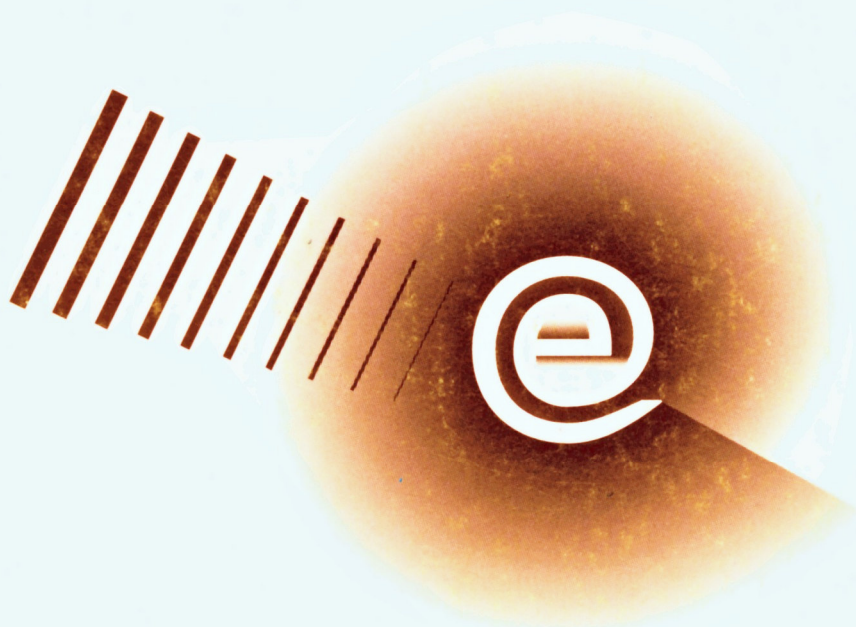


**TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE  
UURIMINE JA KASUTAMINE**

———— NELJANDA ————

**KONVERENTSI KOGUMIK**



**INVESTIGATION AND USAGE OF  
RENEWABLE ENERGY SOURCES**

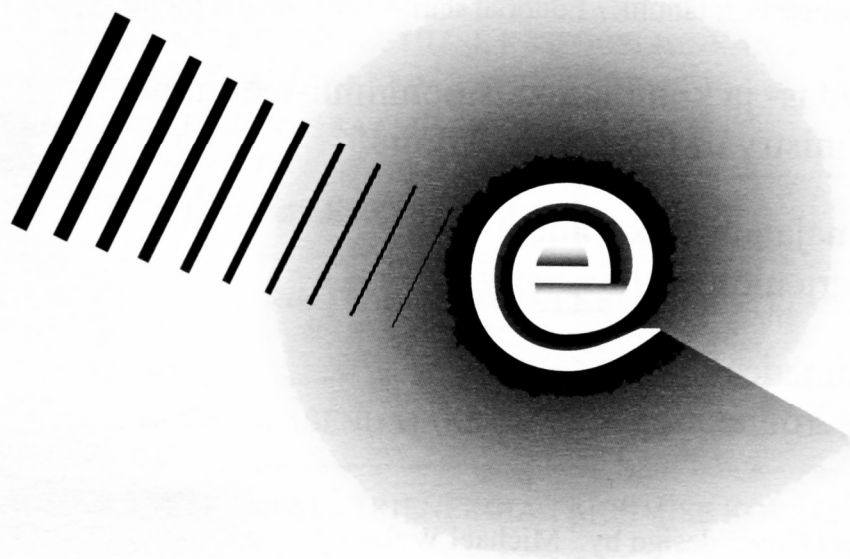
———— FOURTH ————

**CONFERENCE PROCEEDINGS**

**TARTU, ESTONIA 2003**

**TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE  
UURIMINE JA KASUTAMINE**

———— NELJANDA ————  
KONVERENTSI KOGUMIK



**INVESTIGATION AND USAGE OF  
RENEWABLE ENERGY SOURCES**

———— FOURTH ————  
CONFERENCE PROCEEDINGS

**TARTU, ESTONIA 2003**

Peatoimetaja / Editor-in-chief: Valdur Tiit

Toimetajad / Compiled by: Sirli Lember  
Tiina Kivisäkk  
Silvi Seesmaa

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

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

SA-le Archimedes  
Archimedes Foundation

Kaanekujundus / Cover design by: Michael Walsh

Trükitud: OÜ Paar  
Printed by: Paar Ltd

Kirjastaja: OÜ Halo Kirjastus  
Publisher: Halo Kirjastus Ltd

© 2003 Valdur Tiit

All Rights Reserved

ISBN 978-9949-426-37-9 (PDF)  
ISBN 978-9985-9483-2-3 (trükis)

## SISUKORD

SAMM EDASI TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE KASUTAMISEL	
Valdur Tiit .....	7
BIOMASSI BAASIL KOOSTOOTMINE – PROBLEEMID JA VÕIMALUSED	
Sulev Soosaar ja Villu Vares .....	9
TÖÖSTUSJÄÄTMED ENERGIAALLIKANA	
Mihkel Koel ja Rein Kuusik .....	17
PUIDU, ORGAANILISTE JÄÄTMETE JA FOSSIILKÜTUSTE	
TERMOKEEMILINE KOOSVEDELDAJINE VEDELKÜTUSTE	
NING MUUDE KEEMILISTE ÜHENDITE SAAMISEKS	
Rein Veski .....	25
EESTI BIODÜTUSTE ENERGETILISE RESSURSI HINNANG	
Aadu Paist, Ülo Kask, Livia Kask ja Mariliis Sihtmäe .....	34
VEDELATE BIODÜTUSTE SAAMISE VÕIMALUSTEST	
Heino Rang ja Jüri Kann .....	45
PELETAV PELLET – KEELEMEESTE JAOKS	
Viio Aitsam .....	52
KÕRGTEHNOLOOGILINE TERRORISM JA	
ENERGIASÜSTEEMIDE ELUJÕUD	
Karl K. Rebane .....	56
MISPÄRAST JA MILLE ASEDAJAKS ON VAJA ALTERNATIIVI	
Taito Mikkonen .....	61
TUULE VÕIMSUSE JA ELEKTRIENERGIA TARBIMISE	
KORRELATSIOON EESTI LÄÄNERANNIKUL	
Teolan Tomson ja Ando Leppiman .....	64
VIRTUSU TUULEPARGI MAJANDUSLIKU TASUVUSE HINNANG	
Vello Selg .....	72
EESTI HÜDROELEKTRIAAMADE TAASSÜNNI ALGUS	
Voldemar Enno .....	79
HÜDROELEKTRIAAMADE JA VESIVESKITE	
TAASTAMISEST EESTIS	
Harald-Adam Velner ja Ants Saks .....	87
ÜLEVAADE RAHVUSVAHELISEST BAASJOONTE (BASE) PROJEKTIST	
Ülo Mets .....	93
EESTI PILLIROO RESSURSID JA PÕLEMISTEHNILISED PARAMEETRID	
Livia Kask ja Ülo Kask .....	105

<b>BIOKÜTUSEKATLA ÕHU-GAASIREŽIIMI MUUTMINE</b>	
<b>PULSEERIVA PÕLEMISÕHU ABIL</b>	
Vitali Borovikov, Toomas Tiikma ja Ants Veski .....	113
<b>ELEKTRI TOOTMISHINNA ANALÜÜS JA PROGNOOS EESTIS</b>	
Anton Laur ja Koidu Tenno .....	120
<b>PLASTJÄÄTMED – PALJUTÕOTAV LÄHTEMATERJAL</b>	
<b>TAASTUVVEDELKÜTUSTELE</b>	
Laine Tiikma, Natalja Prjadka ja Rein Veski .....	129
<b>EMPIIRILISTE TAGATUSNOMOGRAMMIDE KASUTAMISEST</b>	
<b>KLIIMA ENERGEETILISTE RESSURSSIDE HINDAMISEL</b>	
Tiina Tammets .....	136
<b>VEE-ENERGIA KASUTAMISE OTSTARBEKUS</b>	
<b>JA PERSPEKTIIVID EESTIS</b>	
Jaan Kivistik ja Priit Hinto .....	145
<b>SAARE MAAKONNA TAASTUVENERGIA RESSURSID</b>	
<b>JA NENDE KASUTAMISVÕIMALUSED</b>	
Merit Kindsigo .....	149
<b>TUULEGENERAATORI ABIL SAADAVA ENERGIA</b>	
<b>KOGUSE PROGNOOSIMINE</b>	
Tõnis Peets, Veli Palge, Andres Annuk ja Jaan Lepa .....	157
<b>FOSSIILSETE KÜTUSTE HINNAST SÄÄSTVAS ENERGEETIKAS</b>	
Tõnu Lausmaa .....	163

## CONTENTS

A STEP FORWARD IN THE UTILISATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES	
Valdur Tiit .....	8
BIOMASS BASED CHP - PROBLEMS AND OPPORTUNITIES	
Sulev Soosaar and Villu Vares .....	16
INDUSTRIAL WASTE AS A SOURCE OF ENERGY	
Mihkel Koel and Rein Kuusik .....	24
THERMOCHEMICAL CO-LIQUEFACTION OF WOOD, ORGANIC WASTE AND FOSSIL FUELS FOR THE PRODUCTION OF LIQUID FUELS AND OTHER CHEMICALS	
Rein Veski .....	33
ASSESSMENT OF THE ENERGY RESOURCE OF ESTONIAN BIOFUELS	
Aadu Paist, Ülo Kask, Livia Kask and Mariliis Sihtmäe .....	44
POSSIBILITIES TO OBTAIN LIQUID BIOFUELS	
Heino Rang and Jüri Kann .....	50
WOOD PELLET: WORD OR NIGHTMARE FOR ESTONIAN LINGUISTS	
Viio Aitsam .....	55
HIGH-TECH TERRORISM AND THE VIABILITY OF ENERGY SYSTEMS	
Karl K. Rebane .....	60
FOR WHAT REASON AND TO REPLACE WHAT DO WE NEED AN ALTERNATIVE	
Taito Mikkonen .....	63
CORRELATION OF WIND POWER AND POWER CONSUMPTION ON THE WEST-ESTONIAN COAST	
Teolan Tomson and Ando Leppiman .....	71
ECONOMIC EFFICIENCY ESTIMATE FOR VIRTUSU WIND PARK	
Vello Selg .....	78
THE BEGINNING OF REBIRTH OF ESTONIAN HYDROPOWER STATIONS	
Voldemar Enno .....	86
ON RECONSTRUCTING HYDROPOWER PLANTS AND WATERMILLS IN ESTONIA	
Harald-Adam Velner and Ants Saks .....	92
A REVIEW OF THE INTERNATIONAL BASELINES PROJECT (BASE)	
Ülo Mets .....	103

THE RESOURCES AND BURNING CHARACTERISTICS OF ESTONIAN REED Livia Kask and Ülo Kask .....	112
CHANGING OF COMBUSTION REGIME IN BIO-FUEL BOILER BY PULSATING OF SECONDARY AIR SUPPLY Vitali Borovikov, Toomas Tiikma and Ants Veski .....	119
ANALYSIS AND PROGNOSIS OF THE ELECTRICITY PRODUCTION PRICE IN ESTONIA Anton Laur and Koidu Tenno .....	128
PLASTIC WASTE – PPOMISING RAW MATERIAL FOR RENEWABLE LIQUID FUELS Laine Tiikma, Natalja Prjadka and Rein Veski .....	135
USE OF EMPIRICAL DISTRIBUTION NOMOGRAMS TO ESTIMATE CLIMATE ENERGETIC RESOURCES Tiina Tammets .....	144
RATIONALITY AND POTENTIAL FUTURE USE OF WATER ENERGY IN ESTONIA Jaan Kivistik and Priit Hinto .....	148
RENEWABLE ENERGY RESOURCES IN SAARE COUNTY AND THE POSSIBILITIES FOR THEIR UTILISATION Merit Kindsigo .....	156
PROGNOSIS OF THE ENERGY PRODUCED BY A WIND TURBINE Tõnis Peets, Veli Palge, Andres Annuk and Jaan Lepa .....	162
ABOUT FOSSIL FUEL PRICE IN SUSTAINABLE ENERGY Tõnu Lausmaa .....	168

# SAMM EDASI TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE KASUTAMISEL

*Valdur Tiit*

Eesti Põllumajandusülikool, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu, e-post: vtiiit@eau.ee

Neljas taastuvate energiaallikate uurimisele ja kasutamisele pühendatud konverents, TEUK–IV, toimus 7. novembril 2002. a Tartus Eesti Põllumajandusülikooli aulas. Sellest võttis osa 185 inimest üle kogu Eesti. Konverentsil esitati 31 ettekannet, millest enamik on trükitud käesolevas kogumikus.

Konverents andis hea ülevaate töödest, mida Eestis on tehtud ja tehakse tuule- ning vee-energia rakendamisel elektrienergia saamiseks. Samuti käsitleti biomassi ja jäätmete energeetilise kasutamise võimalusi. Huvitav oli ka ettekanne päikeseenergia kasutamisest elamu kütmisel.

Konverentsil rõhutati, et Eestis on vaja pöörata enam tähelepanu taastuvate energiaallikate kasutamisele ja teha sel eesmärgil mitmekülgseid uuringuid ning pilootprojekte. Arvestades suurte looduslike taastuvate ressursside olemasolu ning üldisi suundumusi Euroopa energeetikas, oleks loomulik, et see valdkond tunnistataks Eesti teadus- ja arendustegevuses üheks prioriteediks. Paljude inimeste ja asutuste eelnenud tubli tööga on selleks loodud hea alus.

Konverentsil põhjendati vajadust püüda vaadata energeetika arendamisel kaugemale ette, aastakümnete ja isegi sajandi kaugusele. Sellisel moel saaks lühemaajalised konkreetsed kavad harmoniseerida hästi läbimõeldud pikaajalise tegevusplaaniga. Samas tunnistati, et teatud määral on ka Eestis taoline tegevus toimumas ja seetõttu võib lootusrikkalt vaadata tulevikku.

Kahjuks tuli ka nentida, et võrreldes mitmete teiste riikidega pole meie saavutused taastuvate energiaallikate kasutamisel eriti suured. Meil tuleks agaramalt kasutada teiste kogemusi sel alal ja arendada intensiivsemalt nii uuringuid kui ka vajalike seadmete tootmist. Nii vähenevad ka kartused taastuvate energiaallikate kasutamiseks vajalike seadmete väidetavalt suurest maksumusest, sest muutub rahavoogude iseloom. Olemasolev oskusteave, tehnilised võimalused ja arenev rahvusvaheline koostöö loob head eeldused uute seadmete väljatöötamiseks ning valmistamiseks ka Eestis.

Konverentsil tõdeti, et kiire edenemise saavutamiseks on riigi aktiivne osalemine ala arendamisel väga vajalik. Taastuvate energiaallikate ulatuslik kasutamine nii, et lisaks üldisele kasule loodushoiul võidaks sellest majanduslikult ka kohalik elanikkond, vajab aktiivset, sihikindlat, riiklikul tasemel reguleeritud tegutsemist, milles on ka erainitsiatiivil oluline osa. Vajame energeetika terviklikku pikaajalist arengukava, mis peaks olema Eesti tulevikustrateegia üks olulisemaid dokumente. Arengukava peaks käsitlema põlevkivi jt fossiilsete kütuste ja biomassi, tuule, päikese, veejõu ning jäätmete kasutamist elektri- ja soojusenergia (osalt ka mootorikütuse) tootmiseks tervikliku süsteemina. Terviklik kava on vajalik, et läbimõeldud tegevusega loodusliku, pidevalt uueneva ressursi kasutamisega suurendada rahva rikkust.



# **A STEP FORWARD IN THE UTILISATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES**

*Valdur Tiit*

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

The 4<sup>th</sup> conference devoted to the investigation and usage of renewable energy sources (TEUK–IV) took place on 7<sup>th</sup> November 2002 in Tartu in the hall of the Estonian Agricultural University. There were 185 participants from all over Estonia. Most of the 31 papers presented at the conference have been printed in this conference proceeding.

The conference provided a good overview of the work done and under way in Estonia in the field of utilising wind and water energy to produce electric power. Biomass and waste energetic usage possibilities were also dealt with. The presentation on the utilisation of solar energy in residential buildings was also very interesting.

It was emphasised at the conference that more attention needs to be paid to the utilisation of renewable energy sources in Estonia and thus carry out versatile research and pilot projects. Taking into account the existence of vast natural renewable sources and the general energy trends in Europe it would be natural that this area would become one of the priorities of the Estonian research and development activities. The great efforts of many people and companies have created a good base for this.

The need to try to look far ahead, to decades and even centuries, in developing energy was justified at the conference. In doing so it would be possible to harmonise the short-term concrete plans with the mature long-term scheme. At the same time it was admitted that to a certain extent it is already being done in Estonia and thus we can face the future with hope.

Unfortunately it had to be stated that in comparison with several other countries our achievements in the field of the utilisation of renewable energy sources are not that significant. We should more actively use the experience of others in this area and develop both the research and the production of necessary equipment more intensively. That would reduce the fear of the supposedly high costing of the equipment to use renewable energy sources, as the nature of cash flow changes. The existent know-how, technical means and developing international co-operation creates great premises for developing and producing new equipment in Estonia.

It was admitted at the conference that active state participation is essential to achieve rapid progress in the development of the area. Extensive usage of renewable energy sources in a way that would economically benefit the local people as well as the environment needs active, determined activities regulated on the state level with private initiative bearing an important role. We need a long-term integral energy development plan, which should be one of the most important documents of Estonian future strategy. The development plan should deal with oil shale and other fossil fuels and biomass, wind, solar, water and waste usage to produce electric and thermal energy (partly also motor fuel) as an integral system. An integral plan is necessary to increase the nation's wealth by utilising the continuously renewing natural resources by mature activities.

# BIOMASSI BAASIL KOOSTOOTMINE – PROBLEEMID JA VÕIMALUSED

*Sulev Soosaar ja Villu Vares*

TTÜ Eesti Energeetika Instituut, Paldiski mnt 1, 10137 Tallinn  
e-post: [sulev@eeri.ee](mailto:sulev@eeri.ee), [villu@eeri.ee](mailto:villu@eeri.ee)

## **Annotatsioon**

Artiklis analüüsitakse biomassi baasil koostootmise arendamise tehnoloogilisi võimalusi, hinnatakse nende rakendatavuse perspektiive ning juhitakse tähelepanu seadusandluse tähtsale rollile koostootmise kui ressursi- ja keskkonnasäästliku tehnoloogia juurutamise stimuleerimisel.

## **BIOMASS, ELEKTRI- JA SOOJUSE KOOSTOOTMINE**

### **Sissejuhatus**

Biokütused on praegu Eestis kõige laialdasemalt kasutatav taastuvenergia ressurss. Siiani kasutatakse biokütuseid põhiliselt soojuse tootmiseks katlamajades ja lokaalsetes kütteseadmetes. Elektri ja soojuse koostootmise (edaspidi lühidalt koostootmine) juurutamine nende kütuste baasil võimaldaks taastuvenergia ressursi paremini kasutada ja tõsta märgatavalt taastuvelektri osakaalu elektritoodangus, mis siiani on kahjuks marginaalselt madalal tasemel.

Tehnoloogiliselt oleksid võimalikud järgmised põhimõttelised koostootmise lahendused:

- Rankine'i aurutsükli baasil;
- biokütuste eelgaasistamine ja rakendamine gaasimootoris;
- biokütuste põlevkiviga koospõletamine Balti Elektriijaama loodavas uues keevkihtkatlas, mis kuulub koostootmise režiimil töötava energiabloki koosseisu.

### **Aurutsükliga energiatehnoloogiad biokütusel**

Tehnoloogiliselt oleks biokütuste baasil elektri genereerimiseks võimalik kasutada Rankine'i aurutsükli, mille korral erinevus, võrreldes fossiilkütuste baasil elektri genereerimisega, seisneks ainult katelde põletusseadmete valikus. Põhimõtteliselt võivad seadmed töötada nii elektri ja soojuse koostootmise kui kondensatsioonirežiimil. Kondensatsioonirežiimil töötades lastakse turbiinis aur paisuda väga madala rõhuni ning seejärel kondenseeritakse. Kondensaatori temperatuur sõltub loodusliku jahutusvee või välisõhu temperatuurist, kusjuures vabanenud soojus juhitakse loodusesse. Seega on siin tegemist looduse termilise saastamisega. Tõstes kondenseerimistemperatuuri kõrgemaks kui 25–40 °C, saaksime jahutusveena kasutada näiteks kaugküttevõrgust tagastuvat vett. Kaotaksime küll minimaalselt turbiinist saadavas mehaanilises energias, st ka genereeritavas elektrienergiast, kuid saaksime suure osa vabanevast soojusest kaugkütteevee soojendamiseks ära kasutada. Koostootmise korral

on võimalik saavutada summaarse kasuteguri väärtuseks 80–85%, mis ületab kondensatsioonirežiimil töötava ja ainult elektrit tootva seadme kasutegurit 2–3 korda.

Elektri genereerimise tingimused koostootmise režiimis sõltuvad otseselt soojuskoormusest, kusjuures elektrilise ja soojuskoormuse vahekord on suures osas määratud turbiini antava auru rõhuga. Varem laialdast rakendamist leidnud kuni 14-baarise töö rõhuga aurukatlad võimaldaksid ainult umbes 10%-list elektritoodangut võrreldes soojuskoormusega. Samas pole väikese võimsusega seadmete korral kõrge aururõhuga katelde loomine tehniliselt otstarbekas ja enamasti tuleb piirduda kuni 50-baarise rõhuga aurukateltega, mis peaksid olema varustatud auruülekuumendiga. Elektrilise ja soojusliku koormuse vahekord sõltub nii värske auru rõhust kui vasturõhust, kusjuures elektritoodangu osatähtsus suureneb värske auru rõhu tõustes ja vasturõhu alanedes. Vasturõhk oleneb soojustarbivatele antava vee temperatuurist ja enamasti peaks olema ligikaudu 1,5 baari.

Wärtsilä BioPower kasutab väiksemate seadmete (alla 2,5 MW<sub>el</sub>) korral 23-baarist auru rõhku, mis annab elektri ja soojuse suhteks kuni 22%. Suuremate seadmete puhul kasutatakse 50-baarist auru rõhku, mis annab elektri ja soojuse suhteks kuni 27% (Product Programme: Power Plants, 2002).

Koostootmise kavandamisel lähtutakse enamasti kaugkütte soojuskoormusest. Kuid kaugküttes on soojuskoormus hooajaline ja seetõttu jääb elektri aastane toodang võrreldes soojustoodanguga väga väikeseks. Koostootmise rakendamiseks sobib hästi ühtlane tehnoloogiline soojustarve, mis esineb näiteks pidevalt töötavate puidukuivatitega suurtes saeveskites.

Kaugkütte baasil soojuse ja elektri koostootmisel on kaks alternatiivi:

- dimensioneerida koostootmise seade vastavalt suvisele soojuskoormusele, mis tagaks maksimaalse koormuse ja maksimaalse efektiivsuse kogu aasta jooksul, kuid võimaldaks koostootmiseks ära kasutada vaid umbes 20–25% kogu soojuskoormusest;
- dimensioneerida koostootmise seade kütteperioodi keskmisele soojuskoormusele, mille korral saame ära kasutada suurema osa soojuskoormusest, kuid seadme arvutuslik kasutusaeg jääks kütteperioodist lühemaks ja see vähendaks investeringu tasuvust. Mõeldav on küll suveperioodil ka kondensatsioonirežiimil töötamine, kuid siis oleks kasutegur väike (20–23%) ja oleksid vajalikud täiendavad investeringud kondensaatori paigaldamiseks.

### **Biokütuste gaasistamine ja rakendamine mootorites**

Märgatavalt suuremat elektri osatähtsust (umbes 45%) oleks mõeldav saavutada biokütuse gaasistamise ja selle baasil sisepõlemismootoriga koostootmiseseadme korral (Combined Heat and Power Plants, 2000). Lahenduse suurimaks tehniliseks probleemiks on gaasistamisel saadava gaasi puhastamine vaikudest ja tõrvast. Selliste seadmete projekte on teada mitmeid, kuid suurte investeringuvajaduste ja praktiliste kogemuste vähesuse tõttu pole nende seadmete praktilise kasutamise juhte teada. Dr Ilkka Haavisto (Soome) poolt on välja töötatud tehniline projekt pilootseadme ehitamiseks, kuid selle rahastamise allikat pole mitme aasta jooksul leitud.

Ilmselt ei ole gaasimootoriga koostootmise tehniline lahendus lähiaastatel veel massiliselt rakendatav ja pole otstarbekas selle peale loota enne mõne pilootseadme edukat katsetamist ning seadmete hindade langemist.

### **Bio- ja fossiilkütuste koospõletamine**

Põhimõtteliselt on tahkekütusekateldes võimalik põletada koos erinevaid kütuseid, millest üks võiks olla biokütus. Selleks annavad häid võimalusi keevkihtkatlad, seega oleks Narva elektrijaamades ehitamisel olevas keevkihtkatlas lisaks põhikütusele võimalik ka biokütust kasutada. Koospõletamise sisseseadmiseks vajalike investeeringute hulka kuuluksid kulud biokütuse (puidu, õlgede, jm) vastuvõtu, lühiajalise ladustamise, põletamiseks ettevalmistamise ja sööteseadmete ehitamiseks. Selliste täienduste tegemine uute põlevkivikatelde juures võiks tulla kõne alla pärast nende piisava töökindluse saavutamist põlevkivil.

Tehniliselt ei tohiks keevkihtkatla ümberseadistamisega ülesaamatuid raskusi tulla, kuid biokütuste veokaugused võivad kujuneda ebamajanduslikult suureks. Teise probleemina võib ette näha kütuse hankimise raskusi, sest praegu on biokütuste turg jõudnud praktiliselt küllastuda ja uue suure tarbija lisandumisel tõuseks esiteks kütuse hind ja arvatavasti tekiks kiiresti ka kütusepuudus. Ainsaks reaalseks lahenduseks täiendava kütuse hankimisel võiks kõne alla tulla energiametsa või energeetiliste põllukultuuride kasvatamine. Seegi tõstaks kütuse hinda ja nõuaks ettevalmistavat aega.

Kaugküttes rakendamise korral oleks koostootmise seadet otstarbekas töös hoida kogu kütteperioodi jooksul (täiskoormuse kasutustundide arv umbes 4500), kusjuures soojuskoormuse tipu katmiseks tuleb kasutada muul kütusel töötavat nn tippkoormuse katelt, mille võimsus peaks olema lähedane koostootmise seadme soojusliku võimsusega või veidi suurem. Kaugkütteeettevõttes koostootmise kasutuselevõtu korral rahuldataks kütteperioodil kogu elektri omatarve koostootmisseadme toodanguga, kusjuures ülejääk müüduks elektrivõrku, suveperioodil tuleks aga osa vajaminevast elektrist võrgust juurde osta.

Saeveski koormuste korral oleks märgatavalt suurem osa nii elektrilisest kui soojuslikust omatarbest kaetav koostootmise seadmega. Nii kujuneks täisvõimsuse kasutustundide arvuks ligikaudu 7500, mis peaks tagama seadme rakendamise paremad majandusnäitajad kui kaugküttekoormuse katmisel.

### **Koostootmise võimalike mahtude hindamine puitkütuste baasil Eestis**

Elektri ja soojuse koostootmise mahu suurendamise reservid on otseselt seotud koostootmiseks sobiva soojuskoormusega. Praegu toodetakse katlamajades umbes 26% kogu soojusest puitkütuste baasil. Ligikaudseks hinnanguks eeldame, et 50% sellest oleks mõeldav katta koostootmisega, asendades veekatlad aurukateldegaga ja vasturõhuturbii- ning generaatoritega. Hinnates koostootmisvõimsuste täisvõimsusel kasutustundide arvuks 5300 tundi, on võimalik hinnata täiendavat perspektiivset koostootmisvõimsust puitkütuste baasil.

Vastavalt arvustustulemustele võiks puitkütustest koostootmise režiimil toota kuni umbes 0,83 TW·h soojust ja 0,157 TW·h elektrit<sup>1</sup>. Seda võiks nimetada katlamajade

<sup>1</sup> Keskmiseks soojuse ja elektritoodangu suhteks koostootmisel on võetud 0,2. Autorite märkus.

puitkütusekatelde koostootmise seadmetega asendamise potentsiaaliks tehnoloogilise otstarbekuse seisukohalt. Hinnang on pigem optimistlik kui pessimistlik, sest puitkütusekatelde keskmine võimsus on alla 1 MW<sub>th</sub>. Nii väikeste katelde asendamine koostootmiseseadmetega pole kindlasti majanduslikult otstarbekas. Wärtsilä spetsialistide hinnangul on 4,5 MW<sub>el</sub> võimsusega koostootmise seadmete puhul erimaksumus umbes 21 Mkr/MW<sub>el</sub> kohta, kuid ühikvõimsuse alanedes suureneb erimaksumus ja alla 1 MW<sub>el</sub> korral on juba umbes veerandi võrra kõrgem. Veelgi väiksemate seadmete rajamine puitkütustel on aga suhteliselt veelgi kallim.

*Tabel 1. Koostootmise laiendamisperspektiivi hindamine puitkütustel töötavate katelde 2001. aasta soojustoodangu alusel*

*Table 1 Evaluation of the prospectives for wider use of cogeneration based on the heat production by biomass boilers in the year 2001*

Katelde arv puitkütusel	764
Katelde summaarne võimsus puitkütustel, MW <sub>th</sub>	747
Puitkütustel katelde keskmine võimsus, MW <sub>th</sub>	0,98
Puitkütuste baasil toodetud soojus, GWh <sub>th</sub>	1660
Soojustoodang, mille ulatuses võiks koostootmist arendada, GWh <sub>th</sub>	830
Ligikaudne soojusliku koostootmisvõimsuse tarve, MW <sub>th</sub>	157
Ligikaudne elektrilise koostootmisvõimsuse tarve, MW <sub>el</sub>	31
Elektritoodangu potentsiaal puitkütusel ja koostootmise baasil, GWh <sub>el</sub>	164

Lähteandmete allikas: ESA (Energiabilanss, 2002)

### **Muud võimalused elektri ja soojuste koostootmiseks biokütuste baasil**

Seoses tõsiste raskustega biokütuste baasil elektri ja soojuste koostootmise efektiivsel rakendamisel soojuskoormuse kõikumise ja suvise ebapiisavuse perioodil on Wärtsilä ja tema Itaalia koostööpartnerite poolt välja töötatud orgaanilise soojuskandjaga kombineeritud koostootmise süsteem.

Seade on välja töötatud nii, et seda saaks pidavalt ja ühtlaselt koormata kogu aasta vältel, sõltumata soojuskoormuse olemasolust ning selle kõikumistest. Soojusallikaks süsteemis on Wärtsilä BioGrate katel, mis kuumutaks nii kaugküttesse minevat (või tehnoloogilisel eesmärgil rakendatavat) vett kui ka orgaanilist soojuskandjat. Süsteemi rakendamisel oleks kütusekulu ühtlane ja katel töötaks kogu aeg stabiilselt täiskoormusel. Seadme võimsus valitakse vastavalt maksimaalsele soojusvajadusele, mille korral elektrit ei väljastata. Soojuskoormuse alanedes saab võimalikuks ka elektri genereerimine.

Soojuste väljastamine toimub ühtlase kasuteguri tingimustes (85%) ja ka elektrit toodetakse ühtlase kasuteguriga 18%. Seadme väljatöötamise aste olevat jõudnud sinna maani, kus seadet pakutakse juba turule. Kahjuks pole seadme hinda avalikustatud ning see on potentsiaalse kliendi ja firma vaheliste läbirääkimiste objekt. Seadme erimaksumus ületab kindlasti BioPower'i koostootmise seadmete erimaksumust, kuid esimestele klientidele võidakse turu hõlvamise eesmärgil teha soodustusi.

## **Probleemid ja võimalused**

Eestis puudub käesoleval ajal otsene stiimul biomassi baasil koostootmise laialdaseks rakendamiseks, sest võrreldes toodetava soojusega jääb elektritoodang tagasihoidlikuks, kuid suuri investeeringuid tuleks teha just nimelt elektritoodangu nimel. Seadusandlikult toetatakse elektri tootmist taastuvate energiaallikate, sh biomassi baasil, kuid Eesti seadused ei käsitle eraldi koostootmist. Oluliseks pidurdavaks teguriks biomassi baasil koostootmise arengus on muidugi elektritootmise tsentraliseeritus, riikliku tähelepanu koondumine põlevkivielektrijaamade renoveerimisele ning kasvuhoonegaaside emissiooni langenud tase võrreldes Kyoto protokolliga järgsete nõuetega Eestile.

Kui rakendada koostootmisele teatud soodustusi, tuleks täpselt määratleda elektri- ja soojustoodangu vahetegur ja efektiivsus, mille korral protsessi võiks koostootmiseks lugeda ja selle rakendamist oleks otstarbekas toetada. Näiliselt lihtsa ülesande teeb äärmiselt keerukaks asjaolu, et sõltuvalt tehnoloogilisest skeemist ja koormustest varieeruvad nii elektri- ja soojustoodangu vahetegur kui saavutatavad efektiivsusnäitajad. Seega tuleks käsitleda igat tehnoloogiat eraldi, kusjuures mõnel juhul tuleks eraldi arvesse võtta näiteks soojuskoormuse puudumise perioodil (suvel) kondensatsioonirežiimil toodetud elekter, samuti tuleks kütuste koospõletamise korral eraldi määrata energiatootangud biomassi ja fossiilsete kütuste baasil.

## **Koostootmise edendamine Euroopa Liidus**

Euroopa Liidus on juba aastaid pööratud tähelepanu elektri ja soojuse koostootmise laialdasema kasutamise vajadusele, kuid seni tagasihoidliku eduga. 1997. a oktoobris esitati Euroopa Komisjoni poolt strateegia koostootmise arendamiseks (COM(97) 514). Selles väljendati selgelt tahet koordineerida koostootmise arengut puudutavat poliitikat laias spektris: tööstusest kuni põllumajanduse ja keskkonnanohiuni. Samuti seati konkreetne siht – kahekordistada koostootmise osatähtsust elektritootmise üldmahus: 9%-lt 1997. a 18%-ni 2010. aastal. Vaatamata paljulubava potentsiaali olemasolule ei suurenenud järgnevatel aastatel jooksul koostootmise osatähtsus EL riikide energiatootangus.

Tulenevalt riikidevahelistest erinevustest (nt kliima) ei kuulu koostootmine mitte kõigis liikmesriikides prioriteetsete valdkondade hulka ja see on olnud direktiivi ettevalmistamise venimise üheks põhjuseks. Direktiivi projekti praeguse (mai 2003) seisuga kohaselt hakkab dokument sisaldama järgmisi momente:

- esitatakse koostootmise definitsioon;
- sätestatakse vajaliku efektiivsuse alampiir;
- määratletakse koostootmise potentsiaal;
- kirjeldatakse võimalikke toetusmeetmeid;
- esitatakse nõuded elektri päritolugarantiile;
- kehtestatakse aruandluskohustus.

## Koostootmise arendamisest Eestis

Eestis pole seni seatud konkreetseid riiklikke eesmärke koostootmise arendamiseks, kuna lähiaastatel puudub tungiv vajadus uute elektritootmisvõimsuste kasutuselevõtu järele. Pikemas perspektiivis võib olukord olla erinev, sõltudes nii põlevkivienergeetika arengust kui elektritarbimise kasvutempost. Väiksemastaabiline koostootmine oleks ka oluline element hajusenergeetika põhimõtete realiseerimisel Eestis.

Ei käesoleval ajal kehtiv energiaseadus ega 1. juulist 2003. a jõustuv elektrituruseadus käsitle koostootmist<sup>2</sup>, rääkimata toetuste või soodustuste sätestamisest sellele efektiivsele energia muundamise viisile. Biomassi kui taastuvat energiaallikat kasutava koostootmise korral on siiski võimalik saada teatud soodustust, rakendades selleks koostootmise protsessis toodetud elektri ostukohustust, mis on pandud võrguettevõtjatele (Elektriturseadus §59). Nimelt kohustab seadus võrguettevõtjaid seitsme aasta jooksul (kuid maksimaalselt kuni 2015. a lõpuni) ostma biomassist toodetud elektrienergiat hinnaga, mis on 80% suurem kui Eesti suurtest (üle 500 MW) põlevkivijaamadest võrku müüdud elektri hind. Praeguse hinnataseme juures tähendab see taastuvelektri kohustuslikku ostuhinda umbes 80 senti/kW·h.

Koostootmise üldise arendamise aspektist võib positiivsena märkida, et Eestis on loodud õiguslik alus sellise energiamuundamise viisi otseseks toetamiseks. Nimelt on valitsuse määrusega (nr 370, 3. 12. 2002) kehtestatud keskkonnakaitsele suunatud riigiabi andmise eritingimused, milles sätestatakse riigiabi andmise põhimõtted ja kord nii investeringuteks kui tegevuskulude katmiseks vastavas valdkonnas. Määruses on välja toodud, et keskkonnakaitse investeringuteks loetakse ka investeringuid nii energia tootmiseks taastuvatest energiaallikatest kui soojuse ja elektri koostootmiseks.

Investeringuteks antava riigiabi brutosumma osakaal lubatavates kuludes ei tohi Harjumaal (sealhulgas Tallinnas) asuvate ettevõtjate puhul ületada 50% ja teistes regioonides asuvate ettevõtjate puhul 60%. Kui investeringu teevad väikese ja keskmise suurusega ettevõtjad, võib rahandusminister lubada 10 protsendipunkti võrra suuremat riigiabi osakaalu.

Tegevuskulude katmiseks suunatud riigiabi (tegevusabi) võib rahandusminister lubada jäätmekäitluse ja energiasäästu meetmete rakendamise kõrval ka taastuenergia tootmiseks ning soojuse ja elektri koostootmiseks.

Määruse §8 lõikes 4 sätestatakse, et kui tegevusabi antakse taastuvatest energiaallikatest energiat tootvate uute jaamade tegevuskulude katmiseks ulatuses, mis vastab uue jaama poolt ärahoitud arvestuslikele keskkonnakahjudele, siis:

- ei tohi tegevusabi suurus ületada 0,79 krooni kW·h kohta;
- peab tegevusabi olema osa riigiabi programmist, mille kestus ei ületa viit aastat ja mille raames taastuenergia tootjaid koheldakse ühtmoodi ning ühesugusest taastuvast energiaallikast energiat tootvatele ettevõtjatele antakse abi võrdsel alusel.

---

<sup>2</sup>v. a § 55, milles kohustatakse koostootjat Energiaturu Inspektsiooni nõudel esitama tulude ja kulude jaotuse eraldi elektrienergia tootmise ja soojuse tootmise kohta koos asjakohaste põhjendustega. Autorite märkus.

Eesti olukorra analüüsi lõpetuseks tuleb rõhutada, et ülalnimetatud määrus loob ainult seadusliku aluse keskkonnakaitsele suunatud riigiabi andmiseks, lähtudes EL vastavast praktikast<sup>3</sup>. Kas, millal ja millises ulatuses rahandusminister talle määrusega antud õigust tegelikult kasutab, sõltub kindlasti Eesti energiapoliitikast kuid ka paljudest muudest teguritest. Üheks biomassi kasutava koostootmise arengu suhtes positiivseks mõjuriks võib kujuneda EL nn taastuvelektri direktiivis Eestile püstitatud eesmärk toota 2010. aastal 5,1% tarbitavast elektrist taastuvressurssidest.

EL riikides on koostootmise levik väga erinev. Taanis, Rootsis, Soomes ja Hollandis on koostootmise osatähtsus kõrge, ulatudes soojusjõujaamade elektritoodangus 95,5%-ni (Rootsi) ja kogu elektritoodangus 62,3%-ni (Taani). Kuid näiteks Kreekas ja Prantsusmaal toodetakse ainult 2% elektrist koostootmisjaamades. Riikide praktika koostootmise arendamise suhtes on erinev. Riikides, kus koostootmist toetatakse, on kasutusel küllaltki erinevad meetmed. Seda ka EL liikmesriikides, kus seni samuti puudub vastav ühtne strateegia.

Analüüsides koostootmise arendamise strateegiat naaberriigis Lätis nähtub, et väikeste (võimsusega alla 4 MW) koostootmisjaamade tööd toetatakse elektri ostukohustuse abil. Seejuures on võrguettevõtete poolt kohustuslikult ostetava elektri hind seatud sõltuvusse nii kasutatavast kütuseliigist (taastuv või fossiilne), jaama elektrilisest võimsusest kui ka elektri keskmisest hinnast vastavas võrgupiirkonnas. Elektrienergia kohustuslik ostuhind arvutatakse valemiga

$$T_{\text{ost}} = k \cdot T_{\text{keskm}},$$

kus  $T_{\text{keskm}}$  on elektrienergia keskmine müügihind vastavas võrgupiirkonnas ja  $k$  – tegur, mis sõltub jaama võimsusest ja kasutatavast kütusest:

*Tabel 2. Hinnateguri olenevus jaama võimsusest ja kasutatavast kütusest*  
*Table 2. The price coefficient depending on the capacity and fuel of the plant*

Jaama elektriline võimsus	Kütus	
	taastuv	fossiilne
< 0,5 MW	k = 1,12	k = 0,90
0,5...4 MW	k = 0,95	k = 0,75

Kahjuks ei ole kättesaadavad andmed nimetatud soodustuste mõju kohta koostootmise arengule Lätis.

Võrreldes Lätis rakendatud meetmeid olukorraga Eesti tuleb kindlasti arvestada üldist situatsiooni elektrisektoris. Läti elektribilanss on negatiivne – nõudluse rahuldamiseks tuleb elektrienergiat importida. Elektrienergia impordi iga-aastane maht moodustab üle kolmandiku tarbimisest, sõltudes hüdroenergia suure osakaalu tõttu vastava aasta ilmastikust. Eestis on aga elektritootmise võimsusi oluliselt rohkem, kui vaja sisemaise nõudluse rahuldamiseks.

<sup>3</sup>Ühenduse suunised keskkonnakaitsele antava riigiabi kohta (EÜT C 37, 3.02.2001). Autorite märkus.



## **KirjandusReferences**

1. (1999) Combined Heat and Power Plants. Suomen Kaukolämpö ry: 65.
2. (2002). Energiabilanss 2001. Statistikaamet: 44.
3. (2002) Product Programme: Power Plants Wärtsilä.
4. (2002) Keskkonnakaitsele suunatud riigiabi andmise eritingimused. Vabariigi Valitsuse 3. detsembri 2002. a määrus nr 370. Riigi Teataja I, 100, 588.
5. (2002) Prasības koģenerācijas stacijām un kārtība, kādā nosakāma saražotās elektroenerģijas pārpalikuma iepirkšanas cena. Latvijas Republikas Ministru Kabinets. Noteikumi nr. 9, 08.01.
6. (2003) Elektriturseadus. Riigi Teataja I, 25, 153.
7. (2002) Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market. COM(2002) 415 final. Brussels, 22.7.

## **BIOMASS BASED CHP - PROBLEMS AND OPPORTUNITIES**

*Sulev Soosaar and Villu Vares*

Estonian Energy Research Institute at Tallinn Technical University  
e-mail: [sulev@eeri.ee](mailto:sulev@eeri.ee), [villu@eeri.ee](mailto:villu@eeri.ee)

### **Abstract**

At present biomass is the most widely used renewable energy source in Estonia. Cogeneration is a highly efficient process for transforming the energy of fuels into electricity and heat. The paper provides analysis of technological options for the development of biomass based cogeneration and evaluates their implementation perspectives. The important role of legislation in the promotion of cogeneration as a resource saving and environment friendly technology is pointed out. The deployment of biomass based small-scale cogeneration would follow the principles of sustainable energy strategy combined with the distributed energy production concept.

# TÖÖSTUSJÄÄTMED ENERGIAALLIKANA

*Mihkel Koel<sup>1</sup> ja Rein Kuusik<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>TTÜ keemiainstituut, Akadeemia 15, 12618 Tallinn, e-post: vmihkel@chemnet.ee

<sup>2</sup>TTÜ keemiatehnika instituut, Ehitajate 5, 19086 Tallinn, e-post: rkuusik@edu.ttu.ee

## **Annotatsioon**

Käesolevas töös antakse lühiülevaade jäätme hulkadest Eestis ja võimalustest kasutada neid energiaallikana. Erilist tähelepanu pööratakse põlevkivi töötlemisel tekkivatele jäätmetele ja arvestustele nende kasutamiseks energeetikas.

## **TOOTE ELUIGA, JÄÄTMED, TAASKASUTUS, POOLKOKS**

### **Sissejuhatus**

Jäätmete tekkimine on loomulik ja vältimatu nii igapäevases olmes kui tootmis-tegevuses. Nende kaudu on nii inimene kui ka kõik tema poolt toodetu seotud keskkonnaga. Iga toode kogu oma eksisteerimise ajal, mida võib kujutada jadana:

*Toormaterjali saamine → Toote valmistamine → Kasutamine → Taaskasutamine → Kasutuskõlbmatu jääk,*

on samuti ühenduses keskkonnaga – mõjutab ning saastab oma jäätmetega.

Jäätmete klassifitseerimisel võib aluseks võtta erinevad lähtekohad:

- tekke järgi:
  - tööstusjäätmed – tööstusharu spetsiifiline;
  - olmejäätmed – igapäevase tegevuse tagajärg;
- toime järgi:
  - tavajäätmed;
  - ohtlikud jäätmed;
- kasutatavuse järgi:
  - teise toormena kasutatavad;
  - kasutamiskõlbmatud.

Ilmne on, et jäämetega peab tegelema toote iga eluea tsükli jooksul ja ära hoidma nende halba mõju elukeskkonnale. Võib küll deklareerida, et jäätmete tekkimine peab olema minimaalne ja ohutu, kuid samas tuleb näidata teed ja võimalused kõige kasulikuma olukorra saavutamiseks.

Eestis on kõige suuremat probleemi tekitavad jäätmed seotud põlevkivi töötlemisega, mistõttu on need ka laiema tähelepanu all nii ohtlikkuse ja samas ka neis peituvate võimaluste tõttu.

### **Üldised põhimõtted jäätmete vähendamiseks**

Kõige suurem hulk jäätmeid tekib ikkagi tootmises. Seega peaks keerulise olukorra parandamiseks tootmisest pihta hakkama. Keemikud (Anastas ja Warner, 1998) on siin välja pakkunud teatud hulga printsiipe, mida peaks kemikaalide tootmisel ja keemiliste

tehnoloogiate rakendamisel arvestama. Printsüübid on küllaltki üldised ja edukalt rakendatavad ka teistes tootmisvaldkondades.

- Ennetamine – kasulik on hoiduda jäätmete tekitamisest, kui hiljem saastumist töödelda või puhastada.
- Loomine, arvestades lagunemist – keemilised tooted peavad olema loodud, arvestades nende lagunemise ohutust keskkonnas.
- Ohutu keemiline süntees – igal praktilisel võimalusel peavad sünteesimeetodid kasutama ja andma selliseid aineid, mis on vähe- või mittetoksilised inimesele ja keskkonnale.
- Õnnetustest hoidumiseks põhjendatud ohutu keemia – keemilistes protsessides kasutatavad ained ja nende kasutamise vorm peavad olema valitud nii, et miinimumini viia võimalused keemilisteks õnnetusteks, plahvatuste, tulekahjude, leketete jmt näol.
- Taastuva toorme kasutamine – tooraine või algprodukt peab olema taastuv, kus vähegi tehniliselt võimalik ja majanduslikult mõistlik.
- Energia kokkuhoid – keemiliste protsesside energiakasutusel on mõjud keskkonnale ja ökonoomikale ning nende mõjud tuleb minimeerida, viies võimaluse korral sünteesi läbi toatemperatuuril ja normaalrõhul.

Siit on näha püstitatud eesmärk: keskkonda võivad jäätmed jõuda ainult kõige ohutumatel viisidel. Järelikult jäätmetöötlus ja -käitlus peavad tagama selle, et toote eluiga lõpeb kasutamiskõlbmatu jäägina, mille viimine keskkonda ei ohusta elusloodust. Võimaluste valik on siin väga mitmekesine, kuid samas võiks välja tuua järgmise eelistuse töötlemisel.

- Toodete taaskasutus, korduvkasutus ehk ringlus (*recycling*).
- Materjali taaskasutus, klaasi, ehitusmaterjalide, vanapaberi, jmt töötlus.
- Bioloogiline taaskasutus ehk kompostimine, ladustamine.
- Põletamine ja energia saamine.

Korduvkasutus ning materjali taaskasutus peaks olema esmane eesmärk, see ammendab olulise osa toote teisest tarbimisväärtusest ja jätab järgnevale astmele viimise kõige ohutumasse vormi. Kompostimise ning muude bioloogiliselt lagunevate materjalide ladustamisel tuleb kindlasti arvestada ka tekkiva biogaasiga ja sellele kõige ohtu- ja kahjuvõimaluse vähendamise leidmisega. Siin on lihtsamaks lahenduseks põletamine soojusenergia tootmiseks.

Energia vajadus ühiskonnas kasvab pidevalt, mis õigustab ka suuremat tähelepanu jäätmete lõppkasutamisele nii soojus- kui ka elektrienergia tootmiseks. Järjest rohkem uuritakse, kuidas ja millistel tingimustel saab kasutada jäätmeid energia saamiseks; millised on omakorda selle protsessi jäätmed; kas põletamine, mis on põhiline energia tootmise viis, tagab vajaliku keskkonnohutuuse?

Paljudes tootmisharudes tekib jäätmeid, mida saab põletada ning selle baasil toota koos elektrit ja soojust. Selline koostootmine on majanduslikus mõttes kõige otstarbekam väiksemate piirkondade varustamiseks energiaga ja seda tuleks igati soosida. Samas on põletamine väga keeruline protsess, mille käigus ained lagunevad, aga ka tekiavad. Teatud temperatuuridel võib igapäevases tarbimises olevatest plastmassidest

tekkida täiesti mõõdetavates kogustes mürgiseid aineid, mis kanduvad suitsugaasidega keskkonda ja püsivad seal pikka aega. Sama võib juhtuda ka raskmetallidega. Jäätmed ja eriti olmejäätmed ei ole „hea tooraine“ põletamiseks just väga keerulise koostise tõttu. Täielikult ohutuks tuha ja põlemisgaaside saamiseks peab kasutama keerulisi lenduvate produktide püüdmise seadmeid ja põletamisel kõrgeid temperatuure. Temperatuur peab olema vähemalt 850 °C; kui ohtlikes jäätmetes on rohkem kui 1% halogeenieritud ühendeid, siis peab temperatuur olema vähemalt 1100 °C. See omakorda raskendab energia muundamist või vähemalt muudab seadmed tunduvalt keerulisemaks ja kallimaks võrreldes tavaliste jõujaamadega, kus kasutatakse kindlate ja ühesuguste parameetritega kütust. Jäätmete põletamine ja seega kasutamine energeetilistel eesmärkidel on seotud suurte kapitaalmahutustega ning eeldab täpset kinnipidamist ettenähtud režiimidest, et vältida keskkonnareostust põlemisproduktidega. Siin tehakse selget vahet jäätmete põletamise ja koospõletamise vahel. On eraldi olevad põletustehased, mis võivad, aga ei pea kasutama põletamisel tekkivat soojust, ja koospõletustehased (nagu tsemendiahjud, terasesulatustehased ja jõujaamad, millede esmane eesmärk on energia saamine ja materjalide tootmine). Koospõletamist rauasulatus- ja tsemendiahjudes on võimalik kasutada ka mitmete ohtlike jäätmete likvideerimiseks. Kuid siin moodustavad jäätmed kogu protsessis tarbitavast kütusest väga väikese osa. Mõningatel juhtudel võib olla tegu jäätmetega, mille hävitamine põletamisega on kohustuslik (haiglate jäätmed, jms). Tavaliselt on aga selliste jäätmete kogus väike ja neid saab kahjutustada põletamisega koos tavalise kütusega kohalikes jõujaamades.

Arvestades probleemi keskkonnatundlikust, on see valdkond mitmesuguste eeskirjade ja direktiivide poolt täpselt reguleeritud. Euroopa Liidu (EL) direktiivid näitavad väga tõsist suhtumist sellisesse jäätmekäitlusse nagu põletamine ning uus direktiiv, mis jõustus 2000. a (*Directive 2000/76/EC*), esitab jäiku nõudmisi jäätmete põletamise suhtes. See tähendab ka seda, et jäätmepõletusseadmed on keerulised ja kallid, muutes valdkonna ökonoomilises mõttes väga tundlikuks. Eesmärgiks on põhiliste keskkonnanastajate vähendamine, nagu nendeks on happvihmade tekitajad *lämmastikoksiidid* ( $NO_x$ ), *vääveldioksiid* ( $SO_2$ ) ja *kloorvesinik* ( $HCl$ ), aga samuti raskmetallid (lubatud emissiooni norm aastas kogu Euroopa kohta: kaadmium –1 tonn, elavhõbe 7 tonni); dioksiinide ja furaanide kõige suuremaks atmosfääri sattumise allikaks on mitteohtlike jäätmete põletamine mittesobival režiimil. Nende jaoks lubatud emissiooni norm aastas kogu Euroopa kohta on 10 g.

Uues direktiivis on esitatud jäigemad nõuded kui olemasolevates direktiivides olmejäätmete (89/369/EEC ja 89/429/EEC) ja ohtlike jäätmete põletamise kohta (94/67/EC), samuti on antud tähtaeg olemasolevate tehaste ümberseadistamiseks (28. detsember 2005). Siis tühistatakse kõik vanad direktiivid. Et Eestis käesoleval ajal ühtegi töötavat jäätmepõletustehast ei ole, siis uued tuleb ehitada juba uue direktiivi tingimuste järgi ning peab arvestama selles toodud rangeid nõudeid. Samas, *Eesti ohtlike jäätmete käitlussüsteem*, mille kavandamist alustati 90-ndate aastate alguses, ei näe ette keske ohtlike jäätmete põletamise tehase rajamist (Üleriigiline ..., 2000).

## Jäätmekäitlus Eestis

Eesti Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskuse jäätmekäitluse ülevaate (Leevik jt, 2002) põhjal on Eestis tegu järgmiste kogustega. Arvud on üsna suured ja kasvavad, seega ka mured kasvavad. Riik näeb üldiselt suurt vaeva üleriigilise jäätmekava väljatöötamiseks, mille üldiseks eesmärgiks on jäätmehoolduse korrastamine. On aru saadud, et uued juurutatavad tehnoloogiad peaks olema jäätmevaesed, jäätmekäitlus peaks olema integreeritud. Alternatiivsete jäätmekäitluse tehnoloogiatena tuuakse välja sortimine tekkekohas, kompostimine ja põletamine energia saamiseks.

*Tabel 1. Eestis tekkinud ja taaskasutatud jäätmekogused (tuhandetes tonnides)*  
*Table 1. Amount of waste generated and re-used in Estonia (thousands of tons)*

	1997	1998	1999	2000	2001
Jäätmete teke	14 398	12 984	10 848	11 616	12 839
Taaskasutus	3022	2229	1356	1575	1804
Taaskasutuse %	21	17	13	14	14

Taaskasutuse struktuuris on huvitavalt ühe valdkonnana eristatud kasutamine peamiselt kütusena või muu energiaallikana (ligikaudu 10%, st 183 000 t). Siin on arvestatud vanaõli põletamine kohalikes katlamajades ja puidutööstuse jääkidest tehtud pelleteid ja muid kütteks kasutatud materjale. Võimaliku energiamuundamise allikana põlevat orgaanilist ainet sisaldavate jäätmete hulgast saab vaadelda ikkagi neid koguseid, mis praegu lähevad ladestamisele prügimägedele.

*Tabel 2. Eestis ladestatud jäätmekogused tööstusharude kaupa 2001. a (tonnides)*  
*Table 2. Amount of waste deposited in Estonia by industries in 2001 (tons)*

Puidutööstus	14 195
Tekstiilitööstus	452
Pakenditööstus	965
Põlevkivitööstus	1 098 523
Olmejäätmed	375 734

Märkuseks: tabelis ei ole arvestatud jäätmete ohtlikkuse astmetega.

Eeltoodust oleks järeldus, et Eestis põhiliseks jäätmekäitlusviisiks on ladestamine prügilates, taaskasutusse kogu tekkivast jäätmekogusest läheb väike osa. Kohalikes katlamajades põletamist võib ka lugeda energeetiliseks kasutamiseks ja seda ka tehakse suures osas, kui välja jätta põlevkivitööstuse ning olmejäätmed. Arvestades tekkivaid koguseid ja iseloomu üldiselt jäätmeid ei vaadelda energeetilise toormena. Veel vähem ei tohi jäätmeid käsitleta taastuva toormena, kuigi neid tekkib suurtes kogustes pidevalt juurde. Et prügilate mahutavusel on piirid ja ladestamine muutub

probleemiks, siis peab mõtlema teatud koguse vähemohtlike jäätmete põletamisele. Põletamine peaks toimuma siis juba koos soojuse või elektri tootmisega, kui vastavad majanduslikud kalkulatsioonid on tehtud.

### Põlevkivitööstuse jäätmed

Teistsugune on olukord põlevkivitööstuse jäätmetega, sest neid tekib suurtes kogustes ja nad on keskkonnaohtlikud. Eestis tekkivast aastasest jäätme hulgast vähemalt 80% on seotud põlevkivi kaevandamis- ja töötlemisvaldkonnaga.

*Tabel 3. Eestis põlevkivikompleksi, sh -energeetikaga seonduvad jäätmekogused 2001. a (tonnides)*

*Table 3. Amount of waste formed in power generation and oil shale processing in 2001 (tons)*

Poolkoks	1 107 895
“fuussid”	14 336
Põlevkivikoldetuhk	4 776 582
Põlevkivilendtuhk	140 862
Aheraine	3 840 858
Kokku jäätmeid	9 880 533

Erilist ohtu ja samas ka võimalust energeetiliseks kasutamiseks orgaanilise aine sisalduse tõttu kujutavad endast poolkoks ja nn fuussid.

### Poolkoksi energeetiline kasutatavus

Põlevkiviõli tootmisel vertikaalsetes retortides tahkheitmena tekkiva poolkoksi energiasaldus on 2,4–4,1 MJ/kg (25–30% toormena kasutatava põlevkivi keemilise energia sisaldusest), teda lisandub n.ö “mäkke” igal aastal enam kui miljon tonni (tabel 3), praeguseks on ladestatud Kohtla-Järvel ja Kiviõlis umbes 100 miljonit tonni. Veeslahustuvate toksiliste komponentide (sulfiidne väävel, fenoolid, polütsükliised aromaatsed süsivesinikud jm) sisalduse tõttu on poolkoks keskkonnaohtlik ning ladustamistaksid kõrged (näiteks 2002. a 1. jaanuarist 13,4 kr/t) ja progresseeruvalt kasvavad. Kuna põletamisel muutuvad kahjutuiks ka nimetatud toksilised komponendid, on poolkoksi kasutamine perspektiivne energiaallikana. See võimalus on samuti mõistlik loodusohutustamise seisukohalt. Sellealastest varasematest töödest võib märkida R. Uuesoo (Uuesoo, 1956) ja R. Kuusiku (Kuusik ja Veiderma, 1977) omi. Üheksakümnendate keskpaigast alates on süsteemselt poolkoksi põletamisküsimustega tegelnud I. Öpik (Öpik ja Jefimov, 1995) ning mitmed teised, sealhulgas Eesti-USA põlevkivialaste ühisuuringute programmis osalenud.

On olnud mitu töösuunda, et selgitada võimalusi poolkoksi kasutamiseks:

- kütusena tolmpõletustehnoloogia kohaselt ASi Narva Elektri jaamad kateldes (a),
- lisandina põhikütusele tsemendiahjudes (b),
- tarbevee ja -auru tootmiseks keevkihiga väikekateldes (c) ning
- selleks ehitatavas katelagregaadis poolkoksi tekkekohas soojus- ja elektrienergia tootmiseks (d).

Näidati (Arro jt, 2002), et poolkoksi tolmpõletus (a) on võimalik, hoolimata tema 3–4 korda madalamast kütteväärtusest võrreldes põlevkiviga. Sama soojusliku võimsuse korral kaasneb aga rida muutusi põletusprotsessi tehnoloogilistes näitajates – suurenevad kütusekulu ja heitgaaside ning jääktuha kogused. Samuti suurenevad heitmete erikogused, väheneb katla kasutegur ning lahendamist vajavad mitmed tehnilised probleemid (niiske poolkoksi transport tarbijani, jahvatus ja segu homogeniseerimine, madala temperatuuri mõju talvetingimustes jne). Lisaks ei lahendata sel viisil kõiki õlitootja probleeme, sest utiliseerimata jäävad fuussid ning teatud koguses generaatorgaasi. Nii muutub küsitavaks kogu lahenduse majanduslik otstarbekus ning see variant loetakse väheperspektiivseks.

ASi Nordic Tsement poolt perioodil 2001–2002 läbiviidud (Püüa, 2001) katsetused poolkoksi kasutamiseks alternatiivkütusena (lisandina põhikütusele) lubasid järeldada (b), et sellisel viisil on poolkokk kasutatav ilma negatiivsete kõrvalmõjudeta protsessi termilisele režiimile ning toodangu kvaliteedile. Paraku kaasneb poolkoksi kasutamisega vajadus suurendada kalli naftakoksi osa segukütuses, mis võib viia, arvestades samuti mõningaid lisakulutusi seoses poolkoksi suure niiskussisaldusega, kogu tootmis-tsükli kallinemisele. Töö selle variandi osas jätkub.

Viimastel aastatel on põhitähelepanu pööratud poolkoksi põletamisvõimaluste uurimisele keevkihiga väikekateldes (c). Keevkihtseadmed on üldtuntult hästisobivad aparaadid kütusesegude, sealhulgas madalakaloorsete kütuste osalusel valmistatavate segude põletamiseks. Seda kinnitati Eesti Energeetika Instituudi poolt, kus vastavates katsepõletamistes tööstusseadmeil viidi poolkoksi osa segudes kuni 75%-ni (Martins jt, 1997). Eeltoodust hoolimata puudus kuni viimase ajani selgus puhta poolkoksi põletamisvõimalikkuse ja protsessi aparatuurse lahenduse osas (d). Viimase lünga täitmiseks analüüsiti veel kord olemasolevaid andmeid puhta põlevkivi ning selle ja poolkoksi lisamisel saadud segude põletamise kohta keevkihiga, sealhulgas ringleva keevkihiga katlas. Mitme TTÜ instituudi koostöös (Eesti Energeetika Instituut, soojustehnika instituut, keemiatehnika instituut) viidi läbi tsükkel soojustehnilisi arvutusi (Arro jt, 2002) ja laboratoorsed alusuuringuid väävliühendite emissiooni ning sidumisprotsesside seaduspärasuste selgitamiseks (Triikkel jt, 1997; Kaljuvee jt, 2003). Tööd lõpetati katsepõletamisega ringleva keevkihiga seadmel soojusliku võimsusega 50 KW (Martins jt, 2002).

Teostatud tööde põhjal selgus, et praeguseks on olemas tehniline lahendus ja valmisolek poolkoksi energeetilise jääkväärtuse keskkonnasõbralikuks kasutamiseks. Protsessi realiseerimise otstarbekus ja vajalikkus olenevad majanduskeskkonnast ning keskkonnapoliitikast nii regiooni, vabariigi kui ka globaalsel tasandil. Tööde tsükli tulemused näitasid, et

- poolkoksi ainsaks reaalseks utiliseerimisviisiks on põletamine spetsiaalsetes utiliseerimiskateldes selle tekkekohas koos generaatorgaasi ning õlitootmise toorme ettevalmistamise käigus tekkiva peenpõlevkiviga. Saadav soojus kasutatakse kas tööstuses või elektri tootmiseks;
- poolkoksi põletamine olemasolevais tolmpõletuskateldes on põhimõtteliselt küll võimalik, kuid katelde töö halvenemise tõttu segukütuse (põlevkivi + poolkokk) põletamisel ebaotstarbekas;

- sobivaks katlatüübiks on ringleva keevkihiga katlad, arvestades selliste katelde suurt tolerantsust kütuste suhtes ja praktiliselt täielikku väävlisidumist tuha poolt keevkihis. 2001. a poolkoksi tekkemahu (~700 000 t/a) juures on utiliseerimiskatla (katelde) võimalikuks väljastatavaks soojuslikuks võimsuseks, sõltuvalt poolkoksi eraldusviisist (märg, kuiv), 100–120 MW<sub>th</sub>.

## Kokkuvõtteks

Hoolimata jäätmete vältimatusest ja pidevast tekkest ei ole õigustatud jäätmete käsitlemine taastuva toorainena. Pigem on jäätmete tekkimine halvasti arendatud tootmise tehnoloogia. Esmaseks eesmärgiks on jäätmete puhul nende taaskasutus ja töötlus. Kui viimases astmes osutub vajalikuks põletamine, siis oleks loomulik selle ühendamine energia- (soojus, elekter) tootmisega. Arvestades jäätmete keerulist koostist peab suuremastaabilisele põletamisele eelnema põlemisproduktide (gaasid, tahke aine) täielik analüüs nende keskkonnaohtlikkuse suhtes. Põletamistehaste võimalik rajamine nõuab lisaks veel põhjalikku majanduslikku analüüsi, mis arvestab ka saadava energia tarbimist. Samuti puudutab ka see põlevkivitööstuse jäätmete kasutamist, kus põletamise tehnilised lahendused on välja töötatud kaasaegsel tasemel.

## Kirjandus ∝ References

1. Anastas, P.T., Warner, J.C., (1998) Green Chemistry: theory and Practice. Oxford University Press. New York: 124.
2. Arro, H., Prikk, A., Pihu, T., Öpik, I. (2002) Eesti õlitööstusest saadava poolkoksi utiliseerimisest. Keskkonnatehnika 1/2: 11–13.
3. AS Maves (2000) Üleriigiline jäätmekava. Jäätmehoolduse olemasoleva olukorra kirjeldus: EKM: 54.
4. Directive 2000/76/EC (2000) Offic. Journ. of the European Communities L332: 91.
5. Kaljuvee, T., Kuusik, R., Trikkel, A., Radin, M. (2003) Behaviour of Sulphur Compounds at Combustion of Oil Shale Semicoke. Oil Shale 20(2):113–125.
6. Kuusik, R., Veiderma, M. (1977) Combustion of Oil Shale Semi-coke at the Fluidized Bed Conditions. Goryuchie Slantsy 9:16–19.
7. Leevik, M., Liiver, M., Paas, M., Viisimaa, M., (2002) 2001. a Eesti jäätmekäitluse ülevaade. EKM Info- ja tehnokeskus: 29.
8. Martins, A., Pesur, A., Kallaste, E. (1997) Co-combustion of Oil Shale Semi-coke and Oil shale Mixtures in Fluidizes Bed. ESF Grant No. 2210. Aruanne: 44.
9. Martins, A., Pesur, A., Kuusik, R., Kaljuvee, T., Trikkel, A., Pihu, T., Prikk, A., Arro, H. (2002) Fluidized Bed Combustion of Oil Shale Retorting Solid Waste. Symposium on Oil Shale 2002. Abstracts. Tallinn, Estonia.: 49.
10. Püüa, M.(2001) Uudne tehnoloogia lõpetab.... Postimees 10. nov. 2001.
11. Uuesoo, R.(1956) Combustion of Oil Shale Residue. Proc. Acad. Sci. Estonian SSR. Ser. Tech. and Phys.-Math. Sci.1: 69–81.
12. Trikkel, A., Kaljuvee, T., Kuusik, R. (1997) SO<sub>2</sub> Binding at the Combustion of Oil Shale in the Mixture with Semicoke. The Baltic Sea and its Environment: ESTO-96 Twin Symposium. Stockholm-Tallinn. Abstracts. Estonian Academy Publishers. Tallinn:76–77.
13. Öpik, I., Yefimov, V. (1995) An analysis of the RAS “Kiviter” energy balances and development plans. Oil Shale 3(3): 247–258.



# INDUSTRIAL WASTE AS A SOURCE OF ENERGY

*Mihkel Koel<sup>1</sup> and Rein Kuusik<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>TTU, Department of Chemistry, e-mail: vmihkel@chemnet.ee

<sup>2</sup>TTU, Department of Chemical Engineering, e-mail: rkuusik@edu.ttu.ee

## **Abstract**

Generation of waste is avoidable and it happens continuously. Despite that waste is not renewable resource and cannot be treated that way. Waste is a result of not properly developed production. When there appears a need for burning or incineration of waste it is useful to unite it with production of energy (heat, electricity). There must be complex analysis covering both the environmental and economical aspects of the process when the problem of generation of energy from waste arises.

Today we have a technically and environmentally sound solution for utilization of remaining energetic value of Estonian oil shale retorting waste – semicoke – using circulating fluidized bed combustion technology. Implementation expedience and necessity depend on the economical situation and environmental policy on the level of region as well as on the state and also on the global level.

# PUIDU, ORGAANILISTE JÄÄTMETE JA FOSSIILKÜTUSTE TERMOKEEMILINE KOOSVEDELDAmine VEDELKÜTUSTE NING MUUDE KEEMILISTE ÜHENDITE SAAMISEKS

*Rein Veski*

Tallinna Tehnikaülikooli Põlevkivi Instituut, Järveküla tee 35, 30328 Kohtla Järve  
e-post: rein.veski@mail.ee

## **Annotatsioon**

Fossiilkütuste ja orgaaniliste (põlev-)jäätmete termokeemiline koosvedeldamine puidu ja teiste taastuenergiaallikatega on teadus- ja rakendusuringute suund, millega alustati veidi varem, kui energeetikas väärtustusi taastuenergiaallikad. Eestis on seda suunda viljeldud TTÜ Keemia Instituudis (struktuuriüksused on tänaseks liidetud TTÜ teiste allüksustega) ja TTÜ Põlevkivi Instituudis, kusjuures rakendusala uurimis- ja katsetööd jäätmega (peamiselt rehvid) on tehtud ASis Eesti Elektri jaamad ja Kohtla-Järve põlevkivi-töötlemisettevõtetes. Laboratoorsete uuringute põhieesmärgiks on põlevkivi instituudis seni olnud plastjäätmete ja puidu koosvedeldamine kütuste saamiseks (Tiikma jt, 2003). Lisaks sellele on kavandamisel ulatuslikum uurimistöo põlevkivi ja taastuvkütuste (puit, k.a metsatööstus- ja puidutööstusjätmed, turvas, roog, õled jm) koosvedeldamise võimaluste väljaselgitamiseks. Käesolevas töös antakse ülevaade käsitletava teema arengust maailmas ja hinnatakse võimalusi leida toetust riiklikest kavadest selle töö arendamiseks Eestis. Käesolev ettekanne on mõeldud asjast huvitatute teavitamiseks kavandamiseks kirjeldatud koosvedeldamise ühisuuringuid.

PUIT, ORGAANILISED JÄÄTMED, FOSSIILKÜTUSED, VEDELKÜTUSED,  
KEEMIA-TÖÖSTUSE TOORE

## **Eeldused teema arendamiseks, riikliku toetuse võimalikkus**

Taastuvkütuste ja põlevjäätmete kasutamine taastumatu põlevkivi osaliseks asendamiseks vedelkütuste tootmisel ning saadava õli koostise parendamiseks peaks leidma riigipoolset toetust, kuna nendele, erinevalt põlevkivist, rakendatakse riiklike õigusaktidega rida soodustusi. Nii käsitatakse energiaallikana kasutatavaid jäätmehääd ettekan- de koostamise ajal veel kehtivas *energiaseaduses* (RT 1997, 52, 833; 1998, 71, 1201; 113/114, 1873; 1999, 29, 403; 2001, 43, 239) biokütusena (§2, p 5), millest toodetud elektrile laieneb soodustatud ostukohustus (§27, p 1, lõige 1). Keskkonnaministri määruses nr 58 “Süsinikdioksiidi (CO<sub>2</sub>) heitkoguse määramismeetodi kinnitamine” (RTL 1998, 287/288, 1175) loetakse biokütuste põlemisel tekkiv CO<sub>2</sub> nulliks. Seega pole energiaseadusest tulenevalt vaja maksta jäätmehääd põletamisel tekkiva CO<sub>2</sub> eest saastekahju hüvitist, mida nähakse ette fossiilkütustele vastavalt vabariigi valitsuse määrusele nr 228 7.10.1998 (RT I 1998, 88, 1440) “Saastekahju hüvitise määrade kehtestamine 1999., 2000. ja 2001. aastaks”. Kütuse- ja energiamajanduse pikaajalises riiklikus arengukavas (RT I 1998, 19, 295) vaadeldakse jäätmehääd kasutamist põgusalt, kuid siiski märkides, et kasutamiseks vajalikke alginvesteeringuid toetatakse muu hulgas ka keskkonnanafondist (§4.4). Ka on arengukava uus variant koostamisel.

Teatavasti koostatakse praegu ühe asemele mitut 1. juulil 2003 jõustuvat uut energia-seadust, mille eelnõud on kättesaadavad Riigikogu kodulehekülgedelt. Käesoleva teema seisukohalt on oluline märkida, et elektrituruseaduse eelnõu 1157 SE I täpsustab taastuvenergiaallikana kvalifitseeritava biomassi mõistet veidi teisiti kui kehtiv energiaseadus: *biomassiks käesoleva seaduse tähenduses on põllumajanduse (sealhulgas taimsete ja loomsete ainete) ja metsanduse ning nendega seonduva tööstuse toodete, jäätmete ja jääkide bioloogiliselt lagunev osa, samuti tööstus- ja olmejäätmete bioloogiliselt lagunevad komponendid* (§57, 2). Ostukohustus on ette nähtud siis, kui elektrienergia on toodetud taastuvatest energiaallikatest ilma sünteetilisi aineid lisamata ja neid põletamata ning muid käesoleva seaduse kohaselt taastuvaks mitteolevaid energiaallikaid kasutamata (§59, 2). On selge, et sellises sõnastuses ei laiene soodustused isegi biomassist saadud vedelkütusele, kui see on saadud koosvedeldamisel plastjäätmeid ja/või põlevkivi (s.o taastuvaks mitte olevaid energiaallikaid) kasutades.

Taastuvenergiaallikate, sh biomassi defineerimisel lähtusid elektrituruseaduse eelnõu koostajad peaaegu sõna sõnalt Europarlamendi ja Komisjoni direktiivist 2001/77/EC (<http://www.tuuleenergia.ee/lehed/eldok.html>) taastuvenergiast toodetud elektrienergia tootmise toetamise kohta, mis muutub kohustuslikuks juba 27.10.2003. Kahjuks ignoreerisid koostajad punkti 2(c): *'electricity produced from renewable energy sources' shall mean electricity produced by plants using only renewable energy sources, as well as the electricity produced from renewable energy sources in hybrid plants also using conventional energy sources*, mis annab võimaluse saada soodustusi biomassile, ükskõik milline selle osa elektritoodangus ka ei oleks.

Kuigi antud töös püstitatud eesmärk saada koosvedeldamisel ennekõike mootorikütuseid, mitte elektrijaamadele mõeldud kütust, ei saa välistada võimalust selle kasutamiseks väikestes koostootmisjaamades. Seaduse koostaja peaks selle võimalusega arvestama ja olema biomass, ka osaliselt kasutatavate jõujaamade, suhtes enam koostöövalmis.

Vedelkütuste seaduse eelnõus 1159 SE I käsitletakse vedelkütust kui vedelat põlevainet, *mida saab kasutada energiaallikana soojusjõumasinate ja muudes selleks sobivates energiamuundamisseadmetes*. Selles vedelate biokütuste kasutamise võimalustele kahjuks ei viidata. Seega ei ole ka selles ette nähtud soodustusi vedelatele biokütustele, rääkimata koosvedeldamisel saadutega. Kuna elektrituruseadus tunnistab kehtetuks energiaseaduse, siis võib kaotsi minna selles väljendatud põhimõte, et energaetika kasutatavad jäätmed võrdsustatakse biokütustega. Seega oleks loogiline, et soodustused laienevad ka jäätmetest toodetud vedelkütustele.

Rahandusministeerium valmistas Euroopa Liidu Struktuurifondide raha paremaks kasutamiseks aastatel 2003...2006 ette riikliku arengukava (*Single Programming Document* – SPD, rahandusministeeriumi koduleheküljel). See dokument kinnitab, et Eesti energiaarengusuunad on seotud taastuvenergiaallikate ulatuslikuma kasutuselevõetuga, samas konstateerides, et vedelate biokütuste potentsiaali on Eestis raske prognoosida (§3.32). Selles rõhutatakse valdkondliku kompetentsi suurendamise teena ka taastuvenergeetika alaste uurimistööde ja innovaatiliste tehnoloogiate väljatöötamise ning demonstratsioon- ja pilootprojektide otsest toetamist, samas pidevalt täiustades ka põlevkivi tööstustehnoloogiaid, s.o uues teadusvaldkonnas, mis külgneb põlevkivikeemia ja keemilise tehnoloogiaga.

Keskkonnaministri 26. juuni 2001 määruses “*Nõuded prügilate rajamiseks, kasutamiseks ja sulgemiseks*” nähakse ette, et alates näiteks aastast 2013 ei tohi prügilasse ladestatavate olmejäätmete hulgas olla üle 30 massiprotsendi biolagunevaid jäätmeid, mis eeldab uute kasutamiskiiside väljatöötamist.

### **Teema arendamine välisriikides**

Euroopa Liidu riikide valitsustel on eriprogrammid taastuvkütuste arendamiseks rõhuasetusega kasutada biomassi ja jäätmeid koos fossiilkütustega vedelkütuste tootmiseks, astudes ükskõik milliseid samme, mida turukonjunktuur võimaldab (Maniatis, 1999). Märkimisväärseid pingutusi tehakse kiirpürolüüsi osas, kaasates kommertsühendusi pilootseadmete valmistamiseks (Non-nuclear ..., 1999). Sellele vaatamata pole “parim” valik seni selgelt teada, olgugi et enamused seadmetest pakuvad arendamis- ja optimeerimisvõimalusi (Biomass, 2000). Euroopa Ühenduse ametlikes publikatsioonides toetatakse uuenduslikke ja täiustamiskõlblikke taastuvkütuste (biomass) ja/või jäätmete ning fossiilkütuste ühiskasutuse tehnoloogiaid (Renewable ..., 1999). Seni on kommertsedu saavutatud siiski vaid biomassi ja kivisöe koosgaasistamisel või -põletamisel. Euroopa Keskkonnaagentuur (22.03.2002: [http://reports.eea.eu.int/topic\\_report\\_2001\\_15/en](http://reports.eea.eu.int/topic_report_2001_15/en)) leiab, et uuematel või alles hiljuti väljaarendatud tehnoloogiatel, nagu jäätmete gaasistamine või termolüüs, võib samuti oma osa olla biolagunevate jäätmete (biomassi) riiklike strateegiade kujundamisel. Uute lahenduste otsimise vajadusele viitavad ka Euroopa Komisjoni poolt kavandatud pakendi taaskasutamise uued sihtarvud, mis näevad ette pakendijäätmete energiakasutust ainult 5% ulatuses kogutud pakendijäätmetest (Üleriiklik ..., 2002). Saksamaa parlament pikendas ja suurendas vedelate biokütuste maksusoodustusi kuni 2008. aastani ([www.folkecenter.dk](http://www.folkecenter.dk) kodulehekülge).

Taastuvate ja mittetaastuvate kütuste koosvedeldamist soodustab ka Euroopa Komisjoni otsus (7. 11. 2001) edendada biokütuste kasutamist ja harmoniseerida nende maksude vähendamine. Esimeses paragrahvis, artikkel 8c/1 selgitatakse näiteks, et maksuvabastus segukütustele ei tohi olla suurem kui 100% maksuvabastus segukütuse biokomponendile (*Position Paper of AEBIOM on the action plan for liquid biofuels*. 8.1.2002).

Euroopa Liidus peetakse tähtsaks tahketest taastuvkütustest vedelate transpordikütuste saamist, kaasa arvatud termokeemilise vedeldamise teel (tahkekütuse muutmise vedelateks süsivesinikeks). Termokeemilise vedeldamisena käsitletakse pürolüüsi (nagu läbivoolu-, vaakum-, kiir-, keevkiht-, osalise põletamisega, madaltemperatuurne jt pürolüüsi protsessid) ja mitmed teised kõrgerõhulised vedeldamise tehnikad, lisaks saaduste vääristamine, kui see osutub vajalikuks (Elliott, 1991).

### **Koosvedeldamiseks sobivate loodusvarade ja jäätmete varu Eestis**

Põlevloodusvarad. “*Eesti metsanduse arenguprogramm. Eesti metsapoliitika*” (RT I, 1997, 47, 768) sätestab metsavarude taastumist tagavaks puidukasutusmääraks 7,8, tegelik raie oli aastal 1999 ja 2000 12,7 ja 12,8 mln tm/a (Säästva ..., 2002). Puitu veetakse lisaks märkimisväärselt sisse. “*Säästva arengu seaduse*” (RT I, 1995, 31, 384) alusel välja antud “*Turba säästva kasutamise seadus*” (valitsuse määrus 213, 14.8.96.) võimaldab kaevandada turvast 2 780 000 t/a, aastal 2000 kaevandati 760 000 t

(Säästva ..., 2002). Roog annab aastas biomassi 10–40 t/ha, põhk üle 400 000 t, heina võiks koristada 220 000 ha-lt (Taastuenergiaallikate ..., 2001). Põlevkivi kaevandatakse viimastel aastatel alla 10 mln t. Taastumatu loodusvara kasutamiseks piiranguid ei tehta.

Jäätmed. Kõik taastuvad või mittetaastuvad põlevloodusvarad annavad töötlemisel jäätmeid, millest vaid osa leiab toormena või energiaallikana kasutamist kohapeal või teistes ettevõtetes. Taastuvatest ja taastumatutest põlevloodusvaradest valmistatud kasutuskõlbmatuks muutunud tooted ning eraldi arvestamist leidvad olmejäätmed ja pakendid on igal aastal täienev ressurss, mille kasutamise ergutamiseks koostatakse pidevalt seadusandlikke akte juurde. Osa põlevjäätmetest tekib Eesti kohalikust toormaterjalist, osa sisseveetavast toormaterjalist ja toodetest.

Ettevõtete jäätmeid tekkis 2000. aastal üle 11,6 mln t. Vastavalt Euroopa jäätmeloendi materjalipõhisele koondnimistule: puit 501 902, paber ja papp 3525, tekstiil 3189, toidujäätmed 35 631 ning vanaõli 6780 t.

Ohtlikke jäätmeid tekkis vaatlusalusel aastal ligi 6 mln t, sh põlevkivi poolkoksi 1 007 047, õlijäätmeid 7241, orgaaniliste keemiaprotsesside jäätmeid 1365 ning metallide ja plastide töötlemise ning pinnakatmise jäätmeid 1119 t. 2000. aastal põletati 155 000 t jäätmeid, neist 152 000 t puidujäätmeid (Säästva ..., 2002). Lisaks poolkoksi on ohtlike jäätmetena liigitatud poolkoksimägedesse ladestatav fuuss (pigijäätmed), mida 2000. aastal ladestati 8000 t (Üleriiklik ..., 2002). Fuuss on põlevkivi poolkoksisistamise ja -õli töötlemise jääk, mida tekib keskmiselt 5,5% kuiva põlevkiviõli kohta (Rooks, 1987) või 2% töötlemiseks võetud põlevkivi kohta (Kivimaa jt, 1991). Seega on seni tekkinud fuussi kogus 2,6 mln t. Põlevkivifuuss sisaldab õli 20–70, mehaanilisi lisandeid 8–55 ja vett 5–50% (Spravotšnik ..., 1988). Poolkoksi on ladestatud umbes 85 mln t.

Olmejäätmeid koguti 2000. aastal 544 194 ja töödeldi 59 t, 0,02% kogutud jäätmetest põletati. Veidi suuremaks hinnati paberi- ja kartongijäätmete töötlemismahtu, 1997. a 3,4 ja järgmisel aastal 1,6% (Säästva ..., 2002). Valikuuringu andmetel sisaldasid olmejäätmed 2000. aastal plasti 11,6, paberit, pappi ja kartongi 25,3, puitu 3,3 ning tekstiili 0,9%. Samal aastal tekkinud 150 000 t pakendijäätmeid sisaldas plasti 20, paberit ja pappi 34, kartongil põhinevad joogipakendeid 12 ning puitu 1% (Üleriiklik ..., 2002).

Seega tekib Eestis hulgaliselt põlevjäätmeid, mille abil on võimalik vähendada fossiilkütuse põlevkivi erikulu õli tootmises, parandada selle omadusi ja suurendada vedelkütuste varustuskindlust.

## **Puit**

Puidu vedeldamisealaseid uurimis- ja rakendustöid tehakse ühisuuringute korras Rahvusvahelise Energiaagentuuri (IEA) töögrupis BLTF. Näiteks toome aastate 1983...1990 kirjandusülevaate, milles viidatakse 156 pürolüüsi- ja kõrgetemperatuurilise vedeldamise alasele tööle, kaasa arvatud ülevaadetele, mille eesmärk oli puidust vedelsaaduste saagise maksimeerimine, kuid ka saadud bioõlide vääristamise ja muu biomassi vedeldamise alased uurimistööd, ka protsessi tehnilis-majanduslik iseloomustus (Elliott, 1991). Eriti suurt edu saavutati puidu kiirpürolüüsil. See on vana aeglase

pürolüüsi kõrval muutunud üheks biokütuse vedeldamise tavameetodiks. Kiirtermotöötlemise (*Rapid Thermal Processing RTP™*) abil, mis kommertsialiseeriti juba 1989. aastal, on võimalik igat tüüpi süsinikku sisaldavaid materjale konverteerida vedelkütusteks, põlevgaasideks ja kemikaalideks. Kõvadest puiduliikidest saadakse tavaliselt 10–15% niiskusesisalduse juures umbes kuni 73% vedelkütust (Graham ja Huffman, 1996). Puidu pürolüüsi kõrvalsaadustest puusüsi (poolkoks) ja põlevgaasid on kasutatavad protsessiks vajaliku energia saamisel (Non-nuclear ..., 1999).

Suuremahulisel puidu kiirpürolüüsil (vastavalt veidi vananenud eelkalkulatsioonile (Wrixon jt, 1993), kus võeti kuiva toite hinnaks 50 EUR/t (100%). Kui pürolüüsiõli (koos selles sisalduva veega) saagiseks võtta 70%, tuleks õli maksumuseks 109 EUR/t. Hüdrogeenitud bioõli maksumus 26%-lise saagise korral oleks 384 EUR/t. (Osaliselt vääristatud õli saagis oleks 48%.) Rafineeritud hüdrogeenitud bioõli maksumus saagisel 23% oleks 440 EUR/t. Kuid see protsess (1000 t puitu ööpäevas) ei ole veel rakendust leidnud. Suurim seade, millest kirjutati 1996. aastal, omas võimsust 50 t niisket puitu ööpäevas ehk 25 t kuivatatud materjali ööpäevas (Graham ja Huffman, 1996).

Puidust bioõli saamine konkureerib puidujäätmetega, kuna tahkete taastuvkütuste vedu on kallid suurte koguste ja kauguste korral. Nendest saadav vedelkütuste energiatihedus ruumala ühiku kohta on biomassi omast 10 korda kõrgem (Holt ja Burgt, 1999). Bioõli võib asendada kütteõli ja olla kasutatav mootorites, mis toodavad üheaegselt elektri- ning soojusenergiat. Pärast vääristamist hüdrogeenimise või katalüüsi teel saadakse vedelkütus, mille näitajad on lähedased naftast saadavatele ja on kasutatavad diisliga varustatud liiklusvahendites (Biomass, 2000).

Energiakasutuse efektiivsust toorbioõli saamisel kiirpürolüüsil taastuvatest tahkekütustest hinnatakse umbes 67%-le, õli elemendikoostis ei erine seejuures lähtematerjali omast. Üldkasutegur biotoorõlist kvaliteetse mootorikütuse saamisel katalüütilise konversiooni teel on suure vesinikukulu tõttu alla 40% (Holt ja Burgt, 1999). Taastuvkütustest saadav kiirpürolüüsiõli on suure hapniku- (40–59%), vee- (15–29%) ja orgaaniliste hapete sisaldusega (4–7%). Sellest tingituna on õli madala kütteväärtusega, ligi poole väiksemaga kui kerge kütteõli. Õli on ebastabiilne hoidmisel õhu käes või kõrgendatud temperatuuril (Gust, 1997). Kuumutamisel bioõli pakseneb, veefaas eraldub koos “vaigu/tõrva” ja “koksi” tekkega (Oasmaa jt, 1999).

### **Kivisüsi koosvedeldamise komponendina**

Sütt on vedeldatud koos vetikatega (Ikenaga jt, 2001), saepuru (Xu jt, 2001), teiste biokütuste (Karaca ja Bolat, 2002), plasti (Zhao jt, 2001) ja rehvidega (Rudzinski jt, 2001), gaasistati koos energiakultuuridega (Yu jt, 1999), hüdrogeeniti koos rehvidega (Bondarenko jt, 2001). Sünergeetiliste efektidena nimetati biomassi lisandi mõjul saadavat suuremat vedelproduktide saagist ja paremat koostist, energiakultuuride lisamisest tulenevat õli koostise muutust ning plastjäätmete soodsat mõju õli saagisele. Samas on ka avaldatud arvamust, et rehvide eraldi pürolüüs ja söega koosvedeldamine ei ole vaatamata väärtuskasvule tasuv (Rudzinski jt, 2001).

## **Põlevkivi koosvedeldamise komponendina**

Kivisöe ja põlevkivi lähtematerjal on erinev, eriti käib see vanade põlevkivide kohta, mille esmabioproduksioon pärineb täies ulatuses alamatelt taimedelt, samas kui on teada, et humiitkivisöe esmabioproduksioon pärineb kõrgematelt taimedelt. Eesti põlevkivid – kukersiitpõlevkivi ja diktüoneemakilt – on ühed iidsematest põlevkividest, neist esimene on tuntud hea õlikivina. Seepärast ei pruugi eelmises alapunktis öeldu rehvide koospürolüüsi majandusliku tasuvuse kohta kehtida põlevkiviga koostöötlemistehnoloogia kohta. Pealegi on Eestis rehvidest toodetud aastas 2491 t õli ja 562 000 m<sup>3</sup> gaasi (Tiikma jt, 2003).

Eesti kukersiitpõlevkivi ja polüetüleeni ja -propüleeni koospürolüüsiõli koostis osutus laborikatsete alusel sobivaks kütteõlina kasutamiseks (Tiikma jt, 2001), edasisel uurimisel selgitati, et õli vastab diislikütuse nõuetele (Tiikma jt, 2003). Uuritud on veel Iisraeli põlevkivi, polüpropüleeni ja nende segude termilise destruktsiooni seaduspärasusi (Gersten jt, 2000; Ballice jt, 1998; Ballice, 2001). Selgitatud on veel, et ligniidi (vähemuutunud humiit) lisamine põlevkivile tõstab õlisaagist (Sensoz jt, 2000).

## **Kokkuvõte – eesmärgid**

Eelnevast järeldub, et tahketest taastuvatest kütustest seni saadud vedelkütuste kvaliteet vajab parandamist. Õli kvaliteeti saab parandada täiendava töötlemisega. Kuid on veel teine võimalus, mida on seni vähe uuritud. See on õli koostise sihipärane muutmine erinevaid orgaanilisi lähtematerjale koosvedeldades. Soovitud tulemuse saavutamine tähendab vedelkütuste varustuskindluse suurenemist samaaegse kahjuliku keskkonnamõju vähenemisega ja tööhõive suurenemisega. Eesti jaoks on oluline uute teadmiste saamine põlevkivikeemiaga külgnevas valdkonnas.

Toetudes kirjandusandmetele ja TTÜ Põlevkivi Instituudis seni saadud tulemustele loodetakse kavandatud otsingulise uurimistöö abil välja selgitada puidu (eelistatult metsa- ja puidutööstusjäätmed), teiste taastuvkütuste (turvas, roog, õled) ja orgaaniliste jäätmete ning põlevkivi termokeemilise koosvedeldamise laguproduktide tekke seaduspärasused ja sünergiat esile kutsuvad töötlemistingimused, mis avalduvad kvantitatiivsetes (suurem õli saagis) ja/või kvalitatiivsetes (huvipakkuvam õli koostis) näitajates.

## **Tänuavaldus**

Uurimistöö on valminud Eesti Teadusfondi grand nr 5360 toetusel, mille eest autor on tänulik.

## **KirjandusReferences**

1. Ballice, L. (2001) Classification of Volatile Products Evolved from the Temperature-Programmed Co-Pyrolysis of Turkish Oil Shales with Atactic Polypropylene (APP). *Energy Fuels* 15(3): 659–665.
2. Ballice, L., Yüksel, M., Sağlam, M., Reimert, R., Schulz, H. (1998) Classification of volatile products evolved during temperature-programmed co-pyrolysis of Turkish oil shales with low density polyethylene. *Fuel* 77(13): 1431–1441.

3. Biomass. An Energy Resource for the European Union (2000) Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg: 20.
4. Bondarenko, N. V., Maloletnev, A. S., Golovin, G. S., Rode, V. V., Yashina, T. N. (2001) Hydrogenation of coal in a mixture with industrial rubber-containing wastes to obtain liquid fuel. *Khim. Tverd. Topl.* (1): 50–62.
5. Elliott, D. C., Beckman, D., Bridgwater, A. V., Diebold, J. P., Gevert, S. B., Solantausta, Y. (1991) Developments in direct thermochemical Liquefaction of biomass: 1983–1990. *Energy Fuels* 5(2): 399–410.
6. Gersten, J., Fainberg, V., Hetsroni, G., Shindler, Y. (2000) Kinetic study of the thermal decomposition of polypropylene, oil shale, and their mixture. *Fuel* 79(13): 1679–1686.
7. Graham, R. G., Huffman, D. R. (1996) Commercial aspects of Rapid Thermal Processing (RTP). Power production from biomass II with special emphasis on gasification and pyrolysis R&DD. *Gasification and Pyrolysis R&D&D for Industry*. VTT Energy. Espoo: 215–224.
8. Gust, S. (1997) Flash pyrolysis oil as light fuel oil replacement. *Bioenergia* (3): 36–37.
9. Holt, N. A., van der Burgt, M. J. (1999) Biomass conversion: prospects and context. *Power Production from Biomass. III Gasification and Pyrolysis R&D&D for Industry*. VTT. Espoo: 163–178.
10. Ikenaga, N., Ueda, C., Matsuki, K., Ohtsaki, M. (2001) Co-liquefaction of micro algae with coal using coal liquefaction catalysts. *Energy & Fuels* 15(2): 350–355.
11. Karaca, F., Bolat, E. (2002) Coprocessing of a Turkish lignite with a cellulosic waste material 2. The effect of coprocessing on liquefaction yields at different reaction pressures and sawdust/lignite ratios. *Fuel Processing Technology* 75(2): 109–116. (CA 2002: 136: 327907).
12. Kivimaa, H. M., Mešin, A. M., Piik, E. E. Ritslaid, M. O. (1991) Vozmožnosti utilizatsii slantsevõh fenolov. Problemõ sozdaniya moštšõh genetatorov dlja polukoksovanija gorjutsih slantsev. Moskva: 74–82.
13. Maniatis, K. (1999) Overview of EU Thermie gasification projects. *Power Production from Biomass. III Gasification and Pyrolysis R&D&D for Industry*. VTT. Espoo: 9–34.
14. Non-nuclear energy programme (1990–1994). *Joule II. Individual assessment of complex projects*. Vol. I. EUR 17981/1 EN, 1998. 143-143 and Vol. III. EUR 17981/3 EN, 1999. 600–601.
15. Oasmaa, A., Sipilä, K., Gust, S. (1999) Fuel oil quality of pyrolysis liquids. *Power Production from Biomass. III Gasification and Pyrolysis R&D&D for Industry*. VTT. Espoo: 413–416.
16. *Renewable Energy Systems. New Solutions in Energy Supply. Overview 1995–1998* (1999) Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg: 34.
17. Rooks, I. H. (1987) Tehnologija pererabotki gorjutših slantsev. *Khimia*. Leningrad: 95.
18. Rudzinski, W. E., Kariduraganavar, M. Y., Aminabhavi, T. M. (2001) Effective recycling of scrap rubber tires-alternative solutions. *Polymer News* 26(11): 392–396.



19. Sensoz, S., Putun, E., Kockar, O. M. (2000) Liquid products from pyrolysis of synthetic blends of Turkish oil shales and lignites. *Energy Sources* 22(8): 751–761.
20. Spravotšnik slantsepererabotšika (1988) *Khimija*. Leningrad: 256.
21. Säästva arengu näitajad. *Indicators of Sustainable Development* (2002) Statistikaamet. Statistical Office of Estonia. Tallinn: 155.
22. Taastuenergiaallikate majanduslikult põhjendatud rakendamine energia tootmiseks (2001) Majandusministeeriumi Taastuenergeetika nõukogu. Esim. Vares, V. Tallinn: 45 (käsikiri). (<http://www.tuuleenergia.ee/lehed/arengukavad.html>).
23. Tiikma, L., Bljakhina, I., Allik, M. (2001) Pyrolysis of waste polymers with oil shale. 27<sup>th</sup> Estonian Chemistry Days. Tallinn: 140.
24. Tiikma, L., Prjadka, N. ja Veski, R. (2003) Plastjätmed – paljutöötav lähtematerjal taastuvedelkütustele. Neljanda konverentsi kogumik. Peatoim. Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 129–135.
25. Veski, R. (2002) Taastuenergiaallikad ja Eesti rahvuslikud huvid. Kolmanda konverentsi kogumik. Peatoim. Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 22–34.
26. Wrixon, G. T., Rooney, A.-M. E., Palz, W. (1993) *Renewable Energy–2000*. Springer-Verlag: Berlin jt: 126.
27. Üleriiklik Jäätmekava (2002) Tallinn: 105.
28. Xu, J., Li, T.-chen, Yan, Y.-jie, Ren, Z.-wei (2001) Kinetic model for coliquefaction of coal and sawdust. *Huadong Ligong Daxue Xuebao* 27(4): 374–378.
29. Yu, Q., Brage, C., Chen, G., Sjostrom, K. (1999) Synergistic effect on tar formation in co-gasification of energy crops and coal. *Biomass*. Edited by: Overend, R. P. Chornet, E. *Proc. Biomass Conf. Am.*, 4th. 2: 1033–1040. (CA 2000: 132: 13766).
30. Zhao, M., Guo, C., Lu, Y. (2001) Coprocessing liquefaction on Ningwu coal and waste plastics. *Meitan Zhuanhua* 24(3): 62–64. (CA 2001: 135: 291029).

# THERMOCHEMICAL CO-LIQUEFACTION OF WOOD, ORGANIC WASTE AND FOSSIL FUELS FOR THE PRODUCTION OF LIQUID FUELS AND OTHER CHEMICALS

*Rein Veski*

Oil Shale Institute at Tallinn Technical University  
e-mail: rein.veski@mail.ee

## **Abstract**

Estonia is rich in renewable fuels such as wood and peat and non-renewable oil shale. In Estonia the use of renewable fuels means their direct combustion to produce heat and power. The European Union considers the production of liquid transportation fuels from renewable solid fuels and combustible waste also as important, including thermochemical liquefaction (conversion of solid fuels to liquid hydrocarbons). Co-liquefaction of coals with waste plastics and tire, petroleum and other liquid residues is also in practice, in Estonia the commercial co-liquefaction of oil shale and tires is used. At the same time, with rare exception there is almost no research done on co-liquefaction of renewable and fossil fuels. Flash-pyrolysis oils from renewable fuels only have high oxygen, water and organic acid content making fuel with a low heating value and unstable in air or at higher temperatures. According to the designed research project regularities of the decomposition product forming by thermochemical liquefaction of wood (incl. timber and wood industry wastes) and other renewable fuels (peat, reed, straw etc.), organic wastes and oil shale separately and in co-processing will be elucidated. It is expected to improve the quality of bio-oils, in other words to find out quantitative (higher yields) and qualitative (better composition) synergistic effects of co-processing. This is a large field for scientific activities, which is mostly uncovered by research work and which ought to be important to Estonia. So the security of supply must shift to the first place in Estonia and to reduce the environmental impact of energy production also. The research goal of the present project is to gain new knowledge and create competence in the new field of scientific activity adjacent to oil shale chemistry and chemical technology.

# EESTI BIOKÜTUSTE ENERGEETILISE RESSURSI HINNANG

Aadu Paist<sup>1</sup>, Ülo Kask<sup>1</sup>, Livia Kask<sup>1</sup> ja Mariliis Sihtmäe<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituut  
Kopli 116, 11712 Tallinn

e-post: apaist@sti.ttu.ee, ykask@sti.ttu.ee, liviakask@yahoo.com

<sup>2</sup>Tallinna Tehnikaülikooli keemia- ja materjalitehnoloogia teaduskond  
Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn  
e-post: mari.liis@mail.ee

## Annotatsioon

Eestis esineb veel taastuvate energiaallikate, sh taastuvate kütuste terminoloogias palju ebakõlasid ja selle valdkonna mõisted vajavad ühtlustamist. Mitmete aastate jooksul on paljud autorid püüdnud määrata kindlaks biokütuste ressursi Eestis. Seoses Eesti elektroenergeetika arengukava ja Eesti kütuse ja energiamajanduse pikaajalise arengukava uuendamise on käesoleva artikli autorid püüdnud arvestada mõningaid uusi aspekte (uus metsanduse arengukava, majanduslik potentsiaal energeetiliseks kasutamiseks jt) taastuvkütuste varude hindamisel.

TAASTUVKÜTUS, TURVAS, PUITKÜTUS, PILLIROOG, OLMEJÄÄTMED, BIOGAAS, TAASTUVKÜTUSTE ENERGEETILISED RESSURSID

## Kasutatud lühendid

ESA – Eesti Statistikaamet, EN – Euroopa Nõukogu, EÜ – Euroopa Ühendus, IPPC – *Integrated Pollution Prevention and Control*

## Mõisted

**Biomass** (*biomass*) üldises tähenduses on biotsünoosi (organismide eluskooslus) isendite elusaine hulk, väljendatuna toor- või kuivmassi ühikutes pinna või mahuühiku kohta (t/ha, g/m<sup>3</sup>).

**Biokütus** (*biofuel*) – bioloogilist (biogeenset) päritolu ja organismide elutegevuse tagajärjel tekkinud ning taastuvuse piires otseselt kütusena kasutatav, kütuseks töödeldud (väärindatud), või varem kasutusel olnud tahke, vedel või gaasiline aine. (Liide *bio-* tähendab, et objekt on pärit elusloodusest).

Taastuvuse määrab juurdekasvu ja tarbimise suhe. Juurdekasvust enam kogutud biokütust ei saa lugeda taastuvaks. Seega ei ole termin “biokütus” sünonüümiks terminile “taastuvkütus” (*renewable fuel*), ehk rääkides biokütusest, ei saa seda alati ja igal juhul pidada taastuvaks kütuseks. Taastuvaks peetakse ka olmejäätmeid, mis ei pruugi olla ainult biokütus. Eelnevast tulenevalt võiksime kasutada neist kõige laiemat mõistet – taastuvkütus –, kui räägime biomassi (biokütuse) energeetilisest kasutamisest, sest siis me saaksime hõlmata kõik kütused alates turbast ja lõpetades olmejäätmetega (*municipal solid waste*), k.a vanad autokummid.

## **Taastuvkütused (biomass)**

Põlevad taastuvad energiaallikad ehk **taastuvkütused** – töötlemata või töödeldult kütuseks kasutatavad või kasvatatavad fotosünteesivad taimed, nende jäätmed ja lagunemise produktid ning loomset päritolu jäätmed. Eestis võiks neist energia tootmise eesmärgil kasutada järgmisi: **puittaimed, kõrstaimed (roog, hundinui, põllukultuurid ja nende töötlemise jäätmed), vetikad, sõnnik, orgaanilised olme- ja tööstusjäätmed, k.a heitvete muda, biogaas (prügilagaas), turvas jt.**

Rahvusvaheliselt on praegu välja kujunenud, et energeetikas ja kütuse mõistes mõeldakse **biomassi** all biomassist saadavaid tahkeid kütuseid, aga biomassist saadavaid vedelkütuseid nimetatakse **biokütuseks**.

## **Taastuvkütuste klassifitseerimine taastumiskiiruse järgi**

Aeglaselt taastuv kütus – turvas.

Mõõdukalt taastuv kütus – puittaimed.

Kiirelt taastuv kütus – kõrstaimed (orgaanilised jäätmed).

## **Eesti turbavarud ja turba kasutamiskvoot**

Turbavarude bilansiga on arvele võetud 311 maardlat, neist tähtsamad on Ellamaa, Endla, Epu-Kakerdi, Lavassaare, Puhatu, Sangla.

Kriitiline varu – väikseim suurus, mis tagab loodusliku tasakaalu ja taastootmise, kaitse- ja serežiimide täitmise, bioloogilise ja maastikulise mitmekesisuse säilimise.

Kasutatav varu – kriitilisest varust üle jääv osa: EV Valitsuse 14. augusti 1996. a määrusega nr 213 – 775 mln tonni.

Teoreetiline varu – hästilagunenud (HL) turba koguaru (tarbevaru + reservvaru). 2000. a lõpul 1386 mln tonni.

Tehniline varu on HL turba aktiivne tarbevaru. 244 mln tonni.

Majanduslik varu on kasutatav varu (HL ja vähelagunenud (VL) turvas koos) – 775 mln tonni.

Lubatud kasutamiskvoot (HL ja VL turvas koos) 2005. a lõpuni 2,78 mln tonni aastas.

Kütteturvas – katelde ja ahjude kolletes põletamiseks toodetud turvas. Kütteturvaks on sobivam hästilagunenud turvas, kuid kasutatakse ka vähelagunenud turvast.

## **Turbaressursi arvestamise korrastamine**

Arvestusmetoodika muutumise tõttu ei ole võimalik teha pikema perioodi jooksul toimunud muudatuste analüüsi. ESA andmetel on arvelevõetud turbavarud ajavahemikus 1992–2000 suurenenud järgmiselt:

- kütuseks sobiva hästilagunenud turba varu 378 mln tonnilt kuni 1386 mln tonnini;
- vähelagunenud turba varu 159 mln tonnilt kuni 249 mln tonnini.

Samas on mitmes maakonnas summaarsed turbavarud väiksemad kui eelpool nimetatud määruises fikseeritud kriitiline varu.

### **Kütteturba tootmine ja tarbimine**

1998–2000 oli VL ja HL turba keskmine aastatoodang 786 400 tonni, mis moodustas kvoodist 28%.

1992–2000 keskmine aastatoodang 966 000 tonni, mis moodustas kvoodist 34,7%. Seega on turba kaevandamine olnud tublisti alla aastakvoodi.

Kaevandades turvast kuni 2005. a lõpuni kehtiva aastakvoodi (2780 000 tonni) ulatuses, arvestades ka turba aastase juurdekasvuga (500 000 tonni aastas), jätkuks antud hetkeks määratletud kasutatavast varust (775 000 000 tonni) 340 aastaks.

Oletades, et turba kasutamine seniseks otstarbeks jätkub samas mahus, kui 1992–2000. a keskmine ja aastakvoot 2,78 mln tonni kehtestatakse ka pikemaks perioodiks, võib kvoodi senikasutamata osas kaevandada hästilagunenud turvast ja suunata see elektrienergia tootmiseks.

Seega oleks aastas täiendavalt kasutada  $2780\ 000 - 966\ 000 = 1814\ 000$  tonni, mis vastab primaarenergiale 18,87 PJ (5,24 TW·h). Sellele lisandub seni elektri tootmiseks kasutatud turvas, mida oli 1998.–2000. a 18 000 tonni aastas, primaarenergia kogusega 0,19 PJ = 53 GW·h/aasta.

### **Puit (puitkütused)**

Puitkütuse kasutatavate (majanduslike) varude määramine ja uus kokkuleppeline raiemaht kinnitatakse tõenäoliselt uue metsanduse arengukava vastuvõtmise järel. Kõikide raieliikide kogumahuks kavandatakse selles 13,1 mln tm. Samas on hinnatud küttepuidu ja raiejätmete osa koguraies väiksemaks kui eelnevates arengukavades. Mitmete ametkondade arvamusel on osa raiet jäänud seni igal aastal statistiliselt registreerimata.

Prognoositava uue kokkuleppelise raiemahu – 13,1 mln tm aastas (2003, Eesti ..., Lisa 4) – alusel oleks võimalik kasutada 45,47 PJ puitkütust energeetilisteks vajadusteks (kogu majandustegevuses), sealhulgas elektri ja soojuse koostootmiseks 27,83 PJ (maha on arvatud ühepereelamute tarbimine, puidugraanulite ja grillisõe toore). Kui peame silmas ka energiametsa kasvatamist ja mittemetsamaadel oleva puidu kasutusele võtmist, võiks viimane arv olla 52,13 PJ ehk 14,48 TW·h aastas.

Realistliku, hinnangulise raiemahu – 10,8 mln tm aastas – alusel oleks 20,60 PJ e 5,72 TW·h aastas reaalselt energiaks (elekter + soojus) muundatav suurtes energiatootmise seadmetes (katlamajades, koostootmisejaamades). Võsa ja energiametsa osa lisamine kasvataks viimase 44,90 PJ e 12,47 TW·h aastas. Siinkohal arvestatakse raiutava puidu üha suureneva väärindusastmega, mistõttu küttepuidu osa jääb väiksemaks kui varasematel aastatel kasutatud 30%.

Samuti ei saa jätta arvestamata asjaolu, et suurt osa sellest puidu primaarenergiast juba kasutatakse soojuse tootmiseks. Kokkuvõtte puitkütuse varude ja toodangu kohta on toodud tabelis 1.

## **Põllukultuurid ja nende jäätmed (energiataimed)**

Eestis võiksid kasutamist leida raps/rüps bioõli ja söödavili bioetanooli tootmiseks transpordikütusteks viimased ka bioplastiks. Nende ja ka toiduvilja koristamise (õled) ja töötlemise jäägid oleksid kasutatavad energeetilise kütusena.

Ligikaudu 0,3 mln ha teravilja all olevalt põllumaalt võiks saada 0,37 mln t õlgi (põhku) energeetikas kasutamiseks, arvestusega, et umbes pool saagisest jääb põllumajandusse, seega 5,46 PJ e 1,52 TW·h primaarenergiat aastas.

0,2–0,3 mln ha põllumajandusmaad on praegu intensiivsest kasutusest väljas. Kui 0,1 mln ha metsastada, jääks kuni 0,2 mln ha vabaks näiteks energiaheina (päideroog, idakitsehernes, põldtimut jt) kasvatamiseks. Selle kuivaine saagikuse, 5 t/ha, juures võiks saada maksimaalselt 40,50 PJ e 11,25 TW·h primaarenergiat aastas.

Kogu ressurss, 12,77 TW·h, oleks kasutatav elektri ja soojuse koostootmiseks.

Nii energiametsa kui energiaheina istanduste rajamine ilma toetussüsteemita ei ole praegu reaalne, kuigi tehnika energiaheina kultiveerimiseks ja koristamiseks oleks olemasoleva põllumajandustehnika näol kasutada. Põhu energeetiline kasutamine oleks käesoleval ajal tõenäoline, kuid tasuvus sõltub oluliselt veokaugusest. Seega potentsiaalsed kasutajad peaksid asuma suurte viljakasvatusefarmide läheduses.

## **Looduslikud kultuurid (pilliroog, hundinui)**

Looduslike roostike veepealsete taimeosade kuivaine tootmine on 7–10 t/ha. Kahel uuritud alal – Matsalu ja Saare maakonna roostikes – peetakse optimaalseks roo koristust kokku 3500 hektaril, mis annaks primaarenergiat kuni 0,27 PJ e 0,07 TW·h aastas.

Eesti roostike kogupindala TÜ geograafia instituudi märgalade kaardi järgi on ~26 000 ha, millelt kogutava roo primaarenergia kogus oleks 1,98 PJ e 0,55 TW·h aastas, sest koristust peetakse võimalikuks 2/3 pindalalt.

Hundinuiad ja pilliroog on kasvatatavad ka kunstlikel märgaladel e biopuhastites (mäldadel), kus nende tootmine on kahekordne võrreldes looduslike märgaladega. Peetakse reaalseks rajada 0,1 mln ha kunstlikke märgalaid hundinuiade istandikega, mis võiks anda 22,68 PJ e 6,3 TW·h aastas primaarenergiat. Lähemas tulevikus on selle ressursi laialdasem kasutamine vähetõenäoline.

## **Biogaas**

Eestis toodetakse ja on toodetud biogaasi energiatootmise eesmärgil sõnnikust ja heitvete mudast ning kogutakse seda Pääsküla prügilast.

EN direktiiv 96/61/EÜ 26.09.96 reostuse kompleksse vältimise ja kontrolli kohta sätestab muuhulgas nõuded suurfarmidele kodulindude või sigade intensiivkasvatuseks suurusega üle:

- a) 40 000 linnu;
- b) 2000 produktiivset (kaaluga üle 30 kg);
- c) 750 emise.

Tabel 1. Koondandmed puitkiütuse varude ja toodangu kohta koos energiasisaldusega

Table 1. Concentrated data of wood fuel production and resources with primary energy content

Liik, allikas	Teoreetiline varu, mln tm	Tehniline varu, mln tm/a	Majanduslik varu, mln tm/a	Toodang praegu, mln tm/a	Majandusliku varu energiasisaldus, PJ
<b>Küttepuit (KP)</b>	Metsa üldvaru – 409,4 465,5 OÜ Eesti Metsakorralduskeskuse andmetel	Kokkuleppeline raiemaht (KLR) alla 7,81 Kavandatav raiemaht (KR) 13,1 Hinnanguline raiemaht (HR) 10,8	Raie 6,7 (1999) Kokkuleppelise raiemahu järgi 1,56 Kavandatava raiemahu järgi 2,62 Ekspert hinnangu alusel võiks küttepuidu osa olla 2,16 Küttepuidu osa ~20% raiemahust	1,66 (1999), sellest: 0,13 soojuseks; 0,09 muundati teisteks kütuseliikideks; 1,46 lõpptarbimiseks	Praeguse toodangu kohta 12,13 Praeguse kokkuleppelise raiemahu järgi 11,40 Kavandatava raiemahu järgi 19,15 Realistliku, hinnangulise raiemahu järgi 15,79

<b>Liik, allikas</b>	<b>Teoreetiline varu, mln tm</b>	<b>Tehniline varu, mln tm/a</b>	<b>Majanduslik varu, mln tm/a</b>	<b>Toodang praegu, mln tm/a</b>	<b>Majandusliku varu energiasaldus, PJ</b>
<b>Raiejäätmed (RJ)</b>	Osa metsa varust	Osa raiest Jäätmeid keskmiselt kuni 20% raiutavast puidust KLR – 1,56 KR – 2,62 HR – 2,16	Tehnilis-majandus- likud eeltingimused kasutamiseks on enamikus piirkon- dades loomata KLR – 0,78 KR – 1,31 HR – 1,08 Energeetiliseks kasutamiseks ~50% raiejäätmetest	Hinnanguliselt mitte üle 0,05 (2001)	Praeguse toodangu kohta 0,37  KLR – 4,69 KR – 7,88 HR – 6,49
<b>Puidu- tööstuse- jäätmed (PTJ)</b>	Osa metsa varust Osa impordist	Osa raiest Koos ~15% impordiga KLR – 4,05 KR – 6,52 HR – 5,59 Kui raiutav puit töödeldakse Eestis	KLR – 1,62 KR – 2,61 HR – 2,34 Puidutööstuses läheb ~40% lähtematerjali jäätmeteks, mis sobib energeetiliseks kasutamiseks	1,42 (1999), sh 0,88 muundatakse soojuseks, 0,50 lõpptarbimiseks	8,69, sh 5,39 muundatakse soojuseks; 3,09 lõpptarbimiseks KLR – 10,69 KR – 17,23 HR – 14,75



<b>Liik, allikas</b>	<b>Teoreetiline varu, mln tm</b>	<b>Tehniline varu, mln tm/a</b>	<b>Majanduslik varu, mln tm/a</b>	<b>Toodang praegu, mln tm/a</b>	<b>Majandusliku varu energiasisaldus, PJ</b>
<b>Puidugraanulid e pelletid ja puidubrikett (PPB)</b>	Osa metsa varust Osa impordist	Osa puidutööstuse jäätmetest	Toore tekib puidu- ja mööblitööstuses	Pelletite toodangu prognoos 2002. a 155 000 t/a Praktiliselt kõik eksporditakse Puidubriketi eksport ~20 000 t/a. Vähesel määral tarbitakse Eestis	Praeguse toodangu kohta kuni 3,2
<b>Puusüsi (PS)</b>	Osa metsa varust metsa- ja mittemetsamaadel	Osa raiest	Põhiliselt väheväärtuslik puit mittemetsaaladelt praegusele söe toodangule vastavalt 0,06	Toodang hinnanguliselt 10 000 t/a (2001) Eksport u 75%. Kasutatakse peamiselt grillsöena toidu tegemiseks	Praeguse toodangu toorme järgi 0,44
<b>Võsapuit (VP)</b>	Osa varust mittemetsamaadel – 4,93 (põõsastikud, looduslikud rohumaad)	Hinnanguliselt 0,13	Raiemaht võiks olla 0,7; sh hall lepp 0,5, sookask 0,05, mänd 0,02 ja muu 0,13	Statistilist arvestust ei peeta (kaudne arvestus). Kasutatakse väikeelamute kütteks	Majandusliku varu järgi 5,0

<b>Liik, allikas</b>	<b>Teoreetiline varu, mln tm</b>	<b>Tehniline varu, mln tm/a</b>	<b>Majanduslik varu, mln tm/a</b>	<b>Toodang praegu, mln tm/a</b>	<b>Majandusliku varu energiasisaldus, PJ</b>
<b>Energiavõsa ja -mets (EM)</b>	Muust kasutusest vaba maa 0,2–0,3 mln ha	Hinnanguliselt 0,1 mln ha	Saagikus ~15 t/ha kuivainet, kokku 1,5 mln tonni e 4,05 mln tm (arvestatud energiapajuga)	Katsekasvatamine Toodang olematu	Hinnanguliselt 24,3
<b>Ehitus- ja lammutusjätmed (ELJ)</b>			Sõltub ehitustegevusest ja elamufondi amortiseerumisest	Puudub statistiline arvestus Hinnanguliselt ~5% puitkütuse lõpptarbimisest elamumajanduses e 0,07	Praeguse toodangu kohta 0,48
<b>Must leelis (ML)</b>	Osa metsa varust	Osa tööstuslikust puidust	Sõltub paberitööstuse käekäigust (AS Horizon Kehras)	50 300 t/a (2001)	Praeguse toodangu kohta 0,73

Neid, nn IPPC ettevõtteid, oli Eestis seisuga 18.11.1999.<sup>1</sup>:

sigalaid 43, potentsiaalse biogaasi primaarenergia aastatoodanguga 29,89 GW·h<sup>2</sup>;

linnufarme 6, potentsiaalse biogaasi primaarenergia aastatoodanguga 4,38 GW·h<sup>3</sup>.

Tehniliselt minimaalselt saadav biogaasi primaarenergia Eesti põllumajandusettevõtetes oleks 34,27 GW·h/a. Tegelikult võib see kogus olla märksa suurem, sest peaaegu kõigis 49 farmis on sigu/linde rohkem kui minimaalselt vajalik IPPC nõuete täitmiseks, kuid vastavaid usaldusväärseid andmeid ei olnud saadaval. Teoreetiliselt maksimaalne biogaasi primaarenergia hulk on Eestis 1,44 PJ e 0,4 TW·h /a. Viimase väärtuse leidmiseks summeeriti kõik kariloomad ja linnud ning nende sõnnikust potentsiaalselt saadav biogaasi primaarenergia.

Loomade/lindude arv Eestis seisuga 1.01.2001. (tuhandetes): lambaid/kitsi – 31,4, veiseid – 243,8, sigu – 268,3 linde – 2529.

Farmi biogaasi laialdane kasutamine energiatootmiseks vajaks suurte toetussüsteemide käivitamist. Välistatud ei ole üksikute suurfarmide sõnniku integreeritud käitlemis-süsteemi käivitamine eesmärgil saada energiat ja väetist ning leevendada keskkonnan-saastet.

## **Olmejäätmed**

Mitmed jäätmeliigid pakuvad huvi energeetikale. Jäätmete põletamise seisukohast on olmejäätmed kõige olulisemal kohal.

Muudeks jäätmeteks on näiteks põlevkivi utmisel tekkiv poolkoks, vanad rehvid, prügilagaas. Jäätmete põletamisel saadakse osaliselt tagasi energia, mis on kulutatud nendele toodetele, millest jätmed on tekkinud.

Olmejäätmel saab vaadelda taastuva kütusena. Taastuvus on seletatav sellega, et kütusena ära kasutatud jäätmete asemele tekib alati uusi jätmeid ja enamus on neist bioloogilist päritolu. Praegusel ajal on olmejäätmes biolagunevate jätmete osatähtsus 65–75%.

Eestis moodustasid jätmete koguhulgast olmejäätmel 2000. a 544 000 tonni, e 4,7%. Ühe inimese kohta tuli 2000. a olmejätmeid 378 kg. Olmejätmete aastane summaarne põlemissoojuse ressurss on 5,8 PJ e 1,61 TW·h.

Olmejätmetest tekkivat prügilagaasi kogutakse Pääsküla prügilas ja kasutatakse kütusena läheduses olevates katlamajades ja koostootmisjaamas. Saadava gaasi aastane toodang on ligikaudu 3 mln m<sup>3</sup>, perspektiivis 5–6 mln m<sup>3</sup>, primaarenergia sisaldusega 0,11 PJ e 30 GW·h.

Tallinna heitveepuhastusjaamas toodetakse ka umbes 2,8 mln m<sup>3</sup> biogaasi, mille primaarenergia sisaldus on 0,05 PJ e 13,1 GW·h ning mida kasutatakse mootorikütuse-na kompressorite käitamiseks ja soojuse tootmiseks. Biogaasi baasil plaanitakse

---

<sup>1</sup> Arvestati IPPC nõuete alla võtmiseks kehtivate minimaalsete sigade/lindude arvudega (põlluma-jandusministeeriumi andmed). Autorite märkus.

<sup>2</sup> Kasutati järgmisi biogaasi energiasisalduse normatiivnäitajaid: 1 emis – 2 kW·h/ööpäevas, 1 nuumsiga – 0,9 kW·h/ööpäevas. Autorite märkus.

<sup>3</sup> Kasutati järgmist biogaasi potentsiaali normatiivnäitajat: 1 lind – 0,05 kW·h/ööpäevas. Autorite märkus.

elektrit tootma hakata ka ASis Narva Vesi. Eesti suuremates linnades tekkivatest toidujäätmetest võiks anaeroobse kääritamise tulemusel saada hinnanguliselt 0,36 PJ e 0,1 TW·h primaarenergiat aastas.

Üheks energeetiliseks ressursiks on ka vanad rehvid. Hinnanguliselt tekib Eestis vanu rehve 10 000 t/a, mille summaarne põlemissoojuse ressurss on 320 TJ/a. Vanade rehvide prügilatesse ladestamine tuleb lõpetada 2006. a juuliks.

## Kokkuvõte

Ülevaatlikkuse mõttes esitame olulisemad andmed tabelis 2.

*Tabel 2. Taastuvate kütuste ressursside teoreetiline ja majanduslik potentsiaal primaarenergia sisalduse järgi*

*Table 2. Economical and theoretical potential of renewable fuels by primary energy content*

Taastuv kütus	Teoreetiline potentsiaal		Majanduslik potentsiaal	
	PJ	TW·h	PJ	TW·h
Puit	52,13	14,48	20,60*	5,72*
Põhk	5,46	1,52	–	–
Energiataimed	40,50	11,25	–	–
Pilliroog	1,98	0,55	–	–
Biogaas	1,44	0,4	0,11	0,03
Toidujäätmed	0,36	0,1	–	–
Turvas	18,87	5,24	0,19**	0,053**
Olmejäätmed	5,80	1,61	0,16**	0,043**
<b>Kokku</b>	<b>126,18</b>	<b>35,05</b>	<b>21,06</b>	<b>5,85</b>

\* See ressurss oleks elektri ja soojuse koostootmiseks kasutatav, kui vajalikud seadmed paigaldada ka juba praegu puitkütust põletavatesse katlamajadesse.

\*\* Praegu kasutusel olev.

Põhu, energiataimede, pilliroo ja olmejäätmete kasutamist energia (elekter + soojus) tootmiseks on raske prognoosida enne riigi vastava poliitika väljakujundamist ja valitsusepoolset tunnustamist.

## Kirjandus ▫ References

1. Autorite kollektiiv (2002) Eesti elektroenergeetika arengukava aastani 2030. Tallinna Tehnikaülikool. Tallinn: 238.
2. (2003) Eesti metsanduse arengukava aastani 2010. Eesti Vabariigi keskkonnaministeerium. Tallinn: 37.

# ASSESSMENT OF THE ENERGY RESOURCE OF ESTONIAN BIOFUELS

*Aadu Paist<sup>1</sup>, Ülo Kask<sup>1</sup>, Livia Kask<sup>1</sup> and Mariliis Sihtmäe<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Thermal Engineering Department of Tallinn Technical University  
e-mail: apaist@sti.ttu.ee, ykask@sti.ttu.ee, liviakask@yahoo.com

<sup>2</sup>Faculty of Chemistry and Materials Technology of Tallinn Technical University  
e-mail: mari.liis@mail.ee

## **Abstract**

There is still a discord in the terminology of renewable power sources incl. terminology of renewable fuel in Estonia that needs to be harmonised. Over many years scientists in Estonia have worked on a long-run fuel and energy economy development plan. Authors of this article have tried to consider some new aspects (like new forestry development plan, economic potential for energetic use etc) assessing reserves of renewable fuels.

# VEDELATE BIOKÜTUSTE SAAMISE VÕIMALUSTEST

*Heino Rang ja Jüri Kann*

TTÜ Keemia Instituut, Akadeemia tee 15, 12618 Tallinn  
e-post: heino.rang@chemnet.ee

## **Annotatsioon**

Käesolev ettekanne on osa Eesti Teadusfondi grandiprojektist 5018 “Vedelkütuste kvaliteedi parandamine”. Etanooli ja biodiislikütuse kasutamine mootorikütusena muutus aktuaalseks 1970-ndail aastail seoses naftakriisiga. Keskkonnakaitse seisukohalt on mootorikütuste puhul kõige olulisem, et need ei suurendaks kasvuhooonegaaside efekti ja et mootori heitgaasid sisaldaksid võimalikult vähe või ei sisaldaks üldse mitte mürgiseid komponente. Bioetanooli kasutamine ottomootorikütusena ei suurenda kasvuhooonegaaside efekti. Etanool ottomootorikütusena vähendab mootori heitgaasides mürgiste gaaside (CO, NO<sub>x</sub>) sisaldust ja suurendab kütuse oktaaniarvu väärtust. Seni on bensiini oktaaniarvu väärtuse parandajaks kasutatud põhiliselt metüül-*tert*-butüületrit (MTBE). Viimastel aastatel on kindlaks tehtud, et MTBE on toksiline, kantserogeenne ja kumuleerub pinna- ja põhjavetes. MTBE biolagunemise poolestusaeg on üle 2 aasta, lahustuvus vees on kuni 54,3 g l<sup>-1</sup>. MTBE laialdane kasutamine bensiini lisandina on reostanud nii pinna- kui ka põhjavett. Seetõttu on USA-s päevakorras aastaiks 2004 ja 2005 asendada MTBE etanooliga. On oluline teadvustada see probleem ka Euroopas ja Eestis. Viimane aeg on alustada MTBE monitooringut ka Eesti pinna- ja põhjavetes.

**MOOTORIKÜTUS; BIOETANOOL, BIOKÜTUS, BIODIISLIKÜTUS,  
KESKKONNAMÕJU**

## **Sissejuhatus**

Tselluloosne biomass ja tselluloossed heitmed (metsatööstusest, põllumajandusest ja olmest) kui bioetanooli toorained katavad arvutuste järgi tänapäeval ottomootorite kütusevajaduse täielikult. Kaasaegne bioetanooli valmistamise tehnoloogia hõlmab tselluloosi ja hemitselluloosi täielikku ensümaatilist lagundamist vastavalt heksoosideks ja pentoosideks, viimaste koosfermenteerimist etanooliks ja üheaegset suhkrustamis- ja fermentatsiooniprotsessi ehk SSF (*Simultaneous Sacharification and Fermentation*). Need tehnoloogiad tagavad bioetanooli omahinna konkurentsivõime bensiini omahinnaga. Kaasajal pidurdab Eestis bioetanooli kasutamist mootorikütusena kõrge aktsiisimaks.

Biodiislikütuse valmistamiseks on viimasel ajal välja töötatud mitmeid elegantseid tehnoloogiaid, nagu immobiliseeritud biokatalüsaatoritega protsess, taimeõlide metanolüüs *in situ*, s.t seemnete töötlemine metanooliga happelise katalüsaatori manulusel ja ka katalüsaatorita protsess, mis on metanolüüs ülekritilistel tingimustel. Kõik need protsessid ei tõrju aga majanduslikel põhjustel välja juba klassikalist taimeõlide kaheastmelist ümberesterdamist metanooliga leelise manulusel.

Biodiislikütuse ressurss maailma mastaabis katab keskmiselt 20% diislikütuse vajadusest. Keskkonda säästvat biodiislikütust on Eestis võimalik toota ja kasutada ilma või väga väikese aktsiisimaksuga, nii nagu see on Euroopas.

Kütuselementides kütusena kasutatavad mittetaastuvast toormest saadavad vesinik, metaan ja sünteetiline metanool suurendavad kasvuhoonegaaside efekti. Ainult bioetanool ja biometaan või nn “roheline elektri” toimetel saadud vesinik kui kütuselementide kütused ei suurenda kasvuhoonegaaside efekti. Biometaani tootmise maht on tänapäeval tühine. Bioetanoolil baseeruvate kütuselementide kasutamist tulevikus võib pidada reaalseks.

### **Bioetanooli kasutamine ottomootori kütusena**

1970-ndate aastate naftakriisi tulemusena hakati USA-s kasutama gasoholi, milles bensiin sisaldab 10% etanooli. Tänapäeval moodustab gasohol USA-s 10% kogu bensiini tarbimisest. Brasiilias mindi sel perioodil peaaegu täielikult üle etanooli kasutamisele, nii et 1980-ndate aastate alguses 90% turustatud autodest oli seadistatud etanooli kasutamiseks. Nafta hindade leevendumisega toimus etanooli kui mootorikütuse tarbimises tagasimine. Eriti suur oli see Brasiilias, kus tänapäeval turustatakse jällegi põhiliselt bensiinikütusel sõitvaid autosid. Siiski turustatakse ka bensiini, mark E22, mis sisaldab 22% etanooli. Brasiilias toimib praegu riiklik programm ProAlcohol II, mille raames tahetakse täielikult üle minna margile E22 ja edasi ka E24-le. Bensiin, etanoolisisaldusega kuni 26%, on veel kasutatav tavalises bensiinimootoris, mille kütuse sisestussüsteem on ümber seadistamata. Ühendriikides on käesoleval ajal müügil gasoholi kõrval ka mark E85, mis sisaldab 85% etanooli ja isegi mark E95. Nende tarvis on nii Ford kui ka General Motors välja lasknud paindliku kütuse sisestussüsteemiga autosid, nn “cars with flexible engine”, mida saab auto maatselt ümber seadistada kas bensiini või E85 kasutamisele. Nende osatähtsus on väike. Ilmselt n-ö roheline südametunnistusega inimesed on nende kasutajad.

Ka Rootsis olevat müügil kütus E85, kuigi EN (Euroopa Nõukogu) direktiivi järgi on lubatud maksimaalne etanoolisisaldus bensiinis 5 mahuprotsenti. Erinevate katseandmete järgi vähendab 5–10%-line etanoolisisaldus bensiinis mootori heitgaasides CO-sisaldust 20–30%, N-oksiidide ja süsivesinike sisaldust 5–10%. Aldehüüdide- (etanaali-) sisaldus seejuures võib vähesel määral tõusta.

Bioetanooli kasutamise mootorikütusena määrab selle hind ja ressurs. Olukorra näitlikustamiseks on vist kõige õigem esitada võrdlusandmed, mis on teada USA kui kõige eesrindlikuma tehnoloogiaga maa kohta. Tänapäeval moodustab USA-s toodetavast etanoolist üle poole sünteetiline etanool, mis on saadud eteeni hüdrateerimisel. Bioetanooli põhiline osa saadakse ikkagi teraviljast, USA-s peamiselt maisist. Tselluloos-est biomassist saadava etanooli tootmismahut on  $11,3 \cdot 10^6$  dekaliitrit aastas, mis moodustab umbes 2% kogu etanooli tootmismahust. Teraviljast toodetav etanool ei ole käesoleval ajal hinna poolest konkurentsivõimeline bensiiniga. Ka tootmismahult pole USA-s tänapäeval veel võimalik üle minna täielikult gasoholi kasutamisele.

USA Energeetika Departemangu NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) ehk taastuva energia uurimiskeskuse ühe juhtiva spetsialisti Sheehani hinnangul on aastaks 2010 võimalik katta etanooliga (mark E85) 110% ulatuses ottomootorite kütuse vajadus. Seejuures tuleb rakendada kogu võimalik tselluloosne toore, nii hakkpuit kui ka tselluloossed heitmed metsatööstusest, põllumajandusest kui ka olmest. Ka bioetanooli hind kujuneb bensiiniga konkurentsivõimeliseks, kui rakendada tselluloosse biomassi töötlemiseks kõige kaasaegsemat tehnoloogiat, s.o biomassi eeltöötlust

nii tselluloosi kui ka hemitselluloosi ära kasutamist, tselluloosi ja hemitselluloosi ehk polüsahhariidide ensümaatilist suhkrustamist ja SSF tehnoloogiat. Seda viimast pole tavalise pärmiga (*Saccharomyces cerevisiae*) võimalik teostada (suhkrustamise temperatuur on 60 °C, fermentatsioonil 36 °C), selleks kasutatakse geneetiliselt muundatud mikroorganisme, siia juurde kuulub ka heksooside ja pentooside koosfermenteerimine.

Etanooli kasutamisel mootorikütusena tuleks eraldi peatuda sellel, et etanool suurendab oktaaniarvu väärtust. Bensiini oktaaniarvu väärtuse suurendamine oli probleemiks juba 1930-ndail aastail, mil võeti kasutusele tetraetüülplii. MTBE vahetas välja tetraetüülplii. MTBE litsentseeriti 1979. a USA-s EPA (*Environmental Protection Agency*) poolt. Järgnevalt võeti MTBE kasutusele Euroopas ja mujal maailmas. Tänapäeval kasutatakse umbes 85% ulatuses bensiinides MTBE-d, etanool moodustab kuni 10% ja ülejäänud on kasutusel kuni 5% ulatuses.

MTBE kasutuselevõttuga sai loobuda väga mürgisest tetraetüülplii, kuid tagantjärele tarkusega hinnatakse, et MTBE rakendamine toimus siiski liiga kiiresti, arvestamata kõiki võimalikke aspekte, sest MTBE on mürgine ( $LC_{50}$  katseloomadele on 880–1240 mg L<sup>-1</sup>) ja kantserogeenne, seejuures muidugi tunduvalt vähem kui Et<sub>4</sub>Pb. 1986. a US EPA klassifitseeris MTBE võimaliku kantserogeense toime inimesele. Nüüd on jõutud sinnamaani, et *US National Institute of Environmental Health Science* (NIEHS) on klassifitseerinud MTBE inimestele kantserogeense ainena. MTBE on vees lahustuv kuni 54 g/L ja teda leidub USA-s juba märgatavalt nii pinna- kui ka põhjavees ning sinna satub ta põhiliselt kütusemahutite lekkimisest. MTBE on küllaltki püsiv ühend biodegradeerimisel. USA-s planeeritakse optimistlike prognooside järgi aastaiks 2004/2005 MTBE asendada etanooliga. Selleks ajaks on ka etanooli tootmine jõudnud vajalikule tasemele. Euroopas ei ole teadvustatud ohtu, mis tuleneb MTBE kasutamisest bensiinis. Esiteks hakati Euroopas MTBE-d kasutama hiljem kui USA-s ja kasutatakse ka vähem. Nii Euroopas kui ka USA-s kehtivad normid lubavad MTBE maksimaalseks sisalduseks 15% bensiinis. USA-s on see tegelikult 11–15%, Euroopas 1,5–5%, seejuures Euroopa bensiinide aromaatsete süsivesinike lubatud piirkontsentratsioon on 42% ja tegelik 36–42%. Ühendriikides on aromaatsete süsivesinike sisaldus bensiinis keskmiselt 30% piirides.

Etanooli kasutamisel on põhiliseks probleemiks selle segunemine veega ja hügroskoopsus, millest tingitult võib etanool kontaktis õhuniiskusega niivõrd veega lahjeneda, et eraldub bensiinist, kihistub. Sellest tingitult on nii Euroopas kui ka USA-s normeeritud vee sisalduseks etanoolis, mida segatakse bensiiniga, maksimaalselt 1%. Etanoolisisaldus bensiinis võib kehtivate EN direktiivi järgi olla maksimaalselt 5%. USA-s, nagu eelpool mainitud, on kütuse margid 10%, E85, E95. Bensiiniga segatava etanooli valmistamisel on täiendavaks tehniliseks probleemiks etanooli aseptroobi 95,53 massiprotsendi veetustamine. Seejuures peab märkima, et umbes 40% aromaatsete süsivesinike sisaldusega bensiinile etanooli lisamisel kihistub see bensiinist välja, kui veesisaldus etanoolis on 7% või enam temperatuuril 20 °C.

Etanooli veetustamiseks on välja töötatud terve rida tehnoloogiaid: aseptroopne rektifikatsioon, ekstraktiivne rektifikatsioon, kuivatite või molekulaarsõeltega vee eraldamine, üle kriitilise CO<sub>2</sub>-ga töötlemine umbes 40 °C ja 100 atm juures, ekstraktsioon bensiiniga ja järgnev kuivatamine, pervaporatsiooni membraantehnoloogia. Tööstusli-



kult on rakendatud aseotroopset rektifikatsiooni, mis koosneb kahest energiamahukast rektifikatsioonist, ja membraantehnoloogiat, viimase puhul esineb probleemina membraanmaterjalide ebastabiilsus.

Seejuures peab meelde tuletama, et kasvuhoonegaaside efektile mingit olulist mõju 5– või 10%-line etanoolisisaldus bensiinis ei anna, kuigi paraneb heitgaaside koostis, s.t väheneb CO- ja süsivesinikesisaldus. Kui ottomootorites kasutada kütusemarke E85 või E95, alles siis võib mõningal määral pidurdada kasvuhoonegaaside efekti suurenemist.

## **Biodiislikütus**

Seoses juba nimetatud naftakriisiga sai alguse 1980-ndail aastail ka biodiislikütuse tootmine ja kasutamine diiselmootorites. Biodiislikütuseks (BDK) tänapäevases mõttes nimetatakse taimsetest ja loomsetest õlidest ning rasvadest metanooliga (aga ka etanooliga) ümberesterdamisel saadud, enamasti kõrgemate rasvhapete metüülestrite (etüülestrite) segusid.

Juba Rudolf Diesel ise katsetas aastal 1900 diiselmootori kütusena taimeõli, mis on kirjas tema 1913. a avaldatud viimases trükises “*Die Entstehung des Dieselmotors*”. 1930- ja 1940-ndail aastail kasutati aeg-ajalt, n-ö äärmisel vajadusel, taimeõlisid kütusena diiselmootoris. Taimeõlid diislikütusena on siiski liiga viskoossed, miinustemperatuuridel kaotavad voolavuse ja peale selle tekitavad mootoris sadestusi.

Biodiislikütuse alaste uurimistöödega alustas Freedman kaastöölistega 1978. a. Biodiislikütuse tootmiseni jõuti esmaselt Austrias 1990. a. Aastal 2000 oli BDK aastatoodang Euroopas 1 210 000 t (Saksamaa 550 000 t, Prantsusmaa 290 000 t, Itaalia 240 000 t, Belgia 110 000 t, Tšehhi 47 000 t jne). Seejuures toodangumaht kasvas aastast 1997 2,2 korda. Põhiliseks toormeks on Kesk-Euroopas rapsiõli, Lõuna-Euroopas päevalilleõli, USA-s sojaõli ja Malaisias palmiõli. Kasutatakse ka veel praadimise jääkõlisid ja ka loomseid rasvu.

Põllupinna ja saagikuse arvestuste põhjal on kogu maailma mastaabis BDK-ga võimalik katta umbes 20% diislikütuse vajadusest. Seega tuleks puhast BDK-d kasutada seal, kus heitgaasides saastamine on kõige suurem, näiteks linnaliinibussides, aga ka põllumajanduses, eriti mahepõllumajanduses. Muudel tingimustel oleks otstarbekam kasutada marki D20 (20% BDK), mida turustatakse nii Prantsusmaal kui ka USA-s. Kesk-Euroopas on müügil puhas BDK.

Euroopas on BDK hinna poolest konkurentsivõimeline naftadiislikütusega, kui BDK-le ei rakendata aktsiisimaksu, nagu seda tehakse enamikus Euroopa riikides. Seda peaks arvestama ka Eestis. Eestis oleks praegu reaalne toota toiduõli kõrvalt kuni 30 000 t rapsi metüülestreid ehk RME (BDK). Arvestades, et Eestis on ligikaudu 270 000 ha põllumaad söötis, võiks väga optimistliku prognoosi järgi toota maksimaalselt umbes 100 000 t BDK. Diislikütuse (DK) vajadus oli aga 2001. a 330 000 t, seega üle 30% pole võimalik mitte kunagi kogu DK vajadusest katta.

*Tabel 1. BDK tootmise väga optimistlik prognoos Eestis, rakendades 6-aastast külvitsükli ja söötis olevat 270 000 ha põllumaad*

*Table 1. A very optimistic forecast for the production of bio diesel fuel in Estonia implementing a 6-year sowing cycle and 270,000 ha of fallow arable land*

Saagikus t/ha	Rapsiseemneid t/aastas	RME t/aastas
1,5 <sup>(a)</sup>	67 500	25 000
2,4 <sup>(b)</sup>	108 000	40 000
5,6 <sup>(c)</sup>	252 000	93 000

(a) – Saagikus Eestis.

(b) –Kesk-Euroopa saagikus.

(c) – Parimate variantide saagikus.

## Kütuselemendid

Tänapäeval on mootorikütuse valdkonnas kõige suurem rõhk kütuselementide alases uurimistöös. Aastal 2001 *Chemical Abstracts*'is (köited 134 ja 135) märksõna “fuel” all käsitlesid üle 50% refereeritud artikleist ja patentidest kütuselemente. Aastal 2000 lasi firma Daimler-Chrysler välja väikese katsepartii autosid, milles kasutati kütuselementide kütteks metanooli. Firmad Ford ja General Motors pööravad tähelepanu vesiniku baasil töötavate kütuselementide arendamisele. Ford laseb tuleval aastal välja nende esimese katsepartii. General Motors prognoosib, et kümne aasta pärast turustavad nad põhiliselt autosid, mille kütuselemendid töötavad vesinikul. Tallinnas KBFI-s tehakse tõhusat tööd kütuselementidega, kus kasutatakse metaani. Kõigil neil variantidel on heitgaasideks veeaur ja süsinikdioksiid. Seega pole heitgaasid otseselt toksilised. Seejuures peab meelde tuletama, kuidas vesinikku saadakse:

- looduslikust gaasist ehk metaanist, kusjuures heitmeks on CO<sub>2</sub>, mis tuleneb mittetaastuvast toormest;
- vee elektrolüüsil, seejuures põhiline osa elektrist toodetakse fossiilseist kütustest ja need elektri jaamad paiskavad õhku väga suurtes kogustes nn halba CO<sub>2</sub>, mis tuleneb mittetaastuvast toormest.

Seega kõik käesoleval ajal töös olevad kütuselementide programmid on suunatud kasvuhoonegaaside efekti suurendamisele. Ainuke kütuselementide liik, mis väldiks kasvuhoonegaaside efekti suurendamist, on see, mis baseerub bioetanoolil. Samuti ei suurenda biomassist saadud metaan ja sellest saadud vesinik kasvuhoonegaaside efekti, siis kui vesiniku saamisel vee elektrolüüsil kasutatakse nn “rohelist” elektrit.

## Järeldused

Kokkuvõtvalt tuleb märkida, et keskkonna säästmise seisukohalt tulevad arvesse:

- bioetanool ottomootori kütusena markidena E85 ja E95;
- biodiislikütus põllumajanduses, eriti mahepõllumajanduses, omnibussid linnas;
- kütuselementide kütusena bioetanool, biometaan või nn “rohelise” päritoluga vesinik.

## Kirjandus ✕ References

1. Kann, J., Rang, H. (2000) Bioethanol as a fuel to reduce the greenhouse effect. Proc. Estonian Acad. Sci. Chem. 49(2): 83–104.
2. .Kann, J., Rang, H., Kriis, J. (2002) Advances in biodiesel fuel research. Proc. Estonian Acad. Sci. Chem. 51: 75–117.
3. Rang, H., Kann, J. (2003) Recent advances in bioethanol fuel research. 1. Bioethanol, methyl tert-butyl ether and other oxygenates in petrol blends. Proc. Estonian Acad. Sci. Chem. 52(1): 3–19.

## POSSIBILITIES TO OBTAIN LIQUID BIOFUELS

*Heino Rang and Jüri Kann*

Institute of Chemistry at Tallinn Technical University  
e-mail: heino.rang@chemnet.ee

### Abstract

The current report is a part of the Estonian Science Foundation grant project 5018 “Improving the quality of liquid fuels”. Properties and possibilities to obtain bioethanol as otto motor fuel, biodiesel fuel and fuel cells and the general situation in the field of motor fuels from the aspects of environmental protection are discussed in the paper.

The use of ethanol and biodiesel fuel as motor fuel began in the 1970s in connection with the petroleum crisis. In the protection of the environment it is essential that the motor fuels do not increase the greenhouse gas effect and that the motor exhaustive gases contain as few toxic compounds as possible. Bioethanol as motor fuel does not increase the greenhouse gas effect. Ethanol as otto motor fuel reduces the concentration of toxic pollutants (CO, NO<sub>x</sub>) in the exhaustive gases of engine and enhances its octane value. Up till now methyl *tert*-butyl ether (MTBE) is the main octane number increaser in petrol. During the last years it has been established that MTBE is toxic and carcinogenic. In the biodegradation the half-life period for MTBE is over 2 years. The solubility of MTBE in water is up to 54,3 g L<sup>-1</sup>. The widespread use of MTBE as a petrol additive releases it to the surface and ground waters in a number of ways for example leaking from the petrol storage and distribution tanks, especially underground tanks, and pipelines etc.

In the USA it may be realistic to replace MTBE with ethanol in 2004 or 2005. It is necessary to raise this issue in Europe and also in Estonia. It is the ultimate time to begin to investigate the MTBE contamination of the surface and ground waters in Estonia.

The resource of cellulosic biomass and cellulosic waste (agricultural, forestry and municipal) as raw material of bioethanol could cover by calculations the total light duty vehicle energy demand. The contemporary technology for the production of

bioethanol from biomass includes complete utilization of cellulose and hemicellulose by enzymatical degradation to hexoses and pentoses respectively, fermentation of hexoses and pentoses together and the simultaneous saccharification and fermentation (SSF) process. This technology guarantees the price of bioethanol which can compete with the price of petrol. Nowadays the use of bioethanol as motor fuel in Estonia is inhibited due to the high excise duty.

Many elegant technologies, such as biocatalyses with immobilized lipases, *in situ* treatment of plant oil seeds without pressing the seeds and metanolyses in the presence of acidic catalyst and also without catalyst in supercritical conditions for producing biodiesel fuel have been developed recently. The economical reasons do not eliminate the classical transesterification of plant oils with methanol in two steps in the presence of alkaline catalyst. Using the biodiesel fuel resource to its maximum, it is possible to cover about 20% of the requirement of diesel fuel. The production of biodiesel fuel in Estonia is possible only without (or with a very low) excise tax as it is in Europe.

The fuel cells fuelled by hydrogen, methane or synthetic methanol from not renewable sources increase the greenhouse gas effect. Only bioethanol and biomethane or hydrogen from biomethane or by “green” electricity produced as fuels for fuel cells can hinder the growth of the greenhouse gas effect. The production amount of biomethane is nowadays very trifling. The fuel cells based on bioethanol are realistic.

# PELETAV PELLETT – KEELEMEEESTE JAOKS

*Viio Aitsam*

Maalehe Metsaleht, Toompuiestee 16, 10137 Tallinn, e-post: viio@maaleht.ee

## **Annotatsioon**

Maalehe Metsaleht korraldas 2002. aasta juulis–septembris sõnavõistluse, et leida eestikeelset vastet otse inglise keelest üle võetud sõnale “pellet”, millega Eestis on hakatud tähistama kütteks kasutatavaid puidugraanuleid. Žürii valis välja kolm võrdväärselt head vastet: “purusk”, “kabal” ja “prull”.

PELLET, PUIDUGRAANUL, PUIDU TÖÖTLEMINE, SÕNAVÕISTLUS, MAALEHT, METSALEHT

## **Puiduilma sündis uusi oma sõnu**

Uued tehnoloogiad toovad eesti keelde uusi sõnu, nagu näiteks kütteks toodetavate puidugraanulite puhul juba kasutatav “pellet”. Nimetus on otse üle võetud inglise keelest. Maalehe Metsaleht hakkas otsima eestikeelset vastet ja korraldas Eesti Keele Instituudi keeleteadlaste toetusel selleks sõnavõistluse.

Võistlus oli üllatavalt osavõturohke. Žürii valis 45 sõnast välja kolm võrdväärset võitjat: “purusk”, “kabal” ja “prull”. Milline kolmest võiks minna käibele, oleneb keelekasutajatest.

## **Sõnavõistluse eellugu**

Tänavu juulis oli põhjust küsida Eesti Keele Instituudist keelenõu. Küsimus oli selles, kuidas suhtuda sõnasse “pellet”, mis on ilmunud puidugraanulite tootjate, vastavate kütteseadmete müüjate ja ka ajakirjanike keelepruuki. Eesti Keele Instituudi sektorijuhataja Peeter Päll arutles, et otse üle võetud ingliskeelne sõna “pellet” ei sobi, pigem peletab, ent ka ladina keelest võetud sõna “graanul” pole oma. Ta mainis, et parimad eestikeelsed nimetused uutele asjadele kujunevad tihti just rahvasuus.

Siit tekkiski mõte korraldada Maalehe Metsalehes sõnavõistlus. Üleskutse otsida pelletile omakeelset vastet ilmus 25. juuli Metsalehes ja võistluse tähtaeg oli 1. september.

Metsaleht on Maalehe 8-leheküljeline lisa, ilmub alates 2000. aasta veebruarist iga kuu viimasel neljapäeval.

## **Kolm võitjat**

Võistlusele laekunud 45 sõnapakkumist hindasid Eesti Keele Instituudi keeleteadlased Tiiu Erelt, Tiina Leemets, Maire Raadik ja Peeter Päll, Tartu Ülikooli eesti keele professor Mati Erelt ja Eesti Metsatööstusliidu tegevdirektori asetäitja Märt Riistop. Igaüks valis välja kuni viis kõige sobilikumat sõna. Lõpptulemus selgus selle järgi, kui palju häält mingi sõna sai. Kolm häält said “purusk”, “prull” ja “kabalad”, kaks häält “pupa” ja “puidis”, ühe hääle “puruk”, “krobu”, “tuutel” ja “jull”. “Puruski” pakkuja

oli Maa-ameti Lääne maakatastri juhataja Kalju Janson. “Prulli” pakkus Tartu Ülikooli eesti keele ja kirjanduse eriala üliõpilane Mari Joonsalu, kes viitas alussõnale “puurull”. “Kabulate” pakkuja oli Raplamaa keskkonnateenistuse metsanduse peaspetsialist Jüri Ehrpais, kes toetus sellele, et Andrus Saareste “Eesti keele mõistelise sõnaraamatu” (Stockholm, 1962, III kd, 326 v) järgi on kabulad puukillud. Peeter Päll iseloomustas, et “purusk” meenutab puidugraanulite tootmise tehnoloogiat, “kabulate” tugevus on see, et ta üks tähendus on puutükk, “prull” on aga lihtsalt tore sõna. Peeter Päll ütles ka, et “puruski” puhul tekib assotsiatsioon tehnoloogiaga, “prulli” ja “kabulate” puhul toote endaga.

### **Leidlikud võistlejad**

Eesti Keele Instituudi vanemteadur Tiiu Erelt iseloomustas võistlusesaaki üldisemalt. Tema hinnangul oli saak hea ja mitmekesine, kuna nimepakkujad olid ära kasutanud igasuguseid sõna tegemise võimalusi.

Tiiu Erelt tõi näiteks, et pakkumiste seas oli:

- vaimukaid sõnaühendeid (“ahju krõbinad”, “kütja rõõm” jt);
- liitsõnu (“kuulkütus”, “tompkütus”, “puiduküpsis”, “põletusjulla” jt);
- palju tuletisi olemasolevate tüvede alusel (“purusk”, “puidis”, “kütis”, “purund” jt);
- palju tehissõnu, ent nendegi taga nähtav assotsiatsioon asja endaga (“krops”, “presbu”, “prull”, “tuutel” jt).

Pakkumistele lisasid pakkujad pikemaid või lühemaid selgitusi. Üks põhjalikumaid tuli näiteks Valgamaalt, endiselt metsäülemalt Helgi Aherilt, kes pakkus sõna “pupa”, mis on tema sõnul lühend “puupabulatest” või “purupabulatest”.

Helgi Aher kirjutas, et tema eelduse järgi hakatakse seda toodet kord valmistama mitmesuguse koostisega ja mitmeks otstarbeks. Siis võiks tema pakkumisest lähtudes tulevikus muutuda ka tootenimi. Kasepupad tähendaksid energiarohket kütet, haavapupad vähe suitsu andvat kaminakütet, lepapupad suitsuahjukütet, jõulupupad kütet, mis oleks kuuseokaste ja küünlavaha aroomiga, peopupad annaks aga eri värvi leeke.

### **Valik on teie**

Sõnade hindajad valisid kolm võrdset ja kaugemale ei läinud. See, kas ja missugune sõna käibele läheb, oleneb nüüd sõnakasutajatest.

Võistluse hindamise päeval hakkas üks hindajatest, Märt Riistop, kasutama puidugraanulite tähenduses sõna “kabulad”. Kolmest võitjasõnast sai oma lemmiku valida ka Tallinna elanik Mats Soomre, kes kasutab puidugraanulikütet ja 26. septembri Maalehe Metsalehes kirjeldas oma kogemust. Mats Soomre valis sõna “prull” ja kasutas seda ka oma tekstis, mis kujunes graanulitele/prullidele/puruskitele/kabulatele heaks reklaamiks.

Huvilised on aga probleemi ees, et Eesti turult ei leia seda uut kütuseliiki üles. Kuigi Eestis on kolm tootjat, pole neil huvi kodumaisele turule keskenduda.

Mats Soomre hangib näiteks kütet vastavate kütteseadmete müüja kaudu.

Suurem osa sõnavõistlusel osalejatest märkis oma kaaskirjas, et peab väga vajalikuks emakeelehoidu. Nad tunnevad muret võõrkeelsete sõnade-väljendite liigtormilise pealetungi pärast.

Maalehe Metsaleht loodab oma sõnavõistlusega pälvida ka tootjate ja kütteseadmete müüjate tähelepanu.

### **Sõnavõistlusele pakutud sõnad**

1. ahju krõbinad
2. jull (puidu-, puu-, puru-, saepurujull)
3. julla (puidu-, puu-, puru-, saepurujulla)
4. jullik (puidu-, puu-, puru-, saepurujullik)
5. kabulad
6. krobu
7. krops
8. kuulkütus (kütusekuulikesed)
9. kākarkütus
10. kütis
11. kütja rõõm
12. küttedražeed (või dražeekütus)
13. küttejullik
14. mikra
15. prespu (või presbu)
16. propka
17. prull
18. puruk
19. puidis
20. puiduküpsis
21. punjak (sõnast punjas, punnitaoline)
22. pupa (puupabula järgi, tulevikus kasepupad e energiarohke küte, haavapupad e vähe suitsev küte kaminatele jne)
23. pural
24. purund (toode pressitud saepurust või purustatud puidust)
25. purusk
26. puupul (sõnast puupulk)
27. puupuru (või puupur)
28. puurupsid (või puurupped)
29. puusõmer (või puidusõmer)
30. põlet ("põlema" ja "pellet").
31. põletusjull
32. põletusjulla
33. põletusjullik
34. pällid
35. saepuru Sass
36. saepuru-küttejullik
37. saeru (sõnast saepuru)
38. sarug (sõnast saepurugraanul)

39. sate
40. teraks
41. tombik
42. tompkütus
43. tuutel (tuutlid)
44. tünglid (meenutavad väikesi tünne)
45. ümarikud

### **KirjandusReferences**

1. Aitsam, V. (2002) Metsalehe sõnavõistlus. Maalehe Metsaleht 7 (30).
2. Aitsam, V. (2002) Metsalehe sõnavõistluse vahejutt. Maalehe Metsaleht 8 (31).
3. Aitsam, V. (2002) Sõnavõistluse võitjad: kabulad, prullid ja puruskid. Maalehe Metsaleht 9 (32).
4. Saareste, A. (1962) Eesti keele mõisteline sõnaraamat. Stockholm, III k. 326 v.
5. Soomre, M. (2002) Igaüks kiidab oma sooja. Maalehe Metsaleht 9 (32).

## **WOOD PELLET: WORD OR NIGHTMARE FOR ESTONIAN LINGUISTS**

*Viio Aitsam*

Maalehe Metsaleht, e-mail: viio@maaleht.ee

### **Abstract**

New technologies are bringing new words into Estonian, e.g. 'pellet' which has been already used for wood pellets made from wood waste material and used as a fuel. The word has been derived straight from English 'wood pellet'.

Metsaleht (a supplement of the weekly Maaleht) began looking for a proper Estonian word and organized a word contest with the support of linguists from the Institute of the Estonian Language in July 2002.

There were surprisingly many participants in the contest and they proposed 45 words by September. The jury announced 'purusk', 'kabul' and 'prull' to be the three equal winners. It depends on the speakers which of the three words would find its way into use.



# KÕRGTEHNOLOOGILINE TERRORISM JA ENERGIASÜSTEEMIDE ELUJÕUD

*Karl K. Rebane*

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

## **Annotatsioon**

Terrorism ja selle uus tase – kõrgtehnoloogiline terrorism (KTT) – on tänapäeval ülisuur ja väga reaalne oht. Taastuvate energiaallikate süsteem, mis on väiksemate üksustena suurtele maa-aladele laiali jaotatud, on terrorismiaktide objektina palju vähem ligitõmbav ja ka kahjustustele vähem tundlik kui gigantsed tuuma- või soojuselektrijaamad. Küllap vist inimese elukeskkonna olulisim, ühtlasi väga kergesti hävitatav ja terrorismile kergesti kättesaadav *taastuv* energiaallikas on hapnik puhtas atmosfääriõhus.

## KÕRGTEHNOLOOGILINE TERRORISM, ELUKESKKOND, HAPNIK

### **Olukorra kirjeldus**

Terrorismi tõus globaalprobleemide esiritta ei ole juhuslik, möödaminev õnnetus. Terrorism kui tsivilisatsiooni süvaprobleem on nüüd tulnud, kasvatanud endale lõiketeraks kõrgtehnoloogilise terrorismi ja jääbki meiega. Vägagi palju inimkonna elukorralduses tuleb üle vaadata, katsetustest ja vigadest õppida, uusi lahendusi leida ja ellu viia. Õeldu käib täiel määral ka energiaallikate kohta.

Ma ei võta defineerida terrorismi – see on keerukas paljutahuline nähtus, hinnang selle ilmingutele on pea tervenisti sõltuv vaatevinklist, hindaja positsioonist ja huvidest; teisalt – on üsnagi selge, mis see meie arvates praegu on. Kui terrorism on piisavalt väljakujunenud mõiste, siis KTT akt on see, milles ründeobjekt või -vahend on kõrgtehnoloogiline ja hävitustöö seetõttu ülisuur. Ka väljapressimine on terrorism.

KTT on sündinud ühiskonna arengust enesest, “progressi” objektiivse paratamatusena. KKT-ga tuleb nüüd koos edasi elada. Küllaltki teistmoodi kui elu siiamani oli. Üldiselt nii, et mida kõrgem tehnoloogia, suurem rikkus, ilusam elu riigis või kogukonnas, seda rohkem hakkab KTT neid kimbutama.

Terrorismil on kolm tugisammast, loodud ja tugevasti püsti pandud ühiskonna korralduse ja tehnoloogia senise arengu tulemusel.

1. On olemas ja laialt saadaval ülimaldus ründerelvad.
2. On olemas “magusad” terrorirünnaku objektid (tuumaelektrijaamad, veehoidlad ja suurlinnade veevarustussüsteemid, õhustransport, infokeskused jne, jms).
3. Ründevahendid ja -võimalused on alati suuremad kui kaitse omad. Viimases, muide, on põhjus, miks USA kahest varasemast raketirünnaku kilbist ei saanud asja ja ei saa ka praegu ette võetud kolmandast. Täna on lõhe rünnakuvahendite kasuks tohutult suur ja kasvab edasi.

Nimetatud kolm asjaolu kasvasid tugevaks läinud sajandi lõpuks, KTT sai tõeliselt mõjusaks mitte üksnes kättemaksu, vaid ka võimuvõitluse relvaks ja, järelkult,

kasutamine paratamatuseks. Lähitulevik sai küllaltki läbinähtavaks, mis ajendas autorit kuus aastat tagasi tegema kurjakuulutava ennustuse, et esimest KKT aktsiooni, tagajärgedelt kõike varasemat tuhandeid kordi ületavat<sup>1</sup> on suure tõenäosusega karta sajandivahetuseks (Rebane, 1997). Ülimalt ohtlikud on nüüd avanenud ahvatlevad võimalused sekkuda KTT peidetud kasutamise kaudu riikide- ja rahvastevahelistesse suhetesse.

Clausewitzi järgi on sõda poliitika jätkamine teiste vahenditega. Terrorism, eriti mõjusalt KTT on sõja jätkamine teiste vahenditega, tänapäevasega võrreldes veelgi julmema moraaliga (Rebane, 2003). Kipub kujunema, et sõdadel polegi enam lõppu, päris rahu ei tulegi, ei kohe ega varsti.. Jäävad järellainetused terrorismi näol, mis võivad olla inimsusevastased rohkemgi kui sõda.

Demokraatia (D) ja terrorismi vastuabinõude mõjususe (T) on omavahel seotud mõnevõrra samamoodi nagu kvantfüüsikas koordinaadi  $x$  ja impulsi  $p$  mõõtmise täpsused (Heisenbergi relatsioon  $\Delta x \cdot \Delta p \geq h$ , kus  $h$  = Plancki konstant):

$$D \cdot T \cong \text{constant.} \quad (1)$$

Mida tugevam on ettevõtmine terrorismi vastu, seda enam kannatavad demokraatlikud vabadused. Allpool mõned näited nende rikkalikust massiivist.

1. Mõjus abinõu on pidada piirkonniti täpset arvestust elanike üle, kes seal alaliselt või lühiajaliselt asuvad või läbisõidul viibivad. Näiteks kohusetundlik naabrivalve koos politseivolinikuga. Nõukogude ajal selle poole püüti, NL enam arenenud territooriumidel üsnagi edukalt. Kindlasti aitas see tublisti kuritegevuse vastu. Teisalt oli sissekirjutamiste ja registreerimiste kord toeks valitsevale režiimile – võimudel oli mõjus vahend vaenlastel ja väljamõeldud vaenlastel silma peal hoida, neid kergesti leida ja kimbutada.
2. Võtta terroristi sugulased, sõbrad, tuttavad vastutusele, halastamatule karistamisele. Oleks absoluutselt inimsuse vastu ja alatu, teisalt aga mõjus, päriselt veendunud terroristide korral vist ainus neile mõjuda võiv teguviis. Siin on hulgaliselt jõledaid ajaloolisi kogemusi, kahjuks ka lähiajaloo ja praegustegi diktaatorvalitsuste tegude näol.
3. Kontrollida ja valikuliselt tublisti piirata infolevi. Tänapäevase seisuga – Internetti kõigepealt.
4. Laialt juurutada salakuulajaid, informaatoreid, saboteerijaid, valeterroriste. Maksta teenete eest väga hästi.
5. Koostada ja hoida täpsed nimekirjad KTT rünnakute “magusatest” objektidest, hoida heas seisus nende kaitsevahendid.

Terrorismi süvaallikas on inimloomuses – väga raske, ahastavalt raske on leppida allajäämisega. Inimene hakkab heietama kättemaksu unelmaid, pahatihti püüab neid ka ellu viia. Kaaskannatajail on tugev tõmme organiseeruda, võtta üheskoos ette terroriakte. Ebaõiglane, liiga karm, üleolev käitumine võidetu suhtes valab õli terrorismi tulle.

---

<sup>1</sup> Erandeid on bioterrorismist. Kuldhordi khaan Toltamõš laskis 14. sajandil praeguse Feodossia linna paigas asunud kindluse vallutamiseks selle joogivee mürgitada katkuhaigete laipadega. Kindlus langes, katk levis üle Euroopa, võttis 10 miljonit ohvrit. Autori märkus.

On üsnagi võimalik, et seisame sõdadeta ajastu künnisel. Kahjuks pole alust olla lõputult õnnelik – asemele on tulemas võimsa lainena terrorism, kõrgtehnoloogiline sealhulgas. Viimane võib saada valusamaks kui sõda. Esiteks, kui tänapäeva täismõõduline sõda on jõukohane ainult paarile-kolmele superriigile, siis on KTT jõukohane päris väikestele huvi- või kättemaksurühmadele, isegi üksikfanaatikule. Teiseks, asjaolu, mis võib saada otsustavalt tähtsaks, on terrorismi puhul võimalik selektiivsus – võimalus valida terroriobjekte nii, et terroristile meelepärane osa elanikkonnast ja materiaalsed väärtused jääksid peaaegu kahjustamata. Täismõõdulises sõjas tänapäeva ülitugevate hävitusvahendite kasutamisega ei saa enam olla võitjat. Kõik on kaotajad, sest on täiesti võimalik, et ka võitjaid ei jää ellu – kõik inimesed on hukkunud. Terrorismide kokkupõrkes on võib-olla võitja veel võimalik. Masendavalt ränk on vägagi reaalne oht, et lõpliku võidu nimel terrorism ei peatu genotsiidi ees.

Inimkonna hämaratel algusaegadel oli vägivaldall reeglitega piiramata terrorismi iseloom. Areng tõi kaasa terrorismi ühe haru kasvamise sõdadeks. Nende kohta kujunesid pidamise mõningad reeglid, millest peeti isegi kinni, kui sobiv oli. Nüüd on tõsiselt arvestatavaks tulevikustsenaariumiks küll sõdadeta, aga julm terrorismiajastu. Sõjad kaovad, asemele tuleb terrorism, kõrgtehnoloogiline kaasa arvatud. Vaevalt, et ka “võimsate ja korralike” riikide abi terrorismi ja KTT üritustele jääb tulemata, kui on tegu nende huvide eest seisva mõjusa terrorismiga.

### **Mida peaks arvestama ja tegema**

Eelpool mainitud terrorismi kolmest allikast-tugisambast tuleks ja annaks (terrorirelvade kättesaadavuse range kontrolli ja nende edasise arengu väga kindlakäelise peatamise kõrval) oluliselt nõrgendada teist – “magusate” terrorismiobjektide ligitõmbavuse kahandamise ja kaitse tugevdamise läbi. Inimkonnal on kaks eluliselt tarvilikku teenistust: energeetika ja informaatika. Just nende teenistuste kõrgelt kontsentreeritud ja lokaliseeritud sõlmed on “magusad” terroriobjektid”. Kui energiateenistus on oma hajutatuse tõttu lõpuni hävitamata ja elukõlblikku õhku ja vett on vähem kui ellujääjatele vajalik, siis on kõik kaotajad.

On ka kergesti kahjustatavaid-hävitatavaid looduslikke objekte.

Õhk, õhuhapnik on vajalikem energiaallikas, kõigepealt otseselt väga paljudele *elusolenditele*, inimene kaasa arvatud. Orgaanilised kütused (ja teisedki, näiteks vesinik) ei põle ju hapnikuta. Võiks vist küll ütelda, et *tähtsaim taastuvate energiaallikate* hulgas on õhuhapnik. Selle ringlus looduses ja kasutamine tootmises peab olema jätkuvalt erilise tähelepanu all. Samas on õhku eriti raske, peaaegu võimatu kaitsta terrorismi eest: rikkuda saab kas või oma maja all keldris, aga saast (näiteks radioaktiivne) levib üle kogu maakera.

Energia- ja informatsioonitöötlemise hajutatult paiknev süsteem oleks suur samm edasi terrorismivõimaluste ja -kahjustuste piiramise teel. Inimeste elu ja tervist tuleb niigi kaitsta kõikjal, kus nad elavad. Seesama kaitse hõlmaks ka lokaalseid – ühe või mitme majapidamise – energia- ja infotöötlemise seadmeid. Muide, kui lokaalselt toodetud elektrit on rikkalikult, võiks selle abil toota hapnikku.

Muidugi, iga üksiku maja valveks ei saa anda rühma või roodu sõdureid. Vähetähtsa objekti kaitse seisneks selle “väheses tähtsuses” eneses – ka “parimate tulemustega”

terrorismiakti mõju jääks väikseks. Selektiivsus objekti valikus terroristi poolt jääks, kuid ka tugevdatud kaitset annaks selektiivselt korraldada, keskendades kaitsevahendeid. Naiivne on arvata, et suurobjekte, näiteks tuumaelektrijaamu, võiks hästi tugeva sõjalise jõuga kenasti terroristidele kättesaamatuks teha. Tegelikult on praegu nii, et kui ründab rühm või rood, s.o sadakond diversanti, lööksid kaitsemeeskonnad selle tagasi küll. Kaitse osutuks aga päris kindlalt võimatuks, kui korralikult relvastatud ründeväes oleks paar tuhat sõdurit, eriti siis, kui neid toetatakse õhust ja raketidega. Tänapäeva rakette saab ülitäpselt suunata – sisse aknast või õhuavast. Kurvastavalt selgelt on ka siit näha, et ründevõimalused on mäekõrguselt üle kaitsevahendeist.

Märgiksin, et energiateenistustel on olnud, on ja jääb prioriteet infoteenistuse ees. Viimane ei loo juurde kübetki kõrgekvaliteetset energiat (negentroopiat), vaid kulutab seda samuti nagu energiateenistus. Infoteenistuse suur kasulikkus tuleb sellest, et negentroopia kulu temale on palju suurusjärke väiksem kui inimese elule vajalikes energiamuundustes. Viimase iseloomustavaks mõõduks on kilokalor  $K$ . Infoks kuluva negentroopia mõõduühikuks on Boltzmanni konstant  $k$  ( $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  watt-sek-kraad<sup>-1</sup>). Brillouini seos sätestab, et ühe biti info hankimisel kasvab entroopia (kahaneb negentroopia) vähemalt ühe  $k$  võrra. Inimese energiateenistuse mõõtühik on  $K = N_A k$ , kus  $N_A$  on ligikaudu Avogadro arv, s.o molekulide arv moolis,  $N_A \approx 10^{23}$ . Suhteliselt väikese negentroopia kuluga info hankimiseks infoteenistuses saab palju mõjusamalt inimeste eesmärkidel (mille hulgas on nii väga õilsaid kui väga kuritegelikke) suuri negentroopiakoguseid kulutada (Rebane, 2002). Infoühiskond ilma väga korraliku energiateenistusega on mõttetus. Infoteenistus on ülivõimas vahend energiateenistuse oluliselt paremaks korraldamiseks ja seega relv võitluses olemasolu ja arengu eest.

Parata pole vist midagi – on jõudnud kätte aeg, kus kõik peavad arvestama terrorismi ja KTT olemasolu, tõenäoliselt ja kahjuks kasvavat ohtlikkust.

### **Kirjandus ▫ References**

1. Rebane, K. (1980) Energia, entroopia, elukeskkond. Valgus. Tallinn: 126. (Täiendatud tõlge vene keeles 1984). Valgus. Tallinn: 159.
2. Rebane, K. K. (1997) High-tech terrorism as an increasing global problem. Ed. by Goebel, K. International Seminar on Nuclear War and Planetary Emergencies, 21-st session. E. Majorana Centre for Scientific Culture, Erice, Italy, August 19–24, 1996. The Science and Culture Series. Series Editor and Chairman Zichichi, A. World Scientific. Singapore: 231–234.
3. Rebane, K. (1998a) Energy, entropy, economics, ecology, environment. Earth observation and remote sensing 16 (5): 719–737.
4. Ребане, К. К. (1998b) Энергия, энтропия, экономика, экология, окружающая среда. Исследование земли из космоса (5): 29–41.
5. Rebane, K. (2001) Taastuvad energiaallikad, looduslik ja sotsiaalne elukeskkond entroopiaprintsiibi valguses. Teise konverentsi kogumik. Peatoim. Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 13–18.

6. (2002a) International Regional Consultation. Oxygen and Environment. 17–18 May 2001. Materials. Tallinn, Estonia. WOF –Tallinn.
7. Rebane, K. K. (2002b) Terrorism kui kiiresti süvenev globaalne probleem. Akadeemia 1: 4–13.
8. Rebane, K. (2002c) Füüsiku pilguga: miks on keskkonnahoid objektiivselt raske. Kolmanda konverentsi kogumik. Peatoim. Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 78–83.
9. Rebane, K. (2003) High-tech terrorism: a growing threat to democracy and civilization. International Seminar on Nuclear War and Planetary Emergencies, 29<sup>th</sup> session. E. Majorana Centre for Scientific Culture, Erice, Italy. May 10–15, 2003. The Science and Culture Series. Series Editor and Chairman Zichichi, A. Ed. by Ragaini, R. World Scientific, New Jersey, London, Singapore, Hong Kong: 209–212.

## **HIGH-TECH TERRORISM AND THE VIABILITY OF ENERGY SYSTEMS**

*Karl K. Rebane*

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

### **Abstract**

The progress of society and technology has given birth “to very capable” terrorism and high-tech terrorism (HTT). High “efficiency” makes the growing utilization of HTT inevitable. Three pillars of HTT are: weapons for attack; “sweet” objectives; large and ever increasing gap between the power of weapons for attack and the defence facilities in favour of the first. When distributed over geographically large areas, the sources of energy and information are more stable in the case of terrorists’ attacks. The most valuable and very sensitive terrorism component of the environment is oxygen in the atmosphere. The strength of countermeasures and democratic freedoms are correlated to each other much alike the famous Heisenberg’s relation of uncertainty: the stronger the measures the higher are the losses in democracy.

# MISPÄRAST JA MILLE ASENDAJAKS ON VAJA ALTERNATIIVI

*Taito Mikkonen*

Saarenmaantie 430, 36200 Kangasala, Soome, tel +35833771130

## **Annotatsioon**

Kui me tõsiselt ei taotle jätkusuutelist ilma kasvuta majandust, ei jäta fossiilseid aineid põletamata ega hülga kasvunõudvaid süsteeme, siis on kogu meie töö kasutu või lausa kahjulik.

## **ENERGEETIKA, PÄIKESEKÜTE, MAJANDUSKASV, ELU KESTVUS**

### **Ma soovin täiesti läbipaistvat avalikku selgust**

Enam ei maksa rääkida, et on vaja leida uusi ehk alternatiivseid energiaallikaid, mida saaksime kasutada siis, kui fossiilsed kütused on ära kasutatud. Praeguseks peab olema selge, et vähemalt kivisütt on veel hirmus palju. Ennustatakse, et õli tarbimine hakkab kahanema alles aastast 2030. Kuid **neist varudest juba osa põletades** rikutakse paljude liikide ja inimeste elutingimusi sedavõrd, et nende elu muutub võimatuks.

Peab tunnistama ausalt, et elu võimalikkust hävitav energia muundamine ja kasutamine tuleb lõpetada. Vastuväiteks ei kõlba miski – ei praeguse eluviisi jätkumine või koguni selle arendamine, ei majanduskasvu ja seda vajava turumajanduse ega kapitalismi jätkumine. Kui suur peaks olema toodang ja tarbimine, et enam poleks kasvu vaja? Poliitilisel fanatismil pole piiri. Aga kestvuse piir on juba ületatud.

Miks on majanduskasv tähtis? Majanduskasv ju ei lõpeta tarbimissoove. Küll aga on teineteisega seoses majanduskasv ja kapitali kasum. Kas pole poliitiline fanatism, kui elu tulevik ohverdatakse praegusele kasumimajandusele, millel pole enam tähendust, kui kõigest saab minevik?

Inimene on ju surelik. See tähendab, et inimene on seotud ajaga. Kui meie tegutsemisel on mõtet, siis meie tegutsemine toimub alati tuleviku heaks, olgu see tulevik ligidal või kaugemal. Kes sõandaks öelda, et meie rumalus tohib elu kustutada? Ainult hull.

Elu jätkumine on eeldus kõige muu tähtsusele. Kui elu ei jätku, on kogu tegutsemine mõttetu. Kas teab keegi sellist eesmärki, mille nimel tasub elu hävitada?

Siin Eestis peab vist kinnitama, et majanduskasvu hukkamõist käib küll iga teise riigi kohta ja kapitalismi eluvõimetuse rõhutamine ei tähenda mitte midagi rahvusvaheliste suhete seisukohalt. Kapitalismi suutmatusest rääkimine ei ole Eesti iseseisvuse vastu, vaid pigem vastupidi.

Mind on varemgi laitnud selle üle rääkimise eest need, kes ei taha politiseeruda, vaid eelistavad piirduda praeguse ametliku keskkonnakaitsega ja selle nüanssidega, mille hulka kuulub ka passiivne päikesemaja.

Kui aga tervikut ei muudeta jätkusuutlikuks, siis on alternatiividega mängimine ainult kasutu intellektuaalne ebaausus põlevkivi kasutamise kõrval.

Kui tahame hoolitseda mõistliku elu ja tuleviku eest, on meil vaja alternatiive peale energeetika ka mujal. Elu hävitava energeetika peab asendama jätkusuutelisega isegi siis, kui sellega ei saa muuta elu üha rohkem tarbimist nõudvaks.

Päikesemajast ei ole abi keskkonnakaitse ega jätkusuutelise eluviisi mõttes, kui taotle-takse majanduskasvu. Kui maja kütmiselt hoitaksegi kokku raha ja energiat, siis kokkuhoid kasutatakse ära teisel moel ja iga ettekääne on siis küllalt hea.

Oma rahva iseseisvuse nimel tehakse enesetapurünnakuid. Aga ma ei ole kuulnud, et keegi riskeeriks oma karjääriga eluhävitavas majanduses ja poliitikas inimkonna ellu-jäämise nimel. Kui teiegi ei riskeeri, vaid tahate ikka rohkem tulu ehk tarbimist, siis ei tasu vaevaks võtta rääkimist päikeseenergia kasutamisest passiivses päikesemajas ja teraviljakuivatuses, millest mina mõndagi tean (Mikkonen, 1981; 1994).

### **Passiivne päikesemaja**

Maja ehitamist kavandades tuleb arvestada järgmisi nõudeid.

- Maja asukoht: majast lõuna poole jääb  $\leq 120^\circ$  lai vaba sektor päikesepaiste jaoks maja lõunaseinale.
- Maja projekteerimisel on eesmärk ka maja mahu mõõdukus, vähe soojustatavat pinda (seinad, lagi, põrand), vähe välisuksi, vähe külmasildu.
- Hästi isoleerida seinad, lagi, põrand, välisüksed.
- Kõik või peaaegu kõik aknad projekteerida maja lõunaseina ja teha neile suured, talveöödeks suletavad soojustatud aknaluugid.
- Aknad lasevad hästi sisse iga lainepikkusega päikesekiiri, juhivad välja vähe soojust ja lasevad välja vähe kiirgust.
- Soojustuse seespoolsed kihid seintes, põrandas, laes on massiivsed, juhivad ja salvestavad hästi soojust, nende massil on palju pinda võtta vastu akendest sisse-tulevat päikesekiirgust ja vahetada soojust toaõhuga. Materjaliks kivi, betoon, klinker, telliskivi.
- Viilkatusehari ida-lääne suunas. Räästas lõunaseina kohal varjab aknaid suvel, aga mitte talvel.
- Päeval mitte katta aknaid kardinatega, toataimede või muuga, mis takistaks valgus-tava ja soojendava kiirguse sissepääsu. Öösel saab soojakaotust pisut vähendada kardinatega abil.
- Kui võimalik, ehitada mitmekorterilisi maju, et majal oleks vähem välispinda ühe korteri kohta.

Maja maksumust ja eksploatatsioonikulusid arvestades selgitame:

- kas aken on lõunaseinas kallim kui põhjaseinas?
- kui palju on sein ruutmeeter kallim kui ruutmeeter akent?
- kui palju rohkem ruutmeetri kohta kaotab soojust aken võrreldes seinaga?
- kui palju laseb lõunaseina aken sisse energiat kütteperioodil?

Passiivses päikesemajas elamine on üks võimalus, kuidas saab hoida kokku soojusenergiat elamumajanduses.

## **Kirjandus ✕ References**

1. Mikkonen, T. (1981) Koneellinen kuivatus ja aurinko. Vilja – heinä – hake. Tampere. Autori kirjastus: 93.
2. Mikkonen, T. (1994) Kestävä elämänmuoto. – Passiivinen aurinkotalo. Tampere. Autori kirjastus: 328.

## **FOR WHAT REASON AND TO REPLACE WHAT DO WE NEED AN ALTERNATIVE**

*Taito Mikkonen*

Saarenmaantie 430, FIN 36200 Kangasala, Finland, Tel +35833771130

### **Abstract**

If we do not seriously pursue a sustainable economy without growth, discontinue the use of fossil fuels and abandon the systems that demand growth, then all our work is useless or even malign.

We have to honestly confess that the transformation and usage of energy that is destroying the possibility of life has to be terminated. Nothing is valid as an argument – not even the need to maintain our lifestyle or its development, not the need for a growing economy and continuation of the market economy and capitalism. How big should the production and consumption be that no more growth is needed? There are no limits to the political fanaticism. But the limit of endurance has already been exceeded.

A passive sunhouse is one option for saving thermal energy in housing.



# TUULE VÕIMSUSE JA ELEKTRIENERGIA TARBIMISE KORRELATSIOON EESTI LÄÄNERANNIKUL

*Teolan Tomson<sup>1</sup> ja Ando Leppiman<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>TTÜ Eesti Energeetika Instituut, Paldiski mnt. 1, 10137 Tallinn  
e-post: teolan@anet.ee

<sup>2</sup>TTÜ soojustehnika instituut, Kopli 116, 11712 Tallinn  
e-post: Ando.Leppiman@mkm.ee

## **Annotatsioon**

Uurimus tugineb Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi Nigula ilmavaatlusjaama tuulemõõtmistele, Fortum Elekter (FE) ja Eesti Energia (EE) tarbimisgraafikutele. Tuule hetkkiirused on transponeeritud 60 meetri kõrgusele ja arvutatud ümber tuule hetkvõimsuseks suhtelistes ühikutes. Võrreldes viimast sünkroonse FE koormusega, saame leida korrelatsioonikoefitsiendid erinevaid aastaagu iseloomustavate kuude kohta. Varieerides kordarvu on leitud FE teoreetilised ruutkeskmised võimsushälbed erinevate installeeritud tuulevõimsuste juures. Ruutkeskmiste võimsushälvete alusel saab teha järelduse, et Fortum Elekter tegevuspiirkonnas võib ilma elektrisüsteemi kuumreservi paisutamata installeerida kuni 3 MW tuulegeneraatoreid.

## TUULEVÕIMSUS, KORRELATSIOONIKOEFITSIENT, ELEKTRISÜSTEEM

### **Sissejuhatus**

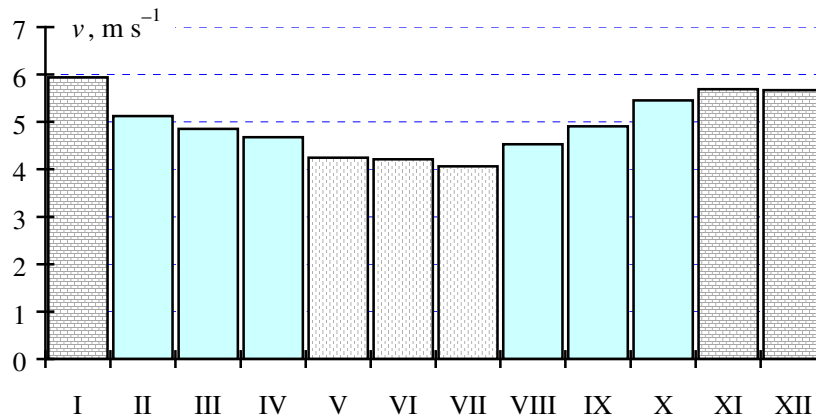
Tuuleelektrijaamade kasutatavuse seisukohalt on tähtis saadava (elektri)energia kvaliteet ja selle sobivus ühtsesse elektrisüsteemi. Üldiselt on kvaliteedi kriteeriumideks pinge ja sagedus, tuuleelektrijaamade korral lisandub neile volutugevuse juhitamatu muutumine ehk seeläbi toodetava elektrienergia võimsuse muutlikkus, mis nagu sunniks elektrisüsteemi kuumreservi suurendama. Piltlikult öeldes on lisataval tuulevõimsusel negatiivse elektri koormuse olemus.

Maailmas on antud valdkonda teadaolevalt käsitletud Põhja-Iirimaa (Ulster) teadlaste poolt, tänu sarnasele elektrisüsteemi ülesehitusele, sest Ulsteri elektrisüsteem baseerub samuti inertsetel soojuselektrijaamadel. Belfasti Ülikooli teadlased (Persaud, 2001) on teinud uurimustöö selgitamiseks välja tuuleelektrijaamade (edaspidi elektrituulikute) poolt toodetava elektrilise võimsuse kõikumise mõju üldise elektrisüsteemi funktsioneerimisele, lugedes vaikimisi tarbimise ja toodetava tuulevõimsuse vahelise korrelatsioonikoefitsiendi nulliks. Elektrituulikute elektrisüsteemiga ühildumise temaatikat on Eestis tänini käsitletud töödes (Oidram, 1991; 2000), (Tomson ja Hansen, 2000; Tomson, 2001) ja (Leppiman, 2002).

Käesolev uurimustöö on pühendatud korrelatiivsete sidemete otsimisele tuulest toodetava elektrilise võimsuse ja elektrienergia netotarbimise vahel. Sellisel moel saadud korrelatsioonikoefitsientide alusel on tehtud järeldus ruutkeskmise võimsushälbe kohta elektrisüsteemis ja kuidas see muutuks erinevate installeeritud tuulevõimsuste korral.

Tuulel on kaks peamist perioodilist komponenti: aastane perioodiline komponent ja ööpäevane perioodiline komponent. Aastast perioodilist komponenti ja selgelt eris-

tuvaid aastaagu tuule kiiruse suhtes (kevad, suvi, sügis, talv) iseloomustab joonis 1 (Tomson, 2001). Uurimistöo vaatlebki nelja erinevat aastaaga vastavate iseloomulike kuude (märts: III, juuni: VI, september: IX ja detsember: XII) alusel. Ööpäevane perioodiline komponent on uurimistöös elimineeritud, seega on korrelatsiooni-arvutused teostatud vaid juhuslike suuruste alusel.



Joonis 1. Keskmine tuulekiirus Lääne-Eesti rannikul  
Figure 1. Average wind speed on the West-Estonian coast

**Töös uuritakse kontsentreeritud tootmise ja tarbimise juhtumit, mis on lihtsaim.** Näitlikkuse huvides kasutame Fortum Elekter andmeid, mis varustab Eesti Energialt ostetava elektriga kohalike võrkude vahendusel kogu Läänemaad. Sellest tarbimisest moodustab Haapsalu linn ~50%, seega on küllalt õige vaadelda Fortum Elektrit kontsentreeritud tarbimise mudelina.

Kontsentreeritud tuuleenergia tootmise mudeliks kasutame Haapsalu lähedase Nigula ilmajaamas mõõdetud tuule kiirusi. Nigula anemomeetri kõrgus on 10 meetrit, kuid tuule kiirused on arvutustes transponeeritud 60 m kõrgusele, invariantset tuule suunale (mis on lihtsustus).

Fortum Elekter koormus moodustab ~1,7% Eesti Energia koormusest ja Fortum Elektri klientideks on peamiselt kommunaaltarbijad.

### Statistiliste näitajate teoreetilised suhted

Üksiku, ühikvõimsusega elektrituuliku võimsuse dispersiooni arvutusvalem on

$$D_{1x} = \left( \sum_1^n (x - x^{\text{a}})^2 \right) / (n - 1), \quad (1)$$

milles  $x$  on elektrituuliku võimsuse (näiteks 1 MW) hetkväärtus ja  $x^{\text{a}}$  selle kesk-  
väärtus,  $n$  on samptide (diskreetsetel hetkedel mõõdetud väärtuste) arv.

Reaalselt on meil tegemist olukorraga, kus elektrituuliku võimsus on  $m$ -kordne ühikvõimsus,  $m$  on suvaline kordaja. Hetkväärtuste  $m$ -kordne kasv suurendab ka kesk-  
väärtust  $m$  korda. Seega  $m$  korda võimsamale elektrituulikule kehtib arvutusvalem (2)

$$D_{mx} = \left( \sum_1^n (m \cdot x - m \cdot x^{\text{a}})^2 \right) / (n - 1) = \left( \sum_1^n (m \cdot (x - x^{\text{a}}))^2 \right) / (n - 1) = m^2 \cdot D_{1x}. \quad (2)$$

Järelikult ühikvõimsuse jaoks määratud võimsuse dispersioon suureneb elektrituuliku võimsust suurendades kordarvu ruudu korda.

Jäävate omadustega süsteemi (elektrivõrk)  $y$  dispersioon on arvutatav valemiga

$$D_y = \left( \sum_1^n (y - y^{\text{a}})^2 \right) / (n-1). \quad (3)$$

Ühikvõimsusega elektrituuliku ja süsteemi koostööd iseloomustab korrelatsioonikoefitsient, mis on antud valemis (4):

$$K_{1y} = \left( \sum_1^n (y - y^{\text{a}}) \cdot (x - x^{\text{a}}) \right) / (n-1). \quad (4)$$

Kui elektrituuliku võimsus suureneb  $m$  korda, siis tuleb kasutada valemit

$$K_{m \cdot xy} = \left( \sum_1^n (y - y^{\text{a}}) \cdot (m \cdot x - m \cdot x^{\text{a}}) \right) / (n-1) = m \cdot K_{1y}. \quad (5)$$

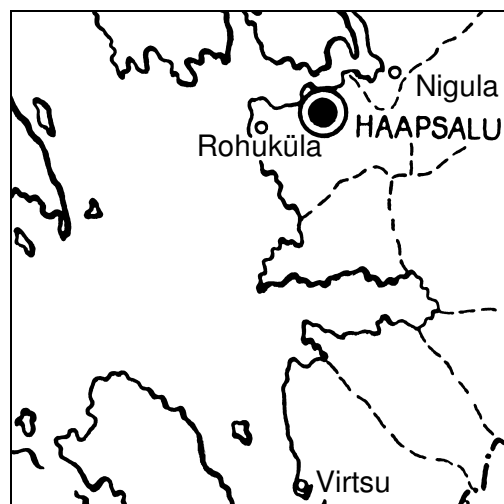
Seega elektrituuliku võimsuse kasvades kahe juhusliku protsessi (milles süsteem on “konstantne”) dispersioon avaldub valemi (6) kujul:

$$D_{m \cdot xy} = D_y + m^2 \cdot D_{1x} + 2m \cdot K_{1xy}. \quad (6)$$

Siit saame järeldada, et elektrituulikuid omava elektrisüsteemi koormuse dispersioon suureneb eeskätt elektrituulikute summaarse võimsuse dispersiooni arvel ja **vastastikuse korrelatsiooni osatähtsus väheneb elektrituulikute suhtelise võimsuse suurenedes.**

### Andmebaasi iseloomustus ja kasutatavate andmete maht ning valiku põhjendus

Käesolevas uuringus on kasutatud Nigula külas (joonis 2) paikneva ilmajaama

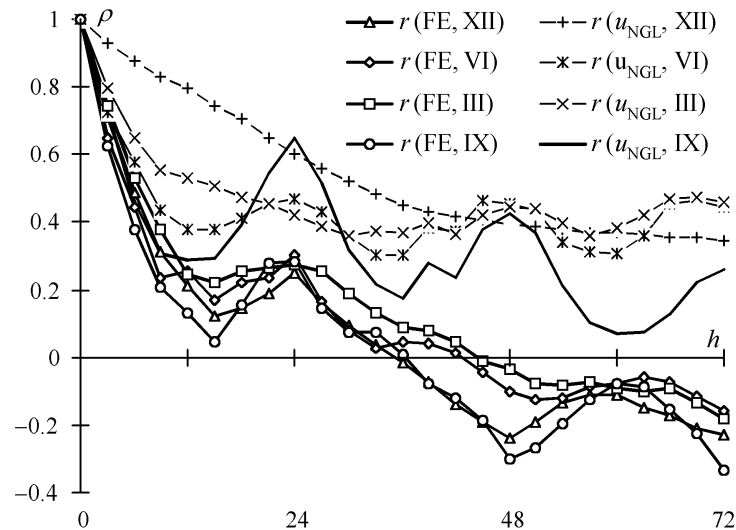


Joonis 2. Nigula ilmavaatlusjaama asukoht

Figure 2. Location of the Nigula meteorological station

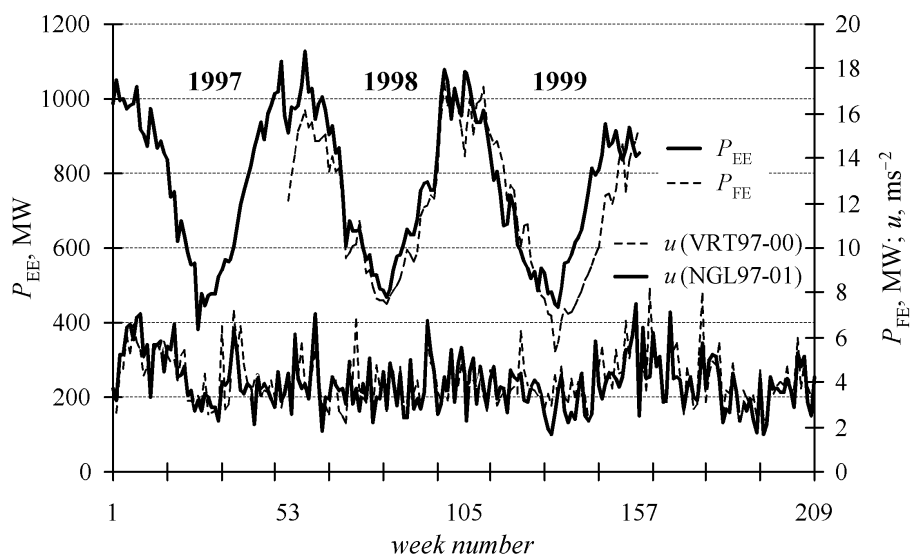
andmeid. Kuna see asub 9 km kaugusel merest ja Läänerannikul, võib teda vaadelda kui kogu Lääneranniku keskmist tuule kiirust arvestavat kohta. Nigula ilmajaam asub

peamiselt avatud maastikul. Kuna ilmavaatlusjaama anemomeeter paikneb vaid 10 meetri kõrgusel, siis on uurimistöö tarvis tuule kiirused transformeeritud 60 meetri kõrgusele lihtsustusega, et sellisel kõrgusel on need 1,5 korda suuremad 10 meetri kõrgusel mõõdetust.



Joonis 3. Tuule kiiruse ja Fortum Elekter elektrienergia tarbimise normaliseeritud autokorrelatsioonifunktsioonid 1999. aasta kohta

Figure 3. Autocorrelation functions calculated for the wind speed and the load of Fortum Elekter in 1999



Joonis 4. Eesti Energia ja Fortum Elekter elektrienergia tarbimise  $P$  ning Nigula ja Virtsu tuule kiiruste  $u$  graafikud perioodil 1.1.1997 – 31.12.2000

Figure 4. Load curves of Eesti Energia and Fortum Elekter and their comparison with wind speed at the Nigula and Virtsu sites

Kuna tuulel on olemas aastane perioodiline komponent, on korrelatsiooni otsitud märtsi, juuni, septembri ja detsembri kui erinevaid aasta-aegu iseloomustavate kuude kohta. Nigulas, rannikust veidi eemal asuvas paigas, on täheldatav samuti ööpäevane perioodiline komponent. Tuulekiiruse ööpäevane perioodiline komponent on märgatav vaid kevad-, suve- ja sügiskuudel. Talvekuudel see üldjuhul puudub. Ööpäevased perioodilised komponendid nii tuule kiiruse kui elektrienergia tarbimise kohta on esitatud joonisel 3. Edaspidi on need andmerekast elimineeritud, seega arvutuste läbiviimiseks on kasutatud vaid juhuslikke suurusid.

Töös on kasutatud 1999. aasta andmeid, kuid aastanumber ei ole selles kontekstis oluline. Nii tuule kiirused kui ka elektrienergia tarbimine on aastate lõikes suurtes piirides sarnased, nagu nähtub joonisel 4.

## Tulemused

Uurimistöös tehtud arvutuste peamine eesmärk oli leida iga aasta-aega iseloomustava kuu kohta elektrilise koormuse ja tuule võimsuse vaheline korrelatsioonikoefitsient. Teoreetilises uurimuses pole õige kasutada mingi konkreetse elektrituuliku andmeid, sest tulemus sõltub siis alati äriplaanist. Seepärast on tuule ühikvõimsuse  $P^*$  arvutamisel tuule kiiruse  $u$  järgi rakendatud ilma dimensioonita empiirilist valemit (7). Valem on saadud Euroopas toodetavate erinevate 1–2 MW klassi kuuluvate elektrituulikute võimsusdiagrammide keskmistamise tulemusena.

$$P^* = ((u - 3,75)^{1.75}) / 47, \text{ kui } 3,75 < u < 12,99 \text{ ms}^{-1}, \text{ ja } P^* = 1, \text{ kui } u > 13 \text{ ms}^{-1}. \quad (7)$$

Kui  $u < 3,75 \text{ ms}^{-1}$ , siis  $P^* = 0$ . Kõikide esitatud aasta-aegade kohta on tabelis 1 arvutatud ühikvõimsuse korrelatsioonikoefitsiendid suhteliselt madalad.

*Tabel 1. Korrelatsioonikoefitsiendid erinevate aasta-aegade kohta*  
*Table 1. Correlation coefficients for different seasons of the year*

I	VI	IX	XII
Korrelatsioonikordaja $K_{xy}$ , $\text{MW}^2$			
-0,00323	-0,00167	-0,00221	-0,10234

Detsembris on korrelatsioonikoefitsiendi absoluutväärtus veidi suurem ja see kajastub selgelt ka järgnevalt käsitletava ruutkeskmise võimsushälbe vaatlusel.

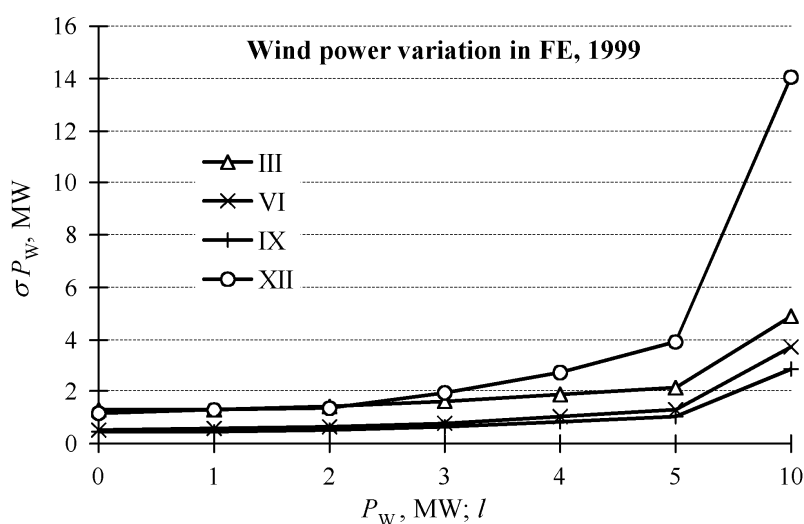
Uurimistöö resultaat avaldub kõige paremini tabelis 2 ja joonisel 5.

Nii tabelis kui joonisel on iseloomustatud ruutkeskmise võimsushälbe muutumist erinevate elektrituulikute võimsuste installeerimise korral  $m = var$ , samuti iseloomustavad need praegust, ilma installeeritud võimsusteta olukorda (installeeritud võimsus  $l = 0$ ). Tehtud uurimuse põhjal saab järeldada, et Fortum Elekter tegevuspiirkonnas, kus keskmine koormus aasta lõikes on ~12 MW, ei avalda kuni 3 MW elektrituulikute installeerimine ühelgi aastaajal märgatavat mõju elektrisüsteemi vajatavale võimsusreservile. Kuna korrelatsioonikoefitsiendid osutusid negatiivseks, vähendab selle korrelatsiooni arvesse võtmine summaarset ruutkeskmist võimsushälvet, võrreldes juhuga, kui me korrelatsiooni ignoreerime. Tõsi, vahe on väike ja märgatav ainult detsembris 1 MW tuulevõimsuse puhul.

Tabel 2. Ruutkeskmise võimsushälbe  $\sigma$  sõltuvus installeeritud elektrituulikute võimsusest  $P_W$  Fortum Elekter tegevuspiirkonnas

Table 2. Variation of total power of Fortum Elekter  $\sigma$  as a function of installed capacity of wind turbines  $P_W$

$P_W$ , MW	III	VI	IX	XII
	$\sigma$ , MW			
0	1,296	0,526	0,457	1,195
1	1,327	0,555	0,477	1,319
2	1,430	0,649	0,546	1,381
3	1,606	0,808	0,663	1,920
4	1,856	1,031	0,829	2,758
5	2,178	1,319	1,045	3,893
10	4,889	3,728	2,852	14,043



Joonis 5. Ruutkeskmise võimsushälbe  $\sigma$  sõltuvus installeeritud elektrituulikute võimsusest  $P_W$  Fortum Elekter tegevuspiirkonnas

Figure 5. Variation of total power of Fortum Elekter  $\sigma$  as a function of installed capacity of wind turbines  $P_W$

Tehes tööst järeldusi, saab hüpoteetiliselt minna veelgi kaugemale. Nimelt kuna Fortum Elekter moodustab Eesti Energia koormusest ligikaudu 1,7%, siis saab lineaarselt ekstrapoleerides väita, et Eesti Energia elektrisüsteem oleks võimeline koos töötama kuni 176 MW installeeritud elektrituulikute võimsusega, ilma et see mõjutaks EE võimsuse kuumreservi vajadust. Seega ei tohiks lähiajal Eestis tekkida probleeme installeeritavate elektrituulikute võimsuse kõikumisega. Väärrib uurimist, kas tuulevõimsuse hajutatud tootmisel on mingit eelist kuumreservi mõttes nagu seda on hajutamisel tuulevõimsuse muutude mahasurumiseks (Tomson, 2001). Ka pole selge lineaarse ekstrapoleerimise pädevus, nii, et teema jääb aktuaalseks ja vajab täiendavat uurimist.

## Kokkuvõte

Tuule poolt arendatava võimsuse ja elektrilise koormuse vahel on olemas nõrk korrelatsioon, mille alusel on võimalik leida erinevate elektrituulikute installeeritud võimsuste juures nende mõju piirkonna elektrisüsteemi tööle.

Fortum Elekter tegevuspiirkonnas Läänemaal võib installeerida elektrituulikuid võimsusteni 3 MW, ilma, et see mõjutaks elektrisüsteemi senist tööd. Alates 4 MW võimsusest hakkab installeeritud tuulevõimsus kuumreservi (Eesti Energialt ostetava energia kõikumist) suurendama.

Seega saab lihtsustatult väita, et installeeritud elektrituulikute võimsus kuni ¼ elektrisüsteemi koguvõimsusest ei mõjuta oluliselt elektrisüsteemi töös vajavat kuumreservi.

## Tänuavaldused

Uurimistöö on valminud Eesti Teadusfondi granti nr 5051 toel. Uurimistöös on kasutatud Fortum Elekter ja Eesti Energia, samuti Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi andmeid. Autorid soovivad kõiki eelpoolnimetatuid tänada.

## KirjandusReferences

1. Leppiman, A. (2002) Tuuleenergetika koostöö elektrisüsteemiga. TTÜ bakalaauruseõppe lõputöö (käsikiri).
2. Oidram, R. (1991) Kas tuuleenergia tootmine Eestis on mõistlik? Tehnika ja Tootmine 7/8: 30–32, 10: 25–28.
3. Oidram, R. (2000) Vaidlused tuuleenergeetika võimalikkuse üle Eestis. Tallinna Tehnikaülikooli aastaraamat 1999. TTÜ kirjastus. Tallinn: 254–259.
4. Persaud, S., Fox, B. and Flynn, D. (2001) Impact of Wind Energy Development on the Operation of an Isolated Thermal Power System. Proceedings of the EWEC-Copenhagen, 2–5 July 2001: 1207–1010.
5. Tomson, T. and Nõva, A. (2001) Geographically Distributed Wind Turbines on the West-Estonian Coast. Agricultural Engineering International. The CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript EE00 006, Vol. III, April: 1–9.
6. Tomson, T. and Hansen, M. (2000) Performance of Dissipated Wind Turbines. Proc. Estonian Acad. Sci. Engin. 6(4): 268–277.
7. Tomson, T. and Hansen, M. (2001) Seasonal Wind Stability on the West Estonian Coast. Proc. Estonian Acad. Sci. Engin. 7(3): 212–221.
8. Tomson, T. (2001) Wind Power Grid Matching Problems. The Estonian Case Study. Proceedings of the EWEC-2001. Copenhagen, 2–5 July: 1007–1009.

# CORRELATION OF WIND POWER AND POWER CONSUMPTION ON THE WEST-ESTONIAN COAST

*Teolan Tomson<sup>1</sup> and Ando Leppiman<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Estonian Energy Research Institute at TTU, e-mail: teolan@anet.ee

<sup>2</sup>Thermal Engineering Department of TTU, e-mail: Ando.Leppiman@mkm.ee

## **Abstract**

The investigation is based on the data measured in Nigula meteorological station of the Estonian Institute of Meteorology and Hydrology, recorded load of the Fortum Elekter company (FE) and Eesti Energia company (EE). The instant values of wind speed are transformed onto the height of 60 m and calculated as instant values of the relative wind power. When comparing the specified value with the FE simultaneous load, the correlation coefficients can be calculated for characteristic months (March, June, September and December). With varying the multiplier for relative power, we can find the theoretical dependency of required hot reserve as a function of the installed capacity of wind turbines. A conclusion can be drawn that in the area of Fortum Elekter (average load capacity ~12 MW) wind turbines with the total capacity of up to 3 MW can be installed without expanding the hot reserve of the power system.



# VIRTSU TUULEPARGI MAJANDUSLIKU TASUVUSE HINNANG

*Vello Selg*

Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituut, Kopli 116, 11712 Tallinn  
e-post: Vselg@sti.ttu.ee ja wello@online.ee

## **Annotatsioon**

Käesolev tuulepargi majandusliku tasuvuse hinnang on koostatud OÜ Roheline Ring Virtsu tuulepargi andmetel. Park koosneb kahest Enercon E-40/6.44 600 kW tuulikust, mis püstitati 2002. a teisel poolel ja käivitati pidulikult sama aasta 11. oktoobril. Projekti maksumus oli kokku 20 miljonit krooni, millest 210 000 € (14,1%) saadi Saksa LV Majandusministeeriumist tagastamatu abina.

Siin käsitletakse ka tuuleparkide rajamise üldisemaid tingimusi. Nendest ilmneb, et kuigi Eestis on tuuleolud suhteliselt soodsad, ei soodusta praegused majandustingimused tuuleenergia kasutamist elektrienergia tootmiseks. Seetõttu on terve rea projektide realiseerimine takerdunud.

TUULEPARK, ENERGIA HIND, TASUVUS

## **Tuulepargi rajamise mured ja rõõmud**

Käesolev tuulepargi majandusliku tasuvuse hinnang on koostatud OÜ Roheline Ring Virtsu tuulepargi kohta, mis koosneb kahest Enercon E-40/6.44 600 kW tuulikust. Projekti maksumus oli kokku 20 miljonit krooni, millest 210 000 € (14,1%) saadi Saksa LV Majandusministeeriumist tagastamatu abina. Majandusliku tasuvuse hindamiseks on vaja teada projekti realiseerimiskulusid (kogu investeeringu suurust), tuulepargi toodangu prognoosi, lähema kahekümne aasta tuuleelektri hinna kujunemist, pangalaenu tingimusi ja pargi ekspluatatsioonikulusid. Virtsu lähistel teostatud aastase tuuleuuringu põhjal hinnati tuulepargi toodangumahuks 3,2 GW·h elektrit aastas. Ekspluatatsioonikuludeks on ette nähtud 200 000 kr/aastas ja 11. kuni 20. aastani veel täiendavaks hoolduseks 100 000 kr/a. Nende andmete põhjal prognoositi Virtsu tuulepargis toodetava elektri 20 aasta keskmiseks omahinnaks (kulud jagatud toodangule) 14,1% tagastamatu abi juures 488 kr/MWh·h. Tuuleelektri tulutariifiks on vastavalt praegu veel kehtiva energiaseaduse § 28-le 90% 2002. a kodutarbija põhitariifist, seega 800,8 kr/MWh·h. Kui projekti pangalaenu intressiks on Euribor + 4,5% ja laenu tagastamine algab aasta pärast elektritootmise algust, siis kujuneb 3 miljoni krooni suuruse omakapitali juures 20 aasta keskmiseks rentaabluks (puhastulu jagatud kogukulule) 34,8%. Ilma Saksa LV finantsabita oleks toodetava elektri 20 aasta keskmine omahind olnud 621 kr/MWh·h ja rentaabluks 2,15%.

Hinnangu andmiseks Riigikogus arutusel olevale uuele tulutariifi rakendamise võimalusele tehti kontrollarvutused tulutariifiga, mille aluseks võetakse kuni 2015. a lõpuni teguriga 1,8 korrutatud AS Narva Elektri jaamade poolt müüdava elektrienergia kaalutud keskmine hind 2002. a lõpus (45 senti/kWh) ja Energiaturu Inspektsiooni poolt soovitatud fikseeritud inflatsioon 3,5% (2003.–2008. a), 2,5% (2009.–2015. a) ja

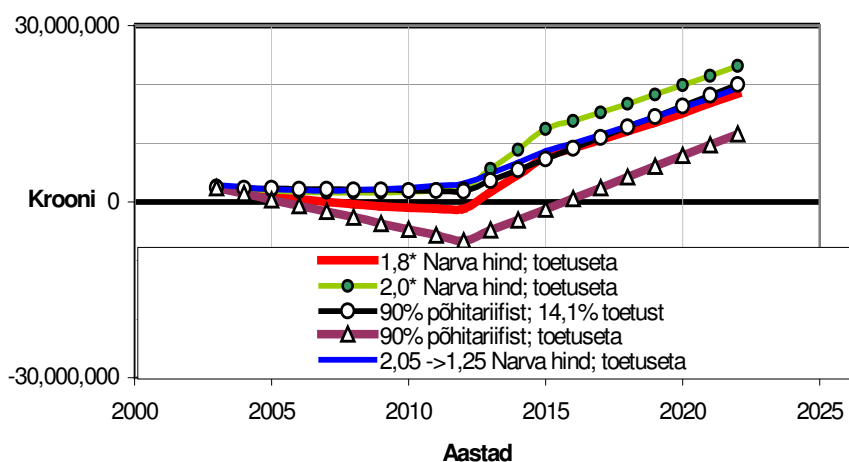
2% (2016.–2023. a). Alates 2016. a oleks tuuleelektri hind aga võrdne Narva müügi-hinnaga. Ilma finantstoetuseta kujuneks selle skeemi järgi Virtsu tuulepargi omahin-naks 621 kr/MW·h ja rentaabluks 20,92% (tabel 1).

Tabel 1. Virtsu tuulepargi omahind ja rentaabluks  
Table 1. The cost price and profitability of Virtsu wind park

Virtsu tuulepargi rajamise majanduslik kalkulatsioon				1,8 x Narva müügihind 2016. a-ni				Seis: 30. okt 02			
<b>Variant Enercon E-40/6.44 baasil</b>											
Tiiviku läbimõõt, m	44	Mast, m	65	<b>Osakaal kogumaksumusest</b>		<b>%</b>					
Tuuliku nimivõimsus			600	Käibemaks seadmete hankel	18%	3 069 871	kr				
Ühettiübiliste tuulikute arv tuulepargis	2			Riiklik ja muu tagastamatu abi	0,00%	0	kr				
Enercon E-40/6.44 tuulikute hind	545 000	EUR		Omaniku osa investeringus	100,00%	23 285 795	kr				
Rahakurs 26. oktoobri 2002. a seisuga	15,64664	kr/EUR		Omaniku omakapitali osalus	12,9%	3 000 000	kr				
Erihind võimsusühikule (ilma transpordita)	14 212	kr/kW		Vajalilku pangalaenu osalus	87,12%	20 285 795	kr				
Erihind tiiviku poolt haaratava pinna m <sup>2</sup> -le	5608	kr		Pangalaenu tagasimaksu suurus kuus		261 474	kr				
<b>Osakaalud tehase hinna suhtes</b>	<b>%</b>			Pangalaenu tagasimaksu summa aastas		3 137 684	kr/a				
Tuulikute maksumus tehases	100%	17 054 838	kr	Omakapitali intressid laenutasumise ajal		232 500	kr/a				
Ehitamisega seotud lisakulud	26,76%	6 230 957	kr	Seadmete ja omakapitali kasutusae		20	aastat				
Projekti maksumus	126,76%	23 285 795	kr	Püsilukul pangalaenu tasumise ajal		3 570 185	kr/a				
Saksa LV tagastamatu abi	0%	0	kr	<b>Alates 11. aastast algab omakapitali tagasimaksmine</b>							
Vajalik investering	126,76%	23 285 795	kr	Omakapitali tagasimakse		442 060	kr/a				
Projekti kogumaksumus + käibemaks		23 600 000	kr	Püsilukul omakapitali tagastamise ajal		742 060	kr/a				
Pangalaenu tagastamise tähtaeg	10	aastat	kW	Keskmine elektritoodang ühe tuuliku kohta		1600	MWh/a				
Tagasimaksed algavad alates	1.	aasta lõpust (kuukaupa)		Eritoodang tuuliku poolt haaratava pinna kohta		1052	kWh/(m <sup>2</sup> )				
Pangalaenu intressimäär	7,75%	aastas		Kogu kasutusaja keskmine elektri omahind		621	kr/MW-h				
Omakapitali intressimäär	7,75%	aastas		Elektri omahind laenu tagastamise ajal		1116	kr/MW-h				
Ekspluatatsioonikulude osakaal	1,17%	tuuliku hinnast aastas		Elektri omahind pärast pangalaenu tasumist		232	kr/MW-h				
Ekspluatatsioonikulud	200 000	kr/a		Nimivõimsuse 20 aasta keskmine kasutusaeg		30,44%					
Täiendavad lisakulud 11.–20. a	100 000	kr/a		Kogu 20a kasutusaja keskmine rentaabluks		20,92%					
<b>Tulutariif</b>	<b>889,8</b> kr/MW-h										
<b>1,8</b> × Narva 2003.–2013. a	<b>1,8</b>	× Narva	2013.–2016. a	<b>1,0</b>	× Narva	alates 2016. a					
Jooksev aasta	Aasta number	Baastariif kr/MW-h	Tulutariif kr/MW-h	Aastane tulu, kr	Aastased kulud, kr	Aasta saldo, kr	Kumulatiivne tulu, kr	Kumulatiivne kulu, kr	Kumulatiivne saldo, kr	Omaniku tulu kr	
1	2003	465,75	838,35	2 682 720	200 000	2 482 720	2 682 720	200 000	2 482 720	-517 280	
2	2004	482,05	867,69	2 776 615	3 570 185	-793 569	5 459 335	3 770 185	1 689 150	-1 078 350	
3	2005	498,92	898,06	2 873 797	3 570 185	-696 388	8 333 132	7 340 370	992 762	-1 332 678	
4	2006	516,39	929,49	2 974 380	3 570 185	-595 805	11 307 512	10 910 554	396 957	-1 486 423	
5	2007	534,46	962,03	3 078 483	3 570 185	-491 702	14 385 994	14 480 739	-94 744	-1 536 064	
6	2008	553,16	995,70	3 186 230	3 570 185	-383 955	17 572 224	18 050 923	-478 699	-1 477 959	
7	2009	566,99	1020,59	3 265 886	3 570 185	-304 299	20 838 110	21 621 108	-782 998	-1 340 198	
8	2010	581,17	1046,10	3 347 533	3 570 185	-222 652	24 185 643	25 191 293	-1 005 650	-1 120 790	
9	2011	595,70	1072,26	3 431 221	3 570 185	-138 964	27 616 864	28 761 477	-1 144 614	-817 693	
10	2012	610,59	1099,06	3 517 002	3 570 185	-53 183	31 133 865	32 331 662	-1 197 797	-428 817	
11	2013	625,86	1126,54	3 604 927	742 060	2 862 866	34 738 792	33 073 722	1 665 069	2 876 110	
12	2014	641,50	1154,70	3 695 050	742 060	2 952 989	38 433 841	33 815 783	4 618 059	6 271 159	
13	2015	657,54	1183,57	3 787 426	742 060	3 045 366	42 221 267	34 557 843	7 663 424	9 758 585	
14	2016	670,69	670,69	2 146 208	742 060	1 404 148	44 367 475	35 299 903	9 067 572	11 604 792	
15	2017	684,10	684,10	2 189 132	742 060	1 447 072	46 556 608	36 041 964	10 514 644	13 493 924	
16	2018	697,79	697,79	2 232 915	742 060	1 490 854	48 789 522	36 784 024	12 005 498	15 426 839	
17	2019	711,74	711,74	2 277 573	742 060	1 535 513	51 067 096	37 526 085	13 541 011	17 404 411	
18	2020	725,98	725,98	2 323 125	742 060	1 581 064	53 390 220	38 268 145	15 122 075	19 427 536	
19	2021	740,50	740,50	2 369 587	742 060	1 627 527	55 759 807	39 010 206	16 749 602	21 497 122	
20	2022	755,31	755,31	2 416 979	742 060	1 674 918	58 176 786	39 752 266	18 424 520	23 614 101	
20 aasta keskmine				2 908 839	1 987 613	921 226	31 850 841	26 339 413	5 511 428		

Kuid mõlemal eespool kirjeldatud tulutariifi arvestuse skeemil on puudus, mis oluliselt takistab tuuleenergeetika arendamist. Joonisel 1 on toodud erinevate tulutariifide rakendamise näited Virtsu tuulepargi tingimustes. Ilma täiendava tagastamatu abita projekti puhul ületavad kulud mitme aasta jooksul tulusid sellisel määral, et investeerimine tuuleparki kaotab mõtte. Tuuleelektri seni kehtiv tulutariif (90% põhitariifist) põhjustab Virtsu tuulepargile laenutasumise lõpuks 10. aastal 6,7 miljoni krooni suuruse puudujäägi, uus tulutariifi ettepanek (1,8-kordne Narva müügihind) on sellepoolselt küll parem, kuid siiski ulatub puudujääk ka siin 1,2 miljoni kroonini.

Puudujääki aitab vältida kompromisslahendus: kuni aastani 2013 rakendada Narva müügihinnaga sidumisel tegurit 2,05 ja edasi kuni aastani 2016 tegurit 1,25 (sinine kõver joonisel 1).



Joonis 1. Erinevate tulutariifide rakendamise mõju tulukusele (tulude ja kulude vahele) Virtsu tuulepargi tingimustes

Figure 1. The impact of different income tariff rates on profitability in case of Virtsu wind park

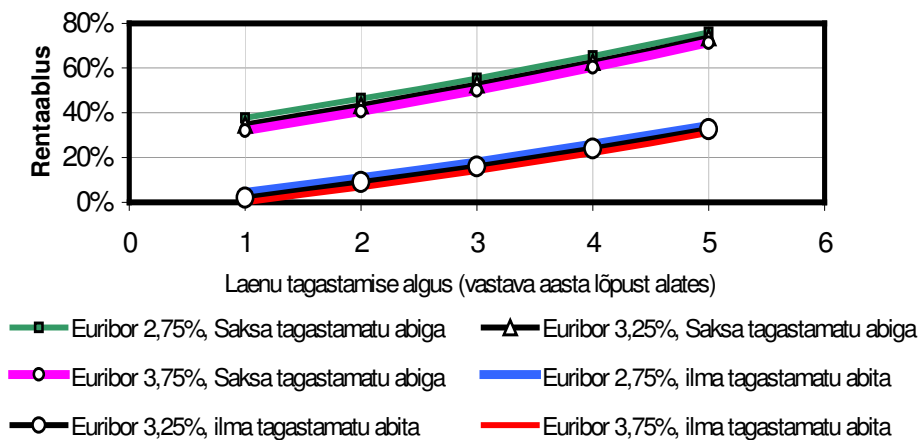
Teiseks viisiks olukorda parandada on võimaluste leidmine laenu tagasimaksu alguse külmutamiseks. Eespool toodud analüüsidis oli laenu tagastamise alguseks esimese aasta lõpp pärast elektritootmise algust. Tabelites 2 ja 3 on toodud Virtsu tuulepargi rentaablusid mitmesugustel tingimustel. On näha, et rohkem kui Euriboril baseeruv

Tabel 2. Virtsu tuulepargi 20 aasta keskmine rentaablus sõltuvalt intressist ja tagasimakse algusest

Table 2. The average profitability of Virtsu wind park over 20 years depending on interest rates and the start of repayment

Tagasimaksu algus	Intress = Euribor + 4,5%, projekt ilma tagastamatu abita				
	Eurib. = 2,75	Eurib. = 3,00	Eurib. = 3,25	Eurib. = 3,50	Eurib. = 3,75
1. a lõpp	4,33%	3,23%	2,15%	1,09%	0,05%
2. a lõpp	10,96%	9,89%	8,85%	7,82%	6,80%
3. a lõpp	18,13%	17,11%	16,11%	15,13%	14,15%
4. a lõpp	25,90%	24,95%	24,01%	23,07%	22,15%
5. a lõpp	34,34%	33,46%	32,59%	31,73%	30,88%

intressimäär mõjutab projekti rentaablust laenu tasumise alguse nihutamine hilisemale ajale. Nelja-aastane laenu tagastamise külmutamine on samaväärne 14%-lise tagastamatu abiga (joonis 2).



Joonis 2. Virtsu tuulepargi 20 aasta keskmine rentaablus sõltuvalt laenu tagastamise algusest, finantsabist ja kehtivast Euriborist (tulutariif 90% kodutarbija põhitariifist)

Figure 2. The average profitability of Virtsu wind park over 20 years depending on the start of repayment, financial aid and the valid Euribor (income tariff rate 90% of the residential customer's basic rate)

Virtsu tuulepargi rajamist soodustasid head tuuletingimused, Saksa LV tagastamatu finantsabi, kõrgepinge ülekandeliinide lähedus ja koostöö Eesti Energiaga. Hoopis raskem on ülekandeliinidest (20–110 kV) kaugemal asetsevas piirkonnades tuuleparke rajada, eriti kui lisanduvad (rannaäärsetel aladel) täiendavad piirangud.

Tabel 3. Virtsu tuulepargi 20 aasta keskmine rentaablus sõltuvalt intressist ja tagasimakse algusest 14% tagastamatu abi korral

Table 3. The average profitability of Virtsu wind park over 20 years depending on interest rates and the start of repayment with a 14% non-returnable aid

Tagasimakstu algus	Intress = Euribor + 4,5%, Saksa LV tagastamatu abi 14,1%				
	Eurib. = 2,75	Eurib. = 3,00	Eurib. = 3,25	Eurib. = 3,50	Eurib. = 3,75
1. a lõpp	37,71%	36,23%	34,79%	33,37%	31,97%
2. a lõpp	46,22%	44,80%	43,40%	42,02%	40,66%
3. a lõpp	55,41%	54,05%	52,71%	51,38%	50,08%
4. a lõpp	65,33%	64,05%	62,78%	61,53%	60,29%
5. a lõpp	76,04%	74,86%	73,68%	72,52%	71,37%

Konkreetne juhtum on Tamba projekt Varbla vallas Pärnumaal. Pärast kaheaastast tööd ja kulutusi (tuuleuuritud, keskkonnamõjude hindamine, läbirääkimised valla juhtkonna ja maaomanikega, detailplaneerimise alustamine, ettevalmistused ehitusloa saamiseks jne) loobub tuuleparkide rajamise suurte kogemusega Saksa LV firma Ostwind Tamba 6 MW projektist põhjusel, et Eesti Energia poolt esitatud liitumistingimuste järgi moodustab ülekandevõrguga liitumise maksumus (17,4 miljoni krooni)

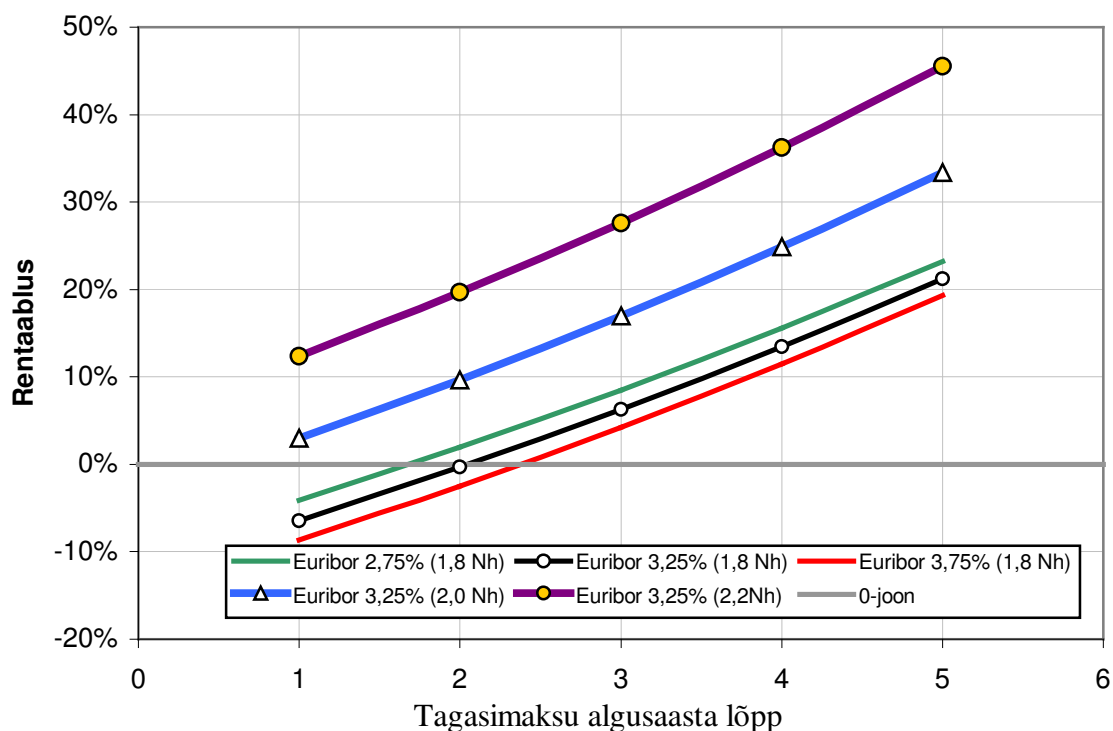
projekti kogumaksumusest üle veerandi, millele tuleb lisada täiendavalt veel mitmeid miljoneid liini ehitamiseks tuulepargist liitumispunktini.

Ka Saaremaa, Eesti kõige tuulisema piirkonna elektriliinide halb seisund (merekablid, alajaamad) ei luba sinna praegu tuuleparke ehitada. Olukord läheneb absurdile, kus Eesti Energia on väljastanud tehnilisi tingimusi tuuleparkide ehitamiseks sadade MW-ide ulatuses, tegelikult võib aga potentsiaalseid tuuleparkide rajajaid üles lugeda ühe käe sõrmedel:

OÜ Tuulepargid (Taani firma Global Green Energy Eesti tütarettevõte), on teinud vajalikud tuulemõõtmised Paldiski ja Türisalu pangal ning tegeleb praegu Pakri poolsaarele 20 MW tuulepargi rajamisega, millel on Euroopa Liidu V Raamprogrammi toetus. UNDP poolt finantseeritud programmi raamides on saadud piisavalt tuulemõõtmisandmeid tuulepargi rajamiseks Virtsust põhja suunas Hanilas, kõrgepinge alajaama läheduses, mille vastu tunneb huvi paar firmat. Kolmas võimalik tuulepargi rajamise asukoht on eespool mainitud Tamba ja neljas asukoht, kus tuulemõõtmised on tehtud, kuid ülekandeliinidega liitumistasu on veel suurem (24,3 miljonit krooni), on Seliste-Lao piirkond Tõstamaa vallas Pärnumaal. Kõik teised tehniliste tingimuste taotlemise juhtumid on lähtunud printsiibist “prooviks endale ka mõne piirkonna kindlustada”. Kui kõik tõsisemalt võetavad projektitaotlused kokku lugeda, saame ehk lähemate aastate tuuleparkide koguvõimsuseks 60 MW. Et elektrituuliku nimivõimsuse kasutusaeg Virtsu heades tuuletingimustes on ~30%, siis käib kogu sagimine ~20 MW<sub>e</sub> võimsuse ja 175 GW·h ehk kogu Eesti elektritarbimise 3% ümber.

Eesti tuulised rannaäärsed piirkonnad on meelispaijad igat liiki kaitsealade loojatele ja kinnisvaraärimeestele. Kui arvestada kõiki looduskaitse, maastikukaitse, rannakaitse, muinsuskaitse ja muid piiranguid, näiteks nõuet, et kaugus tuulepargist lähema elumuni peab olema 300 meetrit või enam, siis on kõrgepinge ülekandeliinide piirkonnas tuulepargile asukoha leidmine raske ülesanne. Kogemused näitavad, et tuuliste rannapiirkondade maaomanikud on valmis oma maad tuulepargi alla rentima, kui ei ole tegemist just piirkonnaga, mille vastu tunnevad huvi välis- ja kodumaised maadega hangedajad.

Toodud silmas pidades peame arvestama võimaliku tuulepargi asukohana piirkonda, kus tuuletingimused pole kõige paremad. Tuulikuid tootvad tehased avaldavad oma tuuliku toodangu nn referentstingimustes, milleks on aasta keskmine tuulekiirus 30 meetri kõrgusel 5,5 m/s, tuulekiiruste jaotus vastab Rayleigh' jaotusele (Weibulli jaotusele kujuteguriga  $k = 2$ ) ja pinnakareduse pikkus  $z_0 = 0,1$ . Eestis on ligikaudu selliste tingimustega piirkondi põhjarannikul, Pandivere kõrgustikul, lääne- ja loodealadel ~30 km kaugusel merest. Ka akadeemik Ilmar Öpiku poolt pakutud ja uuritud võimalus Narva tuhaväljadele 200 MW tuulepargi rajamiseks vastaks eeltoodud tingimustele. Et tuulepargi toodang on tähtis tegur tuuleelektri omahinna ja rentaablu kujunemisel, siis vaatame veel, milliseks kujunevad suuremate tuulikutega tuulepargi majanduslikud näitajad referentstingimustes. Arvutuste tulemustel saadud võrdlusandmed viiest 1,8 MW Enercon E-66/18.70 tuulikust koosneva tuulepargi kohta referentstingimustele vastavas piirkonnas on toodud joonisel 3. Toodud andmetest on näha, et 1,8-kordse Narva müügihinnaga pole võimalik referentstingimustes tuuleparki rajada, Narva hinnaga sidumise tegur peab olema suurem kui 2,0 või tuleb teguri 1,8 puhul leida võimalus tagasimaksu mitmeaastaseks külmutamiseks.



*Joonis 3. 9 MW tuulepargi rentaablus sõltuvalt tagasimaksust, elektri hinnast Narva jõujaamades ja Euriborist*  
*Figure 3. The profitability of a 9 MW wind park depending on repayment, the electricity price at Narva power stations and Euribor*

### Kokkuvõte

Tuuleelekter on Eesti tingimustes täiendav energiaallikas. Ei ole tõenäoline, et praeguse majanduspoliitika ja Eesti Energia vähese huvi tingimustes hakatakse Eestis lähemas tulevikus massiliselt püstitada tuulikuid ja rajama tuuleparke. See oleks võimalik ainult siis, kui riigi huvidest lähtudes korrastatakse ja kaasajastatakse kõrgepinge ülekandeliinid saartel ja rannapiirkondades ilma tuuleparkide finantsabita (sest seda abi ei ole tuuleparkidesse investeerijad võimelised andma) ja toetatakse esialgu taastuvate energiaallikate kasutusele võtmist mõistliku hinnapoliitikaga. Kui Eesti Energia suudab korrastada praegu ebarahuldavas olukorras olevad ülekandeliinid läänerrannikul, viia 35 kV liin Virtsust Audrusse üle 110 kV peale, lahendada Saaremaale viivate merekaablite ja Saaremaa alajaamade kaasajastamise probleemid, võib lähema kümne aasta jooksul tuuleparkide koguvõimsus kõige paremal juhul jõuda 100 kuni 120 MW piiridesse ja nende poolt toodetud elektrikogus moodustada  $5 \pm 0,5\%$  Eesti elektritarbimisest ehk 260 kuni 300 GW-h. Seda aga ainult siis, kui tuuleelektri tulutariifi ASi Narva Elektri jaamad müügihinnaga sidumise tegur on vähemalt 2 või leitakse vahendeid, kuidas mõjutada laenuandjaid nõustuma 15-aastase laenukestuse või mõneaastase laenu tagasimaksu külmutamisega, nagu seda edukalt teeb Eesti Energia oma suurlaenude korral. Muidu lihtsalt ei leidu investoreid, kellel on tuuleparkide rajamiseks kogemusi ja piisavalt omakapitali. Kui juba Euroopas tuntud tegija

Ostwind Eestis Tamba tuulepargi rajamisest kavatseb loobuda (otsus tehakse selle kuu jooksul), peaks see olema piisavaks signaaliks, et mujal Euroopas (meie jaoks oluline, et Poolas ja naaberriigis Lätis) on tingimused ja suhtumine tuuleparkide rajamisse soodsamad. Taastuvate energiaallikate (tuul, biokütus, jõgede veevoolud) baasil elektri ja soojuse lahus- või koostootmise arendamiseks on peamiseks ülesandeks luua tingimused, mis poleks halvemad mujal maailmas valitsevatest, küll siis investoreidki leidub. Elektriliinide korrastamine tuleb ette võtta ka ilma taastuvate energiaallikate kasutusele võtmiseta. Miks siis mitte mõlema probleemiga komplekselt tegelda ja elektritootmist riigi piirides hajutada?

Käesoleva aasta lõppedes on ASi Narva Elektrijaamad elektrienergia müügihind 450 kr/MW·h, sidumisteguriga 2,05 saaks tuuleelektri tootja 922,5 kr/MW·h ehk 472,5 kr iga MW·h kohta rohkem kui AS Narva Elektrijaamad. Kui tuuleelektri osakaal oleks 5% elektri tarbimisest ehk 275 000 MW·h/a ~5,5 TW·h /a kogutarbimise juures, siis tuleks elektrivõrgu haldajale tuuleelektri subsideerimise eest kompenseerida ~130 miljonit kr aastas (275 000 x 472,5). Kas see summa leitakse riigi vahenditest, looduskaitse fondidest või mujalt, see jääb vastavate riigiasutuste otsustada. Kui aga jagada nimetatud kompensatsioon ära kogu Eesti elektritarbimisele, lisab see elektri keskmisele müügihinnale ainult 23,625 kr/MW·h ehk alla 2,4 senti kW·h kohta. Kas Eesti rahvale ja majandusele käib see üle jõu, see on hea küsimus kõigile.

## **ECONOMIC EFFICIENCY ESTIMATE FOR VIRTUSU WIND PARK**

*Vello Selg*

Thermal Engineering Department, Tallinn Technical University  
e-post: [Vselg@sti.ttu.ee](mailto:Vselg@sti.ttu.ee) ja [wello@online.ee](mailto:wello@online.ee)

### **Abstract**

The economic efficiency estimate for the wind park is drawn up based on the data of OÜ Roheline Ring Virtsu Wind Park. The park comprises of two Enercon E-40/6.44 600 kW windmills that were erected in the second half of 2002 and were formally switched on in the same year on October 11. The total cost of the project was EEK 20 million, of which € 210,000 (14.1%) was received from the German Ministry of Economic Affairs as a non-returnable aid.

The paper also touches upon general requirements for founding wind parks. It can be concluded that although the wind conditions in Estonia are relatively favourable, the current economic conditions do not further the usage of wind energy for the production of electric power. That is why the realisation of several projects has been impeded.

# EESTI HÜDROELEKTRIJAAMADE TAASSÜNNI ALGUS

*Voldemar Enno*

AS Generaator, Aasa 5–2, Põlva 63304, e-post: volli@estpak.ee

## **Annotatsioon**

Aastatel 1970...1990 oli seisma jäetud kõik kunagi töötanud hüdroelektrijaamad ja vesiveskite elektrigeneraatorid. Eraettevõtluise lubamine avas võimaluse taastada hüdroelektrijaamu. Sellega kaasnesid mitmed probleemid, mida tuli lahendada.

## **HÜDROELEKTRIJAAMAD, VEE-ENERGIA, ELEKTRIENERGIA**

### **Hüdroelektrijaamade olukord nõukogude okupatsiooni lõpuaastatel**

Eesti hüdroenergia õitseage oli enne põlevkivil töötavate elektrijaamade käikuandmist. Kuid seejärel hakati sulgema hüdroelektrijaamu, mis põlevkivijaamadega võrreldes ei omanud Eesti energeetikas enam erilist tähtsust. Põhjendused olid mitmesugused. Üldiselt olid automatiseerimata hüdroelektrijaamades kulutused valvepersonalile küllalt suured ja sellest tingituna, elektri omahind kõrge. Kui aga elektrienergia tootmise kulutustele lisati muud, näiteks jaamaga ühendatud elektriliinide hooldamise kulutused, siis ei olnud mingit kahtlust nende jaamade ebamajanduslikkuses. Sellele lisandus veel inimeste ettekujutuse suunamine suurenergeetika hüvedele. Eelmise sajandi 70-ndate aastate alguses olid kõik Eestis kunagi töötanud hüdroelektrijaamad jäetud seisma. Töökorda jäid ainult Keila-Joa, Ministrite Nõukogu reservjaamana, ja Joaveski ning Põltsamaa, mida kasutati ruumide kütteks

Tähtsuse kaotasid ka veskitesse paigaldatud dünamod, mis andsid valgustusvoolu veskile ja lähematele taludele, sest maapiirkondade elektrifitseerimisega kaasnev vahelduvvool andis hoopis laiema kasutusala võrreldes alalisvooluga. Langes ka vesiveskite osatähtsus, kuna vilja võidi jahvatada elektrienergia abil ka mujal. Mõned vesiveskid viidi üle elektrijaamile, et tagada nende töövõime pöuasel ajal.

Seismajäetud hüdroelektrijaamadest osa kohandati kalakasvatusteks (Sindi, Härjanurme, Kotka, Saesaare) või sisustati muuseumiks (Leevaku). Teised jaamad jäeti saatuse hooleks ja nad lagunesid või lammutati. Nii lagunesid Saunja, Lilli ja Raeveski tammid; Tammiku juurdevoolukanalist oli vesi juba varem läbi murdnud. Jägala ja Nõmmeveski seadmetest ei olnud midagi järele jäänud. Eesti hüdroelektrijaamade seisukorda 1991. a iseloomustab tabel 1.

## **Eellugu**

1980. a ostsin maja endise veski lähedale. Sellega oli loodud tingimused endale väikese hüdroelektrijaama rajamiseks. Esimese elektrivoolu oma elektrijaamast sain juba sama aasta sügistalvel. Turbiin ja turbiinikamber oli tehtud minu enda arvutuste ning jooniste järgi. Esialgu kasutasin sünkroongeneraatorit võimsusega 5 kW autonoomselt. Hiljem läksin üle asünkroongeneraatorile ja elektrivõrguga paralleeltöölle. Asünkroongeneraatoriks kasutasin harilikku lühisrootoriga elektrimootorit, mis tekitas alguses



mitmeid arusaamatusi. Isegi paljud elektriala töötajad ei uskunud, et mootor võib voolu anda.

*Tabel 1. Eesti hüdroelektrijaamade olukord 1991. a*  
*Table 1. Conditions of waterstations in Estonia in 1991*

Hüdroelekt- rijaama nimetus	Tamm ja der. kanal	Tur- biin ja ülekan- ne	Gen. ja elektri sead- med	Sisse- ja välja- vool	Varjad ja ajam	Hoone	Märkusi
Härjanurme	R	R	L	R	R	R	kalakasvatus
Joaveski	R	R	K	K	R	K	töökorras
Jägala	L	P	P	J	J	K	hoone ümber ehitatud
Jändja	R	R	P	P	R	R	
Kamari	R	L	P	R	R	K	
Keila-Joa	K	K	K	K	K	K	töökorras
Kotka	R	R	P	R	R	K	vesi kalakas- vatusesele
Kunda	K	R	P	R	R	K	
Kurgja	L	R	P	R	R	K	vesiveski
Laupa	L	R	P	R	P	R	veejõuseade
Leevaku	R	R	R; P	L	P	R	muuseum
Lilli	J	R	P	R	P	K	
Linnamäe	R	P	P	J	J	P	õhitud 1941
Nõmme- veski	R	P	P	R	P	P	
Painküla	R	P	P	R	R	–	
Põltsamaa	K	K	K	K	K	K	töökorras
Raeveski	L	J	P	P	P	P	
Räpina	K	R; P	P	R; P	P	R	paberivabriku jõuseade
Saesaare	K	R	R	R	K	R	kalakasvatus
Saunja	L	R	P	L	–	R	
Sindi	K	L	P	P	–	R	kalakasvatus
Tammiku	L	R	P	R	R	R	suur läbimurre
Tudu	R	P	P	R	R	–	
Tõrve	R	R	P	R	R	L	

*Tähiste tähendused*  
*Meaning of symbols*

<i>K – korras</i>	<i>in order</i>
<i>R – vajab remonti</i>	<i>needs repair</i>
<i>L – lagunened</i>	<i>in disrepair</i>
<i>J – jäänused</i>	<i>remains</i>
<i>P – puudub</i>	<i>missing</i>

Kogemuste puudumise tõttu murdis vesi tammist läbi mitmel korral. Ärauhetud pin-nase alt tulid aga nähtavale palkseinad. Need näitasid mulle kuivõrd tähtsaks pidasid meie esiisad tammi külgliseinte kindlustamist ja mida selleks tuleb teha.

Üle 100 kW elektriijaama kavandamisega tegelesin juba 1970...1980-ndatel aastatel elektrienergia plaaniliste katkestuste tõttu. Talveperioodil, eriti külmade ilmadega, ei jõudnud elektriijaamad kindlustada tarbijaid elektrienergiaga ja osa tarbijaid lülitati võrgust välja. Selleks oli koostatud nimekirjad, millised alajaamad ja kõrgepinge fiidrid välja lülitatakse ning kui kauaks. Sellise ebameeldivuse vältimiseks arutasime võimalust Saesaare hüdroelektriijaama taaskäivitamiseks, et vähendada väljalülitamiste ulatust. Tookord jäi see siiski ainult arutelu tasandile.

Hoopis tõsisemalt kerkis Saesaare hüdroelektriijaama taastamise küsimus üles 1989. aastal, ajal, kui hakati isemajandamisest rääkima. Juurutasime elektritöötajate isemajandamist Põlva rajooni kolhoosis Koit. Sellele avaldati tugevat vastuseisu. Üheks väiteks oli, et teie ei ole tootjad, vaid olete teiste osakondade teenindajad. Et tegelda ka tootmisega, otsustasime taastada Saesaare hüdroelektriijaama. Pidasime läbirääkimisi Lõuna Kõrgepingevõrkude ametnikega mitmel tasandil ja käisime Elva Metsamajandi direktori jutul taotlusega: Saesaare HEJ anda üle kolhoosile Koit selle taastamiseks. Saime põhimõttelise nõusoleku ja tegime vastava kirjaliku avalduse. Mõne aja pärast saime vastuse, milles avaldati meile tänu hea idee eest, kuid seda jaa-ma vajavat Kiidjärve metskond ise. Selle hea idee elluviimiseks pöördusid Kiidjärve metskonna töötajad samade ametnike poole, kellega meie olime vestelnud ja said vas-tuseks, et seda asja on juba uurinud Enno Volli ja küsige temalt. Aeg oli jõudnud nii-kaugemale, et lubati juba eraettevõtlust ja võeti vastu ka rendiseadus. See võimaldas asu-tada aktsiaseltsi AS Generaator ja sõlmida Elva Metsamajandiga rendilepingu Saesaare HEJ rentimiseks. Oli detsember 1990.

## Saesaare – esimene taastatud hüdroelektriijaam

Enne taastamistööde algust oli vaja saada kindlust toodetava elektrienergia müügivõi-



*Joonis 1. Saesaare HEJ  
Figure 1. HPS of Saesaare*

maluste kohta ja kokku leppida hinnas. Jaanuari alul Eesti Energia peadirektori juures toimunud nõupidamise tulemusena, millest võttis Eesti Energia poolel osa ligi 10 töötajat, sai koostatud protokoll elektrienergia hinna kohta. Elektrienergia hinnaks jäi 4,35 kop/kW·h, mis oli 13% vä-hem Eesti Energia keskmisest müügihinnast. Pro-tokollile kirjutas alla viis Eesti Energia töötajat, sealhulgas peadirektor ja asetäitja, ning AS Generaatori poolt üks esindaja. Saesaare HEJ masinasaal oli muudetud muuseumiks. Turbiini sisemuse näitamiseks oli üks turbiin lahti võetud.

Masinasaali seinte äärde oli ehitatud rõdu, kust külastajad said ülevaate hüdroelektri-jaama seadmetest. Elektriseade puudus, välja arvatud generaatorid. Taastamistöid alus-tasime rõdu lammutamisest ning lahtivõetud turbiini katkiste osade parandamisest ja puuduvate osade tegemisest. Ilmade külmenemine veebruaris põhjustas tööde seis-kumise elektriijaamas.

Turbiinidesse tuleb vesi veehaardest kahe ühemeetrilise läbimõõduga toru kaudu pikusega 60 m. Kõva külm näitas meile kätte nende torude vea. Elektriijaama juurde tekkis jäämägi ja jäätus isegi masinaruumi sein. Kartsime, et 40 aastat maa sees olnud torud on läbi roostetanud ja otsisime, kust saada asendustorusid. Tuleb meenutada, et tookord olid sellised tooted niinimetatud fondi kaup ja ilma fondita oli nende saamine raske. Ka elektrimaterjalide saamiseks palusime Eesti Energia abi. Torude lekkimise saime siiski enam-vähem kõrvaldada, kuigi see töö vajas püsivust ja järjekindlust.

Üheks kõige mahukamaks tööks oli kinnivalatud veehaardest umbes 50 m<sup>3</sup> betooni väljalõhkumine. Selle juures olid suureks abiks teedevalitsuse töötajad oma lõhkeainega, vaatamata sellele, et see oli väga rangelt arvel ja kasutamine täpselt piiritletud. Viimase lõhkamise ajal kurdeti meile, et rohkem ei oleks nad enam seda teha tohtinudki, sest eelmised paugud olid juba Tallinnasse kuulda olnud. Elektriohutuse seisukohalt oli erilise tähelepanu all elektriijaama väljalülitumine võrgust, kui võrgus mingil põhjusel pinges kaob. Selle nõude täitmist kontrollis seitsmeliikmeline komisjon. Koos komisjoni liikmetega oli tulnud tehnilist ülevaatuset tegema veel seitse-kaheksa Lõuna Kõrgepingevõrkude töötajat. Sellise suure tähelepanu osutamine oli tingitud asjaolust, et see oli esimene eraettevõtlusel põhinev elektriijaam, mis ühendati riikliku süsteemiga. Kuigi varem olid tarbijad paigaldanud endale mitmeid reservelektriijaamu, ei tohtinud need mitte mingil juhul töötada paralleelselt elektrivõrguga. Isegi Eesti Energiale kuuluv Põltsamaa hüdroelektriijaam, mille toodangut kasutati ainult ruumide kütmiseks, ei olnud ühendatud elektrivõrku. Saesaare hüdroelektriijaama ametlik avamine toimus 30. oktoobril 1991. a. Avamise tähtsust rõhutas eriti Eesti Energia peadirektori Adu Osmani osavõtt.

## **Renoveerimine**

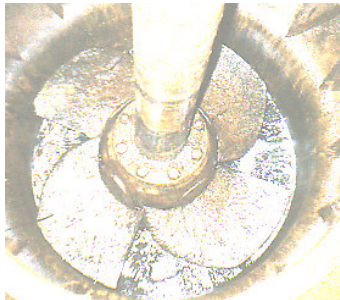
Elektriijaama töölesaamine ei tähendanud tööde lõppemist. Küllalt kulunud olid ja väga suurt müra tegid hammasreduktorid. Ka generaatorite isolatsioon oli kehv. Otsustasime muretseda uued generaatorid ühendatult otse turbiini võllile. Generaatorite tegemiseks saime kaubale Leningradis asuva Vene Teaduste Akadeemia elektro-energeetiliste probleemide osakonnaga. Kahjuks tuli kohe pärast ettemaksu tasumist rubla järsk langus ja pidime veel juurdegi maksma. Generaatorid saime kätte viie aasta pärast. Oligi viimane aeg, sest nii reduktorid kui ka vanad generaatorid olid viimase piiri peal. Uutest generaatoritest saime 100 kW asemel ainult 60 kW võimsust. Suurema võimsuse korral nad kuumenesid ülemäära. Küllalt suur kuumenemine toimus ka tühijooksul. Sellest järeldasime, et kuumenemist põhjustavad liiga suured rauaskaod. Generaatori projektis oli küll suurt tähtsust omistatud magnetahelate arvutusele, kuid tegelikkuses need ei olnud realiseerunud soovikohaselt.

Olime sunnitud üle minema asünkroongeneraatorite ja lamerihmülekande kasutamisele. Asünkroongeneraatoritena võtsime kasutusele harilikud lühisrootoriga asünkroonmootorid. Vaatamata väiksemale kasutegurile oli nende kasutamine majanduslikult igati õigustatud, sest neid sai üle kümne korra odavamalt osta kui spetsiaalseid asünkroongeneraatoreid. Siiski valmistasid nad meile ka pettumuse. Paljud mootorid, mida kasutasime generaatoritena, kuumenesid samuti ülemäära genereeritava võimsuse suurenedes üle 60% nimivõimsusest, seejuures jäi ka tegelik voolutugevus tunduvalt alla nimivõimsuse. Teoreetiliselt oleks nad pidanud andma genereeritavat võim-

sust 10...15% üle nimivõimsuse, nii nagu mõned üksikud annavadki. Uurimistulemused on näidanud, et ülemäärane kuumenemine on tingitud ehitusvigadest. Rootori lühisvarraste alumiiniumvalus on tühimikke ja staatori plekipaki üksikud lehed ei ole korralikult isoleeritud.

Lamerihmülekandel, võrreldes hammasratasülekandega, mõjuvad turbiini ja generaatori laagritele tunduvalt suuremad jõud. See tingis laagrite vahetamist ja isegi laagripukkide ümbertegemist.

Turbiinide avamiseks juhtlabade pööramine toimub enamikus Eestis töötavates hüdroelektrijaamades hüdrosilindritega ja sulgemine raskusjõu mõjul. Vee täielikku sulgemist turbiinikambrite tühendamiseks on vaja teha harva ja seetõttu on vähe tähelepanu pööratud käsitsitöö vähendamisele varjade tõstmisel ja sulgemisel. Põhja-Eesti paljudel hüdroelektrijaamadel olid säilinud endised varjade avamise mehhanismid, mõned nendest olid töötanud isegi elektrijaamiga. Seevastu Lõuna-Eestis toimus vee sulgemine peamiselt paigaldatavate luukidega. Varjade (luukide)



*Joonis 2.  
Figure 2.  
Turbiini töölabad enne ja pärast restaureerimist  
Runner blades before and after restoration*

*Joonis 3.  
Figure 3.*

avamine muutub palju energiasäästlikumaks, kui eelnevalt täita varjade tagune veega, selleks peab põhilise varja ülemine serv olema ülemisest veepinnast madalamal, see osa suletakse eraldi varjaga. Mehhaniseerimata on ka prahirestide puhastamine, rääkimata automatiseerimisest

## Leevaku

Pärast Saesaare HEJ käikuandmist alustasime läbirääkimisi Leevaku HEJ taastamiseks. Kuna elektrijaama omandisuhted olid küllalt segased, need läbirääkimised ei edenenu. Järsku saime teada, et Räpina vallavalitsus tahab anda Leevaku HEJ rendile.



*Joonis 4. Leevaku HEJ  
Figure 4. HPS of Leevaku*

AS Generaator oli viimane, kes sai sellest teada, kuid asjaolu, et olime Saesaare taastamisega juba tuntuks saanud, oli otsustavaks teguriks. Mõned loobusid ise meie kasuks ja vallavalitsusel ei olnud erilisi raskusi rendile andmise otsustamisega. 1992. aasta detsembri lõpul anti elektrijaam üle AS-ile Generaator. Järgmise aasta talvekuudel alustasime ise elektritöödega. Mullatöödega ei tulnud me oma jõududega enam toime ja andsime töö ehitusettevõttele. Oli vaja kaevata lahti kaks juurdevoolum kanalit, mis ristusid maanteega, ja avada

väljavoolukanalid, mis olid täis aetud prahti ja kive, ning seejärel sai jõe kallas betoneeritud. Esialgse projekti kohaselt tuli ehitada juurdevoolukanalitele sillad. Kahe silla ehitamine küllalt käidavale maanteele kandevõimega kuni 15 tonni oleks läinud meie jaoks liiga kalliks. Hoopis odavam tuli kahe torujuhtme ehitamine. Torud valmistati 4 mm raudplaadist kahemeetrilise läbimõõduga ning torude ümber valati betoon, peale sardbetoon. Tööd kestsid hilissügiseni. Selle ajaga jõudsim teha turbiinidele hädavajaliku remondi, valmis saada elektriseadme, juhtimisseadmed ja ühendada alajaama Leevaku 10 kV jaotusseadmega. Viimaseks tööks jäi tammi tugipostide ja ematalade paigaldamine ja Võhandu jões vee ülespaisutamine. Seda tuli teha pärast külmade saabumist. Tugipostid olid jäätunud ja jäätusid nii vee sulgemise luugid kui ka tööriistad, mis veega kokku puutusid. Pärast käivitamist teisel päeval kukkus alla üks turbiin koos võlliga. Võlli keere oli niivõrd kulunud, et mutter, mis võlli ja turbiini hoidis, ei pidanud esinevale jõule vastu. Tegime rakise keerme taastamiseks kohapeal. Sama töö tuli teha ka teise turbiiniga mõni aasta hiljem. Leevaku HEJ ametlik käikuandmine toimus 17. novembril 1993. Jaama ülevaatuse teostas ja käikuandmise otsustas seekord ainult üks Eesti Energia energiamüügi inspektor.

## Kotka

Kotka hüdroelektrijaam Valgejões oli üsna heas seisukorras võrreldes eelmistega.



*Joonis 5. Kotka HEJ*  
*Figure 5. HPS of Kotka*

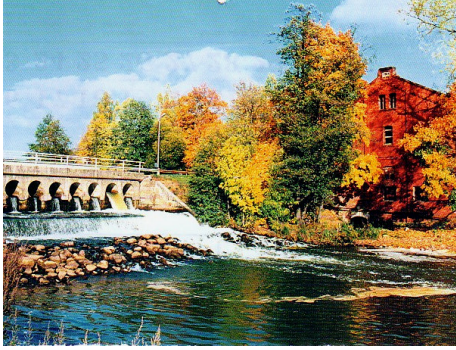
1991. a oli üks turbiin ja generaator enam-vähem töökorras. Teine generaator oli läbi põlenud ja kinni jooksnud. Seetõttu oli hooratas murdnud katki turbiini võlli ja vigastanud reduktori hammasülekannet. Elektriseade oli ära lõhutud. 1992. aasta novembris ostis AS Generaator E&K elektrijaama ära. Selleks ajaks olid vasevargad mõlemate generaatorite mähised välja võtnud. Kõigepealt tuli korrastada jaama ümbrus: maha raiuda võsa ja teha drenaaž jaamaesise kuivendamiseks. Derivatsioonikanal vajab põhjalikku remonti.

Tuli kinni panna augud kanali seintes ja põhjas ning parandada betoonpindu. Elektrijaam oli vaja ühendada Eesti Energia alajaamaga. Tööd kestsid kogu 1993. aasta ja käima sai elektrijaam 25. veebruaril 1994.

## Räpina

AS Generaator alustas 1995. a läbirääkimisi Räpinasse kahe hüdroelektrijaama rajamiseks. Üks nendest oli täiesti uus jaam emakanalile (tühjenduslasu kanalile) ja teine Räpina paberivabrikus oleva turbiini baasil. Uue elektrijaama ehitamisel ühtusid meie huvid linnavalitsuse huvidega. Linnavalitsus tahtis remontida emakanali vesivärvavaid ja ühekordse järvevee alandamisega ning kanali sulgemisega oleks saanud teha mõlemad tööd. Üheskoos tellitud projekt valmis järgmiseks aastaks ja osutus praagiks, sest projekteerija ei osanud põhjendada, kust saab läbi voolata võimalik maksimaalne suurvesi 120...140 m<sup>3</sup>/s Paberivabriku elektrijaama ettevalmistustööde ja projekteerimisega alustati 1996. a kevadel. Mitmesugustel põhjustel jäi osa ehitustöid järgmisse aastasse. Selle elektrijaama ehitamisel puutusime kokku sajandivanuse tehnikaga.





Olemasoleva turbiini tüüpi ei ole senini määratud. Turbiini läbimõõt on ligi 2 m ja see teeb 48 pöört minutis. Turbiini vertikaalsel võllil oli puuhammastega kooniline hammasratas läbimõõduga 2,92 m. See vedas teist horisontaalsel vahevõllil asuvat koonilist hammasratas, et saada generaatorile vajalikku pöörlemiskiirust.

*Joonis 6. Rápina HEJ hoone Võhandu jõel*  
*Figure 6. HPS of Rápina on the river Võhandu*

## Kunda

Esmasel tutvumisel Kunda hüdroelektrijaamaga ei leidnud me kohta, kuhu läheb turbiinidest väljavoolav vesi. Hiljem selgus, et see vesi läheb tunnelisse, mis ristub jõega



*Joonis 7. Kunda HEJ*  
*Figure 7. HPS of Kunda*

jõe pinnast madalamal. Edasi asub tunnel teisel pool jõge ja suubub jõkke alles 150 m allpool. Sellega saadakse veetasapindade kõrguste vahe suurenemine üle ühe meetri. Kunda elektrijaama seadmete seisund oli üldiselt sarnane Kotka seadmetega. Kuid elektrijaama katus oli katki ja osa sarikaidki mädanenud. 1995. aasta sügisel taastati katus. Seejärel sai tehtud hüdrogeneraatori rootor rihmarattaks,

kaevatud generaatori süvend ja süvendi seinad betoneeritud. Vesi oli põranda alt läbi voolanud ja pinnast ära uhtnud, mistõttu tuli ka põrandat parandada. Muus osas kulgesid tööd mööda sissetallatud rada. Ainult elektrienergia arvestussüsteem tuli teha 10 kV poolele. Selle tegemiseks ei olnud osanikel ühist arvamust ja Kunda hüdroelektrijaam lülitati elektrivõrku alles 14. juunil 2000, kuigi generaator andis esimese pinge kaks aastat varem.

## Lõppsõna

Artiklis on antud ainult esimeste, vanade seadmetega taastatud hüdroelektrijaamade taastamise käigu lühiülevaade (v.a Peri jaam). 1998. aastal anti Põlvamaal käiku Eestis valmistatud esimene sukलगeneraatoriga elektrijaam võimsusega 5 kW ja 1999. aastal anti käiku Eestis esimene importseadmetega Kamari HEJ. Käesolevaks ajaks on töös juba paarkümmend hüdroelektrijaama. Nende hulgas on vanade turbiinidega, omavalmistatud turbiinidega ja importturbiinidega elektrijaamu; on vanadele veskipaisudele tehtud elektrijaamu ning täiesti uuele kohale rajatud jaamu.

# THE BEGINNING OF REBIRTH OF ESTONIAN HYDROPOWER STATIONS

*Voldemar Enno*

Generaator Ltd, e-mail volli@estpak.ee

## **Abstract**

For twenty years (1970...1990) the Estonian hydropower stations were suspended. In the course of this time the equipment of stations was destroyed, input and output canals were covered up and concreted. Table 1 shows the status of the stations in 1991.

In 1991 the stock company AS Generaator began the restoration of the first hydropower station in Saesaare near Põlva. The article shows the difficulties that had to be overcome during the restoration of the stations especially in the case of the first one. The work continued with the next stations Leevaku, Kotka, Rāpina and Kunda.

# HÜDROELEKTRIAAMADE JA VESIVESKITE TAASTAMISEST EESTIS

*Harald-Adam Velner<sup>1</sup> ja Ants Saks<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>TTÜ Keskkonnatehnika instituut, Järvevana tee 5, 10132 Tallinn  
e-post: marpar@edu.ttu.ee

<sup>2</sup>Eesti Veejõud AS, Järvevana tee 5, 10132 Tallinn, faks 6 014 406  
e-post: ants.saks@mail.ee

## **Annotatsioon**

Artiklis on toodud ära potentsiaalsed hüdroenergeetilised normid Eestis ning nende kasutusvõimalused mini- ja mikrohüdroelektrijaamades. Samuti on esitatud taastatud HEJ põhiparameetrid ning olemasolevate vesiveskite renoveerimise võimalusi, kasutades tänapäevaseid täisautomatiseeritud turbiine.

On analüüsitud veehoidlate taastamise positiivseid ning negatiivseid aspekte. Alternatiivenergia tootmine ja jõgede äravoolu reguleerimine suurvee varude kasutamisega õigustavad vesiveskite taastamist.

ALTERNATIIVSED ENERGIAALLIKAD, HÜDROENERGIA, ÄRAVOOLU  
REGULEERIMINE, VESIVESKID.

## **Hüdroenergeetilised varud.**

Eesti jõgede (v.a Narva jõgi) hüdroenergeetiline potentsiaal ei ole suur – hinnanguliselt kuni 35–50 MW. Lisaks võiks Narva jõele rajada täiendavalt kuni 30 MW HEJ (Omuti kärestiku baasil). Võimalikku aastast “rohelist” energiatoodangut võib hinnata kuni 100 mln MW·h, mis moodustaks 1–2% praegusest energiatarbimisest. Väike, kuid oluline osa alternatiivenergia tootmisest, mis EL arvates peaks lähemate aastakümnete jooksul moodustama liikmesriikides 10% ja enam (2002, International ...).

Tabelites 1 kuni 5 on toodud mõned andmed hüdroenergia kasutamisest mujal maailmas ja Eestis.

*Tabel 1. Hüdroenergia kasutamine maailmas*  
*Table 1. The use of hydropower in the world*

Hüdroelektrijaamade seis	Koguvõimsus, MW
Töötavad HEJ	720 000
Ehitamisel olevad uued HEJ	88 000
Projekteeritavad HEJ	289 000
Koguvõimsuse juurdekasv lähiaastatel	377 000



*Tabel 2. Hüdroenergia kasutamise osatähtsus piirkonniti*  
*Table 2. The share of hydropower by regions*

Piirkond	Hüdroenergia osakaal, %	Osakaal tehn. potentsiaalst
Aasia	33,5	11,7
Euroopa	24,2	57,3
Põhja-Ameerika	21,9	42,1
Lõuna-Ameerika	15,5	19,7
Austraalia	1,8	15,6

*Tabel 3. Hüdroenergia kasutamine Läänemere regioonis*  
*Table 3. The use of hydropower in the Baltic Sea region*

Riik	Hüdroenergia osakaal, %	Installeeritud võimsus, MW
Rootsi	47,7	16 204
Soome	18,8	2340
Eesti	0,1	12
Läti	70,6	1524
Leedu	2,5	113
Poola	1,6	700

Eesti jõed on enamikus lühikesed ning väikese vooluhulgaga lausmaaajõed, kus veejõuastmete töösurve jääb piiridesse 1,5 kuni 8 m. 1997/98. a Eesti Veejõu AS ja TTÜ poolt koostöös Soome ja Rootsi spetsialistidega, Põhjamaade Keskkonna Fondi (NOPEF) toetusel läbi viidud uurimustöö (Velner jt, 1997) näitas, et valdav osa enne II maailmasõda töötanud hüdroelektrijaamadest (umbes 20) ning ligi kolmandik 745 veskit, mis 1940. a andmetel Eestis toimisid, tasub taastada. Need on kohad, kus paisjärved ning osalt hüdrorajatised on säilinud, mis vähendab oluliselt taastamiskulusid. Teostatud majanduslikud-tehnilised kalkulatsioonid näitavad, et otstarbekas on paigaldada taastatavates jõujaamades ja vesiveskites täisautomaatseid propeller-tüüpi kompaktturbiine, kus turbiin ja generaator on paigutatud ühte hermeetilisse korpusesse, mida saab paigaldada kas olemasolevasse turbiinikambrisse või survetorusse. Selliseid turbiine valmistab näiteks Soome firma Waterpumps WP Oy ning neid on paigaldatud Eestis taastatud hüdroelektrijaamadesse, kus nad on suure kasuteguri ( $n > 90\%$ ) ja stabiilsuse tõttu osutunud efektiivseteks (Kamari 200 kW, Tudulinna 150 kW, Joaveski 200+100 kW, Koseveski 40 kW).

Nimetatud 40–200 kW turbiinagregaatide maksumus (turbiingeneraator koos automaatikakeskusega, transport, paigaldus) jääb piiridesse 14 000 kuni 22 000 krooni 1 kW installeeritud võimsuse kohta, mis praeguste elektrienergia müügihindade puhul annab tasuvusajaks 6–8 aastat. Seda tingimusel, et hüdrotehnilised rajatised on säilinud olulisel määral.

Enne 1940. a töötas Eestis 745 vesiveskit, neist umbes 10% toodeti ka elektrienergiat. Nende elektritootmise koguvõimsus oli ligi 10 MW. Praegusel ajal tuleb kõne alla umbes 200 jaama taastamine. Lisaks neile saab elektrienergia tootmiseks kasutusele võtta praeguseks ehitatud 89 vihmutuspaisjärve, mille koguvõimsus võib küündida umbes 10 MW piirile (Raesaar, 1992; Juske, 1993).

Suurenevat huvi vanade hüdrojaamade taastamise vastu näitab see, et lisaks Eesti Energia AS poolt taastamisel olevale Linnamäe (1100 kW) ja Keila-Joa (240 kW) HEJ käivad eeltööd Kunda 2 (300 kW), Sindi (1000 kW), Nõmmeveski (300 kW) ning Tõrva linna vesiveski (2×46 kW) rajamisel.

*Tabel 4. Väikehüdrojaamad Eestis<sup>1</sup>*  
*Table 4. Small hydropower plants in Estonia*

	Nimi	Jõgi	Maks võimsus, kW	Ehitusaasta	Seis 1.1. 2003	
					Töös. Võimsus, kW	Plan. võimsus, kW
1	Keila-Joa	Keila	170	1938		350
2	Kohila	Keila	75	1928		
3	Linnamäe	Jägala	400	1922	1100	
4	Jägala	Jägala	650	1925		1200
5	Tammiku	Jägala	100	1905		
6	Saunja	Jägala	125	1947		100
7	Lili	Jägala	80	1928		
8	Kehra	Jägala	50	1952		
9	Nõmmeveski	Valgejõe	120	1924		280
10	Kotka	Valgejõe	150	1950	100	
11	Joaveski	Loobu	100	2000	300	
12	Kunda	Kunda	400	1958	300	
13	Kamari	Põltsamaa	400	1957	100	200
14	Põltsamaa	Põltsamaa	100	1951		100
15	Vaimastvere	Pedja	50	1956		100
16	Painküla	Pedja	65	1950		120
17	Härjanurme	Pedja	100	1960		
18	Tõrve	Pedja	70	1952	50	120
19	Saesaare	Ahja	150	1952	210	
20	Leevaku	Võhandu	100	1948	75	
21	Räpina	Võhandu	100	1890	50	300
22	Sindi	Pärnu	500	1932		1200
23	Jändja	Pärnu	100	1925		200
24	Suurejõe	Pärnu	150	1925		100
25	Tudu	Rannapungerja	50	1950	150	
Kokku					2435	4370

Kokku on reaalne taastada ja ehitada hüdroelektrijaamu koguvõimsusega 6000 kW (ilma Narva jõeta).

Mõnevõrra keerulisem on olukord väikese töörohuga (1,5–2,5 m) juures töötavates vesiveskites, kus kasutegur ja tootlikkus on madalamad ning agregaatide võimsus on 10–50 kW vahemikus. Kompaktturbiinide maksumus võib tõusta kuni 1,5 korda, mistõttu väikeste võimsuste puhul võib osutuda kasulikumaks paigaldada otsevoolu- (Banki) või sifoon-tüüpi agregate. Selliseid mikroturbiine võiks paigaldada ka 1960.–

<sup>1</sup> Esitatakse täpsustatud andmed. Autorite märkus.

1990. aastate ulatuslike maaparandustööde käigus peamiselt vihmutuse ja kalakasvatuse otstarbeks ehitatud 80–90 paisjärve hüdroregulaatorites.

Vanade hüdroelektrijaamade ja vesiveskite taastamine on oluline mitte ainult elektrienergia tootmiseks, mis, nagu öeldud, Eesti energeetika bilanssi oluliselt ei mõjuta. Vanad vesiveskid koos hüdrotehniliste rajatistega mõjutavad oluliselt meie maastikku, kaunistades või kujundades seda. Riiklike ressursse taastamistöödeks napib ning seetõttu on erainitsiatiiv igati tervitatav. Häid näiteid võib tuua rohkem, kus hüdrovälja taastamisega seoses on puhastatud veehoidlat, korrastatud maastikku, rajatud sildu ja juurdesõiduteid. Loomulikult on omanikud huvitatud elektrienergia tootmisest, mis nende üldsusele vajalikke kulutusi kompenseerib. Igati tervitatav on vesiveskite taastamisel arvestada turismihuviseid, kohalike väiketööstuste rajamise võimalusi, s.t et hüdrotehniliste rajatiste taastamist tuleb vaadelda komplekselt, mitte ainult selle omanike erahuvina, vaid kogu paikkonna elavdamise võimalusena.

*Tabel 5. Uued HEJ-d ja taastatud vesiveskid 2002/2003*

*Table 5. New HPP and reconstructed watermills in 2002/2003*

	Nimi	Võimsus, kW
1	Leevi	250
2	Hellenurme	36
3	Lauküla	45
4	Oruveski	18
5	Vaku	30
6	Kanaveski	20
7	Koseveski	40
8	Kunda Silla	330
9	Linnuse	170
10	Kaunissaare	200
	Kokku	1139

Mitte vähem oluline on energiaallikate territoriaalne hajutamine, mis võib osutada oluliseks kriisisituatsioonides. Samuti võimaldab taastuvenergia kasutamine vähendada atmosfääri reostamist soojuselektrijaamade poolt (CO<sub>2</sub> emissioon).

Nagu igasugusel inimtegevusel, nii ka hüdrorajatistel on oma mõju looduskeskkonnale, mis võib olla nii positiivne kui ka negatiivne. Seetõttu tuleb hüdrorajatiste taastamisele asudes koostada keskkonnahinnang ning lisada see veeloa taotlemisel. Selleks on vaja kasutada litsentseeritud ekspertide abi.

### **Positiivsed tegurid:**

- alternatiivse “roheline” energia kasutamine, sellest tulenev CO<sub>2</sub> emissiooni vähenemine,
- maastiku renoveerimine, korrastus, mis laiendab puhke- ja kalapüügivõimalusi, turismi,
- veevaestel perioodidel kalade ja põhjaloomastiku eluala tagamine paisutatavas lõigus,

- põhjavee taseme hoidmine,
- vee kvaliteedi parandamine (aereerimine, toitainete väljasettimine paisu taga),
- suurvee reguleerimine, erosiooni vähendamine,
- vihmutusvee võtmise võimalus.

### **Negatiivsed tegurid:**

- paisud on takistuseks siirdekalade rändel kudealadele, lahenduseks on kalapääsude ehitus,
- paisutuse negatiivne mõju paisjärve ümbritsevate maade niiskusrežiimile, üleujutamine, lahenduseks on maaomanikega kooskõlastamine, vajadusel paisutus- kõrguse vähendamine,
- oht uputada kiirevoolulisi jõelõike, kus on siirdekalade kudemisalad. Lahenduseks on vähendada paisutuskõrgust.

### **Majanduslikud näitajad vesiveskite taastamisel**

Lähtume näitena 30 kW turbiini paigaldamisest, mille summaarne maksumus on 1 mln kr, sh 1–3 ha paisjärve taastamine 100 000–300 000 kr. Hüdroenergia toodang on kuni 200 MW·h/a, laekumine elektrienergia tootmisest umbes 160 000 krooni aastas. Kyoto Konventsiooni kohaselt on CO<sub>2</sub> emissiooni vähenemine atmosfääri 100 t CO<sub>2</sub>/a, mis rahalises väärtuses on hinnatav vähemalt 200–300 kr/t CO<sub>2</sub>. Vesiveski taastamise tasuvusaeg võib praegustes hindades olla 6 kuni 8 aastat.

Kõik ülaltoodu kehtib ainult taastatavate hüdroehitiste kohta, kus põhiehitised on vähemalt osaliselt säilinud ning veehoidlas ja alumises bjefis on ökoloogiline seisukord välja kujunenud aegade jooksul. Uute hüdrotehniliste ehitiste võimalik rajamine vajab aga looduslike tingimuste põhjalikku analüüsi, eriti kaitsealustes piirkondades (näiteks seoses projektiga Natura-2000).

Kogu maailmas pööratakse praegusel ajal erilist tähelepanu vee-energia kasutuselevõttele ja veevarude täiendamisele. Kuigi meie kliimatingimustes vee probleem ei ole siiani olnud terav, näitas tänavune põuane suvi, mil paljud väiksemad jõed ja ojad pea täiesti ära kuivasid, et äravoolu reguleerimise probleem on olemas. Üheks lahenduseks on siin kindlasti endiste vesiveskite paisjärvede taastamine. Samas tuleb aga meeles pidada, et erinevalt tuule- ja soojusjõujaamadest, mida saab ehitada seeriaviisiliselt, standardsete seadmete ja lahendustega, on iga jõgi ja hüdroelektrijaam omanäoline. HEJ ehitamine või taastamine vajab individuaalset lähenemist ja lahendust.

### **KirjandusReferences**

1. Juske, A. (1993) Vesiveskid. Kirjastus Valgus. Tallinn: 220.
2. (2002) International Hydropower Association. The International Journal on Hydropower and Dams 9(2).
3. Raesaar, P. (1992) Väikehüdroenergeetikast. TTÜ ja EV Energiaamet. Tallinn: 38.
4. <sup>1</sup>Velner, H.-A., <sup>1</sup>Saks, A., <sup>2</sup>Ericsson, H. (1997) Hydropower in Estonia. Pre-feasibility Study. <sup>1</sup>Estonian Waterpower Ltd. and <sup>2</sup>Drive Tech International AB. Tallinn: 90.

# ON RECONSTRUCTING HYDROPOWER PLANTS AND WATERMILLS IN ESTONIA

*Harald-Adam Velner<sup>1</sup> and Ants Saks<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering, Tallinn Technical University  
e-mail: marpar@edu.ttu.ee

<sup>2</sup>Estonian Waterpower Ltd, e-mail: ants.saks@mail.ee

## **Abstract**

In the paper the potential hydropower sources in Estonia and possibilities to explore them in mini- and micro hydropower plants are presented. Principal data of reconstructed HPP and watermills with the new sophisticated turbines are also described. The positive and negative aspects of reconstructing watermills are compared. Production of alternative hydropower energy and regulation of water flow in water reservoirs will benefit to economy. The environmental aspects should be taken into account.

# ÜLEVAADE RAHVUSVAHELISEST BAASJOONTE (BASE) PROJEKTIST

*Ülo Mets*

Enprima Estivo AS

## **Annotatsioon**

Artiklis on antud ülevaade rahvusvahelisest baasjonte (BASE) projektist. Projekti eesmärgiks oli eeskirjade ja metoodika väljatöötamine Euroopa Ühenduse viiele kandidaatriigile, et lihtsustada taastuvenergia ühisrakendusprojektide teostamist neis riikides nn emissioonikaubanduse (CO<sub>2</sub> emissiooni vähendamise ühikute) ostu-müügi kaudu.

KASVUHOONEGAASID, KYOTO PROTOKOLL, EMISSIOONIDE VÄHENDAMISE ÜHIKUD, ÜHISRAKENDUSPROJEKTID, CO<sub>2</sub> BAASJOON

## **Kasutatud lühendid**

KHG – kasvuhooonegaasid

ERU või EVÜ – *Emission Reduction Units* = emissioonide vähendamise ühikud

SEK, CHP – soojuse ja elektri koostootmine

PCF – Maailmapanga *Prototype Carbon Fund*

JI – *Joint Implementation* – ühisrakendus

R&D – *Research and Development* – uurimis- ja arendustegevus

MOU – *Memorandum of Understanding* – ühiste kavatsuste memorandum

PIN – *Project Identification Note* ehk projekti lähteülesanne

PDD – *Project Design Document* – projekti dokumentatsioon

IRR – *Internal Rate of Return* – sisemine tulunorm, projekti sisemine tulukus

## **Projekti nimetus, osalejad ja finantseerimine**

Baasjooned Euroopa kandidaatriikidele – toetamaks investeringuid taastuvenergia ühisrakendusprojektideks Kesk- ja Ida-Euroopa riikides. (*Baselines for Accession States in Europe – Promoting Clean Energy Investments through Joint Implementation in Central and Eastern European Countries (CEECs)*).

Projekti juhtis Inglise firma ESD (*Energy Sustainable Development*), lisaks Ühendatud Kuningriigile osalesid Austria, Soome, Poola, Tšehhi, Ungari, Sloveenia ja Eesti. Projekti kestus oli 18 kuud: november 2001 – mai 2003.

Projekt oli 50% ulatuses finantseeritud Euroopa Nõukogu (EC) Teadusuuringute ja Tehnilise Arengu Osakonna viienda raamprogrammi kaudu. Ülejäänud 50% finantseeringust oli taotletud Eesti riigilt vastavalt EC raamistikule riiklikust abist R&D projektidele (OJ C 045 17.02.1996), kuna tegu oli riigi arengule vajaliku projektiga. Tegelikult tuli tagasihoidlik toetus Majandus- ja Kommunikatsiooniministriumilt ning Eesti Energialt, mitte aga Keskkonnaministriumilt.

## **BASE projekti eesmärk**

Projekti eesmärgiks oli rahvuslike CO<sub>2</sub> baasjoonte ja nende määramiseks sobivaimate meetodikate väljatöötamine EL kandidaatriikidele, sh Eestile.

Küsimus puudutab Eesti elektrisektori CO<sub>2</sub> emissioonide baasjoone ja selle ühtse meetodika väljatöötamist lähimaks 15–20 aastaks ning on tihedalt seotud abinõude paketiga Kyoto protokolliga täitmiseks. Seega on see tihedalt seotud meie energiasektori arenguga, sh taastuvate energiaallikate kasutuselevõtu finantseerimisega, kokkuvõttes kogu Eesti säästva arenguga, mis on meie valitsuse poolt heaks kiidetud arengusuund.

Rahvuslike baasjoonte puudumine, mille alusel valitsus ja investorid saaks kehtestada keskkonnavalase “lisaväärtuse” igale investeeringuprojektile energeetikas, on praegu olnud üheks takistuseks ühisrakendusprojektidesse investeerimisel.

## **Idee**

Kiirendada investeerimist ühisrakendusprojektidesse,

- alandades juurutamiskulutusi;
- leides ja määratledes sobivaid projekte; süvendades konsensust asjasse puutuvate ametkondade ja organisatsioonide vahel.

BASE projekti levitamise ja kasutamise tähtsaim element on kiirem ja odavam ühisprojektide juurutamisega seotud protseduuride läbimine.

## **Esmäülesanded**

- Kokku leppida baasjoone arvutamise meetodikates igas riigis (Tšehhi, Eesti, Ungari, Poola ja Sloveenia).
- Arvestada töid, mis on igas riigis selles osas juba tehtud nii emissioonide raportites kui ka energiasektori modelleerimisel.
- Välja töötada nii investorite kui valitsuste jaoks selged arusaadavad juhtnöörid, kuidas kavandada, arendada ja heaks kiita välja valitud ühisrakendusprojekte.
- Välja töötada vastavalt igale riigile sobivale meetodikale baasjoone arvutamise programm, mis oleks aktsepteeritav teiste riikide ja investorite poolt.

## **Eesti töögrupp (*Estonian Country Team*)**

### Valitsuse esindajad

Eesti Majandus- ja Kommunikatsiooni-  
ministeerium

Ell-Mari Koppel (osakonnajuhataja asetäitja)

Eesti Keskkonnaministeerium

Heidi Hallik (kliimamuutuste spetsialist)

### Energiasektori partnerid

Eesti Energia AS

Valdur Lahtvee (keskkonnajuht)

Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing

Anu Keskspaik (tegevdirektor)

### Energia- ja keskkonna konsultandid

TTÜ Energeetikateaduskond

Olev Liik (professor, dekaan)

Säästva Eesti Instituut

Tiit Kallaste (programmi direktor)

## **CO<sub>2</sub> baasjooned – definitsioonid**

Marrakeshi keskkonnakonverentsi lepetes fikseeriti definitsioonid järgnevalt:

- Baasjoon on stsenaarium, mis kajastab inimtegevusest põhjustatud kasvuhoonegaaside emissioone, mis esineksid nendest saasteallikatest ilma pakutud projektita.
- Baasjoon peab sisaldama kõigi tootmissektorite ja saasteallikate kõikide gaaside emissioone, mis jäävad projekti piiridesse.
- Projekti piirid hõlmavad kõiki inimtegevusest põhjustatud ja projektis osalejate kontrollile alluvaid emissioonide allikaid ja/või emissioonide eemaldamist neeldumise teel, mis on tähelepanuväärsed ja põhjuslikult seotud projektiga/tegevusega.
- Lekkimine on inimtegevusest põhjustatud kasvuhoonegaaside allikatest lähtuvate emissioonide muutus, mis toimub väljaspool projekti piire, kuid on mõõdetav ja seotud projektiga/tegevusega.

## **Energiaprojekti piirid**

Projekti piirid tulenevad pigem baasjoone määrangust, mitte emissioonide vähendamise määrangust. Projekti piirid võivad olla erinevatel projektidel erinevad.

Marrakeshi lepetes pole kuigi täpseid formuleeringuid. Autoriteedid soovivad järgmist.

### ***”Projektis osalejate kontrollile alluvad emissioonide allikad”***,

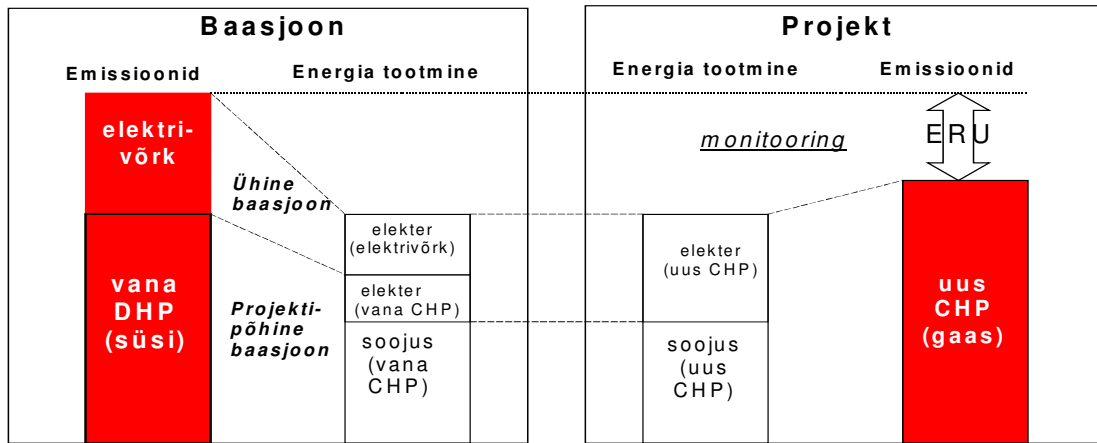
- st otsesed projekti emissioonid + imporditud elekter või soojus neile projektidele.
- Hajutatud elektritootmise ja energiasäästu projektide puhul tuleb lisada ka ülekande/jaotuse kaod ja neile vastavad emissioonid. Sõnaga, sel puhul on võrdlusbaasiks tarbijani jõudev elekter ja sellele vastav baasjoon.

### ***“Tähelepanuväärne emissioon”***,

- st emissioonide tase, võrreldes suurima üksiku energiaploki kaalutud mõjuga projektile või
- ei mingeid juhtnööre. See tähendab riigi oma seisukoha väljatöötamist. Eesti firmade lähtekoht on senini pragmaatiline: emissioon on tähelepanuväärne, kui CO<sub>2</sub> krediteerimisega on mõtet tegelda (st kui oodatav toetus projektile selle läbi on märksa suurem kui nende toimingute ettevalmistusega seotud kulutused – nn *transaction costs*). Projekti piirid – näide soojuse ja elektri koostootmisjaama (SEK) projekti piiridest.



Joonisel 1 “Baasjooon” kujutab olukorda ja tulevikuarengut ilma uue CHP projektita. “Projekt” kujutab olukorra muutumist pärast uue SEK ehitamist või rekonstrueerimist.



Joonis 1. Emissioonide vähendamise ühikud koostootmisjaama rekonstrueerimisprojekti puhul

Figure 1. Emission Reduction units in the case of CHP Plant Reconstruction Project

Kahe variandi võrdlemisel näeme, et uus SEK “toodab” võrdse energiahulga (soojus + elekter) tootmisel vähem emissioone. Vahe ehk EVÜ on need ärajäävad emissioonid, mille rahaline väärtus võiks olla ühisprojekti müügi- või krediteerimise objektiks nii riikide kui firmade vahel.

Näeme samuti, et uus SEK toodab suhteliselt rohkem elektrit; saamaks võrdluseks võrdseid elektritoodanguid, peaks vana SEK puhul lisama elektrivõrgust puuduva osa. Järelikult moodustub vana SEK puhul ka emissioonide baasjooon kahest osast: sellest, mis vastab vana SEK elektritoodangule ja sellest, mis vastab võrgust asenduvale elektrihulgale. Üldjuhul pole siin ühe kW·h elektri tootmisel tekkinud emissioonid võrdsed: vana SEK puhul on tegu kindla kütuse, kasuteguri ja põletusviisiga – seega ka kindla emissiooninormiga; võrgust asenduva elektri puhul tuleb aga võtta aluseks “keskmisele rahvuslikule elektri segule” (“national power mix”) vastav CO<sub>2</sub> baasjooon. See asjaolu muudabki elektri baasjoone arvutamise tublisti keerukamaks, võrreldes selle arvutamisega vaid ühele kindlale projektile.

Näide on toodud koostootmisjaama kohta, kuna sel puhul on meil tegu keerukaima juhtumiga. Pole raske näha, et mingi taastuva energiaallika (tuule- või hüdroturbiinide või ka puiduhakkel koostootejaama) kasutamisel on skeem lihtsam, sest müüdavate emissiooniühikute hulk on 100%, st kogu vana asendatava SEK või elektrivõrgu vastava elektrihulga baasjoontes sisalduv KHG emissioon on müügiks.

### Lisaväärtuse kontseptsioon

”Emissioonide vähenemine peab olema lisanduv sellele, mis toimuks muidu (st mis toimuks ilma meie projektita, senise normaalse arengu jätkudes).”

**Lisaväärtuse mõiste** interpretatsioon ja tähendus on täielikult avatud, riigil on võimalus anda sellele oma tähendus.

Lisaväärtuse kontseptsiooni tõlgendus peegeldub baasjoone arvutamise meetodis. Baasjoon annab lisaväärtusele numbrilise väärtuse, kuid paraku on kasutusel mitmed erinevad baasjoone meetodid. Näiteks PCF kasutab erinevaid meetodeid: investeringu analüüs, stsenaariumi analüüs, kontrollrühmade meetod jne.

Seetõttu vastuvõtjad riigid peavad ise otsustama, mida nad ootavad baasjoone meetodilt, selleks et:

- tõeliselt genereerida emissioonide vähenemist, müümaks neid kui emissioonide vähenemise ühikuid (ERU), näiteks CO<sub>2</sub> tonne;
- meelitada riiki süsiniku finantse (CO<sub>2</sub> krediteerimine).

Baasjoone arvutus peab igal juhul olema rajatud kindlatele alustele, sest seda kontrollib iga projekti hindaja (*validator*).

### **Suhteline või absoluutne baasjoon**

Suhteline baasjoon antakse tonni CO<sub>2</sub> toodangu ühikule, absoluutne baasjoon aga tonnile CO<sub>2</sub>-le.

Erinevalt absoluutsest baasjoonest põhineb suhteline baasjoon tootmise (teeninduse) ekvivalentsuse ideel:

- *baasjoon peab olema kehtestatud sellisel viisil, et emissioonide ühikuid (ERU) ei saaks teenida tänu äriaktiivsuse vähenemisele väljaspool projekti või tänu “vääramatule jõule”.*

Mitte sõnades väljendatud, vaid tunduv absoluutse baasjoone piiramine on nõutav. Vabatahtlik aktiivsuse vähenemine projekti piiridest seespool on lubatud, kuid peab olema õigustatud ja põhjendatud.

### **Baasjoone dünaamika**

See on iga riigi otsustada. On kasutada järgmised võimalused:

- fikseeritud baasjooned (nt aastaiks 2008–2012), kus on
  - a) fikseeritud võrrand, konstantne väärtus või
  - b) fikseeritud dünaamiline muutus (näit. intensiivsus paraneb 10%/a);
- revideeritav baasjoon, kus on
  - a) ”indekseeritud” (fikseeritud valem, muutuv väärtus või tingimused) või
  - b) ”suvaline” (ebakindel valem, erinevad väärtused).

Eesti oludes, kus üle 95% elektritoodangust põhineb põlevkivil, on sobiv kehtestada revideeritav baasjoon, mille väärtust revideeritakse pärast kahe suure energiabloki renoveerimist 2005. aastal.

### **Üldised (kogu elektrisektori) baasjooned**

Võimalik on kasutada kas projektipõhiseid või üldisi (*generic*) baasjooni.

*Baasjoon arvutatakse kas projektipõhiselt ja/või kasutades üldistatud (kogu tootmisektorit hõlmavat) emissiooni faktorit*”. Mõlemad on võimalikud ja tegelikult ka vajalikud, et saada realistlik baasjoon (mõlemat on kasutatud ka Eestis).

Üldiste baasjoonte käsitlused.

- Tootispõhine (süsteemi keskmised tootmise piirid jms) ja
- võimsusepõhine (piirvõimsused) käsitlus.

Eesti oludes, kus on vaid 16 tegutsevat elektriijaama, neist enamik väga väikesed, on täiesti võimalik arvutada tegelikku üldist elektrisektori baasjoont. Seda ka tehakse.

## **Muud lähtekohad**

### **Baasjoone kestvus**

Kyoto lepingu esimene teostusperiood on 2008–2012 aasta. Nende aastate kohta koostatakse baasjoone arvutused, mis on aluseks emissioonikrediitide müügiks.

Kuid pole lepinguid alates aastast 2013. Pole ka leppeid varasema CO<sub>2</sub> krediteerimise (*early credits*) kohta, st kuni aastani 2008. Siin tuleb osapooltel ise otsustada ja kokku leppida!

### **Määramise alus: stsenaariumid või andmed**

Baasjooned tuleb määrata tingimustel, mis arvestavad vastavat rahvuslikku ja/või sektori arengupoliitikat ning olukorda. Seega on arengustsenaariumid vajalikud.

### **Raporteerimine**

Baasjoon tuleb kehtestada läbipaistvalt, arvestades võimalikke kahtlusi/riske ja kasutades konservatiivseid eeldusi. Mis on konservatiivne eeldus? PCF tõlgendusel tähendab see, et tuleb pigem alahinnata kui ülehinnata võimalikku emissioonide alandamist. Samuti peavad projektis osalejad põhjendama oma baasjoone valikut. Senistes Eestis tehtud baasjoone arvutustes on eeltoodud lähtekohti arvestatud.

### **Ühisrakendusprojektide rahvuslikud kriteeriumid**

Vaid projektid, mis vastavad alltoodud rahvuslikele kriteeriumidele, võivad olla aktsepteeritud ühisrakendusprojektidena.

Vajalikud nõuded on järgmised.

1. Projekt peab vastama Eesti Vabariigi seadustele ja energiapoliitikale.
2. Projekt peab viima tunduvalt kasvuhoonegaaside vähenemisele.
3. Juba teostatud projekti ei aktsepteerita ühisrakendusprojektiks.
4. Projekt ei tohi viia saasteainete ülekandumisele ühelt keskkonnalt teisele (õhk – vesi – maapind).
5. Projekt peab vastama makromajanduse poliitikale (rahvuslikul/regionaalsel pinnal, sh ka tööhõive osas).
6. Kasutada tuleb parimat kättesaadavat tehnoloogiat – vajalik moodsa tehnoloogia ja *know-how* juurutamiseks.
7. Kasvuhoonegaaside vähendamist peab olema võimalik mõõta või arvutada.
8. Projekti majanduslik tasuvus tuleb saavutada CO<sub>2</sub> finantseerimise kaasabil.
9. Projekt peab olema suur levikupotentsiaal (korduvprojektide võimalus).

## Prioriteetsed ühiskondlikud projektid

Prioriteetsete ühiskondlikud projektide hulka kuulumiseks peab tegevus rahuldama mõnda järgnevatest tingimustest:

- taastuvate energiaallikate kasutamine;
- soojuse ja elektri koostootmine (SEK);
- energia tootmistehnoloogia täiustamine, mis viib suuremale efektiivsusele ja emissioonide vähenemisele;
- energiakasutuse tarbijapoolne juhtimine, eesmärgiks säästlikum tarbimine;
- energiasääst ehitiste soojusvarustusel (isoleerimine, reguleerimine, jms);
- energiasäästenergia tootmisel, ülekandel ja jaotamisel;
- tööstusettevõtete heitsoojuse kasutamine;
- prügihooldlates tekkivate gaaside kogumine ja kasutamine;
- ökoloogiline ühiskondlik transport;
- ressursside juhtimine, jäätmete korduvkasutus;
- energiasäästlike tootmisprotsesside juurutamine tööstuses.

## Ühiskondliku projekti hindamiseks nõutav informatsioon

Ühiskondliku projekti taotlemisel on vajalik esitada järgmine informatsioon:

- projekti lühike kirjeldus koos vajalike tehniliste andmetega;
- aastane hinnatud kasvuhooenergia vähenemine;
- summaarne KHG vähenemine projekti eluajal;
- hinnangemissioonide krediitidele aastaiks 2008–2012;
- emissioonide vähendamise maksumus (investeering / emissioonide krediitid);
- KHG baasjoone läbipaistev arvutus (eeldatav tase); uutele soojuse ja elektri tootmistele tuleb eeldatav tase hinnata hüpoteetiliselt;
- projekti majanduslik efektiivsus (tasuvusarvutus), arvestades CO<sub>2</sub> krediite;
- muud keskkonnakaitseaspektid (peale KHG arvutuse);
- informatsiooniprojekti teostatavuse ja usaldatavuse kohta;
- info lisaväärtuse (*additionality*) tingimuse täitmise kohta, st KHG vähenemine kasutatava tehnoloogia abil, mida oleks võimatu saavutada ilma projekti juurutamata.

## Baasjoone koostamine

CO<sub>2</sub> baasjoone väljatöötamiseks meie elektrienergia sektorile tuleb küllaldase täpsusega võtta arvesse ja prognoosida kuni 2012. aastani:

- Eesti majandusarengut ja sellega seotud elektritarbimise muutust;
- elektri tootmiseks kasutatavate kütuste liike ja koguseid;
- taastuvenergia osakaalu elektritootmises;
- koostoodetava elektri osakaalu kogu tootmises;
- energiaturu liberaliseerimist ning võimalikku elektrienergia eksporti-impordi;
- energeetikat reguleerivat seadusandlust;
- tehnoloogilisi täiustusi olemasoleval põlevkivielektri tootmisel;

- energiakadude vähendamist elektri tootmisel, ülekandel ja jaotusel;
- põlevkivielektri ostukohustusi ja lepinguid.

Siit nähtub, et kuigi tegu on prognoosiga, sõltub sellest emissioonikrediitide saamine, ehk konkreetne rahanduslik tehing firmade ja/või valitsuste vahel.

### **Baasjoone arvutustest Eestis**

BASE projektile on esitatud Eestist 5 pilootprojekti.

1. ASi Tartu Energia SEK jaam 15/45 MW<sub>el</sub>/MW<sub>el</sub> biokütusel.
2. ASi Imavere Saeveski SEK jaam 4/10 MW<sub>el</sub>/MW<sub>th</sub>, kütuseks puidujäätmed.
3. Ahtme SEK jaama 32/335MW<sub>el</sub>/MW<sub>th</sub> ümberehitus (kaks keevkihtkatelt biokütusel).
4. Väikeste hüdrojaamade taastamine Linnamäel, Põltsamaal ja Keila-Joal.
5. Balti Elektri jaama 11. ploki rekonstrueerimine: 2 keevkihtkatelt ja turbiin 215 MW<sub>el</sub>.

Baasjoone näidisarvutuseks valiti Tartu SEK projekt kui enim arendatud (tasuvusuuringud on tehtud). Projekti kohta on esitatud järgmine informatsioon.

1. Projekti kirjeldus (baasandmed plaanitud ühisrakendusprojekti kohta).
2. Projekti tüüp, definitsioon ja kategooria, asupaik ja energiaallikas.
3. Projekti klassifikatsioon E+; H0, (võimalused E0, E+, E-; H0, H+, H-).
4. Plaanitud võimsus, hinnatud aastane energiatoodang.
5. Sobivus ühisrakendusprojektiks, mida näitavad lisatud dokumendid:
  - a) Kyoto protokoll ja Marrakeshi lepped,
  - b) hinnatud CO<sub>2</sub> vähenemine (baasjoone alusel, kokku ligikaudu 160 000 t CO<sub>2</sub> aastas),
  - c) vastavus Eesti JI kriteeriumidele,
  - d) projekti heakskiitmine.
6. Majanduslik ja finantsinformatsioon, tasuvusarvutused ilma CO<sub>2</sub> krediitideta ja neid arvestades (CO<sub>2</sub> hinna puhul 10 EUR/t suureneb projekti sisemine tasuvus IRR ligi 7% võrra (13%-lt 20%-ni). Hinna puhul 5 EUR/t on suurenemine 3,6%). 3 EUR/t puhul on IRR suurenemine ligikaudu 2%.

### **Baasjoone meetodikad**

Praegu pole küllalt täpset meetodikat maailmas levinud GEMIS (*Global Emission Model for Integrated Systems*) mudeli kasutamiseks CO<sub>2</sub> emissioonide arvutuseks meie põhikütuse põlevkivi baasil. (Põlevkivi oma täpse keemilise koostisega puudub GEMISE andmebaasis.) Ligilähedasi tulemusi on saadud, andes ette keemilise koostise. Et arvutada neid emissioone erinevate põletustehnoloogiate puhul, on Eesti Keskkonnaministeerium kehtestanud spetsiaalse määruse (Eesti keskkonnaministri 17. märts 1999. a määrus nr 33); vastav instruksioon ja meetodika on kehtestatud 8. septembril 1998. a. määrusega nr 58. Kõik CO<sub>2</sub> emissioonid Eesti energiasektoris on (ja peavad olema) arvutatud vastavalt sellele määrusele.

Senised tegelikud baasjoone arvutused on tehtud Exceli tabelarvutuse abil.

## Ühiskandusprojekti esitamine (riigi taotlus) ja projekti sobivuse hindamisotsus

Nõuded, mis tuleb täita projekti esitamisel JI projektina:

- baasinfo PIN olemasolu esitamaks projekti ühiskandusprojektiks;
- seadusloome olemasolu (riikide kohustused, õigused ja garantiid, vahetamaks emissioonide vähendamise ühikuid (ERU) nii riikide kui ka osalevate firmade vahel);
- ühiste kavatsuste memorandum (MOU) või lepingu olemasolu vastuvõtva- ja investeeriva riigi valitsuste vahel;
- projekti sobivuse hindamine (*validation*) investeeriva riigi poolt (selle riigi keskkonnaministeeriumi või selleks volitatud firma poolt);
- lõplik projekti dokument PDD, mis peab sisaldama hindamisotsuse märkusi.

### Küsimused, probleemid ja õppetunnid

Eestis tehtud esimestest baasjoone uuringutest (Türisalu tuulefarm, Kadrina ja Tamsalu katlamajad biokütusele), on saadud hulga kogemusi. Märkime siin olulisemad esinevad puudused.

1. Ebaselgus projekti piiridest (mis seal peaks sisalduma – tuulefarm/elektrivõrk/olemasolev tootja).
2. Puuduvad baasjoone arvutused: kas aluseks oleks rahvuslik elektritootmise segu /või Balti EJ kui võimalik elektritoodangu vähendaja?
3. Arvutused sõltuvalt kohast ja põletusviisist (kütus, kaod tootmisel ja võrgus).
4. SEK osakaalude arvestamine (milline osa CO<sub>2</sub> soojusele/elektrile).
5. “Tähelepanuväärne” CO<sub>2</sub> vähendamine – Eesti puhul lihtne, vastasel juhul C-krediidi liinil poleks kaalu ning kogu ettevalmistustöö poleks mõtet.
6. Baasjoone fikseerimine/revideerimine (kuni 2005. a; aastaist 2005–2012 aga uutal alustel).
7. Eelnev krediteerimine (mitte ainult 2008–2012) on võimalik, firmad on huvitatud.
8. Mis juhtub pärast 2012. a?
9. Garantiid (kuidas need jaotuvad ametkondade/firmade vahel, kes garanteerib avansimaksed rahaliselt, kui projekt mingil põhjusel ebaõnnestub). Investorriigid sooviks riigi garantiid.

Riigil oleks ehk õigem CO<sub>2</sub> vähenemise tulu pärast 2012. a endale jätta, firmad aga sooviks CO<sub>2</sub> emissioonitonnide müüki tõenäoliselt jätkata. Mida on õigem teha, sõltub Eesti riigi kohustustest ja rahvusvahelistest otsustest emissioonikaubanduse kohta.

### Sobivuse hindaja olulisemad märkused Kadrina ja Tamsalu projektide hindamisraportis (*Validation Report*)

1. Eestil on täitmata osa JI nõudeid (Kyoto leping ratifitseerimata (ratifitseeriti hiljem, 03. sept 2002), JI projektide käsitlemise rahvuslikud reeglid puuduvad, puudub rahvuslik keskus JI projektide vastuvõtuks, puudub JI rahvuslik register, pole projekti lepingut, hindajale pole esitatud ka projekti idee kirjeldust (PIN), jms).

2. Majanduslik "lisaväärtus" põhjendamata, projekt on tavaline äriprojekt (*business as usual*), erinevad arengustsenaariumid puuduvad, ühisprojekti ja baasjoone tingimused seega täitmata.
3. CO<sub>2</sub> emissioonide arvutus on ligikaudu 4-kordselt liialdatud (eriti CH<sub>4</sub> osas, kuna puidujäätmeid pole tegelikult prügimäele viidud), mistõttu on CO<sub>2</sub> lisaväärtus tegelikult minimaalne ja emissioonikrediitide eraldamine ebaõige.
4. Olemasolevate vanade õlikatelde kasutegurid on valesti hinnatud (liiga väiksed), mistõttu on kunstlikult suurendatud põletatava masuudi kogust, seega CO<sub>2</sub> baasjoone emissioone.

### **Esialgsed järeldused**

1. Osa eeltoodud määranguid ja definitsioone on soovitusliku iseloomuga, küsimuste otsustamine on jäetud igale riigile vabaks.
2. Ühisrakendusprojektide käsitlemise kord, selleks vajalikud nõuded ja kriteeriumid peavad olema igal riigil endal välja töötatud ning kehtestatud; sel juhul aktsepteerivad neid ka investorrigid.
3. Riigil peab olema kindel käsitlus ja meetodika baasjoone arvutuseks, selle kehtivuse tähtaegadeks ja revideerimise perioodideks.
4. Vajalik on selge arusaam lisaväärtusest (nii majanduslikust kui keskkonnakaitselisest) ning sellele vastavad tasuvusuuringud, mis näitaks CO<sub>2</sub> krediitide mõju projekti tasuvusele.
5. Peab olema reeglistik või kord, kuidas tõendatakse (*verification*) baasjoone arvutusi ning kuidas korraldatakse monitooring selle täitmise jälgimiseks kogu teostusperioodi 2008–2012 jooksul.
6. Riikidevaheliste lepete sõlmimisel pole otstarbekas siduda end ainult ühe riigiga, kohustades talle müüma kõik vabanevad ERU tonnid, sealjuures tolle riigi poolt dikteeritava hinnaga. Viimasel ajal on hinnad sedavõrd langenud, et kogu protsess kipub sel juhul minetama mõtet ega huvita enam firmasid, kes CO<sub>2</sub> krediteerimist taotleavad.
7. Eesti projektide väiksuse tõttu on pea võimatu investorit huvituma panna. Üksikprojektidest tuntakse huvi vaid nende vastu, mille aastane CO<sub>2</sub> vähenemine ületab 100 000 tonni. Seetõttu on otstarbekas koondada meie väiksemad projektid kokku, teostades kõik vajalikud JI ettevalmistustööd nõutaval tasemel, seejärel pakkudes kogu paketti soodsaimale CO<sub>2</sub> investorile.
8. Sellist lähenemist pooldavad ka teised BASE projektis osalevad kandidaatriigid. Asjade loomulik käik viib paratamatult sinna, et firma müüb oma säästetavad CO<sub>2</sub> tonnid ikkagi sellele investorile, kelle hind on soodsam, sest iga energiafirma on eelkõige huvitatud projekti tulukusest.
9. Eesti elektritootmissektori CO<sub>2</sub> baasjoon arvutati aastani 2012, arvestades meie elektrisektori plaanitud arengut, sh Eesti Energia põlevkivienergeetika arengut ja rekonstrueerimisprojekte, samuti taastuvenergia evitamist Eestis sellisel määral, et saavutada selle 5,1% osakaal elektritootmises aastaks 2010.
10. Kui sel kombel plaanitud elektrisektori arengus toimub muudatusi või tagasilööke, on vajalik korrigeerida ka elektrisektori CO<sub>2</sub> baasjoont.

11. Kui tegu on energiasäästu ühisrakendusprojektidega tarbija juures või elektri ülekandekadude vähendamiseks, tuleb emissioonide arvestuse aluseks võetavat baasjoont korrigeerida, arvesse võttes energia ülekandekadusid.

## **A REVIEW OF THE INTERNATIONAL BASELINES PROJECT (BASE)**

*Ülo Mets*

Enprima Estivo Ltd, e-mail: ylo@estivo.ee

### **Abstract**

Due to the Estonian situation with the already fulfilled Kyoto obligations and a lot of “hot air” to trade, the baselines has not been a top priority. In spite of that certain activities (UNFCCC focal point, fuel conversion AIJ projects and two first JI pilot projects for the Estonian district-heating sector with baseline calculations) have been performed. In summer 2002 also the first scenario analysis based electricity baseline for a large Pakri wind park was calculated.

In this situation the main reason for Estonian companies to be interested in JI and Base project lies in the opportunities linked with the additional financing of the projects through JI or emission trading schemes. In case the support will be sufficient and available during the first period of implementation stage.

The Estonian Government representatives from the Ministry of Economic Affairs and Communication and the Ministry of Environment, also the key stakeholders of Estonian power sector participated in the international Base project Estonian Country Team.

All main issues were discussed and commented on by the Country Team members. The “learning by doing” method was applied, because:

- The baseline and problems linked with it were entirely new and not the first priority at this EU accession stage;
- There was no criteria, methodology or requirements/guidelines for baseline;
- For UNFCCC national communications the baseline was calculated for the whole energy sector, but no national electricity sector emissions baseline has been established.

The most valuable results achieved for the Estonian government were:

- Estonian national criteria for JI projects;
- Project identification & selection criteria for JI projects;
- Baseline study guidelines;
- Results of electricity sector baseline calculations for national power mix as well as for any existing Power or CHP Plant.



Main drivers to support JI:

- Well-developed district heating system as an excellent precondition for CHP;
- Sufficient bio fuel and wind resources;
- Huge energy conservation potential in production, distribution and consumption;
- The Estonian government promises a remarkable (5.1%) increase of renewable electricity by 2010.
- New Electricity Market Act includes paragraphs supporting renewable energy production.

Main barriers for JI:

- Lack or insufficient legislation to support renewable energy;
- Lack of share capital to start the projects;
- Too low cost of ERU, providing only marginal support for renewable energy projects.

Estonian Parliament ratifies the Kyoto protocol in Sept 03, 2002. The first Memorandum of Understanding on JI has been signed with Finland in February 2003. The next MOU will obviously be signed with Denmark in summer 2003. Due to results of Base project there are no serious problems foreseen with setting up national electricity sector baseline in Estonia.

# EESTI PILLIROO RESSURSID JA PÕLEMISTEHNILISED PARAMEETRID

*Livia Kask ja Ülo Kask*

<sup>1</sup>TTÜ soojustehnika instituut, Kopli 116, 11712 Tallinn  
e-post: livia.kask@ttu.ee, ykask@sti.ttu.ee

## **Annotatsioon**

Märgalasad on hinnatud üheks kõige väärtuslikumaks, kuid samas ka enim ohustatud ökosüsteemideks maailmas. Märgalad pole tähtsad ainult lindude/loomade elupaikade poolest, vaid neil on tähtis roll ka vee säilitajana, puhastajana, süsihappegaasi sidujana ja miks ka mitte energeetilise toorme allikana. Märgala niitude ja roostike taimkoosluste säilitamine vajab pidevat inimtegevuse sekkumist taimestiku kasvuprotsessi.

## **MÄRGALAD, PILLIROOG, HUNDINUI, ROOSTIKUD**

### **Sissejuhatus**

Roostikes valitsev taim pilliroog (*Phragmites australis*) on ühtlasi ka kõige levinum ja laialdasemalt kasutatav veetaim maailmas. Pilliroo kasvu soosib seisev vesi ning vee sügavus seda oluliselt ei mõjuta.

Teiseks oluliseks märgalade ja tulevikus energeetikas kasutust leida võivaks taimeks on hundinui (*Typha latifolia*). Hundinui kasvab jõudsalt väga erinevates keskkonnatingimustes, mis tema laialdast levikut mõjutab. Samuti on teda lihtne paljundada. Hundinui kasvab hästi üleujutatud mullas ning domineerib seal, kus vee sügavus on üle 150 mm. Nende omaduste tõttu sobib hundinui väga hästi märgalapuhastites kasutamiseks. Lisaks toodab ta igal aastal palju biomassi ning korrapärasel mahalõikamisel aitavad nad heitvetest välja viia lämmastikku ja fosforit.

Eesti märgalade pindala on umbes 26 000 ha. Märgalasad iseloomustab rikkalik taimestik, millest saadava biomassi kogus on nimetamisväärne. Energeetilise toormena sobivad kasutamiseks eelkõige roostikud, kuid ka looduslik võsa.

Eesti suuremad roostikud asuvad Peipsi järves, Võrtsjärves, Matsalus (Kasari jõe deltas) ja Väikeses Väinas. Matsalu märgala roostike pindala on ~ 3000 ha, Võrtsjärves on roostikke ~ 1200 ha. Saare maakonnas peetakse võimalikuks roolõikust ligikaudu 1000 hektarilt.

Roostike biomassi hektarisaak sõltub mitmest asjaolust nagu näiteks roostiku asukoht, pinnase koostis jne. Uuringud näitavad, et looduslikul märgalal kasvab 1 – 1,5 kg kuivainet 1 m<sup>2</sup> kohta aastas, kuid toitainete lisamisega võib tootlikus ulatuda isegi 4 – 5 kg/m<sup>2</sup> aastas. See teeb hektari kohta aastas 10 – 15 t kuiva biomassi. Sellist saagikust võib oodata kunstlikel märgaladel e. märgalapuhastites, kus toimub asulate või talude heitvete töötlemine.

Viimase 30 aasta jooksul on Peipsi järve lõunaosa roostike võimsus ja pilliroo keskmine biomass hakanud ületama Matsalu lahe näitajaid (Mäemets ja Prost, 2002). Kui 1970. aasta paiku oli kasvualade suurus Peipsi järve pindalast 2,5 %, siis 20 aastat

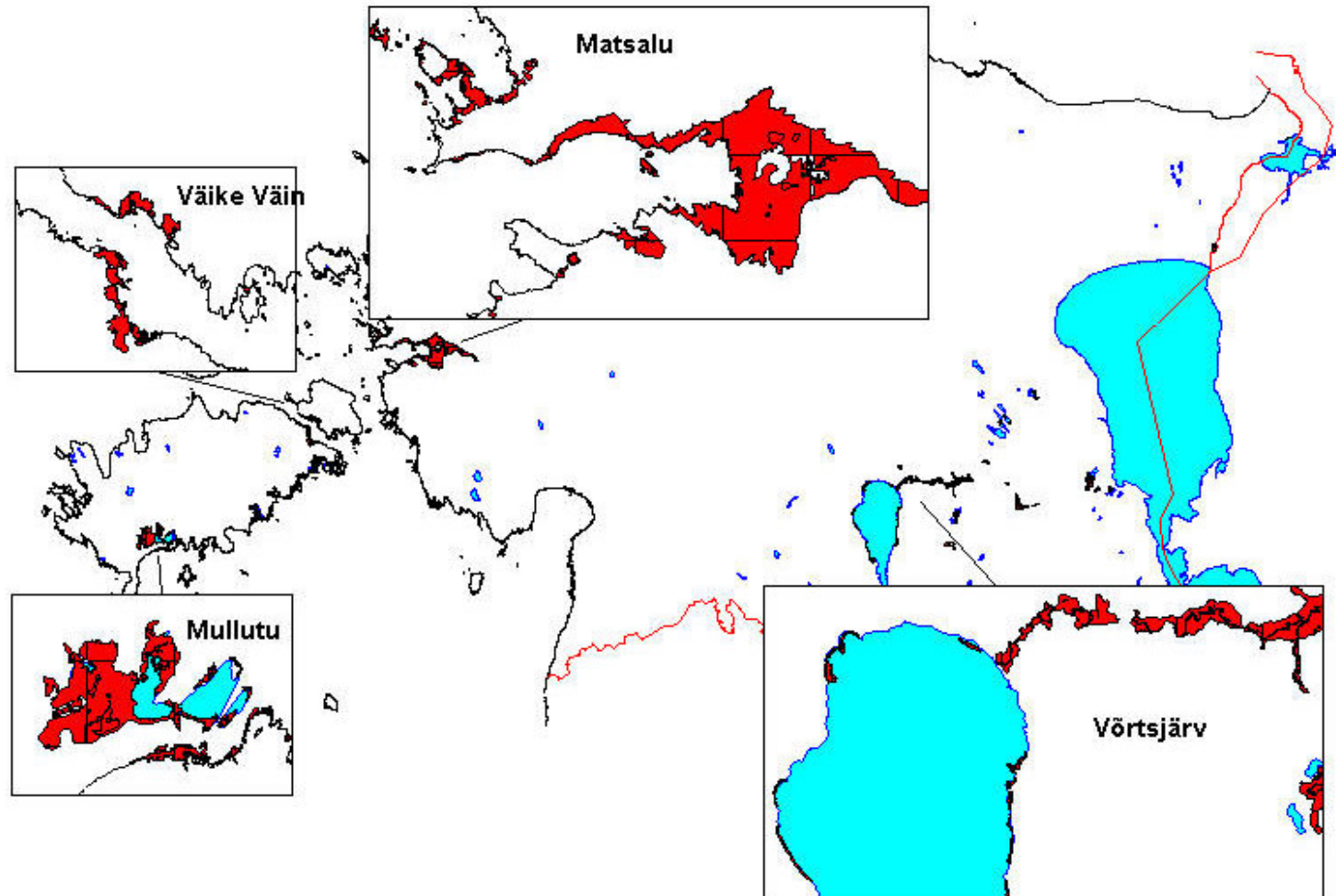
hiljem on see suurenenud kuni 7,9 %-ni. Võrtsjärves haarab taimestik 19 % järve pindalast. Vaatamata üldisele kõrgele troofsuse tasemele jäävad Võrtsjärve roostikud biomassilt alla Matsalu lahe omadele. Eesti roostike kaart on toodud joonisel 2.

Pilliroo ja hundinuia põlemistehnilisi parameetreid määrati TTÜ soojustehnika instituudi keemialaboris ja eksperimentaalseid andmeid esitatakse tabelites 1, 3 ja 4. Tabelites 2 ja 5 tuuakse võrdluseks teiste taastuvate kütuste (biokütuste, nagu roht- ja puittaimed) põlemistehnilisi parameetreid ja keemilist koostist.

**Niiskusesisaldus  $W^t = 10 - 16 \%$ , tuhasisaldus  $A^k = 4 - 6 \%$ , Tarbimisaine alumine kütteväärtus  $Q_a^t = 14 - 15 \text{ MJ/kg}$ , energiasisaldus  $E^t = 3,9 - 4,2 \text{ MW}\cdot\text{h/t}$**



*Joonis 1. Rookütus*  
*Figure 1. Reedfuel*



Joonis 2. Eesti roostikud  
Figure 2. Estonian thickets of reeds

Tabel 1. Pilliroo ja hundinuia põlemistehnilised parameetrid  
 Table 1. Burning characteristics of reed and cattale

Nr	Taimed	Proovivõtu koht	Niiskus, %	Kütteväärtus, MJ/kg	Tuhasus, %	Lendosad, %	Elementaarkoostis			
			kevadel				N, %	C, %	S, %	H, %
1	Pilliroog	Suurlaht	14,4	18,17	5,8	ei määratud	0,4	45	0,1	6,8
2	Pilliroog	Mullutu laht	10,9	18,32	4,9	80,7	0,3	46	0,1	6,8
3	Pilliroog	Väike väin	10,1	18,48	3,5	79,9	0,4	46	0,1	6,7
4	Pilliroog	Võrtsjärv	16,3	18,09	5	81	0,3	46	0,1	6,5
5	Pilliroog	Rocca al Mare	16,5	18,9	3,7	80,2	0,4	49	0,1	6,4
6	Hundinuia pead	Viljandi mudajärv	44,6	19,56	3,7	79,7	1,8	47	0,1	6,6
7	Hundinuia varred	Viljandi mudajärv	25,5	17,84	4,1	78,2	0,7	45	0,1	6,3

Rocca Al Mare pilliroo mahukaal oli 44,2 kg/m<sup>3</sup>

Tabel 2. Roht- ja puittaimede põlemistehnilised parameetrid  
 Table 2. Burning characteristics of trees and plants

Nr	Taimed, kütus	Niiskus, %	Lendosad, %	Tuhasus, %	Kütteväärtus, MJ/kg	Elementaarkoostis					
						C, %	H, %	N, %	O, %	S, %	Cl, %
1	Paju (energiavõsa)	17	67,1	2,3	15,4	47	5,7	1,4	43	0,1	0,02
2	Mänd	kuivaine	82,5	0,3	19,0 – 20,4	49	6	0,06	44	0	<0,01
3	Kask	kuivaine	89,9	0,2	19,1 – 19,6	48	6	0,1	46	0	<0,01
4	Kollased õled	15	70	4	14,4	42	5	0,35	37	0,2	0,75
5	Hallid õled	15	73	3	15	43	5,2	0,41	38	0,1	0,2
6	Turvas	kuivaine	78,5	5	20,8	55	5,5	1,7	32,6	0,2	0,03
7	Hakkpuit	40 – 55		0,5 – 2,0	6 – 10		5,4 – 6	0,3 – 0,5		0,05	0,03
8	Metsahake	45 – 60		1 – 3	6 – 9		6,1	0,3 – 0,5		0,05	0,03
9	Puitgraanulid	7 – 12		1,5	16,5 – 18			0,3		0,05	0,03
10	Puitbrikett	8 – 12		1 – 2	15 – 17			0,3		0,05	0,03
11	Päideroog	12,3		4,7	14,9						
12	Vitshirss	6 – 10	73 – 76	3 – 10	4,5 – 4,7						

**Märkused:** täitmata lahtrite kohta on andmed puudulikud ja seetõttu esitamata

Mänd, kask – andmed on võetud: (Benet, 2000)

Paju – andmed võetud: <http://www.sac.ac.uk/envsci/external/willowpower/FuelChar.htm>

Õled – andmed võetud: (The Centre ..., 1998)

Hakkpuit, metsahake, puitgraanulid, puitbrikett - andmed on võetud: (Paist jt, 2002)

Päideroog – andmed on võetud: (Hovi jt, 2001)

Tabel 3. Pilliroo- ja hundinuia tuha sulamiskarakteristikud

Table 3. Melting characteristics of reed and cattale

Parameeter	Mullutu pilliroog	Väikse väina pilliroog	Võrtsjärve pilliroog	Hundinuiaid	Rocca al Mare pilliroog
Tuha 10 %-lise vesilahuse ph	9,3	9,4	9,8	12,7	9,5
Tuha sulamiskarakteristikud	temperatuur tõusis kuni 1430 °C,		temperatuur tõusis kuni 1445 °C,	temperatuur tõusis kuni 1440 °C,	
t <sub>1</sub> , °C	proovikeha kuju ei muutunud	1385	proovikeha kuju ei muutunud	proovikeha kuju ei muutunud	1285
t <sub>2</sub> , °C		1440			1420
t <sub>3</sub> , °C		1440			1435
t <sub>4</sub> , °C		päris vedelaks ei läinud			1445, peaaegu vedel

Tabel 4. Pilliroo- ja hundinuia tuha koostis, %

Table 4. The content of reed and cattale ash, %

Parameeter	Võrtsjärve pilliroog*	Rocca al Mare pilliroog**	Hundinui
SiO <sub>2</sub>	89,21	82,26	3,31
S <sub>üld</sub>	0,4	0,63	1,82
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,63	2,82	5,65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,29	0,61	0,51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,34	2,21	5,14
CaO	5,25	5,49	56,4
MgO	1,62	1,44	10,26
K <sub>2</sub> O	1,61	0,83	4,49
Na <sub>2</sub> O	0,32	0,66	5,7

\* Võrtsjärve pilliroog, magevesi

\*\* Rocca al Mare pilliroog, merevesi

Tabel 5. Roht- ja puittaimede keemiline koostis

Table 5. The elementary content of trees and plants

Parameeter	Mänd	Kask	Turvas	Banagrass
SiO <sub>2</sub>	3,5	0,9	40–75	27,67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	1 – 16	0,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 – 9	1 – 9	4 – 7	1,13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,7	3,5	2 – 4	
CaO	41,8	45,8	1,5 – 12	3,76
MgO	16,1	11,6	0,5 – 2,5	2,99
N <sub>2</sub> O	3,1	8,7	0,4	
K <sub>2</sub> O	15,3	15,1	0,1 – 0,5	45,9
SO <sub>3</sub>	4,5	2,6		1,58

## Järeldused

**Niiskus** – kevadel lõigatud pilliroo niiskus on suhteliselt väike, võrreldes hundinuia ja mõnede teiste roht- ja puittaimedega. Sellest aspektist lähtudes võib teda soovitada põletada kas põhupõletuskateldes või lisandina puitkütusele puidupõletuskateldes.

**Tuhasus** – võrreldes puiduga on pilliroo- ja hundinuia tuhasus suurem, kuid jääb siiski piiridesse, mis võimaldab teda kasutada kütteseadmetes koos puitkütusega ja väikese võimsusega põhupõletuskateldes.

**Tuha sulamiskarakteristikud** – pilliroo- ja hundinuia tuha sulamistemperatuur on piisavalt kõrge vältimaks tuha paakumist restil nende kasutamisel kütusena. Tuha sulamist iseloomustavad temperatuurid on kõrgemad turba, kuid võrreldavad puitkütuse tuha vastavate temperatuuridega.

**Lendosised** – pilliroo ja hundinuia lendosiste sisaldus on suhteliselt suur. See viitab sellele, et nad süttivad kergemini ja põlevad kiiremini. Põlemisprotsessi reguleerimine võib olla keerukam. Lendosiste rikkad kütused vajavad suhteliselt suurt kolde mahtu ja sellest lähtuvalt sobibki neid kasutada puidu- või põhupõletuskateldes.

## KirjandusReferences

1. Benet (2000) Energy Dalen. Wood Fuels Basic Information Pack. Jyväskylä Polytechnic. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä: 191.
2. Mäemets, H, Prost, L. (2002) Eesti järvede taimestiku biomassist, Eesti süsinikubilansi ökoloogiast ja ökonoomikast. Toim. Frey. T. Tartu: 56 – 61.
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. Paist, A., Nuutre, M., Aluvee, R. (2002) Puit(põhiste)kütuste omadused ja kvaliteet. Kolmanda konverentsi kogumik. Peatoim. Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 109 – 117.
5. The Centre for Biomass Technology (1998) Straw for Energy Production Technology – Environment – Economy. Denmark: 53.
6. <http://www.sac.ac.uk/envsci/external/willowpower/FuelChar.htm>.



# THE RESOURCES AND BURNING CHARACTERISTICS OF ESTONIAN REED

*Livia Kask and Ülo Kask*

Thermal Engineering Department, Tallinn Technical University  
e-mail: livia.kask@ttu.ee, ykask@sti.ttu.ee

## **Summary**

The area of Estonian wetlands is approximately 26 000 hectares. Wetlands are characterized by rich flora, which gives a remarkable amount of biomass. Reed beds as well as natural bush are the most suitable for energetic raw material.

The largest reed beds of Estonia are situated in Peipsi lake and in Võrtsjärv, in Matsalu (in the delta of the Kasari river) and in the Väike Väin. The area of reed beds of the Matsalu wetlands is approx. 3000 ha. In Võrtsjärv, the area of reed beds is approx. 1200 ha. In Saare county, the reed harvest from ~1000 ha is assessed to be potential.

The harvest of biomass from 1 hectare from reed beds depends on several circumstances, for example the location of reed beds, the components of soil etc. Researches show that approx. 1–1,5 kg dry substance for 1m<sup>2</sup> is growing in the natural wetlands, but by adding nutritive the productivity can reach up to 4–5 kg/m<sup>2</sup> in a year. That makes 10–15 t of dry biomass for one hectare. That kind of yield can be expected from the artificial wetlands (wetland cleaners), where sewage from settlements or farms is processed.

# BIOKÜTUSEKATLA ÕHU-GAASIREŽIIMI MUUTMINE PULSEERIVA PÕLEMISÕHU ABIL

*Vitali Borovikov, Toomas Tiikma ja Ants Veski*

Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituut, Kopli 116, 11712 Tallinn  
e-post: vitali@sti.ttu.ee, tiikma@sti.ttu.ee, aveski@sti.ttu.ee

## Annotatsioon

Käsitletud on esmaseid tulemusi, mis on saadud mitmesuguse niiskusega biokütuse (hakkpuit ja puidubrikett) põlemise intensiivistamise uurimisel TTÜ soojustehnika instituudi katsekatalal. Kuna pika leegiga (lendosaderikka) tahkekütuse põletamisel maksimaalse efekti ja minimaalse kahjulike heitmete hulga korral mängib olulist rolli sekundaarõhu oskuslik juhtimine protsessi, siis on antud uuringus vaadeldud sekundaarõhu pulseeruva juurdejuhtimise efekti põlemisprotsessile stokerpõletis. Sekundaarõhu sissejuhtimise osaline pulseerimine võimaldab vähendada CO emissiooni või vähendada liigõhutegurit samal CO emissiooni tasemel ja intensiivistada soojusülekannet koldes.

## STOKERPÕLETIGA KATEL, PULSEERIV PÕLEMISÕHK

### Siin kasutatud lühendid

$Q_{res}$  – kolde seina (kiirgusanduri) poolt vastu võetud soojusvoog,  $W/m^2$ ;

$Q_i$  – koldekeskkonna kiirgusvoog,  $W/m^2$ ;

$Q_0$  – kiirgusanduri omakiirgus,  $W/m^2$ ;

$T_a$  – adiabaatne põlemistemperatuur, K;

$T_{ef}$  – koldekeskkonna efektiivne (kiirgus-)temperatuur, K;

$T_h$  – anduri “kuuma” pinna temperatuur K;

$\varphi$  – nurktegur anduri pinna ja stokeri suudme vahel;

$a$  – anduri “kuuma” pinna neeldumistegur;

$w^l$  – kütuse tarbimisaine niiskus, %;

$\epsilon_{süst}$  – süsteemi “kiirgusandur-stokerpõleti ruum” taandatud mustsuaste;

$F_k$  – kolde ruumi ümbritseva pinna suurus,  $m^2$ .

### Üldist

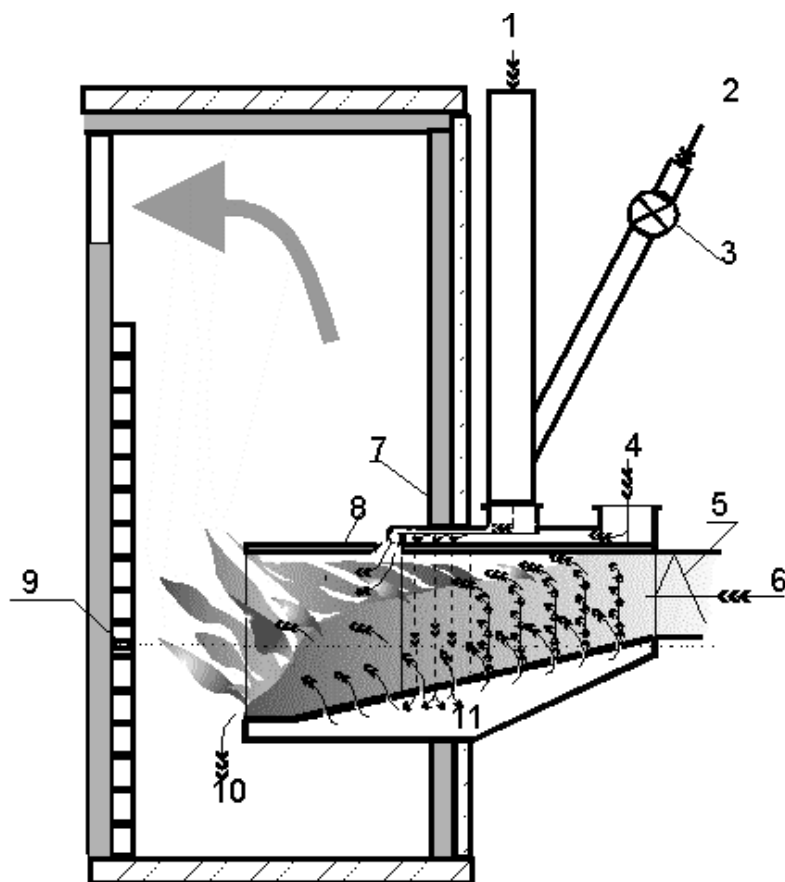
Antud uurimuse teema on välja kasvanud katelde akustilise puhastuse rakendustest, kus tegemist on katla gaasikeskkonda suunatud madalsageduslike võngetega, mille energiast peab piisama pudedate sadestiste eemaldamiseks küttepindadelt. Enamik akustilise puhastuse heligeneraatoreid töötab suruõhuga, mis paisatakse katla gaasikäiku. Väiksema võimsusega katla korral võib selle õhu ära kasutada osana kütuse põlemiseks vajalikust õhust (sekundaarõhust). Märkimisväärne siinjuures, et sekundaarõhu vajadus ja tema juurdejuhtimise viis on biokütuste kui suure lendosadesisaldusega kütuste põletamisel oluline.

Teaduskirjandusest on teada mõningad faktid väga niiske tahke kütuse põletamise intensiivistamisest põlemiskeskonna ostsilleerimise abil, kuid enamasti on tegu olnud pulsatsioonpõletusega (Heiskanen, 1994). Ostsilleeruv gaasiline keskkond peaks

suurendama gaasistunud kütuse ja õhuhapniku vastastikust difusiooni ning seega vähendada mittetäieliku põlemise saaduste (eelkõige CO) emissiooni. Samas pikeneb ostsilleeruva keskkonna korral põlevkomponentide viibimise aeg kõrgtemperatuursetes tsoonis, mis soodustab põlemise täiuslikkust.

### Katseseade ja esmased efektid

Ostsilleeruva gaasilise keskkonna efekti kontrolliti TTÜ STI 250 kW nimivõimsusega stokerpõletiga katlal (joonis 1) (Veski jt, 2002) sekundaarõhu osaliselt võnkuvana juurdejuhtimise katsetel. Selleks kasutati pöörlevat ventiili pöörlemissagedusega 22–24 Hz, läbi mille suunati sekundaarõhu kanalisse kompressori abil täiendav kogus õhku kuluga umbes 10 m<sup>3</sup>/h (ligikaudu 5–10% sekundaarõhu vajalikust hulgast

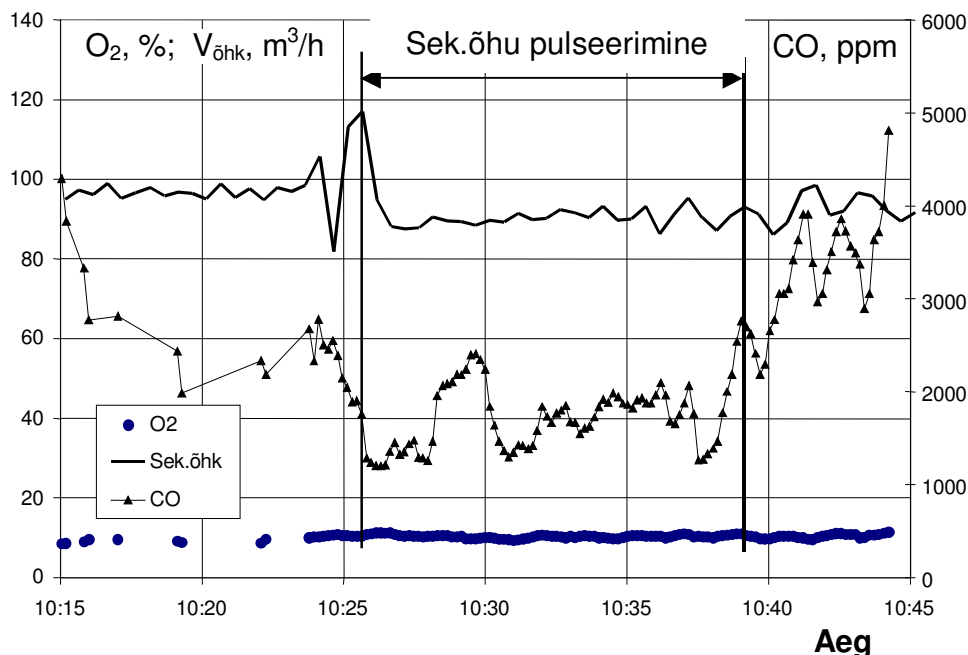


Joonis 1. Pulseeriva sekundaarõhuga stokerpõleti. 1 – sekundaarõhu sisend; 2 – suruõhu sisend; 3 – pöörlev ventiil; 4 – primaarõhu sisend; 5 – tigu; 6 – kütuse pealevool; 7 – koldeekraan; 8 – keraamiline kate; 9 – soojusvoo andur; 10 – tuha väljumine; 11 – primaarõhk resti alla

Figure 1. Stoker burner with pulsed secondary air supply. 1 – secondary air inlet; 2 – inlet of pressurized air; 3 – rotating valve; 4 – primary air inlet; 5 – screw; 6 – fuel feeding; 7 – water-wall; 8 – ceramic ceiling; 9 – heat flux detector; 10 – ash; 11 – primary air flow direction

olenevalt kütuse niiskusest).

Erakordselt suure niiskusega ( $w^t = 64\%$ ) puiduhakke ja kivisöe (9% kütuse hulgest) koospõletamisel saadi sekundaarõhule pulseeriva komponendi lisamisel tulemus, mis on esitatud joonisel 2. See näitab, et sekundaarõhu pulsaatori sisselülitamisel ja tema kulu reguleerimisel samaks, mis oli enne (lisatud 10 m<sup>3</sup>/h arvestamisega), õnnestus vähendada CO-sisaldust lahkuvgaasides 4000 ppm-lt kuni tasemeni 1500 ppm. Juhime tähelepanu sellele, et hapnikusisaldus lahkuvgaasis (liigõhutegur) jäi vaadeldaval eksperimendifaasil muutumatuks.



Joonis 2. Sekundaarõhu ostsilleerimise mõju CO emissioonile puiduhakke ja kivisöe koospõletamisel

Figure 2. The effect of secondary air oscillation on the emissions of CO at co-firing of wood waste and coal

### Mitmesuguse niiskusega puiduhakke põletamise tulemused

Põlemisprotsessi intensiivsuse üheks näitajaks on leegi kiirgus konkreetse kütuse ja liigõhuteguri korral.

Teisel katseseerial teostati katsed viie erineva niiskusega ( $w^t = 4 - 47\%$ ) hakkpuidu ja puidubriketi põletamisel ning nende tulemused on toodud joonisel 3 suhtelise resulteeruva kiirgusvoo sõltuvusena kasutatava kütuse niiskusest. Suhteline resulteeruv soojusvoog  $Q_{res}''/Q_{res}'$  on saadud soojusvooanduri näitude keskendatud väärtuste suhtena 3 minuti jooksul vastavalt enne ( $Q_{res}'$ ) ja pärast sekundaarõhu moduleeritud juurdejuhtimise käivitust ( $Q_{res}''$ ). Selline andmete käsitlemine on tingitud tahkekütuse katla põlemisrežiimide suurest kõikumisest (kütuse ebahütlus ning tema ebahütlane söötmine), mis ei võimalda pikemaajalisi režiime omavahel võrrelda.

Soojusvooanduri poolt mõõdetud resulteeruva  $Q_{res}$  ja stokerpõleti ruumi (eelkolde) poolt genereeritud (pealelangeva  $Q_i$ ) soojusvoo vahel kehtib seos

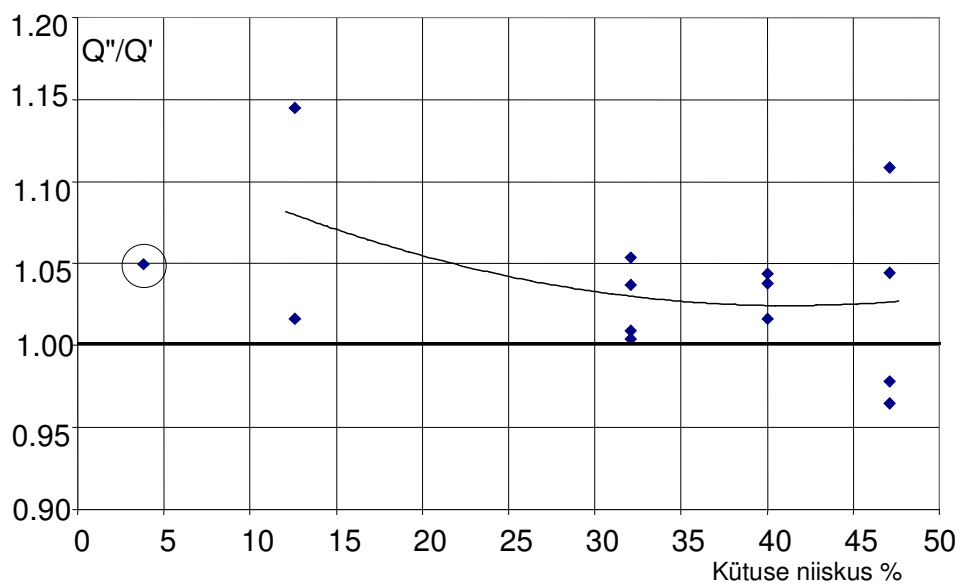
$$Q_i = \frac{Q_{res} / \varphi + Q_0}{a} = \frac{Q_{res} / \varphi + a \sigma_0 T_h^4}{a}, \text{ W/m}^2, \quad (1)$$

kus  $\varphi = 0,3$  ja  $a = 0,8$ .

Valemiga 1 arvatud eelkolde mahu kiirgus võimaldaks arvutada kiirgava kihi efektiivse temperatuuri

$$T_{ef} = \left( \frac{Q_i}{\varepsilon_{süst}} \right)^{0,25}, \text{ K.} \quad (2)$$

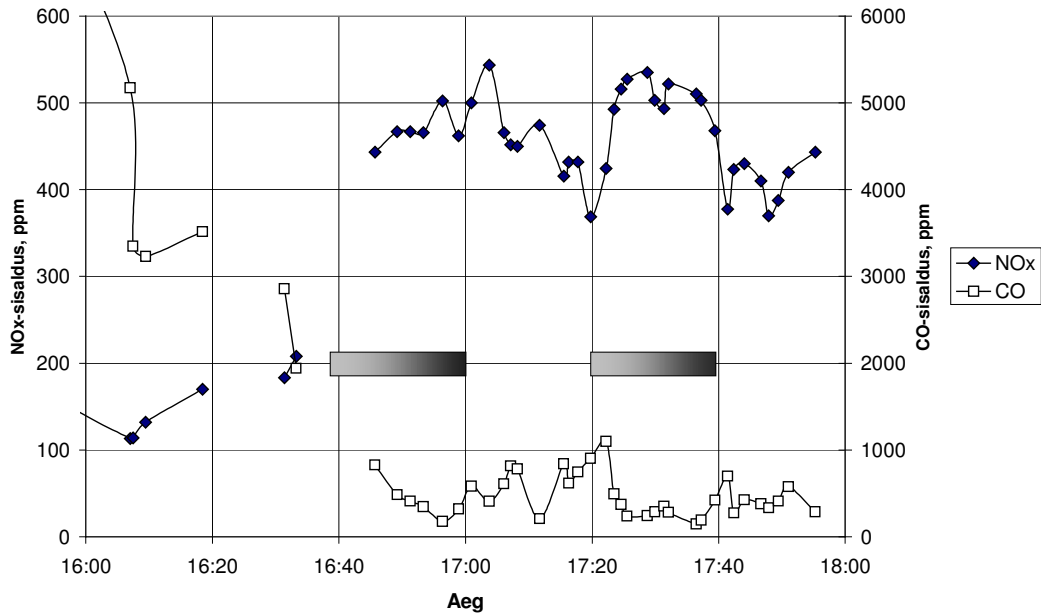
$T_{ef}$  saab määrata korrektselt juhul, kui õnnestub määrata stokeri mahu mustsusaste. Viimane aga sõltub gaasilise keskkonna koostisest, mis paraku vaadeldava katla korral oli seoses väärdõhu sisseimemisega määratud ebatäpselt. Üksikud mõõtmised imitermopaariga on andnud valemiga 2 kokkulangevaid tulemusi.



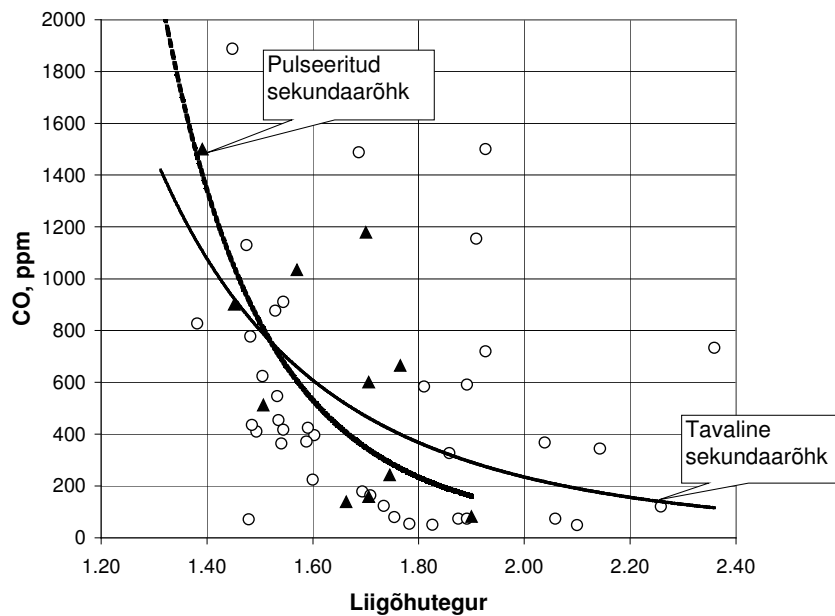
Joonis 3. Suhtelise resulteeruva kiirgusvoo sõltuvus põletatava biokütuse niiskusest stokerpõletiga katlal sekundaarõhu osalisel pulseerimisel

Figure 3. The dependence of dimensionless resultant heat flux in stoker furnace on fuel moisture at partially pulsated secondary air supply

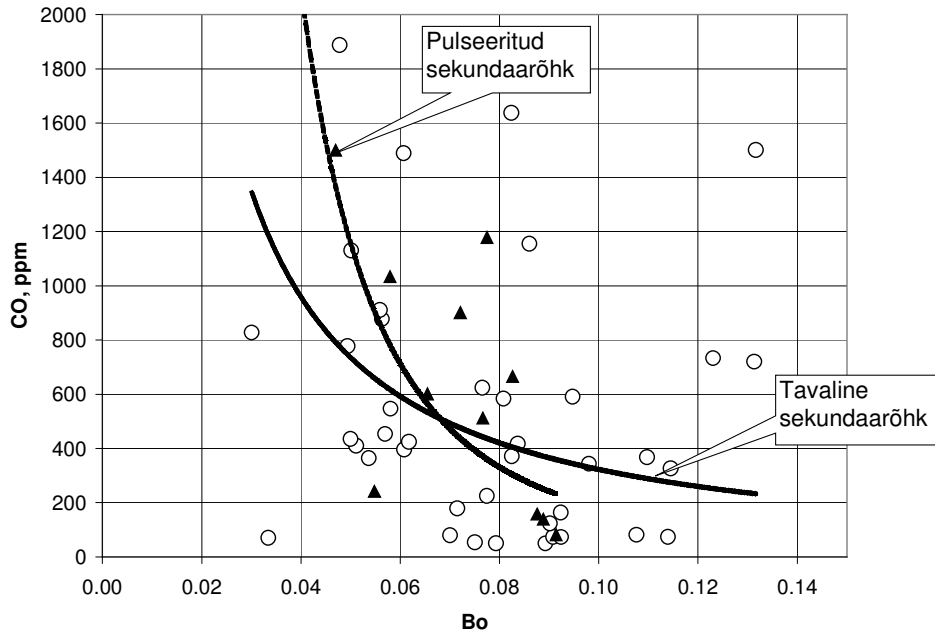
Joonisel 3 toodud andmetest selgub, et pulseeritud sekundaarõhu juurdejuhtimine suurendab põlemistsoonist lähtuva kiirguse intensiivsust. Lisaks sellele täheldati kahes erinevas kohas eelkolde paikneva imipüromeetri mõõtmisel temperatuurivälja ühtlustumist pulseeritud sekundaarõhu korral. See tulemus on kooskõlas varasemate tähelepanekutega gaasi põletamise katsetel akustilises väljas, mis viitab difusiooni paranemisele võnkuva keskkonna korral (Tiikma ja Vragar, 1999).



Joonis 4.  $NO_x$  ja CO emissioon väga kuiva biokütuse põletamisel pulseeriva sekundaarõhu (märgitud tumendatud ribaga) korral ja ilma *Figure 4. Emissions of  $NO_x$  and CO at burning of very dry bio-fuel with (dark bars) and without oscillating of secondary air supply*



Joonis 5. CO emissiooni sõltuvus liigõhutegurist puitkütuse põletamisel (kütuse niiskus 3,7–47%) pulseeritud sekundaarõhuga ja ilma *Figure 5. CO emission dependence on excess air at burning wood waste of different moisture (3,7–47%)*



Joonis 6. CO emissioon sõltuvalt soojusülekandest stokerpõletis  
 Figure 6. The CO emission dependence on the heat transfer in stoker burner

Ülikuiva kütuse, puidubriketi ( $w^l = 3,7\%$ ) põletamisel antud katlas olulisi kiirgus-soojusülekannde efekte sekundaarõhu pulseerimisel ei täheldatud (vt sõõriga tähistatud katsepunkt joonisel 3), kuid samas esines  $\text{NO}_x$  ja CO emissioonis teatud muutusi, mida iseloomustab joonis 4.

Jooniselt 4 on selgelt näha  $\text{NO}_x$ -sisalduse umbes 20% tõus ja samal ajal CO emissiooni vähenemine osaliselt pulseeritud (moduleeritud) sekundaarõhu korral.  $\text{NO}_x$  tõus on ilmselt seletatav põlemise intensiivsuse kasvuga.

Joonisel 5 on toodud koondatud andmed CO-sisalduse sõltuvuse kohta liigõhutegurist erineva niiskusega puiduhakke ja puidubriketi põletamisel.

Joonisel 6 on esitatud andmed CO emissiooni sõltuvuse kohta üldistatud soojusülekandest koldes. Aluseks on siin võetud Boltzmanni kriteerium, mis arvestab konvektiivse ja kiirgusliku soojusülekannde suhet ( $Bo$  arvu suurenedes kiirguslik komponent väheneb):

$$Bo = \frac{B_l V c_p}{\sigma_0 F_k T_a^3}. \quad (3)$$

Nagu selgub joonisel 6 toodud andmetest, on pulseeritud sekundaarõhu andmisel koldesse üldjuhul tegemist CO emissiooni kiirema vähenemisega kiirgusliku soojusülekannde langemisel, mis viitab meie varasemate tulemuste paikapidavusele CO emissiooni seosest kiirgusintensiivsusega koldes (Veski jt, 2002).

## Kokkuvõte

Põlemise akustilise stimuleerimise esmastest katsetest pooltööstuslikul seadmel järeldub, et suhteliselt väikese intensiivsusega pulsatsioonide rakendus avaldab teatud

efekti põlemisele ja soojusülekandele. See tulemus viitab võimalusele kasutada akustilisel puhastusel rakendatavate seadmete töö efekti ära koldes toimuva põlemisprotsessi mõjutamiseks.

Teisalt ärgitavad need tulemused otsima tehnilisi lahendusi katla koldesse antava sekundaarõhu täiendavaks pulseerimiseks, kuna selle abil on võimalik saavutada talutavat CO emissiooni taset väiksema liigõhuteguri korral. Et kirjeldatud katsetel ei õnnestunud korrektselt mõõta akustilise välja intensiivsust, siis ei saa märgatud efekte siduda akustilise intensiivsusega. Hinnanguliselt oli aga akustiline väli antud juhul suhteliselt nõrk.<sup>1</sup>

## **Kirjandus** ✕ **References**

1. Heiskanen, V.-P. (vast. täitja) (1994) Akustisen pulssipolton kehittäminen kiinteälle poltoaineelle, Esiselvitys. LIEKKI 2. Vuosikirja, osa 1. Abo Akademi. Turku: 15–19.
2. Tiikma, T., Vrager, A. (1999) Low frequency sonic field influence to the heat transfer in combustion chamber. Progress in Engineering Heat Transfer. Ed. Grochal, B., Mikielewicz, J., Sunden, B. Proc. of 3<sup>rd</sup> Baltic Heat Transfer Conference. IFFM Publishers, Gdansk: 87–94.
3. Veski, A., Tiikma, T. ja Borovikov, V. (2002) Õhu reguleerimisest biokütuste respõletamisel. Kolmanda konverentsi kogumik. Peatoim. Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 134–141.

## **CHANGING OF COMBUSTION REGIME IN BIO-FUEL BOILER BY PULSATING OF SECONDARY AIR SUPPLY**

*Vitali Borovikov, Toomas Tiikma and Ants Veski*

Thermal Engineering Department of Tallinn Technical University  
e-mail: vitali@sti.ttu.ee, tiikma@sti.ttu.ee, aveski@sti.ttu.ee

### **Abstract**

The preliminary results of secondary air pulsating supply for intensification of the combustion of bio-fuels with different moisture at test boiler with stoker burner at Thermal Engineering Department of TTU are presented. As known, the obtaining of effective combustion process (maximal efficiency of boiler with minimal emissions of hazardous components) of volatile matter rich bio-fuels depends on the capably secondary air supply. Due to that one of the possible methods of air intensive partially oscillated supply is considered in this paper. Experiments with wood waste of different moisture (4–47 %) showed the possibility of decreasing the CO emissions when a part of secondary air is supplied as pulsating with low frequency. These results indicate the possibilities of decreasing the excess air rate at pulsating secondary air supply and the sonic cleaning device's operation can affect the gas regime in burning bio-fuels.

---

<sup>1</sup> Käesolev uurimus teostati Eesti Teadusfondi grandid nr 5179 toetusel. Autorid tänavad.



# ELEKTRI TOOTMISHINNA ANALÜÜS JA PROGNOOS EESTIS

*Anton Laur ja Koidu Tenno*

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

## **Annotatsioon**

Eesti elektritootmises domineerib põlevkivi kasutamine, mis on väga ressursimahukas ja keskkonnale suure reostuskoormusega. Põlevkivielektri tootmishind on aga siiani veel madalam kui teistest energiaressurssidest toodetud elektril. Keskkonnakulude osatähtsus põlevkivielektri tootmishinnas on praegu ligikaudu 16%. Lähtudes nii Eesti Vabariigis seadustega kehtestatud kui ka EL-i riikides kehtivatest saastetasudest ja keskkonnakahjude hüvitamise normidest, on ette näha nende kulude tunduvalt suurenemist. Käesolevas töös läbiviidud analüüs näitabki, et keskkonnamõjude täielikum arvestamine vähendab tunduvalt põlevkivi konkurentsivõimet elektri tootmisel teiste energiaressursside, sealhulgas taastuvenergia baasil.

**PÕLEVKIVIELEKTER, TOOTMISHIND, RESSURSIMAKS, SAASTETASUD, KESKKONNAKULUD**

## **Kasutatud lühendid**

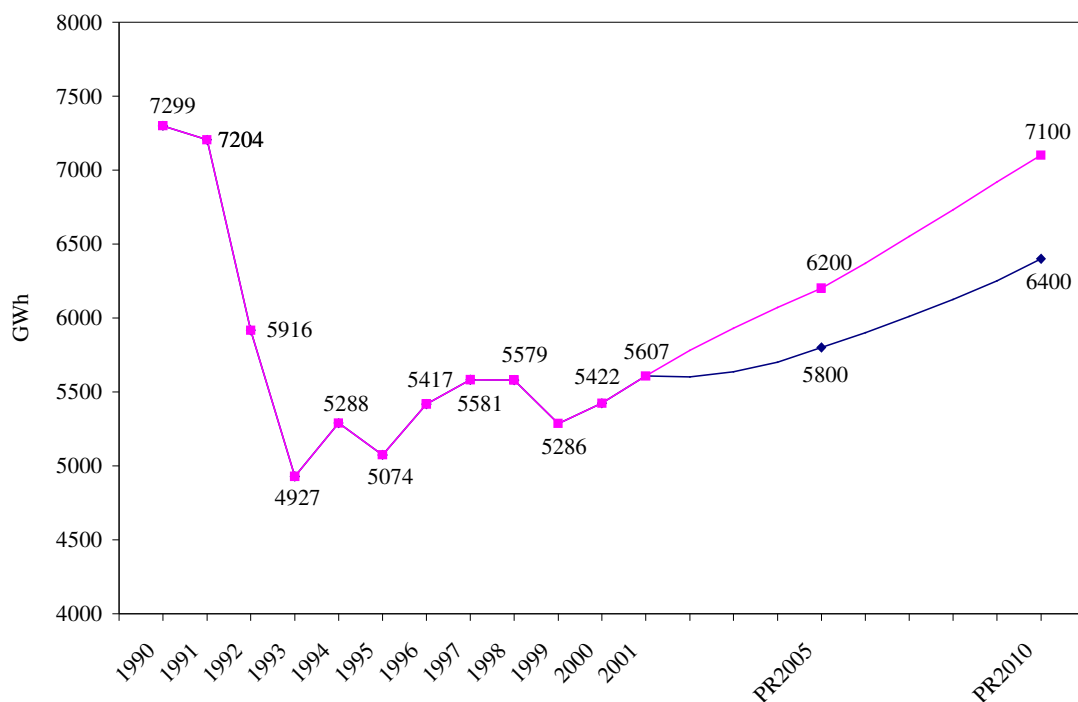
EE	–	Eesti Energia AS
ELIS	–	Euroopa Liidu infosekretariaat
EP	–	AS Eesti Põlevkivi
NEJ	–	AS Narva Elektriijaamad
THI	–	Tarbijahinnaindeks

## **Sissejuhatus**

Valdav osa Eestis toodetavast elektrienergiast saadakse jätkuvalt põlevkivist. Kuigi põlevkivi osakaal elektritootmises on viimastel aastatel mõnevõrra langenud, ulatub see ikka veel 90%-ni (2001. a). Põlevkivielektri tootmisega on seotud suurte koguste gaasiliste heitmete ja tahkete jäätmete teke, veeressursside kasutamine ja veereostus, põlevkivi kaevandamisega kaasnev maade degradeerumine jne. Nende keskkonnamõjude rahaliseks väljenduseks põlevkivielektri tootmishinnas (elektriijaamade väljundis) on vastavad ressursimaksud, saastetasud, mitmesugused rekultiveerimis- ja muud kulud. Keskkonnakomponendi arvestamisele põlevkivielektri tootmishinnas ja selle võimalikule muutumisele tulevikus ei ole seni piisavat tähelepanu pööratud. Selle komponendi suurusel ja tuleviku dünaamikast sõltub aga põlevkivielektri konkurentsivõime teiste energiaressursside, eriti taastuvenergia suhtes. Käesolevas töös käsitletaksegi need küsimusi.

## Elektritarbimise dünaamika ja prognoos

Perioodil 1990–2001 on elektri lõpptarbimine Eestis vähenenud ligemale 1,3 korda ja eksport üle 11 korra. Sisemaise tarbimise järsk langus toimus üleminekuperioodi algusaastatel (1991–1993). Langustendents peatus 1994. aastal, alates 1996. aastast on elektri aastane lõpptarbimine Eestis stabiliseerunud 5500 GW·h ja netotoodang 7500–8000 GW·h piires (joonis 1). Selline dünaamika on üldjoontes olnud kooskõlas makromajandusliku arengu muutustega vaadeldaval perioodil. Joonisel 1 on esitatud ka elektri sisemaise lõpptarbimise prognoos aastateks 2005 ja 2010, selle koostamisel on kasutatud ekstrapolatsioonmeetodit, korrigeerides saadud tulemusi ka eksperthinnangute alusel. Prognoosi kohaselt võib elektrienergia tarbimine suureneeda 2005. aastaks 5800–6200 GW·h-ni ja 2010. aastaks 6400–7100 GW·h-ni. Elektrivajaduse alusel on prognoositud ka elektrienergia tootmismahтусid, hinnates täiendavalt nii elektri jaamade omatarbe, võrgukadude kui ka elektri ekspordi võimalikku muutumist. Lõplikuks hinnanguks elektrienergia kogunõudlusele (brutotoodangule) kujunes 2005. aastaks 8500–9000 GW·h ja 2010. aastaks 9000–10 000 GW·h.



Joonis 1. Elektrienergia lõpptarbimise dünaamika ja prognoos Eestis

Figure 1. Dynamics and forecast of the electricity final consumption in Estonia

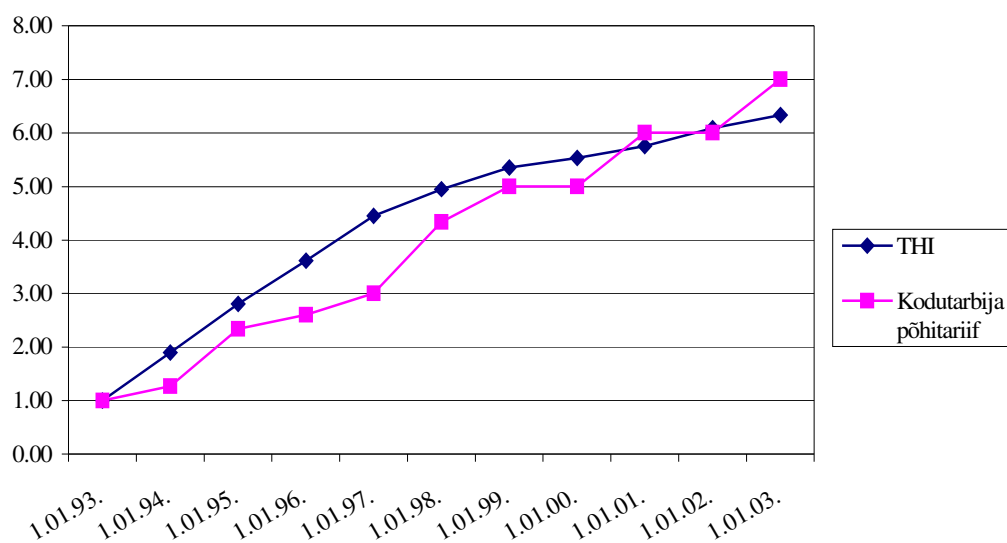
## Elektrihinna dünaamika

Elektrienergia keskmise nominaalhinna ja kodutarbija põhitariifi (mõlemad käibemaksuta) dünaamika rahareformi järgsel perioodil on toodud tabelis 1. Peale 1999. aastat elektri keskmist hinda enam ei esitata. Kodutarbija põhitariifi muutumise

Tabel 1. Elektrienergia nominaalhinna areng (käibemaksuta)  
 Table 1. Development of nominal electricity price (excl. VAT)

Kinnitamise kuupäev	Elektri keskmine hind*	Kodutarbija põhitariif
	sent/kW·h	sent/kW·h
01.12.1992	11,1	12,7
01.11.1993	15,8	16,1
01.09.1994	24,6	24,6
01.01.1995	29,7	29,7
01.10.1995	33,5	33,1
01.06.1996	38,5	38,1
01.05.1997	49,0	50,8
01.01.1998	51,0	55,1
01.01.1999	57,8	63,6
01.01.2001		76,3
01.04.2002		89,0

\*Pärast 1999. aastat elektri keskmist hinda ei esitata



Joonis 2. Tarbijahinnaindeksi ja elektri kodutarbija põhitariifi arengutrendid perioodil 1993–2002

Figure 2. Development trends of the basic tariff for households and consumer price index in 1993–2002

analüüs näitas, et see oli 2002. aasta lõpuks nominaalselt kasvanud 7 korda (12,7 sendilt/kW·h 89 sendile/kW·h). Arvestades, et tarbijahinnaindeks on samal perioodil suurenenud 6,3 korda, on kodutarbija põhitariifi reaalkasv olnud 1,1 korda. See on saanud võimalikuks just viimaste elektri hinna tõusude (01.01.2001. ja 01.04.2002.) tulemusena, mida on ilmekalt näha ka jooniselt 2, kus on toodud THI ja

kodutarbija põhitariifi arengutrendid. Näeme, et kuni 2001. aastani on kodutarbija põhitariifi tõus olnud inflatsioonist väiksem.

### **Põlevkivielektri tootmishind Narva Elektrijaamades 2001–2010**

Põlevkivielektri tootmishinna väljaselgitamiseks analüüsisime selle kujunemist Narva Elektrijaamades, tuues detailiseeritult välja hinna keskkonnakomponendi. Alusmaterjalideks olid siinjuures Eesti Energia ASi 2000/2001. ja 2001/2002. majandusaastate avalikud aruanded (Aastaruanne ..., 2001; Aastaruanne ..., 2002), keskkonnaaruanded 2000. ja 2001. aasta kohta (Keskkonnaaruanne ..., 2001; Keskkonnaaruanne..., 2002) ning samuti Statistikaameti energiabilansside andmed. Lähtudes kõige uuematest andmetest valisime baasaastaks 2001. Põlevkivielektri tootmishinna ja selle keskkonnakomponendi prognoosid koostasime 2005. ja 2010. aastaks. Saadud tulemused peaksid olema huvipakkuvad, arvestades üha suurenevat vajadust elektritootmise alternatiivsete variantide objektiivseks võrdlemiseks.

Analüüsi esimesel etapil määratlesime hinnaprognosi lähtetingimused – põlevkivielektri osakaalud, sellest tulenevad põlevkivielektri brutotoodangud, samuti Narva elektrijaamadest võrku antava elektrienergia (netotoodangu) ja selle tootmiseks vajalikud põlevkivi kogused. Saadud tulemused on koondatud tabelisse 2. Prognoositud näitajate puhul (2005. ja 2010. aastaks) lähtusime eelpool toodud elektrienergia nõudluse prognoosist ja teadaolevatest keskkonnakaitselistest piirangutest põlevkivielektri tootmisele. Eeskätt on siin arvestatud Eesti Keskkonnastrateegia ja EL-i suurtest põletusseadmetest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste piiramise direktiivi (2001/80/EÜ) nõudeid. Viimased seavad piirid NEJ-de netotoodangule – kuni 6600 GW·h pärast 2005. aastat ja 5340 GW·h pärast 2008. aastat.

Teatavaid probleeme tekitas analüüsil asjaolu, et energiabilansi andmed on kalendriaasta kohta, NEJ-de andmed pärinevad aga EE aastaruandest ja on seega majandusaasta (1.04–31.03) kohta. Siit tuleneb ka Narva Elektrijaamades toodetud elektrikoguse mõningane erinevus põlevkivielektri üldisest brutotoodangust (saadud Statistikaameti energiabilansi andmetest).

Põlevkivielektri tootmishinna arvutused NEJ-de väljundina põhinevad eeskätt Eesti Energia ASi 2001/2002 majandusaasta avalikul aruandel (Aastaruanne..., 2002). Põlevkivielektri tootmiskulude eraldamiseks kogu EE kuludest on kasutatud teatud arvutuslikke võtteid, vältimaks EE tütarettevõtete ja üksuste vahelise sisekäibe korduarvestust. Kulude kalkulatsioonid on koostatud kuluartiklite lõikes, näidates nende koosseisus ära vastavad keskkonnakomponendid. Elektrienergia hinnakalkulatsioonid on esitatud tabelis 3, detailsed keskkonnakulude arvutused aga tabelis 4.

AS Eesti Põlevkivi kuulub tütarettevõttena EE koosseisu. Kuna EP toodangust tarnitakse elektrijaamadele 86%, on elektritootmise kuludesse arvatud vaid see osa kõigist põlevkivitootmise kuluartiklitest. Narva Elektrijaamade kulude leidmiseks on kasutatud peamiselt EE aastaruandes toodud segmendiaruandluse andmeid. Selles on elektri- ja soojusenergia tootmise ärisegmendis peale NEJ ka Iru ja Kohtla-Järve EJ,

Tabel 2. Põlevkivielektri toodangu ja põlevkivi vajaduse arvestus ja prognoos  
 Table 2. Calculation and forecast of the oil shale-based electricity production and demand for oil shale

	2001	2005	2010
Elektrienergia kogunõudlus (brutotoodang), GW·h	8483	8750	9500
Põlevkivielektri osatähtsus, %	90	86	67
Brutotoodang põlevkivist, GW·h	7635	7520	6300
NEJ brutotoodang*, GW·h	7370	7200	5900
<b>NEJ netotoodang*, GW·h</b>	<b>6596</b>	<b>6430</b>	<b>5300</b>
Põlevkivi erikulu, tuh t/GW·h	1,27	1,25	1,23
<b>Vajaminev põlevkivikogus*, tuh t</b>	<b>9360</b>	<b>9000</b>	<b>7300</b>

\*Andmed majandusaasta kohta (1.04–31.03)

Tabel 3. Põlevkivielektri tootmishinna arvutus ja prognoos  
 Table 3. Calculation and forecast of the oil shale-based electricity production price

	2001	2005	2010	
			min	max
Toore, kaubad, teenused, mln kr	1704	1876	1773	1773
sh Iru EJ maagaas	252	304	355	355
ressursimaks	87	99	128	128
muud	1365	1474	1290	1290
Tegevuskulud, mln kr	447	571	790	790
sh keskkonnakulud	278	389	584	1364
muud	169	182	206	206
Tööjõukulud, mln kr	780	952	1104	1104
Muud ärikulud, mln kr	10	11	11	11
Põhivara kulum, mln kr	434	491	555	555
<b>Kokku kulud, mln kr</b>	<b>3375</b>	<b>3901</b>	<b>4233</b>	<b>5013</b>
Õli müük, mln kr	-121	-152	-165	-165
Soojuse müük, mln kr	-140	-140	-140	-140
Iru EJ käive, mln kr	-389	-405	-428	-428
Kohtla-Järve EJ käive, mln kr	-173	-173	-173	-173
Muud, mln kr	-53	-53	-53	-53
<b>Kokku NEJ, mln kr</b>	<b>2499</b>	<b>2978</b>	<b>3274</b>	<b>4054</b>
Netotoodang, GW·h	6596	6430	5300	5300
<b>Tootmishind, senti/kW·h</b>	<b>38</b>	<b>46</b>	<b>62</b>	<b>77</b>
<b>sh keskkonnakulud</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>28</b>

samuti NEJ põlevkiviõli tehas. Teiste tootmisüksuste kulude eraldamiseks NEJ elektritootmise kuludest on ärisegmendi kogukuludest lahutatud NEJ põlevkiviõli ja soojuse müük ning Iru ja Kohtla-Järve EJ käive (toodang). Järelejäänud kulud on

jagatud NEJ elektri netotoodanguga, mis 2001. aastal oli 6596 GW·h. Põlevkivielektri tootmishind on seega 38 senti/kW·h, millest 6 senti/kW·h moodustavad keskkonnakulud (tabel 3).

Põlevkivielektri tootmishinna prognoosimisel aastateks 2005 ja 2010 on lähtutud järgmistest meetodilistest põhimõtetest. Maagaasi ja põlevkiviõli hindade tõus on leitud Eesti Energeetika Instituudi uuringu andmetel (Vares, 2000). Maagaasi hind tõuseb 2005. aastaks 1,16 ja 2010. aastaks 1,28 korda võrreldes 2000. aastaga. Põlevkiviõli hind on samadeks aastateks kasvanud vastavalt 1,26 ja 1,36 korda.

Põhivara kulumi, tööjõukulude ja teiste tegevuskulude prognoosimisel on lähtutud varasemate aastate andmete analüüsist ja eksperthinnangutest. Põhivara kulumit on suurendatud perioodil 2001–2005 3% aastas ja perioodil 2006–2010 2% aastas. Tööjõukulude kasvu põhilise tegurina näeme inflatsiooni (THI kasvu). ELIS-e ekspertide poolt (<http://www.elis.ee>) on tarbijahindade kasvu kogu vaadeldaval perioodil hinnatud umbes 4% aastas. Arvestades aga vajalikku töö efektiivsuse tõusu (tööjõu vähenemist), hindame tööjõukulude kasvuks perioodil 2006–2010 3% aastas. Muude tegevus- ja ärikulude kasv on planeeritud perioodil 2001–2005 2% aastas ja perioodil 2006–2010 1% aastas.

Arvutuste tulemusena saime põlevkivielektri tootmishinnaks 2005. aastal 46 senti/kW·h ja 2010. aastal 62 ja 77 senti/kW·h vastavalt keskkonnakulude kahele variandile (tabelid 3 ja 4).

**Põlevkivielektri keskkonnakulude** arvestuse ja prognoosi tulemused on esitatud tabelis 4. Need kulud sisalduvad majandustegevuse aastaaruande kasumiaruandes järgnevalt:

real “Kaubad, toore, materjalid ja teenused”

- loodusvarade ressursimaks;

real “Mitmesugused tegevuskulud”

- keskkonnakaitselised saastemaksud,

- mäetööde lõpetamise ja keskkonnakaitseliste eraldiste moodustamine ja vähendamine,

- maa rekultiveerimisega seotud kulud.

Kahjuks pole EE 2001/2002. aasta majandusaruandes välja toodud tasu vee kasutamise eest (varem esitati eraldi reana). See kulu sisaldub üldises ressursimaksu summas, mis ei võimalda selle väga olulise kuluelemendi täpsemat analüüsi.

Nagu teiste põlevkivielektri tootmishinna komponentide puhulgi, on ka keskkonnakulude täpsemal määratlemisel oluliseks küsimuseks just otseselt põlevkivielektri tootmisega seotud kulutuste väljaselgitamine. Kasutatud on sama ülalkirjeldatud meetodikat – eraldatud on kulud õlitootmiseks mineva põlevkivi kaevandamiseks EP-s, samuti soojuse ja põlevkiviõli tootmiseks Narva Elektri jaamades.

Saastetasude suuruse prognoosimisel 2005. aasta kohta on lähtutud saastetasu seaduse muutmise seadusega kehtestatud määradest. 2010. aastaks on koostatud aga kaks prognoosivarianti. Esimese variandi (min) korral on saastetasude ning ka ressursimaksu kasvutempod kavandatud lähtuvalt Eesti senisest keskkonnapoliitikast.

Näiteks CO<sub>2</sub> maksu määraks on võetud 30 kr/t (saastetasu seaduse muutmise seaduse kohaselt on see 2005. aastal 11,3 kr/t). Samuti on prognoosimisel arvestatud efektiivsuse tõusu ja saasteainete emissioonide võimalikku vähenemist tehnoloogilise renoveerimise tulemusena Narva Elektri jaamades.

Teise prognoosivariandi (max) puhul 2010. aastaks on eksperimendina lähtutud juba 1990-ndate keskel Euroopa Liidus väljapakutud CO<sub>2</sub> maksu määrast – 10 USD õlibarrelile ekvivalendile, mis USA dollari praeguse kursi juures tähendaks ligikaudu 300 krooni CO<sub>2</sub> tonni kohta. Siiski on vaadeldavas prognoosivariandis arvestatud ainult pool sellest määrast – 150 kr/t. See on Eesti jaoks muidugi äärmiselt kõrge tase, samas rakendatakse mitmetes EL-i riikides (näiteks Põhjamaadel Taanis ja Rootsis) juba praegu oluliselt suuremaid CO<sub>2</sub> maksu määrasid (Kallaste, 2001; Database ..., 2001).

*Tabel 4. Põlevkivielektri tootmise keskkonnakulude arvutus ja prognoos*

*Table 4. Calculation and forecast of the oil shale-based electricity environmental costs*

	2001	2005	2010	
			min	max
NEJ brutotoodang, GW·h	7370	7200	5900	5900
<b>NEJ netotoodang, GW·h</b>	<b>6596</b>	<b>6430</b>	<b>5300</b>	<b>5300</b>
Vajaminev põlevkivikogus, tuh t	9360	9000	7300	7300
CO <sub>2</sub> emissioon põlevkivi põletamisest, tuh t	8565	7900	6500	6500
Keskkonnakaitselised saastetasud, mln kr	166,0	252,1	420,5	1200,5
sh CO <sub>2</sub> emissiooni eest	64,2	89,3	195,0	975,0
Mäetööde lõpetamise ja keskkonnakaitseliste eraldiste moodustamine ja vähendamine, mln kr	108,3	125,0	145,0	145,0
Maa rekultiveerimisega seotud kulud, mln kr	3,7	11,5	18,0	18,0
Loodusvarade ressursimaks (sh tasu vee eest), mln kr	87,3	98,6	128,2	128,2
<b>Keskkonnakaitselised kulutused kokku, mln kr</b>	<b>365,3</b>	<b>487,2</b>	<b>711,7</b>	<b>1491,7</b>
<b>Keskkonnakomponent põlevkivielektri tootmishinnas, senti/kW·h</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>28</b>

Tehtud arvutuste põhjal moodustas keskkonnakomponent 2001. aastal põlevkivielektri tootmishinnas ligi 6 senti/kW·h (15,8%). Prognoosi kohaselt tõuseb see 2005. aastal ligi 8 sendini/kW·h (17,4%) ja 2010. aastal esimeses variandis 13 sendini/kW·h (21%), teises variandis aga ootuspäraselt rohkem – 28 sendini/kW·h. See moodustaks juba 36,4% elektri tootmishinnast.

### **Kokkuvõte**

Tehtud analüüsi põhiliseks eelduseks oli senise, suhteliselt konservatiivse keskkonna- ja energiapoliitika jätkumine, mis antud kontekstis tähendab tegelikult põlevkivienergeetika keskkonnamõjude ebapiisavat arvestamist. Samas on ka sellise

eelduse korral põlevkivielekter oma hinnaelist kaotamas. Juba praegu on Iru EJ-s koostootmisrežiimis toodetav gaasielekter põlevkivielektrist odavam. Kaugemas perspektiivis pole arvestatavat hinnavahet ka tuuleelektriga – Säästva Eesti Instituudis läbiviidud Pakri tuulefarmi pilootuuringu tulemused näitavad, et optimaalse investeerimisvariandi korral võib tuuleelektri tootmishinna alumiseks piiriks kujuneda 65 senti/kW·h (Kallaste, 2002). Radikaalsema keskkonnapoliitika rakendamise korral, mis tähendaks saastetasude ja ressursimaksude kiiremat kasvu, võib põlevkivielektri konkurentsivõime langeda märgatavamalt ja kiiremini.

### **KirjandusReferences**

1. Aastaaruanne 2001/2002 (2002) Eesti Energia AS. Tallinn: 58.
2. Aastaaruanne 2000/2001 (2001) Eesti Energia AS. Tallinn: 52.
3. Database on environmental taxes (2001)  
(<http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/>).
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. Stockholm Environment Institute Tallinn Centre, Estonian Institute for Sustainable Development (SEI-Tallinn). Tallinn: 153.
5. Kallaste, T. (2001) Eesti kui ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooni liikmesriik. Säästva Eesti Instituut, SEI-Tallinn. Tallinn: 119.
6. Keskkonnanaruanne 2000 (2001) Eesti Energia AS. Tallinn: 20.
7. Keskkonnanaruanne 2001 (2002) Eesti Energia AS. Tallinn: 20.
8. Vares, V. (vastutav täitja) (2000) Eesti energiamajanduse erinevad arenguvariandid. Lepingu nr 4/2000 aruanne. Eesti Energeetika Instituut. Tallinn: 149 (käsikiri).



# ANALYSIS AND PROGNOSIS OF THE ELECTRICITY PRODUCTION PRICE IN ESTONIA

*Anton Laur and Koidu Tenno*

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

## **Abstract**

Oil shale is dominantly used for generating electricity in Estonia. It is extremely resource-intensive and a high pollution load on the environment. The production price of oil shale-based electricity is so far still lower than electricity produced from other energy resources. The environmental costs account for approximately 16% of the oil shale-based electricity production price today. Based on the current pollution charges and environmental damage compensation standards established in the Estonian legislation and in the EU, these costs are expected to increase considerably. Analysis conducted in this research indicates that a more comprehensive consideration of the environmental impacts will considerably influence the competitiveness of oil shale in electricity production in comparison with other energy resources including renewable energy.

# PLASTJÄÄTMED – PALJUTÖÖTAV LÄHTEMATERJAL TAASTUVVEDELKÜTUSTELE

*Laine Tiikma, Natalja Prjadka ja Rein Veski*

Tallinna Tehnikaülikooli Põlevkivi Instituut, Järveküla tee 35, 30328 Kohtla Järve  
e-post: rein.veski@mail.ee

## **Annotatsioon**

Jäätmekäitlusmeetmed reastatakse tavaliselt pingeritta: jäätmetekke vältimine, tekkivate jäätmekoguste ja nende ohtlikkuse vähendamine, jäätmete taaskasutamise laiendamine, jäätmetest tuleneva keskkonna saastamise vähendamine ning jäätmete keskkonnaohutu ladestamine. Alljärgnevalt keskendutakse plastjäätmete taaskasutamisele, kitsamalt võetuna, nendest vedelkütuste, k.a mootorikütuste saamisele.

## PLASTJÄÄTMED, TAASKASUTAMINE, VEDELKÜTUSED

### **Kasutatud lühendid**

PE – polüetüleen, LDPE – väikese tihedusega PE, HDPE – suure tihedusega PE, PET – polüetüleentereftalaat, PP – polüpropüleen, PS – polüstüreen, PVC – polüvinüülkloriid, SV – süsivesinikud.

### **Plastjäätmete teke, ladustamine ja põletamine**

*Jäätmeseadus, Eesti keskkonnategevuskava aastateks 2001–2003 ja üleriigiline jäätmekava 2002 (edaspidi Jäätmekava) korraldavad ja suunavad riiklikult Eestis jäätmekäitlust, k.a plastjäätmete osas. Plastjäätmelid käsitlevad veel arengukavad “Ohtlike jäätmete arengukava I etapp”, 2001, “Pakendi- ja pakendijäätmete alane tegevuskava”, 2000, “Pakendijäätmete kogumis- ja taaskasutussüsteemi loomine Eestis. Majandusmeetmed selle rakendamiseks”, 2000. Nendes arvestatakse Euroopa Liidu õigusakte.*

Aastal 2000 koguti Eestis 544 194 t olmejäätmelid, neist vaid 59 t (0,01%) töödeldi ja 0,02% põletati (Säästva ..., 2002). Jäätmekava andmeil sisaldasid näiteks Tallinna, Pärnu, Rapla, Aravete, Kuusalu ja Loo asula olmejäätmelid 2000. aastal keskmiselt (%) plasti 11,6, orgaanilisi jäätmelid 42,1, paberit, pappi ja kartongi 25,3, klaasi 2,7, metalli 3,8, puitu 3,3, püsijäätmelid 6,7, komposiitmaterjale 3,4, tekstiili 0,9 ning ohtlikke jäätmelid 0,2 uuritud jäätmetel massist, seega plastjäätmelid Eestis kohta arvutatuna 63 126 t.

Jäätmekavas hinnati Eestis 2000. aastal tekkinud pakendijäätmelitel koguseks ligikaudu 150 000 t, kaudsetel andmetel oli selles plasti osatähtsus 20% (paber ja papp 34, klaas 24, metall 9, komposiit, k.a kartongil põhinevad joogipakendid 12 ja puit 1 protsenti). Toodud andmetel alusel sisaldasid tekkinud pakendijäätmelid 30 000 t plasti. 1999. aastal taaskasutati ligikaudu 103 300 tonni pakendijäätmelid, sellest materjalina 13 ja energia saamiseks 0,85%. Eestis pole plastjäätmelid sorteeritud polümeeride järgi, kuid

jäätmete orienteeruva koostise võib saada ka väliskirjanduse andmetel (Management..., 1992) %: 65% on PE ja PP, 15% - PS, 10 % PVC ja 5% PET.

Ohtlikke jäätmeid tekkis 2000. aastal üle 5,9 mln t, sh nn metallide ja plastide töötlemise ja pinnakatmise jäätmeid 1119 t. Põletati 155 000 t puidu- ja 3 000 t muid jäätmeid (Säästva ..., 2002). Seega ei ole võimalik saada ametlikult levitatavast riiklikust statistikast andmeid tööstuses tekkivate plastjäätmete kohta eraldi metallitöötlemisjäätmetest. Euroopa jäätmeloendil põhineva “*Jäätmeliikide ja ohtlike jäätmete nimistu*” (RT I 1998, 103, 1705; RTL 2001, 24, 319) ei sisalda kahjuks alaliigina plastjäätmeid. Usaldusväärse andmebaasi olemasolu vajalikkust rõhutatakse ka jäätmekavas kui eeltingimust üldise üleriigilise jäätmekorralduse planeerimisel.

Jäätmekava andmeil osa Eestis kasutusel olnud plastpudelitest purustatakse helvesteks ja vastavalt võimalustele eksporditakse. Samal ajal ollakse huvitatud pudelite ning PE ja PS jäätmete kasutamisest teise toormena Eestis pakendi, ehitus- või muude detailide valmistamisel. Eksergia seisukohast on näiteks PE taaskasutamise efektiivsus 62,5%, samas kui põletamise ja prügimägedesse ladustamise oma on vastavalt 43,6 ja 0,9% (Dewulf ja Van Langenhove, 2002).

Üheks võimaluseks plastjäätmete kasutamisel on nende põletamine lisakütusena (nn jäätmekütusena) kohalikes tahkekütuse katlamajades energia saamise eesmärgil, kuna plastide põlemissoojus on küllalt kõrge, nt PE 46,5, PP 46,2, PS 40,7 ja PVC 19,0 MJ/kg (Mustafa, 1993). Vastavalt Euroopa Komisjoni uutele sihtarvudele võib põletada vaid 5% pakendijäätmete kogumassist. Võib eeldada, et katlamajad eelistavad plastile puidust pakendijäätmeid lisakulutuste vähendamise eesmärgil. Liiva asula katlamajas Muhus lisatakse näiteks turbale ja hakkpuidule hakitud plastpudelite ja paberi jäätmed (Liitmäe, 2000).

Plastjäätmete kasutamine peaks olema soodus, kuna energiaallikana kasutatavaid jäätmeid käsitatakse “*Energiaseaduses*” (RT 1997, 52, 833; 1998, 71, 1201; 113/114, 1873; 1999, 29, 403; 2001, 43, 239) biokütusena (§ 2, p. 5), millest toodetud elektrile laienevad soodustatud ostukohustused (§ 27, p. 1, lõige 1) ja lisaks sellele loeb keskkonnaministri määrus nr 58 “*Süsinikdioksiidi (CO<sub>2</sub>) heitkoguse määramismeetodi kinnitamine*” (RTL 1998, 287/288, 1175) biokütuste põlemisel tekkiva CO<sub>2</sub> nulliks, seega pole energiaseadusest tulenevalt vaja maksta plastjäätmete põletamisel tekkiva CO<sub>2</sub> eest saastekahju hüvitist, mida nähakse ette fossiilkütustele vastavalt Vabariigi valitsuse määrusele nr 228 7.10.1998 (RT I 1998, 88, 1440) “*Saastekahju hüvitise määrade kehtestamine 1999., 2000. ja 2001. aastaks*”.

Jäätmete põletamisel tuleb järgida tava- ja ohtlike jäätmeid käsitleva Euroopa Nõukogu direktiivi 200/76/EÜ nõudeid ja piiranguid. PVC lisandeid sisaldavate jäätmete põletamise seadmed vajavad väga kalleid gaasipuhastusseadmeid. Seadusandluse ja avaliku arvamuse surve muudab plastjäätmete ladustamine prügimägedesse Euroopas lähitulevikus peaaegu võimatuks. Sellest tulenevalt on enamikus arenenud riikides plastmasside taaskasutamise programmid. Samas siiski vaid 5–25% plastjäätmetest läheb taasinglusse. Euroopa riikides põletatakse energia saamise eesmärgil 14, töödeldakse mehaaniliselt 6 ja keemiliselt 0,3% plastjäätmetest (Karagöz jt, 2002).

## Plastjätmete keemiline töötlemine

Plastjätmeid võib töödelda erinevalt, olenevalt nende keemilisest struktuurist ja saadavatest produktidest, kas hüdrolüüsi, fraktsioneeriva lahustamise või termilise destruktsiooni teel. Kasutusele on võetud suure tootlikkusega keevkihtreaktoreid, pöördahje jm seadmeid (näiteks Mustafa, 1993, Management .., 1992). Eestis on vanade autokummide pürolüüsi kogemus põlevkivi-gaasigeneraatoris Kohtla-Järvel (Joonas jt, 1997) ja tahke soojuskandjaga seadmes Narvas (Senchugov jt, 1997). 1999/2000. majandusaastal saadi 8035 t peenestatud kummijätmetest 2491 t õli ja 562 000 m<sup>3</sup> gaasi ja 1931 t muudest orgaanilistest jätmetest lisaks vastavalt 740 t ja 135 000 m<sup>3</sup> (Estonian Energy, 2001).

Hüdrolüüsi suhtes on tundlikud need polümeerid, mille struktuuris on atsetaal-, amiid-, ester- ja eetersidemed. Polüestrid (nt PET), polükarbonaadid ja polüamiidid lagunevad vee toimel. Hüdrolüüsdestruktsioon toimub alati funktsionaalsete rühmade kohal, näiteks polüuretaani molekul, mis sisaldab rühma (-NHC-O-), võib katkeda vee liitumisel uretaani rühmaga. Saadusteks on kahealuselised happed ja alkoholid, monomeerid, diamiinid jne. Hüdrolüüsdestruktsiooniga analoogselt toimub ka reaktsioon madalmolekulaarse glükooli, näiteks metüleen- või etüleenglükooli juuresolekul. Polüuretaani jaoks loetakse glükooli majanduslikult ja tehnoloogiliselt kõige sobivamaks protsessiks. Peenestatud vahtpolüuretaani töödeldakse glükooliga 200 °C juures lämmastiku atmosfääris.

Polümeeride fraktsioneeriv lahustamine. Kasutatakse seguplastmasside lahutamiseks, kuna plastmassid lahustuvad erinevates lahustites erinevalt. Võib kasutada ka sama lahustit erinevatel temperatuuridel. Seitsme enam levinud plastmassi lahustamiseks kasutatakse ksüleeni, ka diklorometaani, metüleenkloriidi või tetrahüdrofuraani. Temperatuur tõstetakse 70 °C (PS) kuni 135 °C (PET). Superkriitiliste lahustite abil saab eemaldada trükiplaatidelt mürgiseid materjale (Recycling ..., 2000).

Termooksüdeerival destruktsioonil tekivad hapniku juuresolekul PE pürolüüsi-produktidena süsivesinikud (Piiraja, 1993), mille fraktsioneerimisel ja töötlemisel on võimalik toota happeid, alkohole, pindaktiivseid aineid, plastifikaatoreid, valgukontsentrante ning määrdeaineid.

Pürolüüsi abil on võimalik saada vesinikurikastest sirgete ahelatega polüolefiinsetest (PE, PP) plastjätmetest mootorikütuseid ja kütteõli (nt Walendziewski, 2002). Plastjätmeid võib tinglikult vaadelda kui tahket naftat, mis laguneb temperatuuril üle 300 °C süsivesinikeks. Õli saagis sõltub polümeeri liigist. Probleemiks on PVC-st eralduv soolhape (58% polümeeri massist) ja dioksiini moodustumise oht. PS rikastab pürolüüsiõli aroomaatsete monomeeridega (tolueen, ksüleen, stüreen), mis teatud koguseni tõstavad diislikütuse tsetaaniarvu. Kirjanduse andmeil ei anna PET pürolüüsil vedelprodukte.

Kopürolüüs. PVC-sisaldusega plast- ja puidujätmete koospürolüüs vähendab saadava pürolüüsiõli kloorisisaldust (Zevenhoven jt, 2002). Uuritud on veel õli saamist põlevkivi, kivisöe jt fossiilkütuste pürolüüsil koos PE, PS, nailoni jt polümeeridega (Gersten jt., 1999; Senchugov jt., 1997), sh vesiniku ülekannet vesinikurikkalt plastmassilt ja kopürolüüsi sünergeetilisi efekte ning Türgi põlevkivi mineraalosa

katalüütilist mõju (Ballice jt., 1998). Katalüsaatorite toime uurimine on samuti üheks tähtsaks uurimissuunaks plastjätmete vedeldamisel.

Hüdrogeenimine vähendab heteroatomite (Cl, N, O, S) üleminekut plastjätmetest saadava vedelkütuse koostisse. Kloori sisaldavate plastjätmete deklorimine vedelkütuste saamiseks on peamisi uurimissuundi (Reverso, 2001).

### Katsetused TTÜ Põlevkivi Instituudis

TTÜ Põlevkivi Instituudis uuriti erineva koostisega plastjätmete pürolüüsi ja nende kopürolüüsi koos põlevkiviga ning põlevkivikeemiatööstuse põhilise jäätme poolkoksiga, kasutades selleks põlevkivi töötlemise seadmeid. Polüolefiinide (LDPE, HDPE ja PP) pürolüüs viidi läbi Fischeri retordis standardtingimustel lõpptemperatuuril kuni 520 °C. Saadi gaasiline ja vedel või vahataoline produkt, mis destilleeriti fraktsioonideks alla 250, 250–300 ja üle 300 °C. Kõige rohkem annab vedelprodukti (tabel 1) LDPE, sellele järgnevad HDPE ja PP, kusjuures PP-st saadi vedellaguprodukt, PE-st saadu oli enamasti vahataoline.

*Tabel 1. Fischeri retordis saadud polümeeride pürolüüsiproduktid*

*Table 1. Volatile products of plastics pyrolysis in Fisher assay*

Vedelproduktid	PP	HDPE	LDPE	LDPE põlevkivi 1:2
Vedelprodukti saagis, %	89,06	90,20	94,30	67,45
Keemise algus, °C	58	110	78	80
Fraktsioonkoostis, %				
<250 °C	15,15	9,34	20,68	22,49
250–300 °C	11,00	5,67	6,62	6,68
>300 °C	73,85	84,99	72,70	70,84

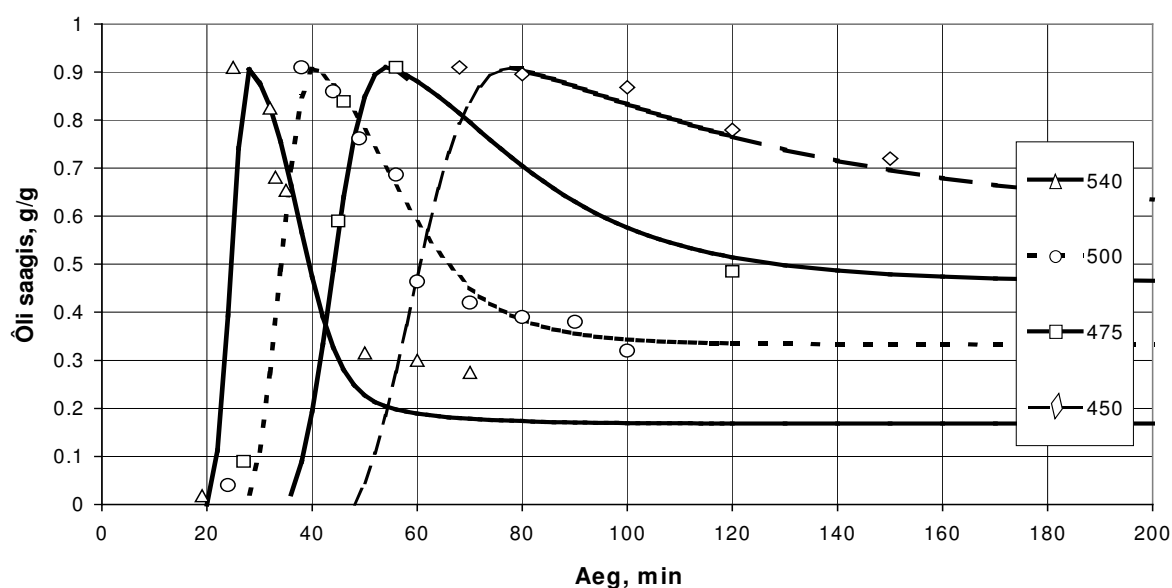
Tabelis 1 on toodud ka fraktsioonide saagis laguprodukti destilleerimisel. Alla 250 °C keeva fraktsiooni osatähtsus suureneb PE pürolüüsil koos põlevkiviga. Ülemääraselt suur osa on kõrge keemistemperatuuriga fraktsioonil kõigi plastmasside vedelproduktides, arvestades, et diislikütusel peab 90% õlist destilleeruma alla 360 °C (RTL 2000, 64, 1014). Järelikult retordis standardtingimustel pürolüüsides ei ole polüolefiinide molekulide lagunemisaste piisav.

Järgmine katsete seeria viidi läbi 20 ml autoklaavides. Pürolüüsil kasutati erinevaid temperatuure vahemikus 420–540 °C kestusega 20–120 min, kusjuures pürolüüsiaja sisse arvestati ka vastava temperatuuri saavutamise aeg autoklaavis. Pürolüüsil tekkinud gaaside kogus määrati pärast katset kinnise ja avatud autoklaavi kaalude vahest, seejärel ekstraheeriti õli heksaaniga ning filtrile jäänud tahkest osast asfalteenid tetrahüdrofuraaniga.

Pürolüüsil saadava õli kogus sõltus katse temperatuurist ja kestusest (joonis 1). PE pürolüüsi on võimalik läbi viia alates 420 °C, kuid sel juhul peab pürolüüs kestma vähemalt 2 tundi, kuna näiteks 1 tunni vältel tekib ainult vahataoline produkt.

Pürolüüsil tekkisid lineaarse struktuuriga SV süsiniku arvuga kuni C30. Avatud pürolüsaatorites oli küllastatud ja küllastamatute SV suhe ligikaudu 1:1 ning autoklaavis moodustusid põhiliselt alkaanid. Seda on täheldanud ka teised autorid (Pinto jt., 1999; Li ja Peng, 2002).

Pürolüüsi temperatuuri tõustes toimub PE destruktsioon kiiremini, lühikese ahelaga SV osakaal suureneb, seega suureneb ka gaasifaasi hulk. Gaasi hulk võib varieeruda 0,5%-st kuni peaaegu 50%-ni. Pürolüüsiaja pikenedes moodustub rohkem tahket jääki. Kui õlitekke seisukohalt optimaalsetel tingimustel moodustus polüetüleenist tahket jääki vaid 0,5%, siis pikaajalisel pürolüüsil moodustas tahke jääk – must teraline pulber – juba 5–7%, sellega kaasnes õli koostise muutus: alifaatsete SV hulk vähenes ja tsükliliste ühendite osakaal suurenes.



Joonis 1. Õlisaagise sõltuvus pürolüüsi kestusest LDPE pürolüüsil erineval temperatuuril (°C)

Figure 1. Time-dependence of the oil yield from LDPE at various oven temperatures (°C)

LDPE pürolüüsiõli, tööstusliku põlevkiviõli ja selle hüdrogeenitud fraktsiooni koostis määrati õhukesekihilise kromatograafia abil (tabel 2). Optimaalsetel tingimustel pürolüüsitud LDPE-st saadud õli (pürolüüsi kestus 40 min) iseloomustab suur alifaatsete SV osakaal, mis väheneb pürolüüsi kestusega, samas suureneb polütsükliliste SV osakaal (120 min). Nii LDPE-st kui ka selle segust põlevkiviga saadi õli, mille fraktsioonkoostis vastab diislikütusele esitatavale nõuetele paremini kui põlevkiviõli diislifraktsioon enne või pärast hüdrogeenimist. Kuna plastjätmete sorteerimine polümeeride liigi järgi on väga töomahukas ja kulukas protsess, siis edaspidi tuleb pürolüüsil lähtuda plastjätmete segust. Kokkuvõtteks võib järeldada, et pürolüüsides autoklaavis polüolefiinseid plastjätmeid eraldi või koos põlevkiviga, võib saada naftaproduktidele lähedaste omadustega õli. Töö plastjätmete mõju uurimisega põlevkivi õli saagisele ja koostisele jätkub.

Tabel 2. Õlide keemiline koostis  
Table 2. Chemical group composition of oils

Õli grupikoostis, %	LDPE	LDPE: põlevkivi 1:1	LDPE	Põlevkiviõli tööstuslik diisli- fraktsioon (Luik jt., 1999)	
	500 °C 40 min	500 °C 40 min	490 °C 120 min	Töötlemata	Hüdro- geenitud
Alifaatsed SV	85,6	65,7	22,8	52	69
Monotsüklilised SV	3,2	4,4	17,1	16	2
Polütsüklilised SV	9,8	12,2	37,8	7	26
Polaarsed ühendid	1,4	17,7	22,3	25	3

### Tänuavaldus

Uurimistöö on teostatud Eesti Teadusfondi grantide nr 5359 ja 5360 toetusel, mille eest autorid on tänulikud.

### Kirjandus ✕ References

1. Ballice, L., Yüksel, M., Saglam, M., Reimert, R., Schulz, H. (1998) Classification of volatile products evolved during temperature programmed co-pyrolysis of Turkish oil shales with low density polyethylene. *Fuel* 77(13): 1431–1441.
2. Bockhorn, H., Hornung, A., Hornung, U., Schawaller, D. (1999) Kinetic study on the thermal degradation of polypropylene and polyethylene. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 48(2): 93–109.
3. Dewulf, J. P., Van Langenhove, H. R. (2002) Quantitative Assessment of Solid Waste Treatment Systems in the Industrial Ecology Perspective by Exergy Analysis. *Environmental Science and Technology* 36(5): 1130–1135.
4. Estonian Energy 1991–2000 (2001) Ministry of Economic Affairs. Tallinn: 86.
5. Gersten, J., Fainberg, V., Garbar, A., Hetsroni, G., Shindler, Y. (1999) Utilization of waste polymers through one-stage low-temperature pyrolysis with oil shale. *Fuel* 78(8): 987–990.
6. Joonas, R., Yefimov, V., Pulemjotov, I., Doilov, S. (1997) Waste tires as raw material for producing alternative liquid fuel. *Oil Shale* 14(1): 67–75.
7. Karagöz, S., Karayildirim, T., Uëar, S., Yuksel, M., Yanik, J. (2003) Liquefaction of municipal waste plastics in VGO over acidic and non-acidic catalysts. *Fuel* 82: 415–428.
8. Li, W., Peng, C. (2002) Mechanism study of iron-base decatalysts in co-liquifaction of coal with waste plastics. *Fuel* 81: 811–815.
9. Liitmäe, R. (2000) Väikekatlamajade võimalustest Liiva katlamaja näitel. *Keskkonnatehnoloogia* 1: 22–23.
10. Luik, H., Lindaru, E., Vink, N., Maripuu, L. (1999) Upgrading of Estonian shale oil distillation fractions. 1. Hydrogenation of the diesel fraction. *Oil Shale* 16(2): 141–148.

11. Management of plastic wastes in the ECE region (1992) Economic Commission for Europe. UN. N-Y: 64.
12. Mustafa, N. (Ed) (1993) *Plastics waste management* Marcel Dekker. N-Y. Basel. Hongkong: 413.
13. Piiraja, E. (1993) *Oxidation and Destruction of Polyethylene*. Doctorate Theses. Tallinn: 26.
14. Pinto, F., Costa, P., Gulyurtlu, I., Cabrita, I. (1999) Effect of plastic waste composition on product yield. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 51: 39–55.
15. *Recycling solution and application for polymeric and composite material products* (2000) Fraunhofer Institut Chemische Technologie: 2.
16. Reverso, R. (2001) Controlled pyrolysis of waste plastics in molten cracking catalyst bed for production of synthetic hydrocarbon fuels. U.S. Pat. Appl. Publ. US 20010056214 A1 27 Dec 2001: 10 (CA 136:58133).
17. Senchugov, K., Kaidalov, A., Shaparenko, L., Popov, A., Kindorkin, B., Lushnyak, V. Chikul, V., Elenurm, A., Marguste, M. (1997) Utilization of rubber waste in mixture with oil shale in destructive thermal processing using the method of solid heat carrier. *Oil Shale* 14(1): 59–66.
18. *Säästva arengu näitajad. Indicators of Sustainable Development* (2002) Statistikaamet. Statistical Office of Estonia. Tallinn: 155.
19. Zevenhoven, R. Axelsen, E. P., Hupa, M. (2002) Pyrolysis of waste-derived fuel mixtures containing PVC. *Fuel* 81(4): 507–510.
20. Walendziewski, J. (2002) Engine fuel derived from waste plastics by thermal treatment *Fuel* 81(4): 473–481.

## **PLASTIC WASTE – PROMISING RAW MATERIAL FOR RENEWABLE LIQUID FUELS**

*Laine Tiikma, Natalja Prjadka and Rein Veski*

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

### **Abstract**

The quantities and composition of post-consumer plastic waste, their recycling possibilities and legislation in Estonia from the economical and environmental viewpoint are discussed. Pyrolysis of plastic waste vs. landfilling and incineration is preferable. Waste commodity plastics have high hydrogen to carbon ratio and mostly straight-chain structures suitable for liquefaction and upgrading to transportation or fuel oil. Polyolefins (LDPE, HDPE, PP) and their mixture with oil shale were pyrolyzed in Fisher assay (Table 1) and autoclave. The yield and composition of oil depend on time and temperature of pyrolysis in autoclave (Figure 1). Pyrolyzed oil was analyzed by preparative thin-layer chromatographic method and compared with shale oil diesel fraction and its hydrogenated sample (Table 2).



# EMPIIRILISTE TAGATUSNOMOGRAMMIDE KASUTAMISEST KLIIMA ENERGEETILISTE RESSURSSIDE HINDAMISEL

*Tiina Tammets*

Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut, Rävola pst 8, 10413 Tallinn  
e-post: t.taam@emhi.ee

## **Annotatsioon**

Kütteperioodi õhu ja pinnase temperatuurisummade ning summaarse kiirguse summade statistilise jaotuse analüüs on oluline eeldus kliima energeetiliste ressursside kasutamiseks. Selleks et täpsemini hinnata kliima energeetilisi ressurse, on tavaliste statistikute kõrval võimalik konstrueerida empiirilised tagatusnomogrammid. Sellised nomogrammid võimaldavad täpsemini arvesse võtta vastavate kliimaressursside tõenäosuslikku jaotust kütteperioodil ja selle erinevatel intervallidel. Alljärgnevalt vaatame kütteperioodi päikese summaarse kiirguse, pinnase ja õhutemperatuuri ning pinnase- ja õhutemperatuuri vahede summade statistilist jaotust Tartus-Tõraveres üldkasutatavate statistiliste karakteristikute ning empiiriliste tagatusnomogrammide alusel.

EESTI KLIIMA ENERGEETILISED RESSURSID, METEOROLOOGILISED AEGREAD, PINNASE- JA ÕHUTEMPERATUURI STATISTILISED KARAKTERISTIKUD, EMPIIRILINE TAGATUSNOMOGRAMM

## **Sissejuhatus**

Taastuvate energiaallikate üheks oluliseks liigiks on piirkonna kliimaressursid – tuuleenergia, õhu- ja maasoojus, päikese kiirgusenergia. Kapitalimahukate projektide koostamisel tuleks arvestada nende kliimaressursside võimaliku suurusega ja ajalise jaotusega selles piirkonnas. Selle eelduseks on piisavalt pikkade meteoroloogiliste aegridade olemasolu. Seejuures ei piisa ainult meteoroloogiliste elementide keskmiste väärtuste leidmisest, vaid tuleb uurida ka meteoroloogilise elemendi ajalise jaotuse tõenäosuslikke karakteristikuid, et põhjendada kapitalimahutuste tasuvust. Selle üheks võimalikuks lahenduseks oleks empiiriliste tagatusnomogrammide kasutamine. Nimeetatud meetodit on kasutatud seni vegetatsiooniperioodi päikesekiirguse, efektiivse temperatuuri summade ja sademete tagatuse hindamisel (Tammets, 1983; Podogrocki, 1989; Tammets, 1999). Käesoleva töö eesmärgiks on näidata meetodi rakendatavust ka kütteperioodi kiirgus- ning soojusenergia ressursside hindamisel. Kütteperioodiks loeme ajavahemikku septembri algusest kuni aprilli lõpuni. Kütteperioodi erinevate osade soojus- ning kiirgusressursside arvestamiseks kasutame ajasammu 1 dekaad. Nii saame hinnata kliimaressurssi ajavahemikul alates 1. septembrist kuni septembrikuu, oktoobrikuu jt kuude erinevate dekaadide lõpuni. Pidasime oluliseks ka dekaadi pinnase- ja õhutemperatuuride vahede summade leidmist. Vaadeldavad kliimaressursid arvutatakse järgmiste valemite alusel.

### 1. Õhutemperatuuri summad:

$$\sum T = \sum_{i=1}^m T\tilde{\theta}_i \cdot k_i, \quad (1)$$

kus  $n$  on dekaadi number alates septembri 1. dekaadist kuni jooksva dekaadini,  $T\tilde{\theta}_i$  on  $i$ -nda dekaadi keskmine õhutemperatuur,  $k_i$  on  $i$ -nda dekaadi päevade arv.

### 2. Pinnase temperatuuri summad sügavusel $s$ :

$$\sum Ts = \sum_{i=1}^m Ts_i \cdot k_i, \quad (2)$$

kus  $Ts_i$  on  $i$ -nda dekaadi keskmine pinnase temperatuur  $s$  m sügavusel.

### 3. $s$ m sügavuse pinnase ja õhutemperatuuride vahede summad:

$$\sum (Ts - T\tilde{\theta}) = \sum_{i=1}^m (Ts_i - T\tilde{\theta}_i) \cdot k_i, \quad (3)$$

kus  $Ts_i - T\tilde{\theta}_i$  on  $i$ -ndal dekaadil  $s$  m sügavusel pinnase- ja õhutemperatuuri vahe.

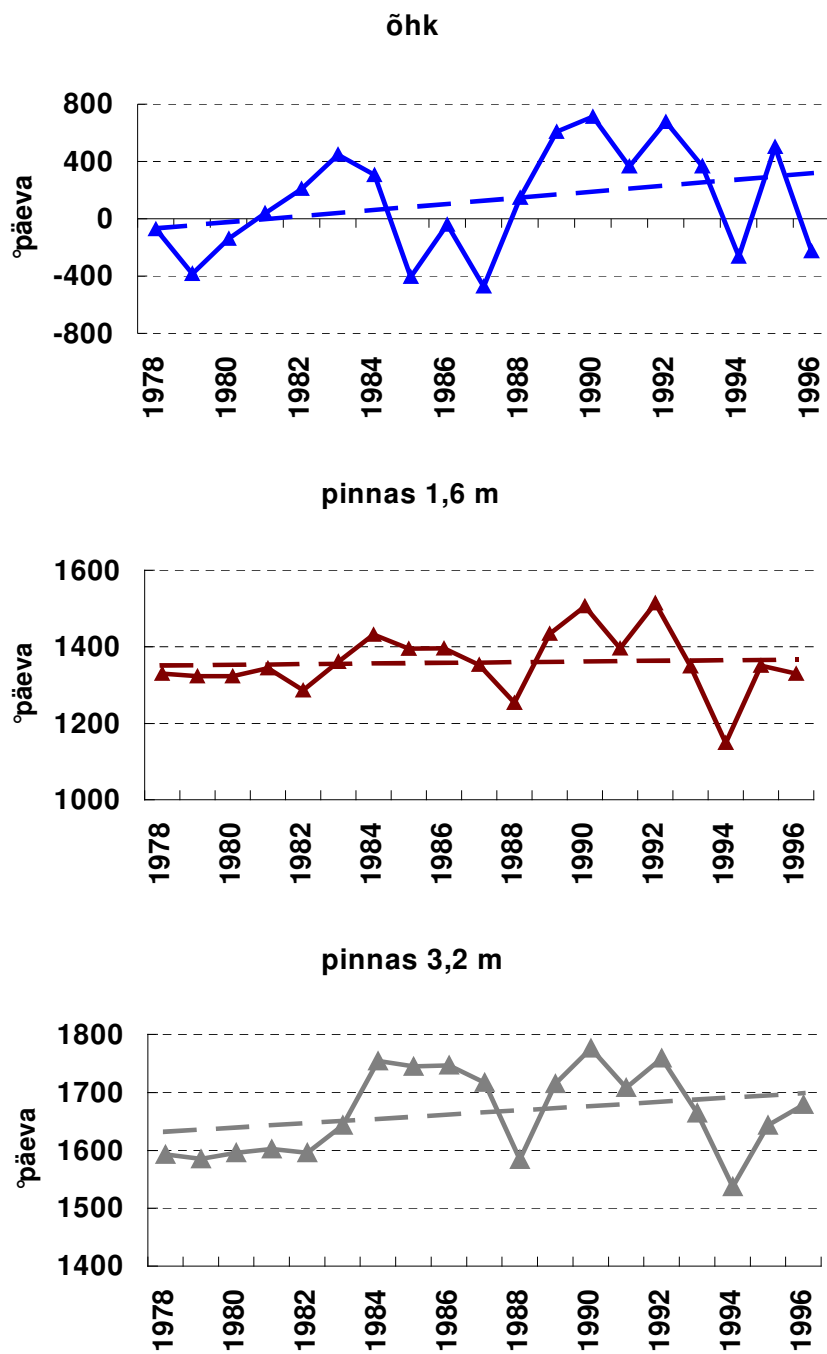
### 4. Summaarse kiirguse summad:

$$\sum Q = \sum_{i=1}^m Q_i \cdot k_i, \quad (4)$$

kus  $Q_i$  on  $i$ -nda dekaadi summaarse kiirguse summa.

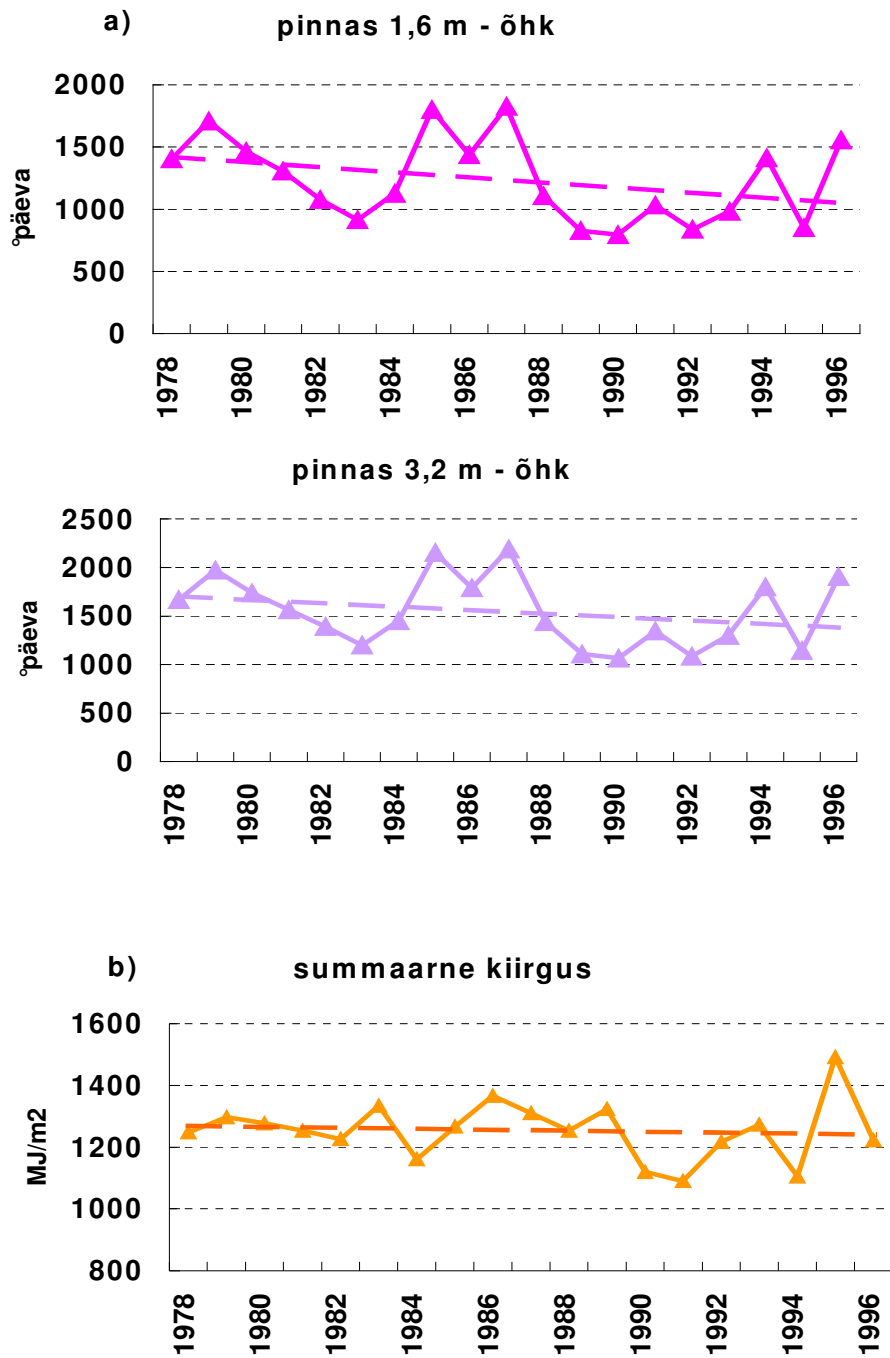
## Statistiline materjal

Pinnase ja õhu soojuse ning päikese kiirguse ressursside kõrvutamiseks kasutame Tartu-Tõravere kliimaandmeid. Alates 1978. aastast kuni 1996. aastani on külmal aastaajal mõõdetud Tartu-Ülenurme ilmajaamas pinnase temperatuuri üks kord ööpäevas 0,4; 0,8; 1,6 ja 3,2 m sügavusel; samas on olemas ka õhutemperatuuri mõõtmiste aegrida. Suhteliselt lähedal asuva Tõravere aktinomeetriaajaama andmed sama perioodi kohta annavad võimaluse soojus- ja kiirgusressursside võrdlevaks hinnanguks Tartus. Seoses Tartu meteoroloogiaajaama üleviimisega Tartust Tõraverele on seal pinnase temperatuuri mõõdetud alles alates 1998. aastast ja aegrea pikendamiseks oleks täiendavalt vaja Tartu-Tõravere pinnase paralleelmõõtmiste andmeid. Agrokliima teatmiku andmetel on Tartu-Ülenurme vaatlusväljakul nõrgalt leetunud kamar-leetmuld kerge liivsaviga, mille keskmine külmumissügavus on 65 cm, maksimaalne 132 cm ja minimaalne 18 cm (Spravotshnik po klimatu ...,1965). Nagu selgub meie arvutustest, suurenevad sügavuse kasvades oluliselt ka temperatuurisummad ja väheneb nende summade varieeruvus (joonis1 ja tabel 1).



Joonis 1. Õhu ja pinnase temperatuurisummad kütteperioodil (IX–IV) Tartus 1978–1996

Figure 1. Air and soil temperature sums during a heating period from September–April in Tartu 1978–1996



Joonis 2. Pinnase ja õhu temperatuurisummad kütteperioodil (a) ja temperatuurivahede summad ning summaarse kiirguse summad (b) kütteperioodil (IX–IV) Tartus ja Tõraveres

Figure 2. Soil and air temperature sums during the heating period (a) and temperature difference and total solar radiation sums (b) from September–April in Tartu and Tõravere

Kogu kütteperioodi – september–aprill – õhu ja pinnase temperatuurisummadel on 1978.–1996. a märgatav positiivne trend, kusjuures kõige väiksem on see trend 1,6 m sügavusel (joonis 1). Pinnase- ja õhutemperatuuri vahede summadel ning summaarse kiirguse summadel on aga vähenemise tendents (joonis 2).

*Tabel 1. Pinnase temperatuurisummad erinevatel sügavustel kütteperioodil, °päeva*  
*Table 1. Soil temperature sums at different depths of soil during the heating period, °day*

s	september–detsember			
	0,4	0,8	1,6	3,2
<b>keskmin</b>	770	889	102	108
<b>max</b>	874	100	110	115
<b>min</b>	590	739	888	102
<b>variatsioon koefitsient,</b>	8,1	6,6	5,2	4,0
	september–aprill			
<b>keskmin</b>	919	110	135	166
<b>max</b>	119	132	151	177
<b>min</b>	689	900	114	153
<b>variatsioon koefitsient,</b>	13,5	9,8	6,1	4,4

Traditsiooniliselt kirjeldatakse meteoroloogilise elemendi statistilist jaotust elemendi aasta, sesooni, kuu või dekaadi keskmise, standardhälbe, variatsioonikordaja või kvantiilide väärtustega. Tabelis 2 on toodud kütteperioodi temperatuuri- ning kiirgussummade olulisemad statistilised karakteristikud.

Kõige muutuvamaks elemendiks on nii septembris–aprillis kui septembris–detsembris õhutemperatuuri summa. Summaarse kiirguse summade varieeruvus on suurem kui 1,6 ja 3,2 m sügavuse pinnase temperatuuri summadel, kuid oluliselt väiksem pinnase- ja õhutemperatuuri vahede summadest. Kõige vähem varieeruvad pinnase temperatuurisummad 3,2 m sügavusel.

### **Empiiriliste tagatusnomogrammide meetod**

Praktikas ei piisa tihti keskmise ja muutlikkuse hinnangutest. Nii on taimekasvuks oluliste soojus- ja niiskusressursside tagatusi arvatud Eesti agrokliima ressursse kirjeldavas teatmikus (Agroklimatitsheskie resursy..., 1974) 1965. aastani ulatuva meteoroloogilise andmestiku alusel. Selleks et ülevaatlikult esitada mingi ajaperioodi võimalikke meteoroloogilisi ressursse, on töös (Tammets, 1983) välja töötatud meetod summaarse kiirguse summade tagatuse määramiseks empiiriliste tagatusnomogrammide abil. Selliste tagatus- ehk empiirilise jaotuse nomogrammide eesmärgiks on kirjeldada meteoroloogilise elemendi (kiirguse, temperatuuri, sademete vm) võimalike summade tagatust mitmesugustel ajaperioodidel. 1983. aastal avaldatud töös toodi selliste nomogrammide abil välja summaarse kiirguse summade tagatused alates suvalisest dekaadist kevadisel külviajal kuni vegetatsiooniperioodi lõpuni Tõravere 27-aastase vaatlusrea alusel. Meetod leidis kasutamist ka Poolas (Podogrocki, 1989). Sellised nomogrammid ei eelda suuruse normaalset jaotust ning nad ehitatakse agrometeoroloogias

juba varem kasutatud (Golzberg, 1961; Tammets, 1983) silutud empiiriliste tagatuskõverate alusel suvalise ajaperioodi jaoks. Matemaatikas kirjeldatakse selliseid funktsioone empiiriliste jaotusfunktsioonidena (Encyclopaedia ..., 1995).

*Tabel 2. Pinnase- ja õhutemperatuuri ning summaarse kiirguse summade statistilised karakteristikud kütteperioodil Tartus-Tõraveres*

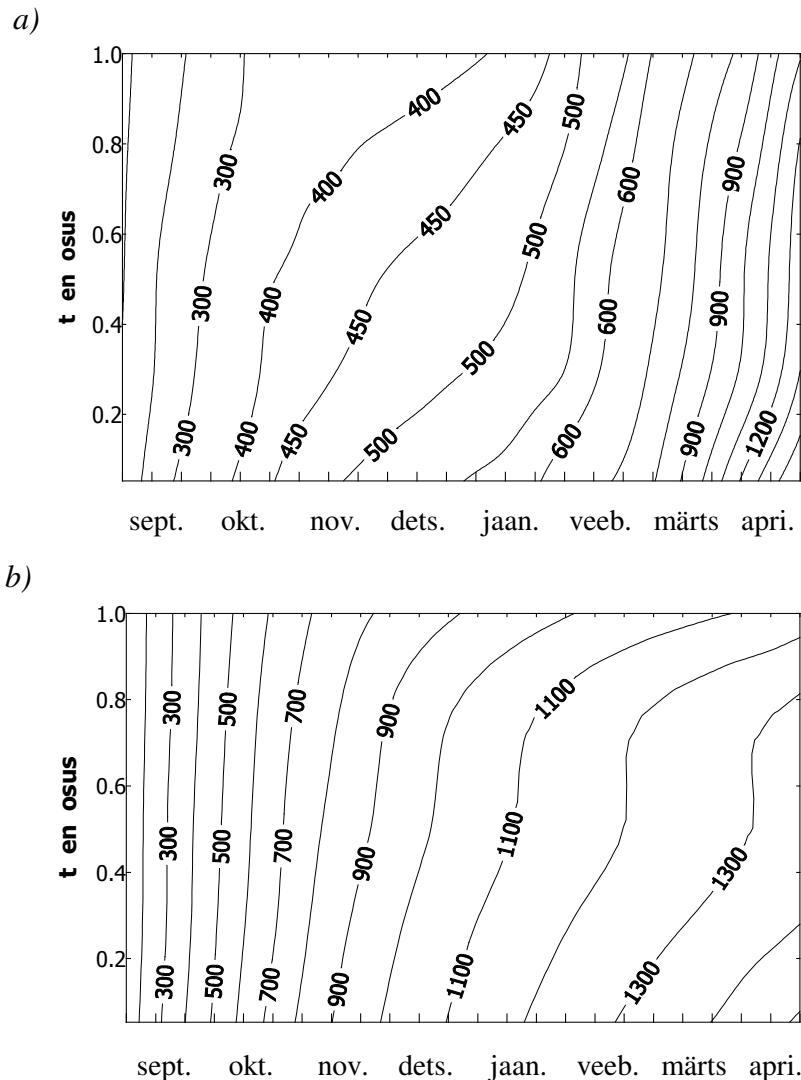
*Table 2. Statistical characteristics of soil and air temperature and total radiation sums during the heating period from September–April in Tartu and Tõravere*

	september-detsember	september-aprill
<b>3,2 m pinnas, °päeva</b>		
Keskmine	1085	1665
Mediaan	1082	1664
Standardhälve	44	74
Var.koefitsient	4	4
Min	1021	1537
Max	1154	1776
<b>1,6 pinnas, °päeva</b>		
Keskmine	1023	1359
Mediaan	1022	1353
Standardhälve	53	84
Var.koefitsient	5	6
Min	888	1149
Max	1103	1514
<b>õhk, °päeva</b>		
Keskmine	383	124
Mediaan	400	146
Standardhälve	139	380
Var.koefitsient	36	307
Min	56	-474
Max	601	711
<b>3,2 m pinnas - õhk, °päeva</b>		
Keskmine	694	1542
Mediaan	702	1450
Standardhälve	130	360
Var.koefitsient	19	23
Min	467	1065
Max	965	2191
<b>1,6 m pinnas - õhk, °päeva</b>		
Keskmine	640	1236
Mediaan	638	1128
Standardhälve	120	340
Var.koefitsient	19	28
Min	422	795
Max	858	1827
<b>summaarne kiirgus, MJ/m<sup>2</sup></b>		
Keskmine	460	1254
Mediaan	464	1254
Standardhälve	48	96
Var.koefitsient	10	8
Min	383	1090
Max	543	1491

Empiiriline tagatuskõver e jaotusfunktsioon  $P(x_i)$  on astmefunktsioon, mille astmed on korrutatud  $1/n$ -ga punktides  $x_i(1), \dots, x_i(n)$ , kus  $x_i(1) < \dots < x_i(n)$  on meteoroloogilise ressursi korrastatud rida mingi ajaperioodi (dekaadide vahemiku)  $i$  kohta ja  $P(x_i)$  on tõenäosus selleks, et antud meteoroloogilise ressursi väärtus on ajaperioodil  $i$  võrdne või suurem väärtusest  $x_i$ :

$$P(x_i) = \frac{1}{n} (n - k + 1), \text{ kus } 1 \leq k \leq n, \quad (5)$$

Empiiriline tagatusnomogramm on ehitatud selliste silutud empiiriliste tagatuskõverate seeria  $P(x_i)$  alusel. Ta on sisuliselt kolmemõõtmeline graafik, kus abstsissiteljele on kantud järjest pikenev (kumulatiivne) dekaadide vahemik  $i$ , ordinaatteljele tõenäosuse väärtus  $P(x_i)$  ning jooned graafikul esitavad kindlate vahemike järel meteoroloogilise elemendi kumuleeruvate summade  $x_i$  isojooni. Nomogrammil esitatud kõverate



Joonis 3. Summaarse kiirguse summade (a) ja 1,6 m sügavuse pinnase temperatuuri-summade (b) tagatusnomogramm Tõraveres ja Tartus kütteperioodil  
 Figure 3. Empirical distribution nomogram of total radiation (a) and soil temperature resources at the depth of 1.6 m (b) in Tõravere and Tartu

minimaalne ordinaadi väärtus ehk minimaalne tõenäosus  $P_{min}=1/N$ , kus  $N$  on aegrea pikkus. 1978.–1996. a vaatlusrea puhul on  $N=19$  ja  $P_{min}=0,053$ . Mida pikem on aegrida, seda vähem erineb minimaalne ordinaattelje väärtus nullist ja seda väiksem on meteoroloogilise elemendi maksimaalse väärtuse esinemise tõenäosus. Maksimaalne tõenäosuse väärtus 100% on vastav esitatud meteoroloogilise elemendi summade aegrea minimaalsele väärtusele (mis tähendab, et kõikidel juhtudel on tagatud vähemalt elemendi minimaalne väärtus).

Hindame andmete varieeruvuse sõltuvust ajaperioodi pikkusest. Tabeli 2 alusel võime öelda, et õhutemperatuuri summad on äärmiselt muutlikud, kõikides negatiivsete ning positiivsete väärtuste vahel. Sellepärast piirdume siinkohal vaid päikese summaarse kiirguse ja pinnase temperatuuri summade käsitlemisega. Summaarse kiirguse kiirgussummade puhul võib öelda, et mida pikema ajaperioodiga on tegemist, seda väiksem on andmete varieeruvus. Pinnase temperatuurisummade puhul suureneb aga nende muutlikkus ajaperioodi pikkuse kasvuga 1,6 ning 3,2 m sügavusel peaaegu paralleelselt. 3,2 m sügavusel pinnase- ja õhutemperatuuri vahede oktoobrikuuks kogunenud summade puhul on varieeruvus väga suur, võrreldes vastavate summadega 1,6 m sügavusel pinnase- ja õhutemperatuuri vahe juures. Seda peaks põhjustama õhutemperatuuri suurem mõju 1,6 m sügavusel oleva pinnase temperatuurile. Alates novembri lõpust on pinnase ja õhu temperatuurivahede summade muutlikkus väga vähe sõltuv perioodi pikkusest.

## Tulemused

Kütteperioodi soojus- ja kiirgusvarusid võib hinnata saadud nomogrammide alusel (joonis 3). Nomogrammide ehitamiseks on kasutatud MS Surferi tarkvaraprogrammi, mille alusel on arvatud kliimaressursside summad interpoleeritud ja silutud. Nomogrammi kasutamiseks on vaja leida abstsissiteljel dekaad, mis oleks uuritava perioodi lõppdekaadiks (perioodi algusdekaadiks on septembri 1. dekaad). Sellele lõppdekaadile vastavalt vertikaalilt võime leida uuritava elemendi võimalikud summad, mis on kogunenud antud ajaperioodi jooksul ja tagatud ordinaatteljel esitatud tõenäosusega.

Näiteks on septembri algusest aastavahetuseks kogunenud summaarse kiirguse summa  $400 \text{ MJ/m}^2$  tõenäosus veidi üle 0,9;  $500 \text{ MJ/m}^2$  summa tõenäosus aga vaid 0,25 (joonis 3); aprillikuu lõpuks on 1,6 m sügavusel temperatuuride summa  $1300 \text{ }^\circ\text{päeva}$  tõenäosus ligikaudu 0,8, samas kui  $1100 \text{ }^\circ\text{päeva}$  on 100%-liselt tagatud. Kirjeldatud nomogramme võib ehitada suvalise dekaadi alguse ja lõpuga ajaperioodidele.

## KirjandusReferences

1. (1974) Agroklimatitsheskie resursy Estonskoi SSR.. Gidrometeoizdat. Leningrad.
2. (1995) Encyclopaedia of mathematics, vol. 3. Acad. Publishers. Dordrecht, Boston, London: 950.
3. Golzberg, I. A., (1961) Agroklimatitsheskaja harakteristika zamorozkov v SSSR i metody borby s nimi. Gidrometeoizdat. Leningrad: 53.
4. Podogrocki, J. (1989) On solar energy resources in Poland during the vegetation period. Climate of the cultivated field. Part II. Agrometeorology and phytoactinometry. Warszawa: 245–250.
5. (1965) Sprovotshnik po klimatu SSSR 4, Gidrometeoizdat. Leningrad: 161.



6. Tammets, T. (1983) Opredelenie obespetsshennosti summarnoi radiatsiei selskohoostvaistvennoh kultur v raznoe otrezki vegetatsionnogo perioda. Meteorologija i gidrologija, Nr 3:114–116.
7. Tammets, T. (1999) Vegetatsiooniperioodi kliimaressursside hindamisest empiiriliste tagatusnomogrammide alusel. Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis 85: 41–50.

## **USE OF EMPIRICAL DISTRIBUTION NOMOGRAMS TO ESTIMATE CLIMATE ENERGETIC RESOURCES**

*Tiina Tammets*

Estonian Meteorological and Hydrological Institute  
e-mail: t.taam@emhi.ee

### **Abstract**

To use regenerative resources of energy it is necessary to also study the statistical distribution of energetic resources of climate. Using empirical distribution nomograms allows to estimate the possible values and possibilities of different energetic resources of climate (air and soil temperature; sun radiation) at different intervals during the heating period.

As an example the distribution of possible sums of total radiation, soil and air temperatures in Tõravere and Tartu are estimated using empirical distribution nomograms and also calculated and estimated by the aid of common statistical characteristics.

# VEE-ENERGIA KASUTAMISE OTSTARBEKUS JA PERSPEKTIIVID EESTIS

*Jaan Kivistik<sup>1</sup> ja Priit Hinto<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Eesti Põllumajandusülikool, Kreutzwaldi 64, 51014 Tartu, e-post: jaank@eau.ee

<sup>2</sup>MTÜ Eesti Alternatiivenergeetika Arenduskoda, Emajõe 3, 51008 Tartu  
e-post: priithinto@hotmail.ee

## Annotatsioon

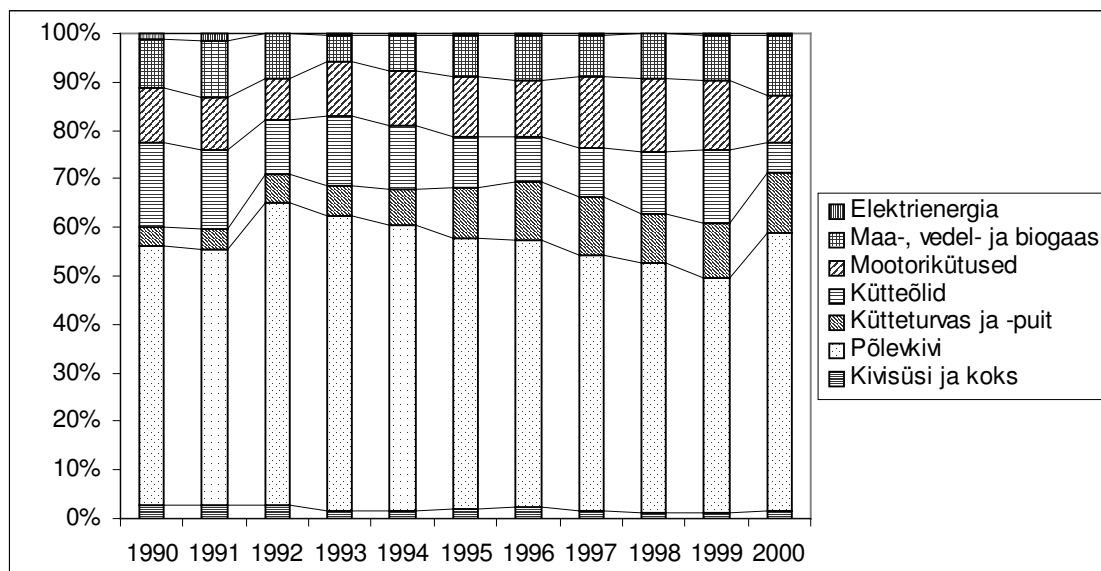
Eestis peab 1998. aasta kütuse ja energiamajanduse pikaajalise arengukava kohaselt taastuvate energiaallikate osakaal primaarenergia bilansis 1995. a 8%-lt aastaks 2010 suurenema 13%-ni ning põlevkivi osakaal vähenema samaaegselt 62%-lt 47–50%-ni.

Käesolevas uurimuses on juhitud tähelepanu taastuvate energiaallikate, eriti vee-energia, vähesele kasutamisele Eesti energiabilansis ning selgitatud vee-energia ulatuslikuma kasutuselevõtuga seotud probleeme.

## ENERGIA KASUTAMINE EESTIS, VEE-ENERGIA, HÜDROENERGIA

### Eesti primaarenergia ressursid

Eesti taasiseseisvumise järgselt toimusid olulised muutused riigi primaarenergia ressursides, mis hõlmavad varu aasta alguses + toodang ja import. Kümne aasta jooksul vähenesid primaarenergia ressursid üle kahe korra. Aastatel 1990–1993 toimus üldise majanduslanguse peegeldusena esimene oluline primaarenergia ressursside vä



*Joonis 1. Primaarenergia ressursside struktuur 1990.–2000. a, %*

*Figure 1. Structure of primary energy resources in years 1990–2000, %*

henemine. Aastatel 1994 kuni 1997 püsis primaarenergia ressursside teatav stabiilsus, millele järgnes uus, kuid mõõdukam langus aastani 2000. Aastast 2001 võime täheldada primaarenergia ressursside minimaalset suurenemist, millele võib järgneda uus stabiilsem periood. Primaarenergia toodangust kasutati 61% elektrienergia ja 14% soojuse tootmiseks. Kümne aasta jooksul toimunud muutusi primaarenergia ressursside struktuuris iseloomustab joonis 1.

Suurim primaarenergia tagavara on põlevkivi, mis kattis primaarenergia vajadusest 2000. aastal 57%. Aastal 2001 põlevkivi osatähtsus vähenes ligi 3%. Samaaegselt suurenes mootorikütuse osatähtsus, mis koos maagaasi sisseveo suurenemisega suurendas kütuse sissevedu kokku 7%.

Primaarenergia ressursside struktuuris ei ole toodud hüdro- ja tuuleenergia kohta eraldi andmeid. Ometi on hüdro- ja tuuleenergeetika vallas teatud elavnemine toimunud. Hüdro- ja tuuleenergiat toodetakse Eestis küll väikestes kogustes, kuid tootmine on aasta-aastalt kasvanud. Kui 1992. a toodeti tuule- ja hüdroenergiat 1 GW·h, siis 1995 a 3 GW·h ja 2000. a 5,7 GW·h (Energiabilanss, 2001). Hüdroenergiat toodeti 2001. aastal 7,5 GW·h (Energiabilanss, 2002). Nii võiks hüdroenergia kasvu 10 aasta jooksul lugeda seitsmekordseks, arvesse võttes, et tuuleenergia osatähtsus oli minimaalne. Hüdrojaamade koguvõimsus oli 1999. aastal 1,6 MW. Koguvõimsus suurenes ja moodustas 2001. aasta lõpuks 1,9 MW. Vaatamata tehtud edusammudele on hüdro- ja tuuleenergia osatähtsus primaarenergia bilansis siiski vaid 0,3% tasemel.

### **Vee-energia kasutamisest Eestis**

Terminoloogias peaks hüdroenergia = vee-energia. Et kirjanduses kasutatakse mõlemat vormi, on toodud tekstis paralleelselt ka mõlemad. Autorid ootavad üldsuse arvamust, kumb terminitest peaks saama ja jääma põhiliseks.

Kuna taastuvate energiaallikate kasutuselevõtt on väga aktuaalne kogu maailmas, tegeleb Eesti Alternatiivenergeetika Arenduskoda antud valdkonna arendamisega ning sellega seotud probleemidega. Võrreldes teiste alternatiivenergeetika valdkondadega on Eesti hüdroenergeetiline potentsiaal suhteliselt tagasihoidlik. Võttes kasutusele kogu tehniliselt kasutatava hüdroenergia potentsiaali, võimaldaks see elektrienergiat toota 0,1–0,2 TW·h aastas, mis moodustaks erinevatel hinnangutel kuni 3% Eesti praegusest elektrienergia tootmiseks kuluks 0,15–0,30 mln tonni põlevkivi.

### **Põhilised probleemid Eesti hüdroenergeetika arengus**

Näeme vee-energia kasutamisel järgmisi raskusi.

1. Muutused valitsuse seisukohtades ja seadusandluses.
2. Vajaliku tehnoloogia kõrge hind.
3. Pikk tasuvuse aeg.
4. AS Eesti Energia suur mõjuvõim ja seisukoht, mis ei soosi alternatiivsete energiaallikate kasutamist.
5. Keskkonnapiirangud paisutuseladel.

6. Ostukohustusega kaasnev hinna võimalik muutumine.
7. Hüdrorajatiste omandiküsimused.
8. Kooskõlastuste saamine.
9. Hüdrojaama sobitamine keskkonda.

**Seadusandluse mõju** on autorite hinnangul olulisimaks probleemiks vee-energia kasutuselevõtul. Vaid koostöös nii kohalike kui riigi institutsioonide ja ka muu maailma ettevõtete ja organisatsioonidega suudaksime saavutada taastuvenergeetika arengus märkimisväärseid tulemusi.

**Tehnoloogia** poolest ei teki hüdroenergeetikas erilisi raskusi, kuna see on väga kiiresti ja peaaegu täiuslikult arenenud. Enamik probleeme tekib hüdrojaama keskkonda sobitamisega. Paisutuse tagajärjel võib tekkida veehoidla liigsoojenemine, mis võib mõjutada olemasolevat keskkonda.

**Hüdrorajatiste omandiküsimused** on saanud üheks takistuseks nende kasutusele võtus. Tavaliselt on kas mitu omanikku või puudub omanik sootuks. See tekitab aga lisaküsimusi ning lahkkelisid erinevate ringkondade vahel, mille lahendamiseks võib kuluda aastaid.

**Kalakaitse probleem.** Väga paljudes kohtades, kus elutsevad vääriskalad, tuleb rajada nende liikumisvõimaluste tagamiseks kalatrepid. Kalatrepid on tehniliselt suhteliselt keerulised, sest nende valikul tuleb lähtuda antud koha eripäradest. Kalatrepid võivad nõuda üsna suuri täiendavaid kulusi.

**Kooskõlastuste saamine.** Siinkohal tuleb tutvuda mitmesuguste riiklike ja kohalike seadusandlike aktidega, nagu vee- ja maakasutuse tingimused, kalakasvatuse, metsakaitse ning muud keskkonnakaitseenõuded, tehnilised tingimused elektrivõrku ühendamiseks jms. Tuleb hinnata nende täitmise võimalust ja saavutada eelkooskõlastused vastavate ametkondadega.

### **Soovitavad meetmed vee-energia kasutamise arendamiseks**

- Kaasata rohkem selles valdkonnas tegutsevaid ettevõtteid uue energiaseaduse koostamisel.
- Pakkuda riigipoolset garantiid elektrienergia tootmise alternatiivsete võimaluste finantseerimiseks.
- Teha selgitustööd rahva hulgas ja vastavates institutsioonides, mida võib anda ning milliste probleemide lahendamisele aitab kaasa taastuvenergeetika arendamine Eestis.
- Muuta turustamise struktuuri, kuna seadusandlusest tulenevalt tohib tootja müüa oma toodetud elektrit ainult võrguettevõttele.
- Seadusandluses kaaluda ostukohustusega kaasneva kõrgema hinna määramist, mis soodustaks investeerimist ja tagaks mõistliku tasuvuse aja.
- Moodustada katusorganisatsioon, mille alla koondada kõik antud valdkonnast huvitatud ja sellega tegelevad organisatsioonid ning isikud.

## **Kokkuvõtteks**

Täpsema ülevaate saamiseks hüdroenergeetika hetkeolukorrast ja võimalustest on vaja teostada täiendavaid uuringuid. Selleks on välja töötatud uurimismetoodika, mis näeb ette koostööd kohalike omavalitsuste ja hüdrorajatiste omanikega. Uurimuse, mille käigus teostatakse vastav küsitlus ning seejärel andmete töötlus, tulemusena saame eelkõige hea ülevaate vee-energia kasutamisest ja antud valdkonna arengust Eestis. Loodetavasti tekib siis erinevates ringkondades ka suurem huvi selle valdkonna vastu.

## **KirjandusReferences**

1. (2001) Energiabilanss 2000. Eesti Statistikaamet. Tallinn.
2. (2002) Energiabilanss 2001. Eesti Statistikaamet. Tallinn.
3. Majandusministeeriumi komisjon. Esimees Tiit, V. (1999) Tuule- ja hüdroenergeetika arendamise stimuleerimise kava. Tallinn: 11 (käsikiri).

# **RATIONALITY AND POTENTIAL FUTURE USE OF WATER ENERGY IN ESTONIA**

*Jaan Kivistik<sup>1</sup> and Priit Hinto<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Estonian Agricultural University, e-mail: jaank@eau.ee

<sup>2</sup>Estonian Chamber of Alternate Energy Development, e-mail: priithinto@hotmail.ee

## **Abstract**

Subject to the long-term development plan for fuel and energy management of 1998, Estonia has to increase the ratio of renewable energy resources in balance with primary energy from 8% in 1995 to 13% by 2010, and the ratio of oil shale has to decrease from 62% to 47–50%.

This research deals with the low use of renewable energy resources, especially water energy, in the Estonian energy balance and explains problems connected with a more extensive use of water energy.

# SAARE MAAKONNA TAASTUVENERGIA RESSURSID JA NENDE KASUTAMISVÕIMALUSED

*Merit Kindsigo*

TÜ füüsika-keemia teaduskond, Jakobi 2, 51014 Tartu, e-post: merit100@hotmail.ee

## **Annotatsioon**

Töö eesmärgiks oli selgitada välja perspektiivsed alternatiivsed energiaallikad Saare maakonnas, saada ülevaade nende ressursside olemasolust, suurusest, kasutusest, probleemidest ja tulevikuväljavaadetest. Omaette peatükina on käsitletud ka turvast, mis siiani tekitab probleeme – kas turvas lugeda taastuvaks või taastumatuks energiaressurssiks. Euroopas loetakse see fossiilseks kütuseks, Eestis enamasti mitte ning kuna Saare maakonnas on olemas arvestatav turbavaru, on seda uurimuses käsitletud. Käsitletud on neid ressursse, millel on energeetikas perspektiivi. Tulemustena võib öelda, et maakonnas on piisavalt alternatiivseid energiaressursse, et maakonna energiatarbe vajadused täielikult või suures osas rahuldada. Maa soojus, päikese- ja tuuleenergia on energiaressursid, mis toovad reaalselt tehtud kulutused tagasi. Kõikide teiste kütteviiside juures saab rääkida süsteemi ülalpidamiskuludest ja elueast. Mõne taastuva energiakandja (nt puit, turvas, Maa soojus) hind on juba praegu konkurentsivõimeline, mõni jõuab selleni lähitulevikus. Kui kaua see aga aega võtab, et ükskord maakonna energiast arvestatav osa taastuvatest ressurssidest tuleb, seda on raske täpsemalt ette arvata.

PUIT, TURVAS, TUUL, PÄIKE, MAA SOOJUS

## **Taastuvenergia ressurssidest Saare maakonnas**

Taastuvate energiaallikate kasutamiseks on palju võimalusi, kuid kindlasti ei leidu Eestis teist nii ideaalset maakonda, kuhu kõik alternatiivid sobiksid ning kus nad ära tasuksid. Selles artiklis on püütud analüüsida, millised energiamajanduse variandid Saare maakonda sobiksid, millised mitte.

Hüdroenergial Saare maakonnas küll tulevikku ei ole. Peaaegu kogu saarte pinnamood on ühtlaselt madal ja tasane. Aasta keskmine sademete hulk on saartel paiguti alla 500 mm. Saarte jõgikondade pindala on 3963 km<sup>2</sup> ning nende energeetiline potentsiaal kõigest 4 MW. Maakonna tehniline hüdroenergeetiline ressurss on 0,6% (1998, Tuule- ja ...).

Üheks alternatiiviks saaks olla märgaladel kasvatatav biomass – pilliroog, hundinui, paju jms. Potentsiaalseid mälde – märgalalisi kasvukohti on Saaremaa ja Muhu saare lääne-lõuna-kagu poolsel rannajoonel vähemalt 20 000 ha (Estivo AS, 2001). Võimalik oleks veel ka rapsi ja kanepi kasvatamine. Rapsist saaks toota biodiislikütust, kasutades diislikütuse sünteesimise tehnoloogiat. Ülejäävat glütserooli saaks müüa farmaatsiatööstusele ja pressjääke kasutada kõrgeväärtusliku loomasöödana. Samuti võiks ka õlgi, sõnnikut ja vedelaid põllumajandusjäätmeid põletada soojusenergia saamise eesmärgil, kuid see ei tasu majanduslikult ära, sest tooraine on hajutatud.

Saaremaal tekkis 1999. aastal vastavaid jäätmeid umbes 16 000 tonni, nende võimalik energiaressurss oleks 43 GW·h. Prügi energeetiline kasutamine võib kõne alla tulla kaugemas perspektiivis Kuressaare linna energiavarustuses (Estivo AS, 2001). Lisaenergiaallikaks oleks prügilas tekkiv prügila- ehk biogaas, mida saaks ka edukalt soojuse tootmiseks ära kasutada. Saare maakonnas tekib jäätmeid nii vähe, et biogaasi kogumine ja energeetiline kasutamine ei ole praegu majanduslikult tasuv.

Mereäärse riigina (eriti saared) saaks laineenergiat küll kasutada, aga väga väikese mahulisena ning ainult mõne eramaja tarbeks, aga see ei tasuks majanduslikult ära, sest tehnoloogia on kallid.

**Siiski leidub ka selliseid taastuenergeetika variante, mida saaks Saare maakonnas kasutada – puidu-, turba-, päikese-, geotermaal- ja tuuleenergiat. Neid ressursse on järgnevalt lähemalt käsitletud.**

### **Puiduenergia**

Saare maakonna pindala on 292 219 hektarit, sellest 166 000 hektarit moodustab metsamaa. Metsasuse protsendiks on 56,8% Saaremaa üldpindalast. Metsa tagavaraks on 27,8 mln tihumeetrit, hektari tagavaraks 167 tm/ha (Maa-amet, 2002). Maakonna puiduressursse iseloomustab tabel 1.

*Tabel 1. Saare maakonna puiduressurss (Rüütli, 2002)*

*Table 1. Wood resources in Saare county (Rüütli, 2002)*

Hinnatud puiduressurss kokku	27 mln tm arvutuslikult 20–22 mln tm realselt	
Puiduressursi aastane juurdekasv	700 000 tm arvutuslikult 500 000 tm realselt	
Raiemaht Saaremaal 2001. a	174 600 tm	34,8% realsest juurdekasvust
Küttepuidu potentsiaalne ressurss aastas	150 000 tm	u 300 GW·h energiat

Ressursside arvutamisel on lähtutud asjaolust, et kõigest 22% metsamaa kohta on korraldatud andmed (metsamajanduskavad), seega võib mahtude arvutamisel eksimisprotsendiks olla kuni 20. Sellest omakorda tulenevadki arvutuslikud ja tegelikud ressursid.

AS Kuressaare Soojus on üks suuremaid soojuse tootjaid Saaremaal üldse (põhitootja Kuressaares, pakub elanikele soojusenergiat). Küttena kasutatakse puiduhaket, puukoort ja saepuru ning rasket kütteõli (AS Kuressaare Soojus, 2002).

Kuressaare linnas on viimastel aastatel tarbijatele müüdnud umbes 55–60 GW·h soojusenergiat aastas (AS Kuressaare Soojus, 2002). Peale puidu kasutab ettevõtte ka 2001. aasta algusest tükkturnast, mille osatähtsus on seni olnud 10–15% (arvatavasti kasvab kuni 20%-ni).

Lisaks AS Kuressaare Soojusele kasutavad puitu kütteks veel mitmed teisedki väiksemad katlamajad, nagu Orissaare katlamaja (põhiliselt siiski turvast, kuid puitu ka), Liiva katlamaja (kasutab samuti puitu ja turvast), Kärkla, Salme, Leisi, Sõmera,

Pärsama katlamajad (kasutavad muu hulgas ka puitu); ettevõtetest näiteks Enso Mööbel (Leisi vallas), AS Nasva Metall (Nasval), AS Saare EreK (Kuressaares) kasutavad kütteks samuti puitu (Tammeraid, 2002).

Põhiliselt kasutatakse praegu kütteks hakkpuitu, kuid võimalik on kasutada ka puidugraanuleid ehk pelletteid, mille jaoks tuleb vastavad põletid paigaldada. Teiseks võimalikuks variantiks oleks energiavõsa kasutamine. Eesti metsades näiteks hall lepp (ka hübriidlepp), lisaks veel arukask, pajud, haavad (ka hübriidhaab).

## Turbaenergia

Põhiline osa turbast (frees- ja tükkurvas, pressitud turvas ja turbabrikett) on tekkinud soodes ning rabades. Tingituna väikesest tihedusest on turba kütteväärtus madal. Suur niiskusesisaldus loob lisaprobleeme tema kuivatamisega. Väike tihedus ja tagasihoidlik kütteväärtus lubavad turbast kasutada ainult kohaliku kütusena.

Lähtuvalt säästva arengu seadusest on maakonnas turba aastaseks kaevandamis-määraks (maksimaalseks limiidiks) kehtestatud 20 000 tonni, sellest aastane kütusekogus on seni olnud umbes 15%. Turba laiemat kasutuselevõttu pidurdab aegunud seadmete kasutamine. Majanduslikku olukorda aitaks parandada turba müük välismaale. Maakonna teoreetiliselt kasutatav turbavaru on neli miljonit tonni.

Praegu on maakonnas kasutusel kolm suuremat turbamaardlat: Piila, Koigi ja Pelisoo. Nendes kaevandab turbast Saare EPT (tegevus käib realselt). Osa turbast (kütteturvas) müüakse kohalikele (maakonnasisestele) katlamajadele ja eraisikutele, valdav osa aiandusturbast transporditakse maakonnast välja. Turba kaevandamismahud on ära toodud tabelis 2 (Saar, 2002).

*Tabel 2. Turba kaevandamine Saare maakonnas viimastel aastatel*

*Table 2. Peat cutting in Saare county in some recent years*

Aasta	Kogus, tuhat tonni
1998	9,4
1999	18,5
2000	5,8
2001	12

Praegu kasutavad kohalikest katlamajadest turbast kas kütteilisana või põhiküttena AS Kuressaare Soojus, Liiva katlamaja, Nasva Metall, Leisi, Salme katlamajad, Orissaare Soojus, Muhu valla kommunalamet, Kärlas AS Termer ning samuti mõned väiksemad katlamajad. Paljud kasutavad turbast puiduküttele lisana, aga ka koos teiste kütustega, nt kivisüsi, kütteõli jms. Turba põletamisel lenduvad põhiliselt SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> ja lendtuhk, kuid üsna väikestes kogustes, seega pole spetsiaalseid õhupuhastusfiltreid vahele paigaldada vaja (seda soodustab ka asjaolu, et katlamajad on suhteliselt väikesed).

Saaremaal on soodest säilinud umbes 5%. Üks probleem jääsoode puhul on kuiven-datud turbaväljad. Õhu käes (kui vesi on alla lastud või ära juhitud) hakkab turvas lagunema ja selle käigus paiskub õhku süsihappegaas. Võimalikuks lahenduseks



peetakse juba eelpoolt nimetatud varianti – märgalapuhastid. Siis on turbaala pidevalt niiske, ega saa rohkem süsihappegaasi õhku paisata. Samas on võimalik ka reovett puhastada, seega oleks lahendus mitmekordselt kasulik. Kuivendatud soid peetakse tööstuse järel järgmiseks suure süsihappegaasi emissiooni põhjustajaks, seega tuleks probleemi tõsiselt suhtuda ja võimalikke lahendusi otsida.

### **Päikeseenergia**

Päikeseenergiat on võimalik kasutada päris edukalt, ehkki Eesti asub peaaegu 60. laiuskraadil. Aastas langeb igale ruutmeetrile keskmiselt 3,5 GJ e 970 kW·h kiirgusenergiat. Kaasajal on sellest võimalik kiirgusvastuvõtjatega kinni püüda ja soojusakumulaatorisse salvestada vähemalt 60%. Päikeseenergia kollektoreid saaks kasutada eraldi asuvate väikeste maa-asulate või talude sooja tarbevee varustuses (Estivo AS, 2001).

1995. a augustis paigaldati esimesed neli päikesepaneeli NMO Saaremaa talituse Viirelaidu tuletorni. Käesolevaks ajaks on Saaremaa talituses kasutusel 84 päikesepaneeli, mille kogu installeeritud võimsuseks on 4,28 kW (Lepik, 2002).

Lisaks Veeteede ameti Saaremaa talitusele on päikesepaneele kasutanud Saare maakonnas vaid mõned üksikud tarbijad (paar väikest suvilat). Eestis on heaks näiteks Keila SOS lasteküla ja Vändra haigla. Väiksema pilvisuse tõttu on saartel ressursid suurem kui mõnel pool Mandri-Eestis, nt Paide läheduses on see vaid 250 kW·h/m<sup>2</sup>, saartel aga isegi 290 kW·h/m<sup>2</sup> (Tomson, 1998).

300-liitrine helioenergia salvesti hind on 20 000–40 000 krooni, peaaegu samasuguse keskküttekatla vesisalvesti maksab umbes 15 000 krooni, võrdväärne elektriboiler aga ainult ligikaudu 5000 krooni (Tomson, 2000). 20 m<sup>2</sup> suuruse kollektoripinnaga seade koos kõikide tehniliste sõlmede ning paigaldusega maksab umbes 160 000 krooni.

### **Geotermaalenergia**

Geotermiliseks energiaks nimetatakse aluspõhjas tekkivat ja seal kogunevat soojust. Peamiseks soojusallikaks on pika pooldumisajaga uraani, tooriumi ja kaaliumi isotoopide lagunemine maakoos, nii et aluspõhja temperatuur tõuseb maapõue sügavuse suunas, umbes 10–20 °C/km (Anttila jt, 1996). Ehkki geotermaalenergia tekkeaj on väga pikk, kasutatakse seda siiski vähem, kui seda tekib, ning sellepärast võib Maa soojuse lugeda taastuvaks energiaallikaks. Kollektoreid on nelja liiki: pinnasekollektor (maasisene), maakollektor (mäekollektor), veekogukollektor ja avatud süsteem e põhjaveekollektor.

Eestis on paigaldatud viimastel aastatel üle 200 soojuspumba, seda vaatamata süsteemi suhteliselt suurele alginvesteeringule ja lahenduse uudsusele. Enamik installatsioone on teostatud eramutes. Paigaldatud soojuspumpade koguvõimsuseks on umbes 2,5 MW ja nende poolt toodetud soojuse hulk on ligikaudu 7,2 GW·h. Aastaks 2010 võib eeldada soojuspumpade koguvõimsuse kasvuks kuni 25 MW (Kallaste, 2001). Maasoojuspumpa kasutab Saare maakonnas praegu kinnitamata andmetel ainult mõni üksik eraisik oma maja kütmiseks (põhiliselt maasisest kollektorit). Teoreetiliselt võib maakonnas kasutada kõiki kollektoriliike.

Ressursside suurus on sisuliselt piiramatu niikaua, kuni päike soojendab maapinna pealmisi kihte, probleem võib olla hoopis selles, et on vaja lisaks elektrit, aga seegi on suhteliselt väike energiakogus (umbes kolmandik üldkogusest), mida on vaja pumba töötamiseks.

Suurimateks eelisteks on eksploatatsiooni odavus ja hooldamisvajaduse ning tuleohu puudumine. Soojuspumbas puudub põlemisprotsess, kuid samas on suhteliselt kallid seadmed. Töötav süsteem, mis tagab 120–150 m<sup>2</sup> elamus kütte ja sooja vee, maksab 130 000 krooni, ja 250–270 m<sup>2</sup> elamus on hinnaks 170 000 krooni. Eramusse paigaldatud soojuspumbasüsteem tasub end sajabrotsendiliselts ära umbes kaheksa aastaga. (Movek..., 2002).

## **Tuuleenergia**

Tuule kasutamisele kaasaegsete generaatoritega pani Eesti alguse Eesti ja Taani Keskkonnaministeeriumide ühisfinantseerimisel ja Biosfääri Kaitseala Hiiumaa Keskuse poolt koos Taani firmadega püstitatud ning 1997. aasta septembris käiku antud 150 kW nädistuulejaamaga Hiiumaal Tahkuna neemel. 1999. aastal tootis tuulik 313 MW·h elektrit, lõplikult seadistatud generaatori aastatoodanguks prognoositakse kuni 350 MW·h. Tuuliku omanikuks on Biosfääri Kaitseala Hiiumaa Keskus. Tuuliku maksumus oli 3,2 miljonit krooni (1998, Tuule- ja ...), millest 80% maksis Taani Keskkonnafond, ülejäänud raha tuli Eestist.

Hiiumaa tuuliku kogemus näitab, et ka Saaremaal tuleks alternatiivvariante julgelt katsetada. Kuna ülekandekaod elektrienergia transportimisel Saare maakonda on märkimisväärsed, on otstarbekas toota osa vajaminevast elektrienergiast kohapeal. Siiani on see energiaressurss enamjaolt kasutamata ning põhjuseks on olnud investeeringute suur maksumus ja projekti pikk tasuvusaeg. Tuuleparkide püstitamise põhiliseks probleemiks ongi nõuetele vastavate elektriliinide ehitamine. Maakonna elektriliinidest enamus on vananenud, halva ühendusega ning mõeldud suhteliselt väikeste võimsuste edastamiseks. Tuulikuid tahetakse püstitada ranniku lähedale, enamasti väga kaugete keskusest, kohalikud liinid aga ei vasta kuidagi tuulikute võimsusvajadustele ega kehtestatud standarditele. Liinide uuendamise maksumuseks arvestatakse sadu miljoneid kroone, kuid siiani on selgusetu, kes need liinid kinni peaks maksma. Näiteks Suurde väina oleks vaja uut 110 kV elektriliini, mille maksumus üksi oleks umbes 90 miljonit krooni. Kui seda ei tehta, suudavad Võiküla ja Tusti alajaamad Saare- ja Hiiumaalt kokku võtta vaid 9,5 MW võimsust (Raesaar, 2001).

Viimasel ajal on väga suurt huvi tuntud Saaremaa rannikualade vastu. Mitme potentsiaalse ala kohta nagu näiteks Sõrve sääre rannikupiirkond, on tehtud juba ka keskkonnamõjude hindamisi. 2001. aastal pandigi püsti esimene elektrituulik (*Nordtank 300F*) Sõrve poolsaarel Türju külas, kuid hetkel see seisab. Tuuliku püstitajaks oli Tartu firma OÜ Meritreid, (Lember, 2001). Sama firma poolt 2002. aasta juulis püstitatud generaator Sõrve poolsaarele Sääre külla aga töötab edukalt juba mitmendat kuud.

Firma Tuuleenergia OÜ plaanib kahe tuulepargi ehitamist Salme valda Lassi külla ning Pihla valda Sutula lahe suudmes Vetela ninale ja Sääretükile (Estivo AS, 2001). Taani kapitalil põhinev OÜ Roomapark on uurinud võimalusi rajada tuulepark

Kuressaare lähistele Roomassaare poolsaarele (Sepp, 2001). Välja on pakutud veel Üüdi bet Salme vallas, Sikassaaret Kuressaare lähistel, Muratsit Kaarma vallas jt.

Tuuleenergia kasutamine eeldab võimalikult tugevat ja püsivat tuult. Lääne-Eesti saarestik on Lääne- ja Loode-Eesti kõrval Eesti kõige tuulisem piirkond. Aasta keskmine tuule kiirus ulatub Saaremaa läänerannikul 7,5–8 m/s. Suuremas osas rannikuvööndis on aasta keskmine tuulekiirus 5–6 m/s. Vaid tugevate läänetuulte eest Saaremaa varju jääval Muhumaal ja Väinamere rannikul ei ületa keskmine tuule kiirus enamasti 5 m/s. Liivi lahe kohal puhuvad tuuled on avamerega võrreldes Kuramaa varju tõttu nõrgemad (6–7 m/s) ja Ruhnu saare kohal kahaneb metsa toimet aasta keskmine kiirus 5,5 m/s-le (Kull, 1999).

Tuuleressursside säästlikuks kasutamiseks on oluline alustada juba tööde varases staadiumis kõige sobivamate alade piiritlemise ja planeerimisega. Tsoneeringu eesmärgiks oli välja selgitada alad, mis on keskkonna- ja sotsiaalmajanduslike tegurite poolest sobilikud tuuleenergeetika arendamiseks (Kull, 2001). Kaks esimest tsoneeringutööd tehti Saare Maavalitsuse tellimisel 2001. aastal, kolmas valmis 2002. aasta algusel samuti maavalitsuse tellimisel.

Tuuleenergia aastane jaotus järgib väga hästi Eesti elektrienergia tarbimise koormuse jaotust, mistõttu tuuleenergia kasutamine aitaks osaliselt leevendada talvist tippkoormuse perioodi. Võttes arvesse piirkonnad, kus aasta keskmine tuule kiirus on üle 5 m/s ning eeldades ühte tuuleturbiini iga 2 km<sup>2</sup> kohta, saame Eesti teoreetiliselt kasutatavaks tuulepotentsiaaliks 7 TW·h aastas. Need arvud näitavad, et tuulevarud on suured. Uuringute põhjal ei oleks 25% saarte ja rannikualade territooriumist turbiinide kasutamiseks mingeid takistusi. Ainuüksi nendel aladel oleks võimalik konfliktivabalt aastas toota Lääne-Eesti saarestikus ligi 150 GW·h (arvestatud on neid alasid, kus aasta keskmine tuule kiirus on üle 6 m/s) (Kull, 1998). See on üsna tagasihoidlik hinnang.

## Kirjandus/References

1. Anttila, P., Ojanen, M., Puhakka, M., Vuorisalo, T., Frey, T. (1996) Globaalsed keskkonnaprobleemid. Tallinna Tehnikaülikool.
2. AS Kuressaare Soojus (2002) [<http://www.kuressaaresoojus.ee>]. 06/04/2002.
3. ESTIVO AS (2001) Saaremaa energiakasutuse strateegia. Projekt nr 217062. Tallinn. (Käsikiri).
4. Kallaste, T. (2001) Eesti kui ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooni liikmesriik. Tallinn.
5. Kull, A. (1998) Lisa 9.1. Lühiülevaade Eesti tuuleenergiaressurssidest. Tuule- ja hüdroenergiaeasemete rakendamise ja kasutamise stimuleerimise kava. Komisjoni ettepanekud. Kom. esimees Tiit, V. Majandusministeerium. Tallinn: 27–30 (käsikiri).
6. Kull, A. (1999) Saaremaa tuuleatlas. Lääne-Eesti Saarestiku Biosfääri Kaitseala Saaremaa Keskus. (Käsikiri).
7. Kull, A. (2001) Pöide, Orissaare, Kihelkonna, Torgu ja Lümända valla tsoneering tuuleenergia kasutamiseks keskkonna- ja sotsiaalmajanduslike tegurite alusel. Lääne-Eesti Saarestiku Biosfääri Kaitseala Saaremaa Keskus. Kuressaare. (Käsikiri).

8. Lember, A. (2001) Esimene tuuleturbiin kerkib lahkkelide saatel. Meie Maa, 29.03.2001.
9. Lepik, M. (2002) Veeteede ameti Saaremaa talituse andmed päikeseplatade kasutamisest. (Käsikiri).
10. Movek K Grupp (2002) Soojuspumbad ja maakütteseadmed. [<http://www.movekgrupp.ee/>]. 16/02/2002.
11. Raesaar, P. (2001) Probleeme elektriüulikutel liitumisel elektrivõrguga. Tallinna Tehnikaülikool. Tallinn. (Käsikiri).
12. Rütli, R. (2002) Puiduressursside ja raiemahtude andmed. Maa-amet. Saaremaa Keskkonnateenistus. (Käsikiri).
13. Saar, U. (2002) Maavaravarude bilansi aruanne. Saaremaa Keskkonnateenistus. Kuressaare. (Käsikiri).
14. Sepp, A. (2001) Roomassaare poolsaar tuuleenergeetikute sihikul. Meie Maa, 20.05.2001.
15. Tammeraid, L. (2002) Saaremaa Keskkonnateenistus. Kuressaare. (Käsikiri).
16. Tomson, T. (1998) Tehnilise helioressursi jaotus Eestis. Keskkonnatehnika (2): 38–39.
17. Tomson, T. (2000) Päikesesooja olmevee hinnast. Keskkonnatehnika (3): 18–19.
18. (1998) Tuule- ja hüdroenergiaseadmete rakendamise ja kasutamise stimuleerimise kava. Komisjoni ettepanekud. Kom. esimees Tiit, V. Majandusministeerium. Tallinn: 63 (käsikiri).

# RENEWABLE ENERGY RESOURCES IN SAARE COUNTY AND THE POSSIBILITIES FOR THEIR UTILISATION

*Merit Kindsigo*

Faculty of Physics and Chemistry, University of Tartu, e-mail: merit100@hotmail.ee

## **Abstract**

The goal of the research work was to find out the possibilities of alternative energy resources in Saare county to get a review of the resources, usage, problems and future prospects. During the research it appeared that there was no hydro energy, or wave and tidal energy, and that at the moment it would be Utopian to use garbage and landfill gas as an energy resource. The growing of biomass is problematic at the moment, although it is possible in the future.

There were plenty of other resources. In the county there is a lot of wood and peat – enough to satisfy the county's heat needs. Also the county has considerable resources of solar and geothermal energy. But the most significant resource, which could be used in the future, is wind energy.

Wind energy could satisfy the county's electricity needs and even more than that (at least 150 GW·h in a year). At the moment the establishment of wind turbines is very slow, because of the problems that arised. It is promising that there are plenty of people and firms, who are interested in developing wind energy. Furthermore – at the moment several projects are being realised.

Briefly, in the county there are lots of different alternative energy resources which can satisfy the county's needs totally or partially. Most of these resources are already now cheap enough to compete with fossil fuels. Using renewable energy resources means environmental progress for us. But how long before a considerable part of county's energy needs come from renewable resources, is a matter of time.

# TUULEGENERAATORI ABIL SAADAVA ENERGIA KOGUSE PROGNOOSIMINE

*Tõnis Peets, Veli Palge, Andres Annuk ja Jaan Lepa*

EPMÜ põllumajandusenergeetika instituut, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu  
e-post: tpeets@eau.ee, pvel@eau.ee, annuk@eau.ee, jlepa@eau.ee

## **Annotatsioon**

Artiklis antakse meetodika tuulegeneraatori poolt toodetava elektrienergia aastase koguse prognoosimiseks agregaadilisele elektrilise väljundvõimsuse tunnusjoone ja paikkonna tuule kiirusliku sageduse jaotuse alusel.

TUUL, TUULE KIIRUS, VÕIMSUS, ENERGIA

## **Tuuleelektrigeneraatori tunnusjoon ja selle modelleerimine**

Põhilistes infomaterjalides on tuulegeneraatorite kohta antud nende väljundvõimsuse sõltuvus tuule kiirusest graafikuna või tabelina.

Arenenud tuuleenergeetikaga maades (Taani, Saksamaa, USA, jne.) soovitatakse käesoleval ajal kasutada tuuleparke, mis on komplekteeritud suhteliselt suure võimsusega üksikagregaatidest (Paju ja Kraav, 2002). Eesti Vabariigis töötas kuni viimase ajani ainult üks kaasaegne tuulegeneraator Hiiumaal Tahkunas võimsusega 150 kW ja aastatoodanguga umbes 325 MW·h. Oktoobris 2002 avati Virtsus tuulepark kolme 600 kW tuulikuga koguvõimsusega seega 1,8 MW (<http://www.postimees...>). Järgmiste paigaldamisest on ajakirjanduses pidevalt juttu olnud, kuid kavade elluviimine on ilmselt takerdunud rahapuuduse taha (Talvar, 2002).

Ometi leidub vabariigis entusiaste, kes on omal algatusel ehitanud tuulejõujaamu – peamiselt ruumide kütmiseks. Maaelanikkonna huvi tuuleenergeetika vastu näitab ka fakt, et EPMÜ põllumajandusenergeetika instituudi poole on pöördunud konsultatsiooni saamiseks tuuleelektrijaamade ehitamise pärast. Viimastel juhtudel on tegemist peamiselt väiksema võimsusega seadmetega, kuna suuremate paigaldamine individuaalvajadusteks käib üksikisikule nii tehnilistel kui ka finantsilistel põhjustel üle jõu. Ka leidub vabariigis kohti, kus puuduvad Eesti Energia elektrivõrgud ja nende ehitamine ei ole tasuv. Taolisel juhul on samuti olemas vajadus suhteliselt väikese võimsusega tuulegeneraatorite järele.

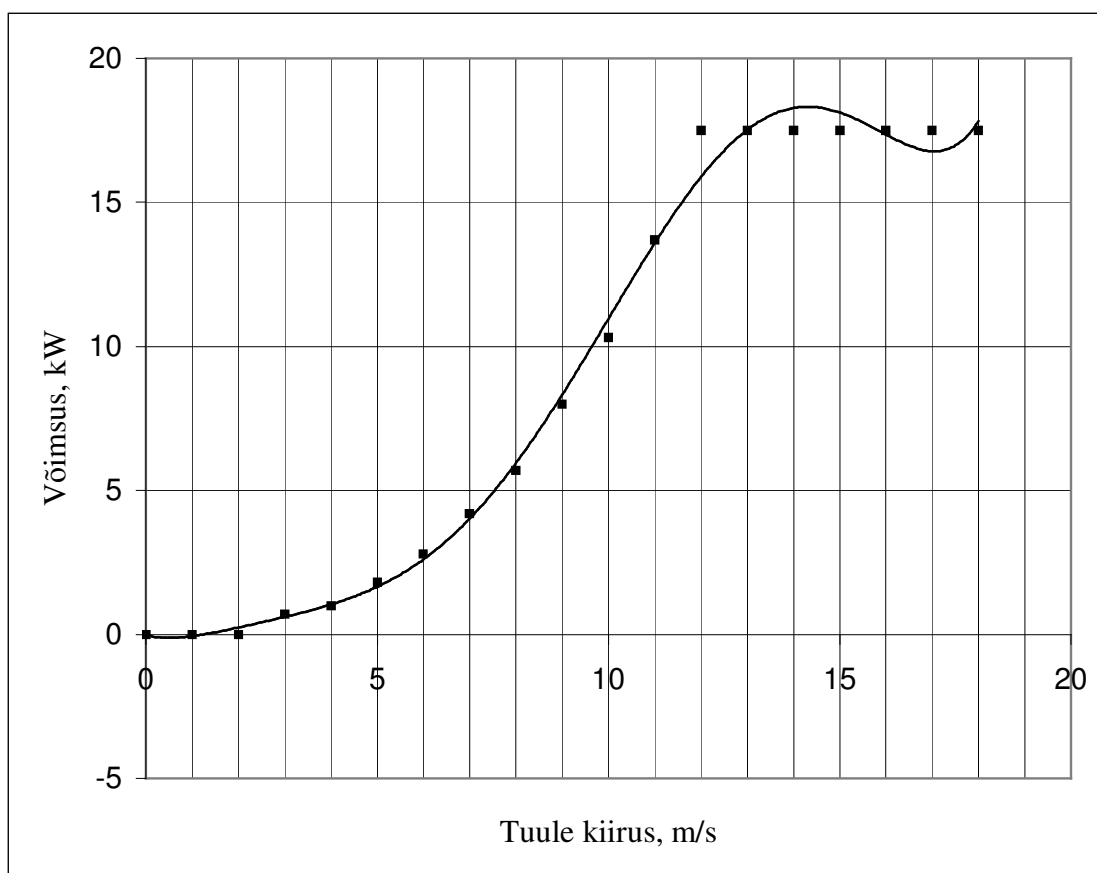
Elektrienergia hinna jätkuv tõus sunnib ka tavalist maaelanikku mõtlema võimalusele toota ise elektrienergiat kas või oma vajaduste osaliseks rahuldamiseks.

Väiketuulikute kohta on viimasel ajal ajakirjanduse veergudel sõna võtnud ka vabariigi tuntuimad taastuvenergeetika spetsialistid (Tomson, 2002). Tuulikute paigalduskohana eelistab enamik autoreid siiski tuulisemaid saari ja rannikualasid. Tuuleelektrijaamade paigaldamise võimalustest sisemaale üldjuhul lihtsalt ei räägita. Ometi oli ka sisemaal ülemöödunud sajandil ja ka möödunud sajandi algupoole arvukalt tuulikuid, põhimiselt kasutatud jahuveskitena. Käesoleva artikli autorid, olles uurinud muuseas ka tuult Tartus, on arvamusel, et võimalused ennast tasuvate tuuleelektrijaamade

ehitamiseks on olemas ka siin. Liiatigi on Tartust paarikümne kilomeetri raadiuses vähemalt kaks omaehitatud tuulejõujaama.

Eeltoodut arvestades ja tuginedes meie oma mõõtmistele üritavad autorid tuuleelektriagregaadi tunnusjoone ja Tartu tuule kiirusliku sageduse jaotuse alusel (Kull, 1996) luua lihtsat meetodikat võimaliku toodetava elektrienergia koguse prognoosimiseks. Tuulejõuseadmete tunnusjoonte uurimine näitas, et neid on võimalik modelleerida piisava täpsusega 5...6 astme polünoomiga tabelarvutusprogrammi Exceli keskkonnas.

Kõike eespool toodut arvesse võttes püüdsid autorid leida individuaaltarbijale sobiva tuulegeneraatori, mis, arvestades paikkonna suhteliselt tagasihoidlikke tuuleolusid, hakkaks energiat andma tuule kiirusel minimaalselt 3 m/s. Taoliseks seadmeks osutus näiteks Jacobsi firma 17,5 kW nimivõimsusega tuuleturbiin (<http://www.wind...>), mis hakkab energiat andma tuule kiirusel 2,5 m/s . Selle agregaaadi tunnusjoone punktid ja tunnusjoont modelleeriva polünoomi trendijoon on toodud joonisel 1.



Joonis 1. Firma "Jacobs" 17,5 kW tuuleturbiini tunnusjoone punktid koos seda modelleeriva kuuenda astme poliinoomiga

Figure 1. The characteristic curve points for Jacobs 17,5 kW wind turbine with the modelling of it by sixth order polynomial

Polünoomi võrrand:

$$P = 3 \cdot 10^{-5} \cdot v^6 - 0,0014 \cdot v^5 + 0,0226 \cdot v^4 - 0,1456 \cdot v^3 + 0,4632 \cdot v^2 - 0,3685 \cdot v - 0,0273, \quad (1)$$

kusjuures korrelatsioonikordaja  $R^2 = 0,9951$ .

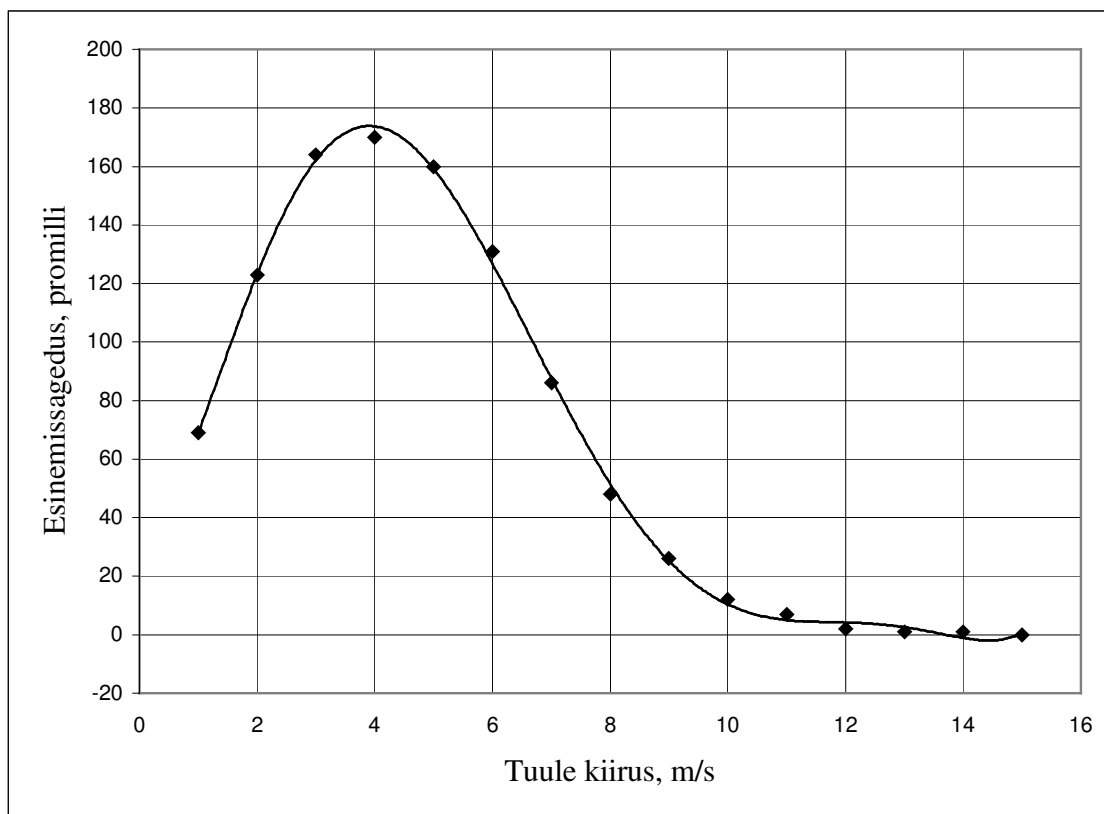
### Tuule kiirusliku sageduse jaotus ja selle modelleerimine

Toodetava energiahulga prognoosimiseks aga on vaja teada ka tuulte kiirusliku sageduse jaotust antud maakohas. Eesti kõikide põhiliste kohtade jaoks, kus toimub tuuleandmete registreerimine, on andmed toodud Ain Kulli magistritöös “Eesti tuuleatlas”(Kull, 1996).

Tuule kiiruslik jaotus Tartu kohta on modelleeritav 6. astme polünoomiga (vt joonis 2):

$$f_v = 0,0017 \cdot v^6 - 0,0866 \cdot v^5 + 1,6112 \cdot v^4 - 13,111 \cdot v^3 + 38,035 \cdot v^2 + 10,261 \cdot v + 32,318, \quad (2)$$

kus korrelatsioonikordaja  $R^2 = 0,9989$ .



Joonis 2. Tuule kiiruslik jaotus Tartus ja selle modelleerimine 6. astme polünoomiga  
Figure 2. The distribution of wind speed in Tartu and the modelling of it by sixth order polynomial

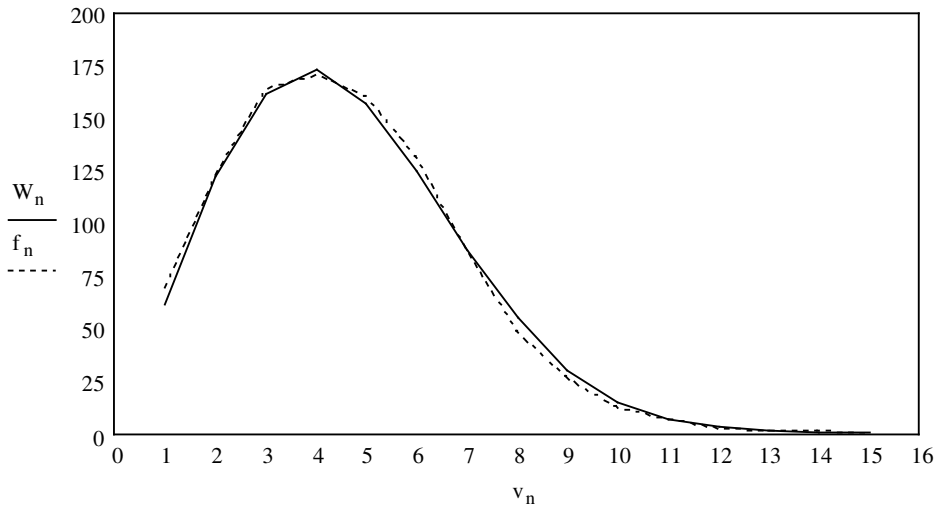
Tuule kiiruslikku jaotust käsitlevas kirjanduses soovitatakse seda modelleerida Weibulli jaotuskõveraga. Autorid leidsid selleks järgmise valemi:



$$W_n = k \cdot \left\{ \left( \frac{b}{a} \right) \cdot \left[ \left( \frac{v_n - c}{a} \right)^{b-1} \cdot e^{-\left[ \frac{v_n - c}{a} \right]^b} \right] \right\}, \quad (3)$$

kus  $k = 1000$  on üleminekutegur promillidele,  $a = 5,2$ ,  $b = 2,14$  ja  $c = 0,002$ .

Tegelik jaotuskõver koos teda modelleeriva Weibulli jaotuskõveraga on toodud joonisel 3



Joonis 3. Tuule kiiruste jaotuse (Tartus) modelleerimine Weibulli jaotuskõveraga  
Figure 3. Modelling the wind velocity distribution in Tartu by Weibull's curve of distribution

### Toodetava energiakoguse prognoosimine

Energiatoodangu ligikaudsel määramisel lähtuvad autorid järgnevatest kaalutlustest. Kui on teada tuulegeneraatori võimsuse sõltuvus tuule kiirusest ja tuule kiiruste esinemissagedus antud maakohas (näiteks promillides osana aastatundide arvust), saame vastava tuule kiiruse esinemise koguaaja:

$$t_{vn} = f_n \cdot 8,76, \quad (4)$$

kus  $f_n$  on antud tuule kiiruse esinemissagedus promillides aasta kogutundide arvust ja 8,76 – ühe promilli väärtus tundides (8760/1000).

Teades mingi tuule kiiruse esinemise aega aastas ja agregaadi võimsust antud tuule kiirusel  $P_n$ , saame sellel tuule kiirusel aastas toodetud energia

$$W_n = P_n \cdot t_{vn} \quad (5)$$

ja aastas võimalikult toodetava koguenergia erinevatel kiirustel toodetud energiatega summana

$$W = \sum P_n \cdot t_{vn}. \quad (6)$$

On üldiselt teada, et tuule kiirus kõrgemates õhukihtides on suurem ning kirjanduses soovitatakse selle arvessevõtmiseks valem

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^k, \quad (7)$$

kus  $v_1$  on tuule kiirus aluseks võetud kõrgusel (nt  $h_1 = 10$  m),  $v_2$  – tuule kiirus uuel arvutuslikul kõrgusel  $h_2$  ja  $k$  – tegur, mille väärtuseks Eestis soovitatakse võtta 0,23.

Tehtud arvutused eeltoodud tuuleagregaadi tüübi kohta Tartu tingimustes on toodud tabelis 1.

*Tabel 1. Toodetava energiakoguse prognoosimine Tartu tingimustes*

*Table 1. Prognosis of produced energy in Tartu's wind conditions*

Tuule kiirus, m/s	Võimsus, kW	Tuule kiiruste jaotus, ‰	Tegelik aeg, t	Antav energia, kW·h	Kõrgusel 25 m		
					Tuule kiirus, m/s	Antav võimsus, kW	Antav energia, kW·h
	0	0	0	0	0	0	0
1	0	69	604,44	0	1,235	0	0
2	0	123	1077,48	0	2,47	0	0
3	0,7	164	1436,64	1005,648	3,705	0,92	1321,709
4	1,0	170	1489,20	1489,2	4,94	1,68	2501,856
5	1,8	160	1401,60	2522,88	6,175	3,03	4246,848
6	2,8	131	1147,56	3213,168	7,41	5,262	6038,461
7	4,2	86	753,36	3164,112	8,645	8,487	6393,766
8	5,7	48	420,48	2396,736	9,88	12,576	5287,956
9	8,0	26	227,76	1822,08	11,115	17,171	3910,867
10	10,3	12	105,12	1082,736	12,35	17,5	1839,6
11	13,7	7	61,32	840,084	13,585	17,5	1073,1
12	17,5	2	17,52	306,6	14,82	17,5	306,6
13	17,5	1	8,76	153,3	16,055	17,5	153,3
14	17,5	1	8,76	153,3	17,29	17,5	153,3
15	17,5	0	0	0	18,525	17,5	0
16	17,5	0	0	0	19,76	17,5	0
17	17,5	0	0	0	20,995	0	0
18	17,5		0	0	22,23	0	0
Kokku			8760	18149,84			33227,36
Maksimaalselt võimalikust				0,1183942			0,216747

Kui antud agregaat töötaks aastaringselt nimikoormusel, oleks saadav energiakogus 153,3 MW·h. Tabelist 1 selgub, et Tartus töötamisel, tuule kiiruse mõõtekohas 10 meetri kõrgusel, oleks see umbes 18 MW·h ehk 11,8% võimalikust. Töötades samades tingimustes 25 meetri kõrgusel oleks see ~ 33 MW·h ehk ligi 22% võimalikust. Viiekümne meetri kõrgusel oleks teoreetiliselt võimalik toodang 48 MW·h. Kuna aga tegelikud mõõtmisandmed Tartu kohta taolistel kõrgustel puuduvad, on arvutustulemused puhtteoreetilised.

## Kokkuvõte

1. Tuuleenergia kasutamisel Eesti mandrialal on pikaajalised traditsioonid ja kogemused ning arvutused näitavad, et näiteks Tartu piirkonnas on võimalik tuulest saada arvestatavaid energiakoguseid.

2. On olemas reaalne vajadus mõne kuni mõnekümne kilovattise võimsusega tuuleelektrijaamade järele. Kuna nende hankimine on meie oludes seotud nii tehniliste kui ka majanduslike probleemidega, tuleks tõsiselt kaaluda võimalust nende tootmiseks Eestis.
3. Kasutamiseks mandrialadel oleks vajalik paigaldada tuulegeneraatorid kõrgematesse kohtadesse ning kõrgematele mastidele.
4. Esitatud meetodikat, kuigi see on ligikaudne, võib soovitada orienteerivateks kalkulatsioonideks tuuleseadme paigalduskoha ja agregaadid tüübi valikul.
5. Igal juhul tuleks sisemaa tingimustes soovitada tuulejõuseadmeid, mis hakkavad energiat andma väiksemate tuule kiiruste (2,5...3 m/s) juures.

### **Kirjandus** $\bowtie$ **References**

1. Kull, A. (1996) Eesti Tuuleatlas. Magistritöö. Tartu: 78.
2. Paju, R., Kraav, R. (2002) Tuulepargid Eestis. Elektriala 3: 20–27.
3. Talvar, A. (2002) Tuuleenergeetika rahatuultes. Maamajandus 6: 27–29.
4. Tomson, T. (2002) Väiketuulikud. Keskkonnatehnika 4: 45.
5. <http://www.postimees.ee/indeks.html?op=list&rubriik=5&number=628>.
6. <http://www.windturbine.net>.

## **PROGNOSIS OF THE ENERGY PRODUCED BY A WIND TURBINE**

*Tõnis Peets, Veli Palge, Andres Annuk and Jaan Lepa*

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

### **Abstract**

The utilisation of wind energy in inland Estonia has a long tradition. There is a real need for wind turbines with a production capacity of up to some twenty kilowatts. Inland they should be positioned in higher locations on tall masts. The article explains the method of choosing the site for a wind turbine and select the generator type. For inland conditions it is necessary to use wind generators with a first energy output on the wind speeds of 2.5...3.0 m/s.

# FOSSIILSETE KÜTUSTE HINNAST SÄÄSTVAS ENERGEETIKAS

*Tõnu Lausmaa*

Energiakeskus TAASEN, Tööstuse 3, 10413 Tallinn, e-post: tonu.lausmaa@mail.ee

## **Annotatsioon**

Esitatakse uus fossiilsete kütuste hinna kontseptsioon, mis tagab majanduslikult säästvuse energeetikas.

## **SÄÄSTEV ENERGEETIKA, TAASTUVENERGIA, FOSSIILSED KÜTUSED**

Kui veel sajand tagasi võis maakeral leida paiku, mis olid inimtegevuse poolt peaaegu mõjutamata, ja võis unistada uute maavarade avastamisest, siis praegu vaevalt enam tasub selles vallas mingeid kardinaalseid üllatusi oodata. Seega tuleb läbi ajada juba avastatud maavaradega, vaatamata sellele kui piiratud nende kogused ka ei ole. Üheks nendest olulistest ressursidest, millest sõltub suuresti inimkonna nii praegune kui tulevane heaolu, on kahtlemata fossiilsed kütused. Võib isegi väita, et just tänu fossiilsete kütuste laiaulatuslikule kasutamisele ongi inimkond jõudnud praegusesse arengufaasi. Kuid samas ei saa fossiilsete kütuste varu praeguse tarbimistaseme juures enam kuidagi piiramatuks pidada ning üha enam juurdub arusaam, et midagi tuleb inimkonna energiavarustuses kardinaalselt ümber korraldada, kui ei taheta, et juba mõnekümne aasta pärast saabuks kriis. Kui veel aastat viiskümmend tagasi tundus olukord üsna optimistlik, sest oldi just alles algust tehtud tuumaenergia rakendamisega majanduses ning loodeti pea kohe tehniliselt lahendada termotuuma juhitud reaktsioon, siis nüüd on selgeks saanud tuumaenergeetika ohtlikkus ning termotuuma reaktsiooni ohjeldamine on pea sama kaugel, kui see oli oma pool sajandit tagasi. Vaatamata tohututele ponnistustele, ei ole uurimistöõ termotuumaga veel paigalt nihkunud ning karta on, et ei nihkugi. Tähendaks ju juhitud termotuumareaktsioon seda, et primaarenergia probleemid oleksid igaveseks lahendatud ning praktiliselt oleks see samaväärne *perpetuum mobile* leiutamiselega energeetikas. Et tuumaenergeetika on ennast kompromiteerinud, jääb ainukeseks lahenduseks fossiilsete kütuste asendamine taastuvate energiaallikatega. Radikaalid on isegi veendunud, et kogu globaalse energeetika ümberhäälestamiseks taastuvenergiele ei tohiks kuluda rohkem kui pool sajandit. Kahjuks peab tõdema, et vaatamata tõsistele pingutustele viimase aastakümneni vältel minna fossiilsetelt kütustelt üle taastuvenergiele, on tulemused enam kui kesised (ajavahemikus 1990–1999 on summaarne primaarenergia tarbimine globaalselt kasvanud umbes 10%, kuid taastuvenergia osakaal selles on vaid 1%). Seega, vara on koondada kogu tähelepanu vaid taastuvenergeetikale. Üks asi on taastuvenergia rakendamine piiratud ulatuses, hoopis teine aga kogu energeetika ülesehitamine sellele, sest taastuvate energiaallikate varustuskindlus on madal (tuul ei puhu mitte alati ja samuti ei sära ka alati päike pilvitus taevas) ning nad on väga hajutatud, mis komplitseerib nende rakendamist globaalses ulatuses. Et fossiilsete

kütuste potentsiaal inimkonna progressi teenimisel ei ole veel ammendunud, peab areng fossiilsetelt kütustelt taastuenergiale sujuma säästvalt.

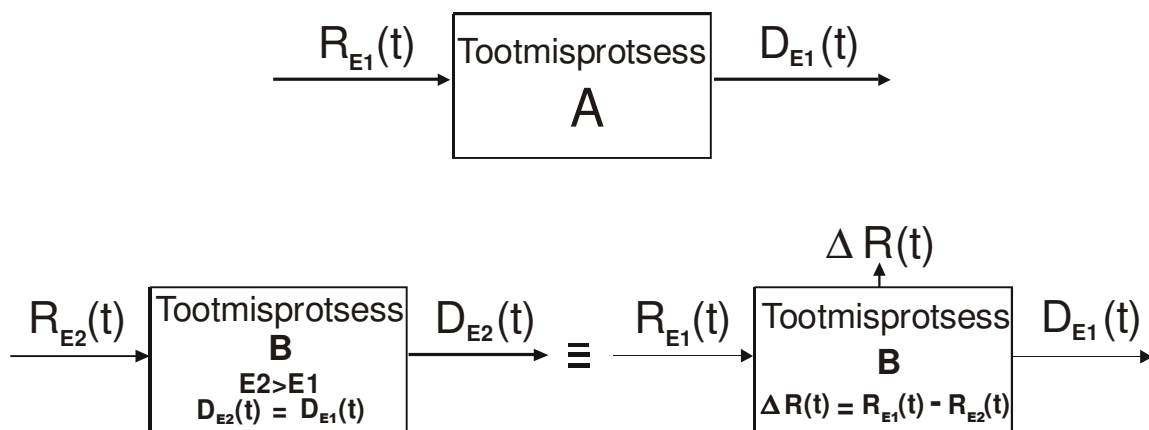
Mida siis mõista säästva energeetika all? Arusaam selle sõnapaari tähendusest on huvigruppidest sõltuvalt küllaltki erinev. Radikaalsed ringkonnad mõistavad selle all vaid taastuvatele energiaallikatele ning maksimaalsele kokkuhoiule rajatud energeetikat, konservatiivsed aga lihtsalt harjumuspärasest veidi säästlikumat energiamajandust, tuues selle mõiste alla vaid parema soojusisolatsiooniga elumajad, ökonoomsemad autod jne.

Energeetika kui majandusharu on ilmselt säästev, kui moodustab osa säästvast majandusest. Klassikalisest Gro Harlem Brundtlandi definitsioonist “säästev areng rahuldab praeguse põlvkonna vajadused, seadmata ohtu tulevaste põlvkondade võimalusi oma vajaduste rahuldamiseks” lähtudes peab säästev majandus olema iseloomustatud tootmispotentsiaalide säilimisega ajas. See tähendab pidevat tootmisenefektiivsuse suurenemist, et korvata ressursi lõplikkuse korral selle vähenemine. Konkurentsil baseerivas turumajanduses on seda pea võimatu saavutada, sest kuigi konkurents tingib ka vajaduse tootmisenefektiivsuse suurenemiseks, siis seda vaid selleks, et rohkem toota, seega ka rohkem tarbida, ning ressursi seisukohast ei ole sellel säästvusega palju ühist. Teisalt on tootjad huvitatud efektiivsuse suurendamisest vaid määrani, kus kulutused selleks on väiksemad kui saadav kokkuhoid. See majanduslikel kaalutlustel põhinev efektiivsuslagi on määratud maavarade turuhinnaga, energeetikas seega fossiilsete kütuste hinnaga.

Kuidas siis ikkagi määrata lõplike maavarade õige hind, mis tagaks majanduse arengu säästvuse suunas? Niikaua kui majandustegevus on lokaalse ulatusega, piirdudes vaid inimeste poolt toodetud esemetega ja praktiliselt piiramatute loodusressurssidega, ning loodus on veel ise võimeline tootmisjääke assimileerima oma kvaliteeti säilitades, pole probleeme. Inimeste poolt loodud toodete hind kajastab highi ja vaeva nende tootmiseks, loodusressursside hinna kujundavad aga nende kättesaamiseks tehtud kulutused. Nimelt selline majandussüsteem valitses varakapitalistlikus ühiskonnas ja rahuldab enamikku. Nüüd, kus väga paljude oluliste loodusressursside piiratus on muutunud arvestatavaks faktoriks ja loodus ei suuda enam assimileerida tootmisjääke oma kvaliteeti säilitades, on tekkinud tõsised raskused selle majandusmudeli rakendamisel pikemat perspektiivi silmas pidades. Kuidagi ei suudeta tootmist nii organiseerida, et ümbritsev keskkond ei kannataks ja järjest suureneva globaalse tarbimise tingimustes ei saa enam kuidagi jätta arvestamata loodusressursside lõplikkust. Midagi tuleks ette võtta elukeskkonna kvaliteedi säilitamiseks ja loodusressursside kiire kahanemise vältimiseks, mis ähvardab inimkonda katastroofiga. Kahjuks, vaatamata kõikidele üleskutsetele ja administratiivsetele meetmetele viia sisse korrektiivid oma käitumisse, jätkab tarbimisele orienteeritud ühiskond oma liikumist mööda allakäigu spiraali. Põhjus selleks on aga väga lihtne, nimelt praeguse globaalse tarbimise juures ei saa enam mitte kuidagi loodusressursside hinda arvestada ainult nende kättesaamiseks tehtud kulutuste summana, vaid see on oluliselt kõrgem. Selle ebakõla tulemusena ei liigu ka majandus selles suunas, kuhu tahame. Olukord on analoogne sellega, et rida elamuid on jäänud elaniketa (näiteks terroristide poolt tapetud) ja nende kasutusväärtus on mõõdetav vaid kütusena, millest

parajasti paikkonnas puudust tuntakse. Seega on elamute hind määratud vaid küttematerjaliks tükeldamise kulutustega. Muidugi on naabermajade elanikud hoonete lõhkumise müra ja tolmu häiritud ning nõuavad keskkonnakahjustuste korvamiseks sellise küttevarumise maksustamist keskkonnamaksudega, mis teatud määral suurendab küttematerjali hinda. Kuid kas saadud hind on ikka see õige, mis majade väärtust kajastab? Kui hind oleks adekvaatne, peaks kütte eest saadud rahaga olema võimalik majad taastada, kuid ilmselt see nii ei ole. Eestlastele ühtlasi nii õnnistust kui õnnetust kaasa toonud põlevkivi ressursi võib vaadelda kui looduslikku põlevkivist linna, millele pole siiani üldiselt rentaablimat kasutust leitud kui põletusmaterjalina. Et seni on seda linna käsitletud kui piiramatut ressursi, siis loomulikult sisaldab põlevkivi hind peamiselt vaid kulutusi kaevandamisele ning transpordile. Säästva arengu printsiipi järgides peab piiratud ressursi korral selle hind aga kajastama konstruktiivset tegevust ressursi kasutuspotentsiaali säilitamiseks. Asjaolu, et loodusressursse praktikas toota ei saa, ei tähenda aga veel mitte sugugi seda, et neid ei saaks formaalselt toota majandussüsteemi esindava matemaatilise mudeli raamides analoogsel alusel tehisobjektidega. Just nimelt tootmisefektiivsuse tõstmine on ekvivalentne sellega, et toodame mitte ainult väljundprodukti, vaid säästmise kaudu formaalselt ka sisendressursi võrreldes olukorraga, kus tootmisefektiivsus kogu vaadeldava perioodi jooksul ei muutu. Teisisõnu öeldes ei saa küll toota fossiilseid kütuseid megatonnides, kuid saab negatonnides. Negatonnide tootmine on graafiliselt väljendatud joonisel 1, kus  $R(t)$  on ressursi kasutusintensiivsus (ressursikasutus ajaühikus),  $E(t)$ -ga on tähistatud tootmisefektiivsus ning tootmistase

$$D(t) = R(t) * E(t). \quad (1)$$



Joonis 1. Negatonnide tootmisprotsess  
Figure 1. Negaton production process

Tootmispotentsiaal  $P(t)$  avaldub korrutisena

$$P(t) = Q(t) * E(t), \quad (2)$$

kus  $Q(t)$  on protsessi sisendressurss. Võrratus

$$dP(t)/dt \geq 0 \quad (3)$$

annab meile vajaliku tingimuse tootmisprotsessi säästvuseks. Tootmisprotsessi iseloomustab tegur

$$\alpha \stackrel{\text{Df}}{=} \frac{D}{Q_0 * E_0}, \quad (4)$$

kus  $Q_0$  on algne ressurss ja  $E_0$  – algne tootmisprotsessi efektiivsus. Tegur  $\alpha$  väljendab ajaperioodi pöördväärtust, mille jooksul algne ressurss tarbitakse jäägitult algse efektiivsuse juures. Tootmisprotsessi säästvuse vajalik tingimus eeldusel  $D(t) = \text{const}$  on, et protsessi efektiivsus  $E(t)$  peab rahuldama võrratust

$$E(t) \geq E_0 * e^{\alpha t} \quad (5)$$

(Lausmaa, 1999; Lausmaa, 2000). See fundamentaalne seaduspärasus väljendab säästva efektiivsuskasvu eksponentsiaalset iseloomu. Tootmispotentsiaali säilitava säästva tootmisprotsessi korral saame, et protsessi lõppefektiivsus on

$$E_1 = E_0 * e^{\alpha t_1}, \quad (6)$$

millest tuleneb võrdus

$$t_1 = 1/\alpha \ln(E_1/E_0). \quad (7)$$

Ajavahemikus  $\langle t_0, t_1 \rangle$  säästetud ressurss  $\Delta R$  aga avaldub valemiga

$$\Delta R = R_0(t_1 - t_0) - \int_{t_0}^{t_1} R_0 * e^{-\alpha t} dt = (R_0/\alpha) (E_0/E_1 - \ln(E_0/E_1) - e^{-\alpha t_0} - \alpha t_0). \quad (8)$$

Võttes  $t_0 = 0$ , saame

$$\Delta R = Q_0(\beta - \ln \beta - 1), \quad (9)$$

kus  $\beta = E_0/E_1$ . Jagades efektiivsuskasvu  $\Delta E = E_1 - E_0$  tagamiseks tehtud kulutused  $C(\Delta E)$  säästetud ressursiga  $\Delta R$ , saame, et säästetud ressursiühiku hind  $C(R)$  on võrdne

$$C(R) = C(\Delta E)/\Delta R. \quad (10)$$

Tootmisprotsess on majanduslikult säästev, kui ressursi turuhind  $M(R)$  on suurem kui  $C(R)$ , s.t et kehtib võrratus  $M(R) > C(R)$ . Säästvuse tagamiseks on vaja toorme hinda hoida pidevalt negatoni hinnast kõrgemal. Sellises majandussüsteemis, kus see nõutud hinnasuhe on tagatud, on lootust säästvalt majandada mitte ainult sõnades, vaid ka tegudeni jõuda. Kahjuks on loodusressursside hinna globaalset reguleerimist praktiliselt võimatu teha eraomandusele rajatud turumajanduse tingimustes, kus loodusressursid on kellegi omanduses, millega omanik võib siis käituda vastavalt oma suvale, ilma pikaajalisi ühiskonna vajadusi arvestamata.

On ilmne, et ressursi koguse vähenedes negatonni hind kasvab, kuni teatud hetkel tuleb lihtsalt loobuda antud ressursi tarbimisest, sest majanduslikult on kasulikum tarbida mingit teist ressursi ning vaadeldava ressursi jääkkogus jääb ootama aega, millal teaduse ja tehnika areng lubab antud kogusele leida uued säästvad tarbimismudelid. See, et lõpliku ressursi säästev tootmine ei saa kesta igaviku, ei tohiks meid häirida. Ka inimese eluiga on lõplik, kuid üks inim põlv asendub teisega ja inimühiskonna eksistents jätkub. Analoogselt asendub ka säästval tootmisel üks lõplik loodusressurss teisega ning areng jätkub.

Näitena vaatame põlevkivist elektrienergia säästvat tootmist Narva elektrijaamade renoveerimisel. Eeldame, et põlevkivi arvestuslik ressurss on 600 miljonit tonni ning elektrienergia tootmistase aastas hoitakse konstantsena 8 TW·h. Kui eeldada, et pool vajalikest investeeringutest kahe energiaploki renoveerimiseks Eesti Elektri jaamas kulub uue tehnoloogia rakendamiseks ning pool vaid amortiseerunud vanade seadmete väljavahetamiseks analoogsete uute vastu, saaksime tehnoloogia uuenduse maksumuseks  $2 \cdot 10^9$  kr, mis säästva tootmisprotsessi juures annab meile 8,4 mln negatonni põlevkivi arvestusega, et käesolev tootmisefektiivsus 32% suureneb 38% -ni kümne aasta jooksul ja renoveeritud plokid (2x200 MW) võtavad enda kanda poole Balti ja Eesti Elektri jaama summaarsest koormusest. Nendel eeldustel kujuneb põlevkivi negatonni hinnaks 238 kr. Praktikast tähendab see seda, et põlevkivi säästev rentaaabel elektrienergia tootmine on võimalik vaid siis, kui põlevkivi turuhind ei ole alla 300 kr/t. Arvestades seda, et praegu kehtiv põlevkivi hind on 138 kr/t, võime tõdeda olulist vahet nende kahe hinna vahel. Viimane neist hindadest iseloomustab mittesäästvat turumajandust, esimene aga on rakendatav vaid põhjalike majanduslike muudatuste kaudu.

Kuidas siis ikkagi tagada fossiilsetele kütustele säästev hind, sest seni, kuni loodusressursside hind põhineb pelgalt kulutustel nende kättesaamiseks, jääb säästev majandus vaid utoopiliseks unistuseks. Ühtlasi avaks säästev hind fossiilsetele kütustele ka rohelise tee taastuvenergeetika arenguks. On selge, et turumajanduse tingimustes selline hinna kujunemine on mõeldamatu, sest iga tootja püüab hoida investeeringute tasuvusaja minimaalse. Seda saab teha vaid vastava maksu kehtestamise näol, mis kergitab kütuste müügihinna kõrgemale negatonni hinnast. Laekunud raha tuleks aga kasutada fundamentaaluringuteks vastava kütuse kasutusefektiivsuse tõstmiseks. Saadud teadustulemuste rakendamine ei tohiks olla probleemiks, sest majanduslik huvitatus peaks selle tagama. Säästvusmaksu kehtestamine fossiilsetele kütustele kui investeering tulevikku nõuab püksirihma pingutamist praeguselt põlvkonnalt. Kas oleme selleks valmis?

## **Kirjandus** $\bowtie$ **References**

1. Lausmaa, T. (1999) A Sustainable Lifestyle and the Information Society, Perspectives in Human Biology. Centre for Human Biology of the University of Western Australia 4(1): 231–235.
2. Lausmaa, T. (2000) About a Sustainable Economy Definition. The World Congress on Managing and Measuring Sustainable Development, August 17–22. Kananaskis Village: 1–11.



# ABOUT FOSSIL FUEL PRICE IN SUSTAINABLE ENERGY

*Tõnu Lausmaa*

Re – En Center TAASEN, e-mail: tonu.lausmaa@mail.ee

## **Abstract**

The crucial precondition for bringing renewables to energy market is the competitiveness of renewable energy with one based on fossil fuels. This competition is a fair play only in case the actual price of fossil fuels is more or less equal to the full economic cost of fossil fuels, including externalities concerning the environment and the production development. Unfortunately, the current price reflects only the cost of digging the fuel out of the ground plus transport expenses. Therefore it is abnormally low and hinders the breakthrough of renewables into the market. To date, all the economic regulations to alleviate the breakthrough of renewable energy into the energy market have been limited to some tax system. Unfortunately, all these applied means fall short of guaranteeing the needed changes in favour of renewables on the energy market. The needed turn can be achieved only through integration of fossil fuels into the energy sector at the economic cost, reflecting the whole consumption process of these fuels in their true light. Though we cannot produce these fossil fuels in reality, we can save fossil fuels through efficiency rise and from the point of economic calculations schemes it amounts to the same. Unfortunately, the governing free market economic model does not take into account the requirements of sustainable development and therefore the current fossil fuel price is too low to guarantee the production process sustainability of primary fossil fuel resources. One can accept the fossil fuel price that is equal to its mining and transport only in case the resource is practically infinite. If the resource amount is limited, then in order to guarantee sustainability, expenses to the efficiency rise should be added to the price to compensate the resource decrease for maintaining the potential. In other words, it means that in a sustainable energy system instead of a fuel price for a megaton, one should apply fuel price for a negaton.

As an example, we consider a refurbishing plan of oil shale based electricity production in the energy sector in Estonia, according to which there would be a 6% efficiency rise from the current level of 32% at the cost of 2 billion EEK investment. As an initial data, we evaluate the total oil shale resource equal to 600 billion tons and assume that the electricity production level remains the same during the whole time period under consideration. On the basis of the above given, we get that for a sustainable economy the oil shale price will be tantamount to 235 EEK/ton for the sustainable production period of 10 years. Considering that the current oil shale price is 138 EEK/ton, we see the significant difference between these two calculated oil shale prices. The latter is economically justified in the framework of the governing unsustainable economy, and the former can be economically viable only in case of cardinal changes, rocking the fundamental pillars of capitalist free market society.



Rõpina hüdroelektrijaam Võhandu jõel

Foto: Aivo Parmson

*Eesti hüdroenergia õitseage oli enne põlevkivil  
tõttavate elektrijaamade käikuandmist.*

*Voldemar Enno*

*Peab tunnistama ausalt, et elu võimalikkust  
hävitav energia muundamine ja kasutamine  
tuleb lõpetada. Kes sõandaks öelda, et meie  
rumalus tohib elu kustutada?*

*Taito Mikkonen*

*Eestis on kõige suuremat probleemi tekitavad  
jäätmed seotud põlevkivi töötlemisega, mistõttu  
on need ka laiemas tähelepanu all nii ohtlikkuse  
ja samas ka neis peituvate võimaluste tõttu.*

*Mihkel Koel, Rein Kuusik*