEPARK PAKRI POOLSAAREL

*Tiit Kallaste<sup>1</sup>, Enn Kareda<sup>1</sup>, Anton Laur<sup>2</sup> ja Koidu Tenno<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Säästva Eesti Instituut, Lai 34, 10502 Tallinn  
e-post: tiit@seit.ee, enn@seit.ee

<sup>2</sup>Tallinna Tehnikaülikooli Eesti Majanduse Instituut, Estonia pst 7, 10143 Tallinn  
e-post: antonl@tami.ee, koidut@tami.ee

## **Annotatsioon**

Artikkel annab ülevaate ühe perspektiivikama taastuva energiaallika – tuule – kasutamisest elektrienergia tootmiseks Eestis ning selle konkurentsivõimelisusest, arvestades fossiilkütuste põletamisega kaasneva CO<sub>2</sub> heitmete keskkonnakahju kui ühte olulisemat väliskulude komponenti. Artikkel on kirjutatud SEI-Tallinna poolt läbiviidud tasuvusuuringu baasil, mille 2001. aastal tellisid ning finantseerisid Jaapani Keskkonnaministeerium ja Jaapani Meretaguste Maadega Keskkonnakaitselise Koostöö Agentuur. Jaapanlasi huvitas peamiselt see, kas Pakri poolsaarel võiks käivitada kliimamuutuste leevendamise alase rahvusvahelise ühisorakenduse projekti, mille tulemuseks oleks majanduslikult tasuva suure tuulikupargi püstitamine ja välditud kasvuhooonegaasikoguste omandamine. Artiklis selgitatakse lähemalt Kyoto protokolliga määratletud ühisorakenduse mõistet, mis võimaldaks kaasata tuulikupargi ehitamisele doonorriikide finantse, andes vastukaubaks välditud kasvuhooonegaaside tonne ja parandaks finantseerimise tingimusi. Artiklis kirjeldatakse põgusalt ka Pakri poolsaare tipus rajatava Eesti esimese suure, 18 MW võimsusega kaheksast tuulegeneraatorist koosneva tuulepargi käivitumist, mis eeldatavasti peaks valmima 2004. aasta lõpuks.

TAASTUVAD ENERGIAALLIKAD, PAKRI POOLSAAR, TUULEPARK, VÄLISKULUD, ÜHISRAKENDUS,

## **Kliimamuutuste leevendamine ja ühisorakenduse projektid**

Taastuvate energiaallikate laialdasem kasutuselevõtmine on viimase kümnendi kuum teema kogu maailmas ja eriti Euroopas, kuna fossiilkütuste ammendumisest on räägitud juba aastakümneid. Kiirendava, aktiveeriva tegurina on lisandunud kliima globaalse soojenemise konkreetset lokaalsed ilmingud. Tõsiseid hoiatusi on pöudade ja üleujutuste näol kogetud eriti tihti just viimastel aastatel, ning mitte enam kauges ja eksootilistes riikides, vaid siinsamas – Läänemere maades Saksamaal, Rootsis, Norras ning mujal Euroopas, näiteks Prantsusmaal ja Itaalias. Eesti sai 2002. aasta suvel näha märkimisväärset pöuda ning 2003. ja 2004. aasta suvel tugevaid vihmavalanguid, mida mitmete ekspertide arvamust mööda võib tõenäoliselt seostada globaalse kliima pikaajaliste muutustega.

Kasvuhooonegaaside heitkoguste vähendamine on alates ÜRO kliimakonventsiooni ratifitseerimisest 1994. aastal saanud väga tähtsaks tegevusjuhiseks paljudele maailma riikidele. Eriliselt suur roll on täita konventsiooni osalistel (liikmesriikidel) oma riikliku energeetikastrateegia kujundamisel fossiilkütuste tarbimise piiramise suunas ja nende asendamisel taastuvate energiaallikate kasutamisega, samuti energia tootmise, ülekandmise ning tarbimise efektiivsemaks muutmisel. Kliimakonventsiooni Kyoto

protokoll näitab seejuures kätte lahendused rahvusvaheliseks kliimamuutuste leevendamise alaseks koostööks arenenud ja arenguriikide vahel.

Peamiselt on taoline koostöö suunatud riigis leiduvate taastuvate energiaallikate laialdasemale kasutuselevõtmisele, vähem tähtis ei ole ka energia säästmine tootmises, ülekandmisel ja tarbimisel. Arenenud riikide huvi on seejuures suunatud kasvuhoonegaaside vähendamise majandusliku efektiivsuse maksimeerimisele koostööprojektide rakendamise kaudu vähem arenenud riikides, nt Eestis. Teisisõnu – taastuvate energiaallikate ja energiasäästu rakendamise projektidest loodetakse saada kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamist tunduvalt madalama hinnaga, kui seda võiks saada omal maal, kus kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamise piirkulud on märkimisväärselt suuremad. Globaalsete kliimamuutuste leevendamise seisukohalt ei ole aga vahet, millisel kontinendil või riigis heitkoguste vähendamine saavutati. Ja kuna kliimakonventsiooni osalised riigid on seadnud endale vabatahtlikult sihtarvud heitmete vähendamiseks, siis nende saavutamiseks võib investeringuid teha ka väljaspool oma riiki. Sellist ühist tegutsemist on hakatud kutsuma **ühisrakenduseks** (*Joint Implementation*) ja selle põhiprintsiibid on fikseeritud Kyoto protokollis. Need heitkogused antakse vastuvõtja-maa poolt üle tehnilist ja majanduslikku abi andvale doonorriigile, kes saab neid kasutada Kyoto protokolliga seatud heitkoguste sihtarvu täitmiseks esimesel kohustusperioodil, st aastatel 2008–2012.

Eestil kui kliimakonventsiooni osalisel, nn vastuvõtja-riigil avanevad rahvusvahelise kliimamuutuste alase koostöö raames suured võimalused uute tehnoloogiate ning taastuvenergeetika alaste investeringute tarbeks laenude ja uurimistoetuste hankimiseks. Seda kliimamuutuste alast rahvusvahelist koostööd tuleb Eesti-sugusel väikeriigil kasutada eelkõige taastuvate energiaallikate osatähtsuse suurendamiseks elektri- ja soojusenergia tootmisel ning energia efektiivsuse oluliseks tõstmiseks. Soojatootmise valdkonnas on Eestil esimesed positiivsed kogemused olemas koos Rootsi Kuningriigiga teostatud ühisrakenduse õppimise ja harjutamise projektide näol energeetika sektoris (Kallaste, 2001), mis tänaseks on kogu maailmas huvi äratanud ja ka vastava ülemaailmse tunnustuse CTI (*Climate Technologies Initiative*) pälvinud. Elektritootmise valdkonnas on 2004. aastal alustatud esimeste, kõikidele reeglitele vastavate ühisrakendusprojektidega. Tuuleturbiinide kasutamine ning biomassi põletamine soojuse ja elektri koostootmise jaamades on paljulubavad arengusuunad. Eesti sihtarv vastavalt Euroopa Liidu direktiivile 2001/77/EC on 5,1%, mis tähendab enam kui 2000-protsendilist juurdekasvu! Selle saavutamiseks on kaks peamist valdkonda – tuuleenergia ja biomassi julgem kasutuselevõtmine.

### **Pakri tuulepargi tasuvusuuringu projekt**

Pakri poolsaare tuulepargi kui potentsiaalse kliima-alase ühisrakenduse projekti majandusliku tasuvuse uuringu tellisid Jaapani Keskkonnaministeerium ja Jaapani Meretaguste Maadega Keskkonnakaitse Koostöö Agentuur SEI-Tallinna käest. Jaapanlaste huvi oli eelkõige suunatud tuuleenergia kui perspektiivse taastuva energiaallika suuremastaapse kasutuselevõtmise projekti ideele, et saavutada soodsate laenude ja toetavate investeringutega ning ühisrakenduse projektist hangitavate välditavate kasvuhoonegaaside tonnide omandamise abil nii majanduslikku kui keskkonnakaitselikku efekti. Nende otsene huvi oli tehnilis-majanduslik analüüs selle kohta, kui

palju läheb maksma sellise projekti teostamisel kokkuhoitud CO<sub>2</sub> tonn. Jaapan teatavasti kohustus Kyoto protokolliga ratifitseerimisega vähendada oma kasvuhoonegaaside heitmeid esimesel kohustusperioodil (2008–2012) 6% võrreldes 1990. aastaga.

SEI-Tallinn kliima ja energia programmi töörühm koostöös väljastpoolt kaasatud ekspertidega valis Pakri poolsaare võimsa tuulepargi asukohaks seetõttu, et seal on Eesti mandriosa üks paremaid tuuleressursse, piisavalt vaba maad tuulikute paigutamiseks endisel militaarmaastikul ning kaks vähekoormatud 110 kV kõrgepingeliini. Samuti olid Pakri poolsaarel tuuleressursi pikemaajaliseks hindamiseks üles seatud 2 tuulemõõtmise masti – Eesti firma OÜ Trocaderi ja Taani Global Green Energy ApS-i tütarfirma AS Tuulepargid oma. Jaapanlaste tellimisel koostatud tasuvusuuringu projekti aruanne anti tellijale üle ja tunnustati lepingutingimustele vastavaks 2002. aasta märtsis.

Projekti teostas töörühm koosseisus Tiit Kallaste, Enn Kareda, Piret Kuldna ja Helen Poltimäe SEI-Tallinnast; Anton Laur ning Koidu Tenno TTÜ Eesti Majanduse Instituudist; Sulev Soosaar TTÜ Eesti Energeetika Instituudist; Ain Kull TÜ Geograafia instituudist; Anne Kivinukk REC Estoniast; Tõnu Kriisa OÜ-st Trocader.

Projekt algas tuuleressursi mõõteandmete analüüsiga ja selle ressursi territoriaalse mudeli koostamisega Pakri poolsaare ning kahe naabersaare jaoks. Tuuleressursi mõõtmised tegi OÜ Trocader. Paralleelselt käis töö keskkonnapiirangute kaardistamise ja tuulikute võimalike asukohtade määramisega. Selgus, et Pakri poolsaarele ja saartele võiks paigutada maksimaalselt 73 1,5 kuni 2 MW tuulikut. Arvestades probleeme elektri ülekandmisel saartelt mandrile otsustati selles uuringus piirduda tuulikupargi kavandamisega ainult Pakri poolsaarele, kuhu mahuks kuni 36 2 MW võimsusega tuuleturbiini.

Tasuvusuuringus võrreldi 0,85 ja 1,5 ning 2 MW tuuleturbiinide paigaldamiseks vajalikke investeeringuid, kusjuures kahe viimase tuuleturbiini puhul kahe erineva kõrgusega masti jaoks. Kõigi viie tuulikutüübi jaoks arvutati tuuleressursi mudeli abil elektrienergia aastatoodang, millest oli lahutatud energiakadu seoses tuuleturbiini võimalike seisakutega hoolduseks ja remondiks. Tuulikuid võrreldi omavahel investeeringute erikulu järgi võimsusühikule. Tuulepargi jaoks osutus parimaks suurima aastatoodanguga 2 MW võimsusega tuulik Vestas V80 masti kõrgusega 78 m.

*Tabel 1. Tuuleturbiinide variantide võrdlus*

*Table 1. Comparison of the wind turbines*

Näitaja	Ühik	V52	V80	V80	S70	S70
Võimsus	kW	850	2000	2000	1500	1500
Kõrgus	m	65	67	78	65	85
Aastatoodang	MW·h	2032	5028	5350	3878	4295
Investeering	tuh kr	10 705	28 178	29 810	24 965	26 390
Investeering/võimsus	kr /kW	12 594	14 089	14 905	16 643	17 593

Pakri poolsaarel asuva tuulepargi jaoks planeeritud 36 elektrituuliku koguvõimsus on 72 MW ja aastatoodang 193 GW·h. Kogu tuulepargi valmishitamiseks koos infrastruktuuri (teedevõrk, elektriliinid) ja liitumistasudega oleks vaja investeerida



orienteerivalt 70 mln eurot, millest peamise osa moodustaks tuuleturbiinide maksumus – 56 mln eurot. Tuuleturbiinide kohalevedu ja paigaldamine läheks maksma 4,6 mln eurot. Tuulikute massiivsete raudbetoonvundamentide valamine kohapeal nõuaks 1,4 mln eurot, põhivõrguga liitumine 4,6 mln eurot. Lisanduvad veel projekti juhtimise ja projekteerimise, teede ehitamise jm kulud.

Vajalike lähteandmete puudumise tõttu jäi täpsemalt määratlemata tuuleturbiinide teenindamiseks vajaliku maa hind, mis maa väljaostu korral tuleks liita investeerimiskuludele. Kui aga maad välja ei osteta, siis tuleb maa rendikulud aastas liita eksploatatsioonikuludele. Et Pakri tuulepark asub põhiliselt riigimaal, siis peab maa müügi või rentimise tuulepargi arendajatele või omanikele otsustama keskkonnaministeerium.

Tuulepargi eksploatatsioonikulud on 1,8 mln eurot aastas, koosnedes hooldus- ja juhtimiskuludest, kindlustusmaksetest ning jooksva remondi kuludest.

Pakri tuulepargi tasuvusuuringus võrreldi kolme finantseerimisvarianti (A, B ja C). Variandis A oli laenukapitali osakaal (%) ja intress kõige suurem, variandis C kõige väiksem. Analüüs näitas, et mida suurem on omakapitali osakaal, seda odavam on tuuleturbiinide abil toodetud elekter. Mida suurem on kõrge protsendiga laenukapitali osakaal, seda kõrgem on elektri omahind ja pikem tasuvusaeg.

Kui kasutada tuulepargi rajamiseks omakapitali, mida pole vaja tagasi maksta, siis kujuneb tuule jõul toodetud elektri omahinnaks orienteerivalt 60 s/kW·h, kusjuures omakapitali investeerijad saavad aastas tulu 8% nende poolt tuuleparki investeeritud summalt. Selline garanteeritud iga-aastane tulu on tunduvalt suurem käesoleval ajal pankade poolt hoiustajatele makstavast intressist. Omakapitali saab moodustada rahvakapitali osakutest või näiteks ühistu liikmete sissemaksetest neilt elektritarbijatelt, kes soovivad osta just tuuleenergiast toodetud elektrit.

Näiteks Taanis on niisuguste väikeaktsionäride osakaal üksikute tuuleturbiinide ja tuulikuparkide rajamise investeringutes suur. Eesti valitsus võiks tõsiselt kaaluda samasuguste investeerimisvõimaluste loomist oma elanikele. Initsiatiiv peaks tulema tuulepargi arendajalt. Riik saab sellist finantseerimisskeemi toetada maa müügi soodustustega ja elektrivõrgu arendamisega tuuleenergia kasutamiseks sobivates piirkondades.

### **Elektrienergia tootmise struktuur ja väliskulude arvestamise võimalused**

Elektrienergia tootmisel Eestis langes põlevkivi osakaal perioodil 1996–2001 üle 6%, peamiselt maagaasi suurenenud kasutuse arvel elektri ja sooja koostootmiseks Iru SEJ-s (tabel 2). 2002. aastast on põlevkivi osakaal taas hakanud suurenema. Muude kütuste osakaal elektroenergeetikas on olnud püsivalt 2,5–4% piires. Elektri tootmine taastuvatest energiaallikatest (põhiliselt hüdro- ja tuuleenergiast) on olnud kaduvväike ja nende osakaal on jõudnud vaid paari kümnendiku protsendini toodetud elektrienergiast.

Tuuleenergiast toodetava elektri ja Eestis domineeriva põlevkivielektri konkurentsi-võime hindamiseks viidi Pakri tuulepargi projektis (Kallaste, 2002) A. Lauri ja K. Tenno poolt läbi põlevkivielektri tootmishinna (hind Narva elektrijaamade väljundis) analüüs ning koostati prognoos aastateks 2005 ja 2010. Erilist tähelepanu pöörati hinna keskkonnakomponendile. Tehtud arvutused eeldasid senise, suhteliselt

konservatiivse keskkonna- ja energiapoliitika jätkumist (lähtusid ressursimaksude ja saastetasude määrade seadusega kehtestatud ja prognoosiperioodiks kavandatud kasvudest), mis antud kontekstis tähendab põlevkivielektri tootmise keskkonnamõjude ebapiisavat arvestamist. Põlevkivielektri tootmisnäitajate osas olid aluseks Eesti Energia AS 2000/2001 majandusaasta aruande andmed. Detailne ülevaade saadud tulemustest esitati konverentsil TEUK-IV stendiettekanes (Laur ja Tenno, 2003). Praeguseks on arvutusi korratud Eesti Energia AS 2002/2003 majandusaasta andmetel, arvestades ka uut informatsiooni ressursi- ja saastetasu määrade kasvust. Nende arvutustulemuste kohaselt moodustas põlevkivielektri tootmishind Narva elektri- jaamad 2002/2003. majandusaastal 36 senti/kW·h (sh keskkonnaga seotud kulutused 4 senti/kW·h). 2005. aastaks võib see tõusta 45–46 sendini/kW·h ja 2010. aastal 53–55 sendini/kW·h, sealhulgas keskkonnakomponent vastavalt 5–6 ja 7–9 sendini/kW·h.

Eksperimentaalselt püüti rakendada **ainult ühe** keskkonnamõju, CO<sub>2</sub> saastetasu kompenseerimist väliskulude koosseisus. Vastavaks saastetasu määraks võeti Taanis kivisöele rakendatav määr – 242 DKK/t (ligikaudu 500 kr/t) (Database..., 2001), mis ei ole EL riikides või teistel arenenud Põhjamaadel kaugeltki kõrgeim tase. Taanis rakendatava määra arvestamine tõstaks põlevkivielektri tootmishinna keskkonnakomponendi suurus üle 15 korra (ligikaudu 70 sendile/kW·h) ja tootmishinda ennast kuni 3 korda – ligikaudu 1 kroonile/kW·h.

Kommentaari konkurentsivõimele teiste elektritootmise võimalustega – nii maagaasi kui ka tuuleenergia baasil – on siinkohal liigsed: ainuüksi ühe väliskulude komponendi täielikum arvestamine muudab põlevkivielektri tootmise ligemale 2 korda kallimaks.

*Tabel 2. Energiaressursside kasutamine elektrienergia tootmiseks 1996–2003*

*Table 2. Use of energy resources for electricity generation 1996–2003*

Näitaja	1996	2000	2001	2002	2003*
Elektrienergia brutotoodang, GW·h	9103	8513	8483	8527	10 159
Põlevkivi osakaal, %	96,8	91,1	90,5	90,9	92,5
Tarbitud maagaasi, mln m <sup>3</sup>	11	89	91	81	76
Maagaasi osakaal, %	1,0	6,6	6,7	6,1	5,0
Muude kütuste osakaal, %	2,2	2,3	2,7	2,9	2,3
Toodetud elektrit taastuvatest ressurssidest, GW·h	2	6	8	7	19
sh hüdroenergiast, GW·h	2	5,67	7,72	6	13
tuuleenergiast, GW·h		0,33	0,28	1	6
Taastuvate ressursside osakaal, %			0,1	0,08	0,2

\* Esialgsed andmed

Allikas: (Energiabilanss ..., 1997–2003).

## **Pakri tuulepargi esimene järk**

Eespool kirjeldatud Pakri tuulepargi tasuvusuuring tõestas, et tuuleenergia kasutamine elektri tootmiseks on efektiivsem põlevkivielektrist siis, kui täielikumalt arvesse võtta kas või ühe keskkonnamõjuri (nt CO<sub>2</sub>) väliskulud ja kui pole vaja teha suuri lisainvesteeringuid tuuleturbiinide ühendamiseks põhivõrguga. Kaks Pakri poolsaarel juba olemasolevat 110 kV kõrgepingeliini ning praktiliselt asustamata militaarmaastik loovad peaaegu ideaalsed eeldused võimsa tuulepargi rajamiseks. Seetõttu on mõisteta potentsiaalsete investorite ja arendajate suur aktiivsus selles piirkonnas.

Pakri tuulikupargi esimese järgu koguvõimsus on 18,4 MW, mis saavutatakse kaheksa 2,3 MW-ise elektrituuliku abil. Tuulikupargi orienteeriv maksumus on 24 mln eurot ehk 1,3 mln eurot/MW. Kogu Pakri poolsaare tuulikupargi tasuvusuuringu projektis olid investeeringud 1 MW kohta väiksemad – 0,96 mln eurot.

Vajaliku projektdokumentatsiooni valmistas ette Taani Global Green Energy tütarettevõtte AS Tuulepargid, kes müüs 2004. a mais Pakri tuulepargi esimese järgu haldamiseks loodud OÜ Pakri Tuulepark kõik aktsiad Norra Buskerudi maakonna hüdro- ja tuuleenergia firmale Vardar AS. Viimane sõlmis vastastikuse koostöö memorandumiga Eesti Energia AS-iga, et saavutada tulevikus juhtpositsioon taastuvenergia allikatel baseeruvate jaamade rajamisel ja käitamisel Eestis (Lamp, 2004). Pakri tuulepargi esimese järgu kavatses 2004. aasta lõpuks valmis ehitada Taani-Saksa tuulegeneraatorite tootja Nordex Energy GmbH ning AS Tuulepargid. Omanik ja finantseerija OÜ Pakri Tuulepark müüb välditud kasvuhoonegaaside heitkogused ette ära Soome Vabariigile, et tagada rajatud tuulepargi tasuvus.

## **Kokkuvõtteks**

Pakri tuulepark on Eesti esimene suur rahvusvaheline tuuleenergia ühiskondliku arenduse projekt, mille tasuvusuuring ja tuulepargi esimese järgu ehitus on täielikult finantseeritud väliskapitali poolt.

Väljakujunenud praktika järgi maksab üks megawatt installeeritud tuuleturbiini võimsust keskmiselt 1 mln eurot (umbes 15,6 mln kr). Sellist raha tavaliselt ühelgi arendajal taskus pole. Vajalikud ressursid saadakse peamiselt laenu abil. Samuti on vajalik vähemalt kolmandiku ulatuses omakapitali olemasolu. Viimase võib osaliselt katta kasvuhoonegaaside välditud heitkoguste müügiga ühiskondliku arenduse koostööpartnerile, doonorriigile.

Riski suurendab teatud määramatus tuuleenergia tehnoloogia ja efektiivsuse arengutempodes, kasvuhoonegaaside heitkoguste tulevane kauplemine Kyoto skeemi järgi, samuti ebakindlus elektrivõrkudega liitumise tingimustes, elektri võrkuostmise hindades ja tuulepargile vajaliku maa ostmisel või rentimisel. Välismaiste ja ka Eesti oma ettevõtjate suur huvi ja aktiivsus tuuleenergia turul näitab, et loetletud riskid ei vähenda ootusi loodetavale tulule.

Tasuvusuuringu üks tulemusi oli veendumus, et tuuleparke oleks õigem rajada Eesti kapitalil põhinevate Eesti enda arendajate poolt. Kas on õige anda Eesti suure potentsiaaliga tuuleressurs ja maa täielikult väliskapitalile? Miks ei võiks Eesti järgida näiteks Taani ja Saksamaa eeskujul oma maa kapitali massiliseks rakendamiseks

tuuleparkide ehitamisel, mis annab tulevikus kindla tuluallika kohalikele elanikele? Annab ju kohalik omavalitsus aastakümneteks või alaliseks ära tükikese oma maast ja õhuruumist, saamata välisinvestorilt midagi vastu – ei kasumit, kohalikke makse, täiendavaid töökohti ega piirkonda arendavat ettevõtlust (vt ka Tiit, 2003).

Eesti riik võiks oluliselt kaasa aidata tuuleenergia kasutamise riskide maandamisele ja luua eeldused omakapitalil baseeruva ühistegevuse arendamiseks Eestis. Taastuvate energiaallikate järjest hoogustuv kasutuselevõtmine on ühtlasi aluseks säästva arengu põhimõtete juurdumisel ühiskonnas.

### **KirjandusReferences**

1. Database on environmental taxes (2001).  
<http://europa.eu.int/comm/environment/enveco>.
2. Energiabilanss 1996–2002 (1997–2003) Eesti Statistikaamet. Tallinn.
3. Kallaste, T. (2001) Eesti kui ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooni liikmesriik. Säästva Eesti Instituut. Tallinn: 119.
4. Kallaste, T. (Project Co-ordinator) (2002) Pakri Peninsula Wind Farm (Estonia) as a Climate Change Mitigation Pilot Project in the Frame of Joint Implementation. Feasibility Study. Estonian Institute for Sustainable Development. Stockholm Environment Institute Tallinn Centre (SEI-Tallinn). Tallinn: 153.
5. Lamp, H. (2004) Pakri tuulepargi ehitus võib alata. Eesti Energia Nädal 18: 2.
6. Laur, A., Tenno, K. (2003) Elektri tootmishinna analüüs ja prognoos Eestis. Neljanda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 120–128.
7. Tiit, V. (2003) Taastuvatele energiaallikatele pühendatud konverentsid Eesti säästva arengu teenistuses. Elektriala 1: 18–19.

# THE BIGGEST ESTONIAN WIND FARM AT THE PAKRI PENINSULA

*Tiit Kallaste<sup>1</sup>, Enn Kareda<sup>1</sup>, Anton Laur<sup>2</sup> and Koidu Tenno<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Estonian Institute for Sustainable Development  
e-mail: tiit@seit.ee, enn@seit.ee

<sup>2</sup>Estonian Institute of Economics at Tallinn University of Technology  
e-mail: antonl@tami.ee, koidut@tami.ee

## **Abstract**

The paper gives an overview of using one of the most prospective renewable energy resources – wind energy – for producing electricity. The competitiveness of wind energy is discussed, taking into account the environmental damage caused by CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuel combustion as the main component of the external costs. The paper is based on the cost-efficiency analysis carried out by SEI-Tallinn for the Overseas Environmental Cooperation Center, the Japanese Ministry of Environment. The main concern of the Japanese side was the possibility of initiating a joint implementation project for the climate change mitigation with the purpose of establishing a large-scale wind farm and at the same time start greenhouse gas trading. The authors have explained the joint implementation mechanism defined in the Kyoto Protocol, which enables to use the financial resources of the donor countries, giving in return the avoided CO<sub>2</sub> tons. The joint implementation has a positive influence on the financing conditions of the wind farm. The establishing of the first large wind farm (with 18 MW capacity) in Estonia, at the farthest end of Pakri Peninsula is also briefly described (the wind farm will start working at the end of 2004).

# MTÜ EESTI VESKIVARAMU

*Mae Juske, Anto Juske ja Katrin Poell*

MTÜ Eesti Veskiaramu, Hellenurme, 67502 Palupera vald, Valgamaa  
e-post: maeveski@hot.ee

## **Annotatsioon**

MTÜ Eesti Veskiaramu asutamisele andis algtõuke veskite kui ajalooliste jahvatuskohtade põhitegevuse hääbumine 1990. aastate keskpaigas (odav välismaine jahu kaubanduses). Viimase löögi jahuveskite funktsioneerimisele Eestis andis 2002. 1. jaanuaril kehtima hakanud toiduseadus, mille tõttu olid sunnitud tegevuse lõpetama viimased, niigi alakoormatud veskid. Loodud MTÜ peab oma põhikirjaliseks eesmärgiks aidata kaasa Eesti ajalooliste veskite ja veskikohtadega seonduva kultuuri- ning arhitektuuripärandi teadvustamisele ja säilitamisele, veskikohtade, -hoonete, ning -seadmete säilitamisele, taastamisele ja alternatiivsele kasutuselevõtule.

VESIVESKI, ÜHING, TEHNIKA AJALUGU, RESTAUREERIMINE, TURISM

## **Veskite roll ühiskonnas**

Teravilja töötlemine veskites inimeste ja loomade toiduks vajab palju energiat. Aastasade vältel oli võimalik abijõudu saada vaid voolavast veest ja tuulest. Tehnika arengu tõttu on olukord palju muutunud ja paljude väikeste veskite osa majanduses on kahanenud. Ajalooliselt on Eestis asunud veskid ka tehnika mälestusmärgid ja tööstuse hällid. Siit said tuult tiibadesse paljude meeste insenerimõtted. Eesti veskitel on ka suur kultuurilooline tähtsus. Veskitel oli vanemal ajal teatud osa ka suhtlemises, sest seal kohtused ümbruskonna inimesed, kes muidu just sageli kokku ei saanud. Veskipaisud rikastavad loodust ja loovad puhevõimalusi. 1919. aastal oli Eestis 2393 jahuveskit, nendest 225 töötas auru, 628 vee ja 1540 tuule jõul. 1940. aastaks oli Eesti Rahvusliku Jõukomitee küsitluslehtede andmete alusel Eestis 759 vesiveskit (sh 4 suurt vabrikut) (Juske, 2002). Keskkonnakaitse nõudeid arvestav veskiveskite kasutamine elektrienergia tootmiseks võimaldab jätkata esivanemate tööd kaasaegsel kujul.

## **Eesti veskiühingud enne II maailmasõda**

Järgnevalt lühikroonika Eesti veskiühingutest. Kavatsused organiseerida veskipidajaid oma huvide kaitse korraldamisel üleriiklikuks ühinguks Eestis kerkisid üles 1936. aasta lõpul. Üleriikliku Veskipidajate Ühingu põhikiri registreeriti 28. novembril 1936 ja ühingu peakoosolek toimus 24. jaanuaril 1937 Tartus, sellest võttis osa ning astus ühingu liikmeks 78 veskipidajat. Lisaks kinnitati koosoleku poolt ühingu liikmeks 157 veskipidajat, kes selleks kirjalikult soovi olid avaldanud.

Üleriikliku Veskipidajate Ühingu ajakiri Eesti Veski ilmus 1938 (neli numbrit), 1939 (neli numbrit), 1940 (1 number). Tellimishind oli 2 krooni aastas, üksiknumber maksis 60 senti.

3. märtsil 1940. a peeti Tartus veel üks ühingu peakoosolek ja seoses mõni kuu hiljem alanud okupatsiooniga ühingu tegevus katkes.

I üleriiklik veskipidajate ja möldrite päev toimus Tartus 31. juulil ja 1. augustil 1937, sellest võttis osa 101 veskipidajat ning möldrit. II üleriiklik veskipidajate päev toimus Viljandis 30. ja 31. juulil 1938, sellest võttis osa 104 veskipidajat. III üleriiklik veskipidajate päev toimus Rakveres ja Kundas 5. ja 6. augustil 1939. Järgnevatel aastatel taolisi üritusi ei korraldatud.

## **Uus algus**

Seoses suurenenud tähelepanuga loodushoidlikule eluviisile ja huvi kasvuga majandusajaloo vastu on vesiveskid ja tuulikud tõusnud jälle avalikkuse huviorbiiti. Veskiomanikud ja veskite huvilised on uuesti koondumas, et vahetada kogemusi ning levitada informatsiooni oma tegevuse sisu ja eesmärkide kohta.

23. septembril 1994 organiseerisid Anto Juske ja Ain Erik Põlva maakonnas Kiidjärvel Kiidjärve vesiveski 80. aastapäeva tähistamiseks IV Eesti veskipäeva. Kohal oli 72 inimest. Kavas oli ka Eesti Veskiühingu asutamine, millest aga siis asja ei saanud.

2003. a 20. septembril toimus Hellenurme vesiveskis MTÜ Eesti Veskivaramu asutamiskoosolek. Kohale saabus üle 50 inimese. Veskivaramuga liitujaid oli 30. 17. veebruaril 2004 registreeriti MTÜ Eesti Veskivaramu kehtiva korra kohaselt. Uus ühing loeb ennast jätkuks ennesõjaaegsele veskiühingule. Põhikirja järgi on MTÜ Eesti Veskivaramu eesmärgiks kaasa aidata

- Eesti ajalooliste veskite ja veskikohtadega seonduva kultuuri- ning arhitektuuri-pärandi teadvustamisele ja säilimisele,
- veskikohtade, -hoonete ja -seadmete säilitamisele ning taastamisele,
- alternatiivsele kasutuselevõtule.

Veskiühingu V kokkutulek toimus 1. augustil 2004 Kunda Linnuse veskikompleksis ja ühtlasi viidi seal läbi MTÜ Eesti Veskivaramu üldkoosolek. Kohale saabus 49 huvilist, sh 26 registreerunud liiget ja 9 uut ühinguga liitujat. Päeva lõppedes allkirjastati pöördumine Riigikogu keskkonnakomisjonile ja Keskkonnaministeeriumile vee-seaduse § 52 muutmiseks.

Rahvusvahelise veskiorganisatsiooni *The International Molinological Society* (TIMS) liikmed, sh juhtivamad veskimeistrid, -restaureerijad ja -uurijad, külastasid Eestit 2003. a augustis. Selle ühingu ajakiri ilmub alates 1994. a detsembrist kaks korda aastas. Rohkem informatsiooni leiab TIMS-i koduleheküljelt (*The International ...*, 2004). Eesti Veskivaramul on plaanis arendada kontakte ja koostööd TIMS-iga.

Mitmekülgset informatsiooni selle valdkonna kohta leiab MTÜ Eesti Veskivaramu koduleheküljelt (MTÜ Eesti ..., 2004).

## **Veskipilte Eestist**

Veskitel oli ja on väga tähtis koht majanduses, sest seal toimub vilja töötlemine jahuks, tangudeks jms. Praeguseks ajaks on säilinud palju vesiveskeid. Alljärgnevalt mõned veskite vaated.

- Palamuse vesiveski Jõgevamaal on ehitatud 19. sajandi lõpus. Töötab elektriga, jahvatades vilja veel kahel päeval nädalas (joonis 1).

- Hellenurme vesiveski Elva jõel Valgamaal pärineb aastast 1880. Töötab vee jõul; viljaterade jahuks, mannaks, tanguks valmistamise protsessi saab jälgida algusest lõpuni (joonis 2) (OÜ Hellenurme, 2004).
- Tõravere vesiveski Elva jõel Tartumaal. Esmamainitud aastal 1582 (joonis 3).
- Kuusiku Altveski Vigala jõel Raplemaal pärineb 17. sajandist. 19. sajandi algul töötas saeveski, tärklisevabrik ja vaseveski. Viljaveski hävis põlengus 1966. Ei tööta (joonis 4).

Veejõu kasutamist Jägala jõel illustreerib kaart joonisel 5. Vanad vesiveskid, 1796. aastal kokku 11, on näidatud kollaste ringidega. Uued hüdroelektrijaamad, Linnamäe HEJ, 10. dets 2002, 1 MW; Vetla 80 kW; Kaunissaare, 16. sept 2003, 225 kW, on märgitud punaste nooltega.



*Joonis 1. Palamuse vesiveski*  
*Figure 1. Water-mill at Palamuse*



*Joonis 2. Hellenurme vesiveski*  
*Figure 2. Water-mill at Hellenurme*

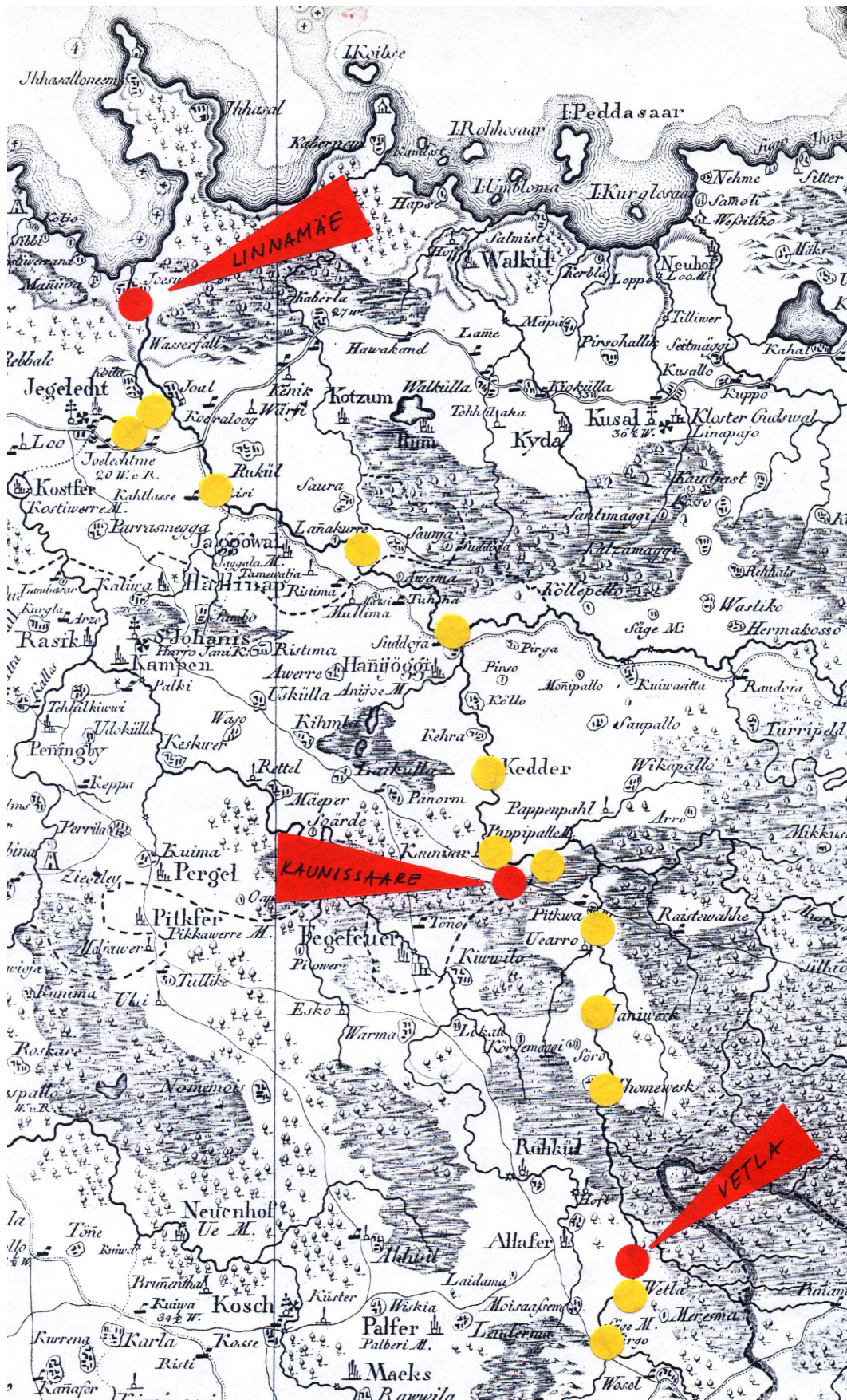


*Joonis 3. Tõravere vesiveski*  
*Figure 3. Water-mill at Tõravere*



*Joonis 4. Kuusiku Altveski vesiveski*  
*Figure 4. Water-mill at Kuusiku Altveski*





Joonis 5. Vesiveskid Jägala jõel  
 Figure 5. Water-mills on the river Jägala

## **Kokkuvõte**

Vesiveskid – need on tehnika mälestusmärgid. Piltlikult väljendades kiikus vesiveskites meie tööstuse häll. Siit said tuult tiibadesse paljude meeste insenerimõtted. Vesiveskidel on suur ajalooline ja kultuurilooline tähtsus. Veskipaisud õhustavad vett, ilmestavad loodust. Meie maastikupildis nii tuttavad vesiveskid väärivad mälestust ka sõnas ja pildis.

## **KirjandusReferences**

1. Juske, A. (2002) Kui palju on Eestis vesiveskeid? Eesti Maaparandus- ja Veeühistute Keskliit. Toimetised. Tallinn: 73–77.
2. Juske, A. (1993) Vesiveskid. Tallinn: 221.
3. Ajakiri “Eesti Veski” 1938–1940. a.
4. The International Molinological Society (2004) [www.timsmills.info](http://www.timsmills.info).
5. MTÜ Eesti Veskevaramu kodulehekülg (2004) [www.zone.ee/veskevaramu](http://www.zone.ee/veskevaramu).
6. OÜ Hellenurme Veski kodulehekülg (2004) [www.hot.ee/hellenurmeveski](http://www.hot.ee/hellenurmeveski).

## **NPO EESTI VESKIVARAMU**

*Mae Juske, Anto Juske and Katrin Poell*

NPO Eesti Veskevaramu, e-mail: [maeveski@hot.ee](mailto:maeveski@hot.ee)

## **Abstract**

NPO Eesti Veskevaramu continues the tradition of the mill union that was broken in 1940 due to occupation by the Soviet Union. Veskevaramu concentrates the owners and stakeholders of mills and small hydro stations.

The initial trigger in the founding of the NPO Eesti Veskevaramu was the vanishing of the main activities of mills as historical grinding places in the mid 90s (cheap imported flour in trade). The last blow to the functioning of flourmills in Estonia was the Food Act that took effect on January 1, 2002, due to which even the last under-utilised mills had to close down. The statutory goal of the founded NPO is to help raise awareness and preserve the cultural and architectural heritage of the Estonian historical mills and mill sites, to preserve, restore and take into alternative use the old mill sites, buildings and equipment. The main fields of activities today can be tourism at the mill sites and producing hydroelectric power.

Watermills – they are monuments of technology. Figuratively speaking, the crib of our industry was born in the watermills. The engineering ideas of many men took off from this. Watermills have a great historical and cultural significance. Milldams aerate water and adorn the nature. Watermills that are so familiar in our scenery deserve to be remembered in words and pictures.



# BIOENERGIA RESSURSSIDEST EESTI METSA- JA PÕLLUMAJANDUSES

*Margot Mäesaar ja Jaan Kivistik*

Eesti Põllumajandusülikool, Kreutzwaldi 64, 51014 Tartu  
e-post: margot.maesaar@mkm.ee, jaank@eau.ee

## **Annotatsioon**

Inimkonna heaolu sõltub üha enam energiaallikatest ja nende kättesaadavusest. Kogu maailma energiatootmine on jõudnud valikupiirini: ökoloogiliste tasakaalude nihkumine tingib vajaduse muuta energiatootmise ja selleks kasutatavate materjalide struktuuri. Inimese rahulikku olemist on häirimas fossiilsete kütuste pöördumatu vähenemine ja nende kütuste kasutamisega kaasnevad keskkonnaprobleemid. Säästlik energiamajandus saab põhineda taastuvenergiail. Taastuvenergia liikidest on suurima potentsiaaliga päikeseenergiail põhinev bioenergia. Kui Eestis on bioenergiale pööratud tähelepanu peamiselt kui puitkütusele, siis käesolevas artiklis püütakse näidata lisaks neid võimalusi, mida võib pakkuda põllumajandus energiamajanduses, tootes rapsi ja rüpsi või kasutades põhku kütteks.

## **BIOENERGIA, BIOMASS, BOKÜTUS, RAPS**

### **Biokütus päevakorral Euroopa Liidus**

Tegelikke biokütuste tootjaid on Euroopa Liidus praegu vaid kuus riiki. Austria ja Prantsusmaa on kõige aktiivsemad. Austria oli esimene, kes kinnitas bioenergia programmi, esimeste seas alustas ta biodiislikütuse tööstuslikku tootmist.

Euroopa Komisjoni arvates mõjutab biokütuste läbimurret kolm tegurit:

- toodetava biomassi vorm ja tootmise kasutegur (ühe hektari rapsiseemnete töötlemisel biodiislikütuseks saadakse energiat 1 toe, hektari suhkrupeedi töötlemisel biokütuseks 5,6 toe);
- tootmise ökonoomsus ja kõrvalsaadused (sekundaarne biomass, nt rapsikook);
- tehnoloogia areng (Kikkas, 2003).

Euroopa Parlament ja Euroopa Liidu Nõukogu võtsid 8. mail 2003 vastu direktiivi 2003/30/EC bio- ja muude taastuvate kütuste transpordis kasutamise edendamiseks. Nimetatud direktiiviga määratleti mitu olulist mõistet: biokütus, biomass ja mitmesugused biokütuse liigid ning biokütuse kohustuslik osakaal tarbitavas transpordikütuses.

Biokütuseks loetakse biomassist toodetud vedelat või gaasilist transpordis kasutatavat kütust. Biomass on põllumajanduse (nii loomset kui taimset päritolu) ja metsanduse ning nendega seotud töötleva tööstuse saaduste, kõrvalsaaduste ja jääkide orgaaniline osa, samuti tööstus- ja munitsipaaljäätmete orgaaniline osa.

Biokütuste liike on 10:

- **bioetanool** – biomassist ja/või jäätmete orgaanilisest osast toodetud etanool;

- **biodiislikütus** – taimsest või loomsest õlist toodetud diislikütuse kvaliteediga metüülester;
- **biogaas** – puugaas või biomassist (ka jäätmete orgaanilisest osast) toodetud vedelgaas, mille puhtus vastab maagaasi kvaliteedile;
- **biometanool** – biomassist toodetud metanool;
- **biodimetüüleeter** – biomassist toodetud dimetüüleeter;
- **bio-ETBE** – bioetanooli baasil toodetud etüültertsiaarbutüüleeter. Biokütuse sisalduse määraks ETBE-s loetakse 47%;
- **bio-MTBE** – biometanooli baasil toodetud metüültertsiaarbutüüleeter. Biokütuse sisalduse määraks MTBE-s loetakse 36%;
- **sünteeiline biokütus** – biomassist toodetud sünteetilised süsivesinikud või nende segud;
- **biovesinik** – biomassist ja/või jäätmete orgaanilisest osast toodetud vesinik;
- **puhas taimeõli** – õlikultuuridest pressitud, ekstraheeritud või muul viisil saadud keemiliselt modifitseerimata toor- või rafineeritud õli (Kikkas, 2003).

Vaatamata keerukamale ja kallimale põletustehnoloogiale on biokütuste toetuseks rida eeliseid ja argumente, mis kaaluvad üles kõik vastuargumendid. Olulisemad neist on järgmised:

- biomassi kasutamine on peaaegu CO<sub>2</sub>-neutraalne, järelikult vaba ka CO<sub>2</sub> maksust,
- biokütus on põhiliselt kodumaine taastuv ressurss, mis vähendab sõltuvust energia- kandjate impordist ning suurendab riigi varustuskindlust,
- biokütus on suur potentsiaal töökohtade tekitamisel, põhiliselt põllumajanduses ja metsanduses ning väikestes ja keskmistes ettevõtetes,
- taastuenergia kasutamise tehnoloogiad Euroopas loovad paljulubavaid ärivõimalusi, sest energiatarbimine maailmas kasvab pidevalt (umbes 2% aastas),
- paljudes tööstustes on biomass tootmisjääk ning selle kasutamine lahendab nii jäätmete utiliseerimise kui ka energiavarustuse probleemid,
- moraalne vastutus tulevaste põlvkondade ees, samuti inimeste ees, kes elavad maailma õli- ja gaasivarustavates riikides, sunnib tööstusmaid suunduma säästmisele,
- säästvat arengut ei saa pikemas perspektiivis rajada lõplikele loodusressurssidele. (Mets, 2000).

Eesti on astumas euroliidu arenenud riikide perre. Seetõttu peame biokütuste tootmise, kasutamise ja turustamise küsimustes arvestama Euroopa Liidu direktiive. Arvesse tuleb võtta, et Euroopa õigus on jagatud valdkondadeks ja iga valdkonna eest vastutab kindel ametkond, kes vastuvõetud otsused ellu rakendab.

Energeetikaprobleemid, mis suhteliselt lühikese aja jooksul (2004. a 31. detsembriks) tuleb lahendada, on piisavalt keerukad. Lahendatavas võrrandis on seni meile veel palju tundmatuid. Kas olemasoleva metsarikkuse ja kasutamata põllumaaga Eesti peaks ise tootma maksimaalselt kodumaist biokütust? Kuivõrd otstarbekas on jätkata põlevkivienergeetikat, kui keemia võiks anda paremaid tulemusi? Kas on otstarbekas importida kivisütt, naftasaadusi ja gaasi seni väljakujunenud kogustes? Kui suur peaks olema kodumaise primaarenergia ressursi osakaal? Kui palju peaks sellest olema taastuenergia ja sellest omakorda bioenergia? Mis vormis ja suurusel peaks riik bioenergia ja teiste taastuenergia liikide tootmist toetama?

Eelloetletud küsimustele põhjendatud vastuste leidmiseks on vaja täiendavaid uurimusi ja võrdlemiseks hulgaliselt arvandmeid. Taastuvenergia, sealhulgas bioenergia arenguks on vaja mitmeid poliitilisi otsuseid.

Seadustada tuleb biokütused nii maksuseaduste seisukohalt, statistiliselt kui ka oma omadustelt. Mida see tähendab? Seni ei ole meie seadustes transpordis kasutatava vedela biokütuse mõistetki. Seetõttu ei ole võimalik biokütuseid naftakütustest erineva aktsiisiga maksustada, analüüsida statistiliselt nende käivet ega ka tagada kvaliteedinõudeid turustamisel. Selleks on vaja täiustada mitut õigusakti.

Saamaks prognoosi, kui palju meil selliseid kütuseid tulevikus tarbitakse, imporditakse, eksporditakse või ka toodetakse, peavad pädevad ametkonnad koguma selle kohta statistilisi andmeid. Siit tuleb vajadus täiendada statistiliste andmete loetelu. Riik peab energiatootmise valdkonnas selgelt välja ütleva oma strateegilise arengu perspektiivi, pidades silmas Eesti keskkonnaseisundit tervikuna, Euroopa Liidu seadusandlust ja arengusuundi, samuti ÜRO kliimakonventsiooni ning Eesti poolt 03.09.2002. ratifitseeritud Kyoto protokolliga seatud sihtarve. Kyoto protokolliga määratakse konventsiooni liikmesriikide poolt vabatahtlikult võetud kohustused kasvuhuonegaaside emissiooni vähendamiseks ehk nn Kyoto sihtarv (*Kyoto target*) ning kirjeldatakse mehhanisme, mille abil on neid eesmärke riikidevahelises kliima-alases koostöös võimalik saavutada. Alles pärast seda, kui leitakse, et Eestis biokütust tasub toota, millega biokütused on sümboolselt legaliseeritud, saab konkreetse suuremahulise tootmisega alustada.

### **Biokütus metsast**

Eesti energiamajanduses kõige enam kasutamist leidnud taimse biokütuse liigiks on puitkütused ja seda põhiliselt soojuse tootmisel. Küttepuit on olnud traditsioonilisel kohal eelkõige kodumajapidamistes nii maa- kui ka linnaelanikel. Küttepuit koos turbaga moodustas 2002. aastal energia koguessursist 13,6%, kuid kodumaise primaarenergia ressursidest 20,8% (Energiabilanss, 2003). Viimastel aastatel on hakanud levima hakkpuidu kasutamine suuremates katlamajades. Tartus kasutab hakkpuitu Tamme Soojus. Puidujäätmetega katab Türi linn kogu soojusenergia vajaduse (Rosenvald, 1999). Analoogiline tulemus saavutati ka Otepääl hakkpuidu küttele rekonstrueeritud täisautomaatse katlamajaga.

Eestis on hakatud kasutama ka puidupelletteid (kabulaid). Kõige tavalisem ja levinum tooraine puidupelletite valmistamiseks on saepuru, kuigi pelletite valmistamise tooraineks võib olla ka puukoor. Samas aitab saepuru ulatuslik kasutamine omakorda lahendada puidu töötlemisel tekkivate jäätmete utiliseerimise probleemi.

Puidu kasutamisel biokütusena on Eestis kahtlemata veel suuri reserve. Eesti on Euroopa 35 riigi seas metsaaladelt 20. kohal, puiduressursside järgi 19. kohal ja varadelt ühe hektari kohta 15. kohal. Samas on Euroopas ainult viiel riigil suurem metsamaa pindala kui Eestil. Neist kolmel riigil – Soomel, Rootsil, Norral – on rohkem metsamaad ühe inimese kohta ning vaid Soomel ja Rootsil on puiduvarusid inimese kohta rohkem kui Eestil.

Puidust ja puidujäätmetest on hakatud valmistama puusütt, mis on kasutatav toormeks metallurgias, ränikristallide tootmisel elektroonikatööstuses ning paljudes muudes valdkondades.

Energia saamiseks üha uute võimaluse otsimisel leiti kaheksakümnendate aastate algul Rootsis, et pajuvõsast tehtud hakkpuit on kiiresti taastuv ja odav küttematerjal. Meie kliimas sobivad energiavõsa kasvatamiseks paju ja hall lepp, võimalik, et mõned teisedki puuliigid.

Energiavõsa kasvatamise, kasutamise ja majandusliku efektiivsuse uurimiseks on tehtud uurimistöid Euroopa mitmes riigis. Kõige põhjalikumad ja laiaulatuslikumad on need olnud Rootsis, kus energiavõsa (põhiliselt paju) kasvatatakse maa lõunaosas 17 000 hektaril. Energiavõsa kasvandusi on rajatud Ameerika Ühendriikides, samuti Hollandis, Suurbritannias, Saksamaal jt Euroopa riikides. Eestis alustati koostöös Rootsi Põllumajandusülikooli teadlastega energiavõsa teadusliku uurimisprojektiga 1993. aastal, eesmärgiga uurida paju kasvatamise perspektiive ja majanduslikku efektiivsust Eestis. Programmi raames rajati kokku seitse pajuvõsa istandust kogupindalaga kaks hektarit (Heinsoo jt, 2001).

Võib tõdeda, et puidu kasutamisel Eestis bioküttena on suur tulevik. Eelkõige tuleks hakata kütteks kasutama raiejääke, mis senini jäävad suures osas maha, risustades raiesmikke.

### **Biokütus põllumajandusest**

Tulevikus tuleks erilist tähelepanu pöörata bioenergia sellele osale, mida võimaldab pakkuda põllumajandus. Eestis on üle 400 000 hektari mahajäetud söötis põllumaid, mida maaomanikud ei suuda enam harida või puudub selleks motivatsioon. Riigi tasemel tuleks luua sellised majanduslikud raamtingimused, et põllumajanduses tasuks toota rapsi biokütuseks. Üheks biokütuse tootmise võimaluseks sobiks Eestis rüpsi ja rapsi kasvatamine õli tootmiseks ning sellest mootorikütuse valmistamiseks või vahetuks kasutamiseks, milleni on edukalt jõutud Saksamaal (Pilz jt, 2002).

Eeldused rapsi kasvupinna laiendamiseks on olemas. Eriti edukalt on Eestis arenenud suvirapsi kasvatus, mille kasvupindala oli 24 147 hektarit juba aastal 1999 ja kogusaak 29 759 tonni (Merdikes ja Kivistik, 2002). Aastal 2002 suurenes suvirapsi kasvupindala 31 592 hektarile ja kogusaak 61 427 tonnile. Taliraps ei ole osutunud püsivalt talvekindlaks, mistõttu kasvupindala on võrreldes suvirapsiga tagasihoidlik – aastal 2002 ainult 1263 hektarit. Rapsikasvatuse laiendamine kindlustaks täiendava töö ja sissetuleku talunikele. Seemnetest õli pressimine ja sellest kütuse valmistamine annaks täiendavat tööd põllumajandustoodangut ümbertöötavale tööstusele. Pidades silmas rapsi- ja rüpsiseemnete kompleksset töötlemist, pressimise jääkide kasutamist loomastõudaks või jõusööda valmistamisel ja kõrvalproduktide kasutamist farmaatsiatööstuses, võib sellest kujuneda üks tasuvamaid tootmisharusid. Alahinnata ei tohiks ka maaelanikkonna tööhõive võimalikku tõusu.

Bioenergia tootmisressurssidena põllumajanduses tuleksid kõne alla ka põhk ja hein, kuid energiaheina kasvatamine ja kasutamine on meil väheuuritud valdkond. Energiaheina all mõistame energeetilistel eesmärkidel, s.t kütuseks toodetavat heina. Kõnealusteks liikideks Eesti tingimustes on pakutud päideroogu, roog-aruheina ja ida-

kitsehernest e galeegat (Hovi jt, 2001). Erinevalt fossiilsetest kütustest on energiaheina süsihappegaas neutraalne. Kui võrrelda energiaheina energiavõtsaga, on tema eeliseks see, et energiaheina põlde saab vajadusel kohe kasutusele võtta teiste kultuuride kasvatamiseks. Rõhutada tuleks veel seda, et huvi energia tootmise ehk “kasvatamise” vastu põllul ei lähtu ainult energia saamise vajadusest, vaid alternatiivse maakasutuse ja keskkonnaprobleemide aktuaalsusest nii Eestis kui ka mujal.

Ka põhk on tänapäeval arvestatav kütus, millega on siiski seotud mõned probleemid, näiteks suur maht, mis teeb ladustamise ja transpordi kalliks. Samas on põhu kütteväärtus üllatavalt kõrge. Kütteväärtus ilma vee ja tuhata on põlevkivil 11,3 MJ/kg, põhul aga 14–15 (Reino, 1994). Vahetult pärast koristamist on põhk tihti niiske, selle kütteväärtus on kuivast põhust madalam. Samuti on niiske põhu säilivus halvem. Neid puudusi saab vähendada, kui töödelda põhk brikettideks või graanuliteks. 3 miljonit tonni põhku võib asendada 1 miljoni tonni kütteõli, vähendades nii 3,25 tonni CO<sub>2</sub> õhkupaiskamist. Seega võime öelda, et põhk on kütteinena väga keskkonnasõbralik (Reino, 1994).

Põhu kasutamisel küttena on häid üksiknäiteid, mida selgitas taastuvate energiaallikate uurimise ja kasutamise kolmandast konverentsist osavõtnu Claus Mahrt-Thomsen. Tema 80 hektari suurune talumajapidamine Saksamaal Schleswig-Holsteini liidumaal on kasutanud üle kahekümne aasta elamu kütmiseks ja teravilja kuivatamiseks põhku. Ligikaudsed arvutused näitasid, et nii on säästetud üle poole miljoni liitri vedelkütust. Kui Eesti jääb aktiivse põllumajandusega maaks, kus viljakasvatus on tähtsal kohal, siis võiks ülearust põhku edukalt kasutada puiduhakke kõrval maa-asulates kütusena, vähendades niimoodi sõltuvust kütuseimpordist ja parandades kohalikku soojavarustust. See aitaks pisut kaasa ka Eesti riigi energeetika üldise olukorra paranemisele. Põllumeestele võiks huvi pakkuda asjaolu, et 2005. aastast on Euroopa Liidul ühise põllumajanduspoliitika reformi raames plaan kehtestada uus toetusliik: energia-kultuuride pindalatoetus. Toetus hektari kohta peaks tulema 45 eurot. Eestis makstakse sellest 2005. a vastavalt liitumisläbirääkimistel kokkulepitule 60%. Toetuse taotleja peab olema sõlminud lepingu biokütust tootva ettevõttega. Selle toetuse andmise üksikasjalikud tingimused – toetavate kultuuride nimekiri, maksimaalne pindala liikmesriigis jms – selguvad tänava sügisel (Kikkas, 2003).

## **Kokkuvõte**

Eesti on metsa näol varustatud tohutu bioenergiaressursiga. Tulevikus tuleks erilist tähelepanu pöörata bioenergia sellele osale, mida Eesti metsa kõrval saab pakkuda põllumajandus. Eestis oli 2003. aastal üle 400 000 hektari kasutamata põllumaad, mida maaomanikud ei suuda või ei taha olemasolevates majanduslikes tingimustes enam harida. On ülim aeg mõista, et bioenergiale kuulub tulevik. Biomassi tootmine põllumajanduses kujutab endast energiakandjat kohapeal ja kohapealseks kasutamiseks.

Bioenergia tootmine agraaruumis vajab riigi poolt majanduslike, ökoloogiliste, energia-, agraar- ja regionaalpoliitiliste küsimuste lahendamist. Lisaks nõuab bioenergiaressursi rakendamine sügavat uurimistööd ja ulatuslikke investeeringuid, mille saamine sõltub peamiselt arendustegevuse edukusest, välisinvesteeringute kaasamisest ja riigi enda poolt seatud energeetika arendamise prioriteetidest.

## KirjandusReferences

1. Energiabilanss 2002 (2003) Statistikaamet. Tallinn: 42.
2. Heinsoo, K., Sild, E. ja Koppel, A. (2001) Pajuistandused energiaallikana ja vegetatsioonifiltrina. Teise konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 32–38.
3. Hovi, M., Hovi, K., Jürjenson, K. (2001) Hein kütusena. Teise konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 127–128.
4. Kikkas, E. (2003) Biokütused on tulekul. Maamajandus 10: 30–32.
5. Merdikes, M. ja Kivistik, J. (2002) Taastuenergia kasutamise vajadustest ja -võimalustest Eestis. Kolmanda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 84–90.
6. Mets, Ü. (2000) Biokütused Euroopas. Esimese konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 103–112.
7. Mäesaar, M. (2003) Bioenergia kasutusvõimalusi Eestis. Bakalaureusetöö. Tartu: 54.
8. Mölder, L. (2003) Biodiislikütus – kas lootus või tülikas kohustus? Maamajandus 11: 25–27.
9. Pilz, H.-D., Thomas, S., Zeilinger, J. (2002) Koostootmisseadme abil rapsiõlist soojuse ja elektrienergia saamine autopesulas. Kolmanda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 63–64.
10. Reino, A. (1994) Ka põhust võib saada sooja. Maaleht 45: 10–11: 27.
11. Rosenvald, A. (1999) Puukütteil on suur tulevik. Maaleht 41: 18.
12. [http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft\\_roads/documents/page/dft\\_roads\\_028406.pdf](http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft_roads/documents/page/dft_roads_028406.pdf).



# BIOENERGY RESOURCES IN ESTONIAN FORESTRY AND AGRICULTURE

*Margot Mäesaar and Jaan Kivistik*

Estonian Agricultural University  
e-mail: margot.maesaar@mkm.ee , jaank@eau.ee

## **Abstract**

Estonia has enormous resources of bioenergy in forest supplies. In the future special attention should be given to the aspect of bioenergy, which is provided in addition to the forest by agriculture. In 2003 there were over 400,000 hectares of unused arable land in Estonia, which the landowners cannot or will not cultivate in the current economic conditions. It is high time to realize, that bioenergy is the way of the future. Producing biomass in agriculture is a local energy-carrier for local use.

Producing bioenergy in agrarian room needs the solving of economical, ecological, energy, agrarian and regional-political questions by the government. In addition, the implementation of bioenergy resources requires thorough research and wide investments, which depend primarily on the success of the development, involvement of foreign investments and priorities set by the state for energy development.



Virtsu Tuulepark

Foto: Raimo Pirksaar

*Keskmine 1 MW rajamismaksumus oli (2002) 823 000 eurot ja paremates tingimustes kujunes kW·h hinnaks 3,88 euro senti. Viimase viie aastaga langes kW·h hind 20%.*

*Toomas Frey*

*Selline keskkonnasõbralik energiaga varustamise viis on kõigi Euroopa riikide ja kogu maailma huvides.*

*Wolfhart von Stackelberg*

*Vesiveskitel on suur ajalooline ja kultuurilooline tähtsus. Veskipaisud õhustavad vett, ilmestavad loodust.*

*Mae Juske, Anto Juske ja Katrin Poell*

*Energiamajanduse seisukohalt tuleks piirkondliku arengu ühtlustamiseks energiatootmist hajutada ning parandada energiaressursside kasutamise struktuuri, eeskätt suurendada taastuvate ressursside osatähtsust ja arendada gaasivarustussüsteemi.*

*Anton Laur ja Koidu Tenno*