

**TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE
UURIMINE JA KASUTAMINE**

—— SEITSMENDA ——

KONVERENTSI KOGUMIK



**INVESTIGATION AND USAGE OF
RENEWABLE ENERGY SOURCES**

—— SEVENTH ——

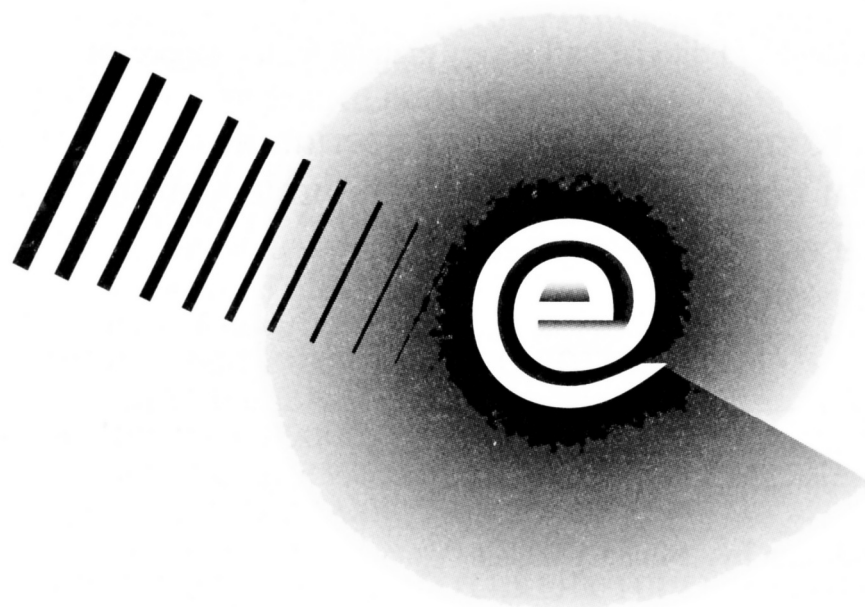
CONFERENCE PROCEEDINGS

TARTU, ESTONIA 2006

**TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE
UURIMINE JA KASUTAMINE**

—— SEITSMENDA ——

KONVERENTSI KOGUMIK



**INVESTIGATION AND USAGE OF
RENEWABLE ENERGY SOURCES**

—— SEVENTH ——

CONFERENCE PROCEEDINGS

TARTU, ESTONIA 2006

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 Kommunikatsiooniministeeriumile
Estonian Ministry of Economic Affairs and Communications

Kaanekujundus / Cover design by: Michael Walsh

Trükitud: OÜ Paar
Printed by: Paar Ltd

Kirjastaja: OÜ Halo Kirjastus
Publisher: Halo Kirjastus Ltd

© 2006

Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

All Rights Reserved

ISBN 978-9949-426-40-9 (PDF)
ISBN 978-9985-9724-5-8 (trükis)

SISUKORD

TAASTUVENERGEETIKA – SÄÄSTVA ARENGU TELG	
Valdur Tiit	7
EESTI ELEKTRIMAJANDUSE ARENGUKAVA 2005–2015	
Ando Leppiman	9
SOOJUSÜLEKANNE, HEITMED JA PÕLEMISTEHNILISED PARAMETRID BIOKÜTUSEKATELDES	
Ants Veski, Aadu Paist, Vitali Borovikov ja Toomas Tiikma	18
PINGEKVALITEET ELEKTRITUULIKUID SISALDAVAS NÕRGAS ELEKTRIVÕRGUS	
Ivo Palu	25
ENERGIAKULTUURIDE KASVATAMINE JA KASUTAMINE EESTIS	
Katrin Jürgens ja Katrin Heinsoo	31
ETANOL BENSIINILISANDINA	
Leevi Mölder	39
SÄÄSTVA ARENGU ENERGIAINDIKAATORITE VÕRDLEV ANALÜÜS	
Anton Laur ja Koidu Tenno	45
ELEKTRIENERGIA TARBIMISE SUUNAMISE JA KOORMUSE JUHTIMISE VÕIMALUSTEST	
Peeter Raesaar	53
ROHELISEST ENERGIAST ETTEVÕTTES JA KODUS	
Alo Kivistik ja Jaan Kivistik	66
PAKRI TUULEPARK	
Martin Kruus ja Valdur Tiit	72
ESIVERE TUULEPARK	
Kaie Ilves-Hion	76
“ROHELISE RAHA” AHVATLUS EHK TUULEPARK IGA HINNA EEST	
Ülo Laanoja	77
MIDA OLEME TUULEENERGEETIKA ARENDAMISEL TEINUD VALESTI? KUIDAS MINNA EDASI?	
Vello Selg	83
MTÜ EESTI VESKIVARAMU VI KOKKUTULEK RÕIKA VESIVESKIS	
Anto Juske, Arvo Jävet, Heiti Haldre ja Mae Juske	92
NAHKHIIRTE VAATLUSED RANNIKUL SEOSSES TUULETURBIINIDEGA	
Matti Masing	95
ÜKSIKU KAHEPOSITSIOONILISELT JUHITAVA HELIOKOLLEKTORI OMADUSED	
Teolan Tomson	112
PÄIKESEKOLLEKTORI KASUTEGURI SÕLTUVUS PAIGALDAMISE SEADENURKADEST	
Veli Palge	122
INIMKONNA AINUKE VÕIMALUS ON TAASTUVATE RESSURSSIDE KASUTAMINE	
Taito Mikkonen	129

SUUNDUMUSI TAASTUV- JA FOSSIILKÜTUSTE KOOSGAASISTAMISEL Rein Veski	134
ÕLITEKE PUIDU JA PÕLEVKIVI SEGUDE VESIKONVERSIIONIL Rein Veski, Vilja Palu ja Kristjan Kruusement.....	143
KÜTTEKULU INDIVIDUAALNE ARVESTUSSÜSTEEM EESTI KORTERELAMUTES ENERGIASÄÄSTU VAATEPUNKTIST Indrek Sang.....	153
RADOON LOODUSLIKUS JA TEHISKESKKONNAS Jaan Lepa ja Andres Annuk	160
TAASTUVENERGEETIKA VÕIMALUSI REGIONAALARENGUS (AUSTRIA NÄITEL) Maria Habicht ja Andres Annuk	166
ELEKTRIENERGIA HAJUTATUD TOOTMINE EESTIS Marek Muiste	170

CONTENTS

RENEWABLE ENERGETICS – AXIS OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT	
Valdur Tiit	8
THE ESTONIAN ELECTRICITY MARKET DEVELOPMENT PLAN 2005–2015	
Ando Leppiman	17
HEAT TRANSFER, EMISSIONS AND COMBUSTION CHARACTERISTICS OF BIO FUEL BOILER	
Ants Veski, Aadu Paist, Vitali Borovikov and Toomas Tiikma	24
POWER QUALITY IN WEAK GRIDS CONTAINING WIND TURBINES	
Ivo Palu	30
GROWING AND USING OF ENERGY CROPS IN ESTONIA	
Katrin Jürgens and Katrin Heinsoo	38
ETHANOL AS A COMPONENT OF GASOLINE	
Leevi Mölder	44
A COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY INDICATORS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT	
Anton Laur and Koidu Tenno	52
OPPORTUNITIES OF ELECTRICITY CONSERVATION AND DEMAND SIDE MANAGEMENT	
Peeter Raesaar	65
ABOUT GREEN ENERGY IN BUSINESS AND AT HOME	
Alo Kivistik and Jaan Kivistik	71
PAKRI WIND PARK	
Martin Kruus and Valdur Tiit	74
ESIVERE WIND PARK	
Kaie Ilves-Hion	76
ENTICEMENT OF “GREEN BUCKS” OR WINDPARK AT ANY COST	
Ülo Laanoja	82
WHAT HAVE WE DONE WRONG IN DEVELOPING WIND ENERGETICS? HOW SHOULD WE GO FORWARD?	
Vello Selg	91
THE SIXTH REUNION OF THE NGO EESTI VESKIVARAMU IN RÕIKA WATERMILL	
Anto Juske, Arvo Jävet, Heiti Haldre and Mae Juske	94
OBSERVATIONS OF BATS ON THE COAST IN CONNECTION WITH WIND TURBINES	
Matti Masing	110
QUALITY OF A SINGLE SOLAR COLLECTOR WITH TWO-POSITIONAL CONTROL	
Teolan Tomson	121
THE DEPENDENCE OF SOLAR COLLECTOR’S EFFICIENCY ON THE SETTLEMENT ANGLES	
Veli Palge	128
MAN’S ONLY CHANCE IS THE USAGE OF RENEWABLE RESOURCES	
Taito Mikkonen	133

TRENDS IN CO-GASIFICATION OF RENEWABLE AND FOSSIL FUELS Rein Veski	142
OIL FORMATION FROM WOOD AND OIL SHALE MIXTURE BY WATER CONVERSION Rein Veski, Vilja Palu and Kristjan Kruusement.....	152
THE SYSTEM OF INDIVIDUAL HEAT METERING WITH HEAT ALLOCATORS IN ESTONIAN APPARTMENT BUILDINGS FROM THE ENERGY SAVING PERSPECTIVE Indrek Sang.....	159
RADON IN NATURAL AND ARTIFICIAL ENVIRONMENT Jaan Lepa and Andres Annuk.....	165
ALTERNATIVES OF RENEWABLE ENERGETICS IN REGIONAL DEVELOPMENT (EXAMPLE OF AUSTRIA) Maria Habicht and Andres Annuk	169
DISTRIBUTED PRODUCTION OF ELECTRIC ENERGY IN ESTONIA Marek Muiste	178

TAASTUVENERGEETIKA – SÄÄSTVA ARENGU TELG

Valdur Tiit

Taastuvenergeetika nõukogu, 51006 Tartu, e-post: vtiit@neti.ee

Seitsmes taastuvate energiaallikate uurimisele ja kasutamisele pühendatud konverents TEUK–VII toimus 13. oktoobril 2005. a Tartus Eesti Põllumajandusülikooli aulas, nagu ka kõik eelmised. Eesti seni suurimast taastuvenergeetika küsimustega tegelevast ja seda valdkonda propageerivast foorumist, TEUK-VII konverentsist, võttis osa 180 huvilist, kes olid saanud paljudest Eesti piirkondadest. Konverentsil esitati 30 ettekannet, millest käesolevas kogumikus tutvustatakse 23.

Konverentsi avades väljendas Eesti Põllumajandusülikooli teadusprorektor **Andres Koppel** heameelt selle üle, et säästva elulaadi kujundamisel suurt tähtsust omav taastuvate energiaallikate kasutamisele pühendatud arutelu viiakse läbi just selles ülikoolis. Ta rõhutas, et keskkonnasõbralikus suunas töötab EPMÜ nüüd ja peatselt uue nime – Eesti Maaülikool – all ka edaspidi. Ta teatas, et ülikooli moto on “Eestimaa – elamisväärtus ja igikestev” ning selle nimel töötavad ka taastuvenergeetika ja säästva elulaadi sõbrad üle Eesti.

Konverentsi tähtsust Eestile kinnitas Eesti Vabariigi presidendi **Arnold Rüütli** tervitus, mille edastas presidendi teadusnõunik professor **Jüri Kann**. Oma läkituses nimetas president taastuvenergeetika arendamist ning elektri- ja soojusenergia tootmise hajutamist oluliseks strateegiliseks ülesandeks ja ka regionaalarengut soodustavaks tegevuseks. President väljendas lootust, et uudse ja keerulise valdkonna arendamisega paratamatult kaasnevad raskused ületatakse ühise tööga ja nii saavutatakse soovitud edu.

Konverentsi ettekanded käsitlesid Eesti elektrimajanduse arengut, Euroopa Liidu seisukohti energeetika arendamisel, biomassi, päikese- ja tuuleenergia kasutamise ja kütuste tootmise võimalusi ning sellega seonduvaid probleeme. Heaks uudiseks oli informatsioon Eesti suurima, Pakri tuulepargi ja tema sõsara Esivere ametlikust avamisest. Tähelepanu all olid ka mitmed loodushoiu teemad, näiteks fossiilsete kütuste kasutamisega seotud ohud ja turvalisuse tagamine nahkhiirtele. Teiste riikide edukatest töödest regionaalsete probleemide lahendamisel taastuvenergeetika arendamise kaudu toodi eeskujuks Güssingi (Austria) ettevõtmised.

Kuigi konverents näitas, et Eestis tegeldakse jõudumööda taastuvenergeetika-alase uurimistöö ja tehniliste rakendustega, tuleb siiski tunnistada olulisi puudujääke selles valdkonnas. Aastate vältel on TEUK-konverentsidel ja real teistel aruteludel esile toodud probleeme, mis vajavad üksikasjalikku arutelu ja otsustusi riiklikul tasandil. Meenutame siin vajadust valmistada arvukamalt ette spetsialiste taastuvenergeetika arendamiseks, avardada võimalusi uurimistööks ja näidisprojektide teostamiseks. Samuti on jätkuvalt aktuaalne moodsate seadmete tööstusliku tootmise organiseerimine riigi senisest aktiivsemal toel. Kogu edaspidise töö teljeks peaks saama **kaugeleulatava kompleksse energeetika arengukava koostamine**, mille käigus tuleb läbi analüüsida kõik senised uuringud ja tähelepanu väärivad ettepanekud.

RENEWABLE ENERGETICS – AXIS OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Valdur Tiit

Renewable Energetics Council, e-mail: vtiit@neti.ee

The 7th conference devoted to the investigation and usage of renewable energy sources (TEUK–VII) took place on 13th of October 2005 in Tartu in the hall of the Estonian Agricultural University as did all the past conferences. The biggest forum discussing and promoting renewable energetics in Estonia to date, the TEUK-VII conference had 180 participants from all over Estonia. There were 30 papers presented at the conference, of which the present conference proceedings feature 23.

In the opening speech the Vice Rector of Research of the Estonian Agricultural University Dr. **Andres Koppel** expressed his delight that the discussion on the usage of renewable energetics that poses great importance in shaping sustainable lifestyle took place in the university. He stressed that the university, in the near future as Estonian University of Life Sciences, would always continue along the environment friendly path. Dr. **Koppel** said that the motto of the university is “Estonia – worth living and everlasting” and that all the friends of renewable energetics and sustainable lifestyle in Estonia work towards it.

The significance of the conference for Estonia was stressed by the greeting from the President of the Republic of Estonia **Arnold Rüütel**, which was delivered by scientific adviser professor **Jüri Kann**. In his address, the president called the development of renewable energetics and the spreading of electric and thermal energy production an important strategic task that also promotes regional development. The president expressed his hope that the complications that are invariably incidental to the development of a new and complex area will be overcome with joint effort and the desired success will come.

The presentations at the conference analysed the development of electric economy in Estonia, the viewpoints of the EU on the development of energetics, biomass, the usage of solar and wind power and the possibilities to make fuel and the related issues. The good news was information about the official opening of the largest Pakri wind park in Estonia and its sister park at Esivere. Other issues under discussion included several nature preservation topics, e.g. dangers involved in using fossil fuels and securing safety for bats. The Güssing region (Austria) was given as a good example in how regional problems can be solved through the usage of renewable energetics.

Although the conference showed that several research and technical implementation projects in renewable energetics are undertaken in Estonia, it had to be admitted that there are still important shortcomings in this area. For years the issues that demand detailed discussions and decisions on the state level have been outlined at the TEUK conferences and other meetings. Such issues include the need to educate more specialists to develop renewable energetics, broaden the opportunities to carry out research and demonstration projects and organise industrial production of modern equipment with a more active support from the state.

The axis of the entire work in the future should be the preparation of a **far-reaching complex energetics development plan**, during which all the research and noteworthy proposals to date have to be analysed.

EESTI ELEKTRIMAJANDUSE ARENGUKAVA 2005–2015

Ando Leppiman

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Harju 11, 15072 Tallinn
e-post: Ando.Leppiman@mkm.ee

Annotatsioon

Elektrimajanduse tulevikuvisionid ja vajadused on praeguseks kardinaalselt muutunud võrreldes möödunud dekaadi keskpaigaga – Euroopa Liiduga liitumisega on tõstatanud rida võimalusi, nõudeid ja piiranguid, edasi on arenenud elektritootmise tehnoloogiad. Praeguseks on elektrimajanduse planeerimine muutunud tehnoloogiakesksest looduskeskkonna keskseks. Elektrimajandus on riigi strateegiline infrastruktuur, mis peab tagama varustus- ja töökindluse elektri tootmisel, ülekandel, jaotamisel ja tarbimisel elektri tootmise, ülekande ning jaotamise võimalikult madalate hindade juures. Seejuures peab elektrisüsteemi efektiivsus kindlustama elektrimajanduse jätkusuutlikkuse ning edastatava elektri nõuetekohane kvaliteet Eesti majanduse konkurentsivõime elanikkonna heaolu säilimiseks ning suurendamiseks. Lisaks on elektrimajandusel oluline roll regionaalarengu tagamisel.

Eelnevast lähtudes kinnitas Vabariigi Valitsus 3. jaanuaril 2006 Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi poolt välja töötatud Eesti elektrimajanduse arengukava 2005–2015. Arengukava koostati suunamaks Eesti elektrimajanduse arengut 2015. aastani. Dokument määratleb elektrimajanduse hetkeolukorra, toob esile Eesti ja Euroopa Liidu liitumislepingus kajastatu, prognoosib elektritarbe arenguid, fikseerib elektrimajanduse arendamise strateegilise eesmärgi, arvestamist vajavad piirangud, arenduspõhimõtted ning vajalike investeeringute suurusjärgud. Samuti kirjeldab arengukava edasist analüüsi vajavaid probleeme.

Eesti elektrimajanduse arengukava aastani 2015 strateegiliseks eesmärgiks on tagada turumajanduse tingimustes Eesti rahvusliku elektrisüsteemi optimaalne funktsioneerimine ja areng ning tarbijate nõuetekohane varustamine elektriga pikaajalises perspektiivis võimalikult madalate hindadega. Seejuures täidetakse kõiki töö- ja varustuskindluse ning keskkonnainõudeid, kaetakse kohaliku elektri tootmisvõimsusega sisemaine elektriline tarbimiskoormus, arendatakse ja toetatakse nii elektri tootmise, ülekande, jaotuse kui ka tarbimise efektiivsusemaks muutmist, sh toetatakse teadustegevust, tehnoloogia arengut ning siiret siseriikliku oskusteabe olemasolu kindlustamisega ja tõhustatakse eespool loetletu parimaks võimalikuks rakendamiseks rahvusvahelist koostööd.

Eesti elektrimajanduse arengukava ja selle koostamiseks tellitud uurimistöode aruanded on kättesaadavad Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi Interneti-kodulehel (Majandus ..., 2006).

**ELEKTRIMAJANDUS, ARENGUKAVA, KONKURENTSIVÕIME, JÄTKU-
SUUTLIKKUS, VARUSTUSKINDLUS, EFEKTIIVSUS**

Sissejuhatus

Eesti elektrimajanduse arengukava 2005–2015 on koostatud lähtudes elektrituruseaduses antud volitusnormist ja kinnitatud Vabariigi Valitsuse 3.01.2006 korraldusega nr 5. Arengukava põhineb kütuse- ja energiamajanduse pikaajalisel riiklikul

arengukaval aastani 2015, mis kinnitati Riigikogu poolt 15.12.2004. (Riigikogu, 2004).

Elektrimajanduse tulevikuvisionid ja vajadused on võrreldes möödunud dekaadi keskpaigaga kardinaalselt muutunud – Euroopa Liiduga liitumisega on tõstatunud rida võimalusi, nõudeid ja piiranguid, edasi on arenenud elektritootmise tehnoloogiad. Elektrimajanduse planeerimine on muutunud tehnoloogiakesksest looduskeskkonna keskseks.

Samuti on muutunud arengutempo, elektrimajanduse planeerimine pikemaks aja-perioodiks on järjest komplitseeritum, seda eriti peatselt avaneva elektrituru valguses. Sel põhjusel ongi elektrimajanduse arengukava kirjeldatav protsessina, kus realselt planeeritakse tegevusi vaid kolmeks aastaks, tuues siiski ära ka hetkeolukorrast lähtuva parima võimaliku tee kümne aasta perspektiivis.

Elektrimajandus on riigi strateegiline infrastruktuur, mis peab tagama varustus- ja töökindluse elektri tootmisel, ülekandel, jaotamisel ning tarbimisel elektri tootmise, ülekande ja jaotamise võimalikult madalate hindade juures. Seejuures peab elektrisüsteemi efektiivsus kindlustama elektrimajanduse jätkusuutlikkuse ja edastatava elektri nõuetekohane kvaliteet Eesti majanduse konkurentsivõime elanikkonna heaolu säilimiseks ning suurendamiseks. Lisaks on elektrimajandusel oluline roll regionaalarengu tagamisel.

Eelnevast tulenevalt töötab Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium välja Eesti elektrimajanduse arengukava 2005–2015. Dokument määratleb elektrimajanduse hetkeolukorra, toob esile Eesti ja Euroopa Liidu liitumislepingus kajastatu, prognoosib elektritarbe arenguid, fikseerib elektrimajanduse arendamise strateegilise eesmärgi ning arvestamist vajavad piirangud, arenduspõhimõtted ja vajalike investeeringute suurusjärgud. Samuti kirjeldab arengukava edasist analüüsi vajavaid probleeme.

Arengukava keskkonnamõtjudele antakse hinnang sellega paralleelselt valminud Eesti elektrimajanduse arengukava 2005–2015 keskkonnamõju strateegilise hindamise aruandes, mille ülesandeks oli elektrimajanduse arengukava kooskõlla viimine Eesti ja Euroopa Liidu keskkonnapoliitikaga, keskkonnamõtjude kaardistamine, hinnangu andmine elektrimajanduse arengukava strateegilisele osale, tegevussuundadele ning meetmetele, sealhulgas eesmärkide, piirangute ja meetmete omavahelisele kooskõlale.

Eesti elektrimajanduse hetkeseis ja elektritarbimise prognoos

Eestis baseerub elektritootmine peamiselt põlevkivil. 2003. a toodeti põlevkivist ligikaudu 92% elektrist. Põlevkivist toodetud elektri osakaalu tõstis elektri ekspordi kasv¹. Maagaasist toodetava elektri osatähtsus oli ligikaudu 5% ja taastuvatest allikatest toodeti alla 1% (tänu hüdro- ja tuuleenergia tootmise hüppelisele kasvule pärast 2003. a on praeguseks taastuvatest allikatest toodetava elektri osakaal siseriiklikus brutotarbimises ligikaudu 1%). Seejuures toodeti elektrit ka generaatori-gaasist, prügilagaasist, turbast ning mustast leelisest. Elektri ja soojuste koostootmis-protsessis toodetava elektri osakaal siseriiklikus brutotarbimises on 12–13%.

¹ Eesti tarbeks elektri tootmiseks kasutatud ressursside hulgas oli põlevkivi osakaal 90,2%. Autori märkus.

Installeeritud elektri tootmisvõimus Eestis ületab täna siseriikliku vajaduse, sealjuures on aga piiratud amortiseerunud ning ulatusliku keskkonnamõjuga, põlevkivil töötavate energiablokkide kasutamine – aastaks 2016 on võimalik töös hoida vaid Narva Elektri jaama kahte uut keevkihtpõletus-energiablokki, Iru Elektri jaama ja väikejaamasid, mille tootmispotentsiaal on umbes 25–30% tänasest tootmismahust.

Elektri tarbijahinna kujunemise kulud jagunevad täna Eestis ligikaudu järgmiselt: tootmiskulud 50%, ülekandekulud 20% ja jaotuskulud 30%. Narva elektri jaamades moodustab põlevkivi kogu tootmiskuludest ligikaudu 40%. Keskkonnakulud põlevkivist toodetud elektri tootmishinnas moodustavad 3,5 senti/kW·h, st umbes 8–9%. Viimastel aastakümnetel on elektritootmine olnud Eestis suurim vee ja mineraalsete loodusvarade kasutaja ning jäätmete tekitaja. Fossiilkütuste (põlevkivi, masuudi ning maagaasi) põletamine elektri ja soojuse tootmisel annab suurima osa Eesti kasvuhoonegaaside emissioonist, õhku paisatud tahketest osakekestest ning lenduvatest orgaanilistest ühenditest.

Alates 1999. a on elektri lõpptarbimine Eestis kasvanud, sõltuvana tugevasti riigi majanduse arengust, aga ka aasta keskmistest temperatuuridest. Aastal 2003 oli kasvutempoks 5,8%. Elektri tarbimiskasvu ei ole pidurdanud ka elektri hinna tõus. SKP energiamahukus Eestis on viimase kümne aasta jooksul tänu majanduse arengule, mitmesugustele säästumeetmetele ja efektiivsema tehnoloogia kasutuselevõtule tunduvalt vähenenud.

Elektri ülekande eest Eestis vastutab Eesti Energia AS-i kontserni kuuluv põhivõrguettevõtte OÜ Põhivõrk. 110–330 kV põhivõrgu kogupikkus on 5156 km. Eesti põhivõrgu läbilaskevõime seisukohalt on eelkõige kriitiliseks võrk Narva-Tallinna suunal, mille kaudu saab toite 85% Eesti tarbijaskonnast Tallinna piirkonnas ning Kesk- ja Lääne-Eestis, sh saartel. Põhja-, Kesk- ja Lääne-Eesti piirkonna koormustippude prognoosidest lähtuvalt ammendub mainitud võrgu läbilaskevõime mõõduka majandusarengu stsenaariumi korral 2008. a, optimistliku stsenaariumi korral aga juba aastal 2007. Samuti on probleemiks põhja-lõuna ja ida-läänesuunaliste 330 kV võrguosade väga nõrk omavaheline seotus, mis tähendab, et Narva ja tarbimistsentrite vahelised liinid on omavahel ühendatud vaid piirkondliku otstarbega 110 kV liinidega.

Jaotusvõrkudest koguulatusega ligi 64 000 km on ~93% Eesti Energia AS-i kontserni kuuluva OÜ Jaotusvõrk halduses. Teisteks suuremateks jaotusvõrguettevõteteks on Fortum Elekter AS ja Narva Elektrivõrk AS. Praegune kadude keskmine tase jaotusvõrgus on 10,5%. 1990-ndate aastate alafinantseerituse tõttu on jaotusvõrgu olukord piirkonniti mitterahuldav, seetõttu esineb probleeme pingekvaliteedi ning elektrivarustuse katkestuste ulatusega näiteks tormide korral. Pingekvaliteedi probleemiga klientide osakaal on ligi 3,5% klientide arvust.

Eesti elektrisüsteemil on tugevad 330 kV ühendused Läti ja Venemaa elektrisüsteemidega. Eesti, Läti ja Leedu elektrisüsteemid moodustavad Balti ühendenergia-süsteemi, millel on sama sagedus SRÜ riikide ühendsüsteemiga. Samas puudub Eesti elektrisüsteemil praegu ühendus Kesk-Euroopa ühendatud energiasüsteemiga (UCTE) ja Põhjamaade ühendatud energiasüsteemiga (NORDEL). Seoses Eesti-Soome vahelise merekaabli Estlink valmimisega 2006. aasta lõpus saavad Eesti ja teised Balti

riigid võimaluse kaubelda ka Põhjamaade elektriturul. Põhjamaade elektribörsi *NordPool* hinnad hakkavad samas andma võrdlushindasid ka Baltimaade elektriturule. Seega ühendus Põhjamaadega annab võimaluse elektrikaubanduseks, aga tekitab ka surve elektri hinna tõusuks Eestis. Praeguse seisuga on takerdunud aga Balti ühise elektrituru loomine – kõikides Balti riikides on erinevad turukorraldused ning reguleeritava turupiirkonnana vaadeldakse vaid oma riigi territooriumi, samas moodustavad Eesti ja Läti elektrisüsteemid ühtse bilansiploki.

Alates 1. jaanuarist 2005 vastab Eesti elektrituru alane seadusandlus Euroopa Liidu õigusele, välja arvatud EL liitumislepinguga fikseeritud üleminekuperiood elektrituru avamiseks. Eesti elektriturg on avatud tarbijatele, kelle aastane elektritarbimine on vähemalt 40 GW·h. Selliste tarbijate osakaal kogutarbimises on umbes 10–12%. Vastavalt Eesti liitumislepingule Euroopa Liiduga peab elektriturg olema avatud hiljemalt aastaks 2009 vähemalt 35% ulatuses ning hiljemalt aastaks 2013 kõikidele tarbijatele.

Elektrimajanduse arendamise eesmärgid ja piirangud

Eesti elektrimajanduse arengukava aastani 2015 strateegiliseks eesmärgiks on tagada turumajanduse tingimustes Eesti rahvusliku elektrisüsteemi optimaalne funktsioneerimine ja areng ning tarbijate nõuetekohane varustamine elektriga pikaajalises perspektiivis võimalikult madalate hindadega. Seejuures täidetakse kõiki töö- ja varustuskindluse ning keskkonnanõudeid, kaetakse kohaliku elektri tootmisvõimsusega sisemaine elektriline tarbimiskoormus, arendatakse ja toetatakse nii elektri tootmise, ülekande, jaotuse kui ka tarbimise efektiivsemaks muutmist, sh toetatakse teadustegevust, tehnoloogia arengut ning -siiret siseriikliku oskusteabe olemasolu kindlustamisega ja tõhustatakse eespool loetletu parimaks võimalikuks rakendamiseks rahvusvahelist koostööd.

Eesmärkide täitmisel ning elektrimajanduse arengu suunamisel tuleb arusaadavalt arvestada Eesti poolt nii siseriiklikult kui rahvusvahelisel tasandil võetud kohustustega. Peamised kohustused on keskkonnavalased ja Euroopa Liidu elektri siseturu reeglitega seonduvad, kus Eesti peab järgima Euroopa Liiduga liitumislepingus kokkulepitud üleminekuperioodides sätestatud. Seoses keskkonnaheitmete mittevastavusega peab Eesti sulgema suurema osa oma elektrilisest tootmisvõimsusest ja uued tootmisvõimsused rajama avaneva elektrituru tingimustes. Lisaks on Eesti kohustatud lähtuvalt Euroopa Liidu taastuvenergeetika ning elektri ja soojuse koostootmise direktiividest looma tingimused alternatiivsete tootmistehnoloogiate turuletulekuks. Järgida tuleb ka Riigikogu poolt heakskiidetud kütuse- ja energiamajanduse pikaajalises riiklikus arengukavas aastani 2015 sätestatud strateegilisi eesmärgi, kus antakse suunised tõhusamaks energiakasutuseks ning regionaalarenguks.

Elektrimajanduse arendussuunad

Elektri brutotarbimine Eestis aastani 2015 kasvab keskmiselt 2–3,75% aastas, tingituna elatustaseme üldisest tõusust ning majanduse arengust. Riiklik eesmärk on hoida elektritarbimise kasvu kiirus poole väiksemana kui majanduskasvu tempo.

Põlevkivist toodetava elektri tootmishind kasvab 2015. aastaks hinnanguliselt tasemele 50–55 senti/kW·h. Maagaasist toodetava elektri hind on hinnanguliselt 58,6 kuni

67,8 senti/kW·h, sõltuvalt maagaasi hinnast. Keskkonnakulutuste osa, lähtudes praegu teadaolevatest keskkonnatasudest ja -maksudest põlevkivist toodetava elektri tootmishinnas, kasvab 2015. aastaks 4,5–4,7 sendini kW·h kohta. Sõltuvana Eestis lähitulevikus läbiviidavast ökoloogilisest maksureformist ning selle tulemuste rakendamise keskkonnatasude ja maksude osas (näiteks CO₂ saastetasu määra, kaevandustasu jms arengutest), võib elektri tootmishind erineda analüüsi tulemustest. Siiski jäävad tootmishinnad mõistlikkuse piiridesse ka näiteks CO₂ maksu olulise suurendamise korral ja õigustavad valitud stsenaariumide rakendamist. Praegu kehtivast ajakavast lähtudes saab ökoloogilise maksureformi tulemustega arvestada järgmise elektrimajanduse arengukava koostamisel.

Aastal 2015 on taastuvatest allikatest toodetud elektri toodangumaht lähtuvalt 8%-sist eesmärgist 742–806 GW·h, mille eest tuleb toetust maksta 371–403 mln krooni ning mis tõstab elektri tarbijahinda hinnanguliselt 6 senti/kW·h. Koormustippude katmiseks ja tuuleenergia taastuva allikana kasutamise laiemaks levikuks tuleb rajada kiiresti reguleeritavaid reservvõimsusi, peamiselt gaasiturbiine. Taastuvatest allikatest, sh peamiselt tuulest toodetava elektri võrku andmiseks tuleb uuendada elektrivõrke Eesti läänerrannikul ja saartel, mis selleks vajalike investeeringute kaudu kajastuvad taas elektri tarbijahinnas. Elektri ülekande ja jaotuse hind tõuseb aastaks 2015 hinnanguliselt 20–30%, lähtuvana suurenevatest investeeringutest elektrivõrkudesse ning talumishüvitistest. Lähtudes Põhjamaade elektribörsi *NordPool* hindadest, Balti riikide elektriturgude vajadusse investeerida uutesse tootmisvõimustesse ja tõigast, et elektrituru avanedes aastal 2013 ei ole elektri müügihind tarbijatele enam kulupõhine, vaid kujuneb turumehhanismide alusel, võib anda hinnangu, et elektri müügihind tarbijatele tõuseb Balti riikide elektriturgudel aastaks 2015 tasemele 1,4–1,8 kr/kW·h.

Lähtuvalt strateegilisest eesmärgist ning kütuse- ja energiamajanduse pikaajalisest riiklikust arengukavast aastani 2015 (Riigikogu, 2004), peab Eesti tagama pidevalt sisemaise elektrilise tarbimiskoormuse katmiseks vajaliku kohaliku genereeriva võimuse olemasolu, kindlustades seejuures ametlikult kinnitatud keskkonnaneesmärkide ja nõuete täitmise. Lähtudes neist kohustustest sätestab arengukava taastuvelektri osakaaluks siseriiklikust brutotarbimisest 2010. a 5,1% ja aastaks 2015 vähemalt 8% ning elektri- ja soojuse koostootmisjaamades toodetud elektri osakaaluks siseriiklikus brutotarbimisest 2020. a 20%. Arengukava annab ka ülevaate hajutatud elektritootmise printsiibist, lähtuvalt potentsiaalsete koostootmisjaamade võimalikest asukohtadest koos installeeritavate võimsustega. Lisaks taastuvatest energiaallikatest toodetud elektrile, soojuse ja elektri koostootmisjaamades toodetud elektrile ning kahele uuele Narva energiaplokile on ülejäänud ligikaudu 50% elektritarbe katmiseks võimalik rakendada energiaressursina põlevkivi või maagaasi kasutavaid energiaplokke. Nende ressursside elektri tootmiseks kasutatavate võimsuste kombineerimiseks analüüsiti kolme stsenaariumi ning leiti, et praeguse informatsiooni põhjal on Eesti jaoks kõige sobivam stsenaarium see, mille alusel Narva elektrijaamades renoveeritakse veel 3. ja 4. keevkihtplokk ning 5. keevkihtploki renoveerimise asemel ehitatakse uus gaasiplokk (jaam).

Seega aastal 2015 on töös 2+2 renoveeritud põlevkiviplokki ja üks uus gaasiplokk.

Sellise stsenaariumi rakendumine võimaldab saavutada mõistliku jaotusega elektritootmise ressursibilansi, kus keskkonna seisukohast parim fossiilne ressurss maagaas moodustab märkimisväärse, kuid mitte strateegilise osa ressursibilansist. Stsenaarium toetab ka elektritootmise hajutamise printsiipi ning aitab vähendada elektrimajanduse keskkonnamõjusid. Selle stsenaariumi korral on põlevkivielektri tootmishinna tõus vaadeldavatest stsenaariumidest kõige väiksem. 2015. aastal on põlevkivielektri tootmishind minimaalse netotoodangu korral 51,3 ja maksimaalse netotoodangu korral 46,7 senti/kW·h. Investeeringute arvelt lisandub 2009. aastal 3 senti piires, hiljem veelgi vähem.

Strateegilise eesmärgi täitmisel on elektrivõrkude arendamisel peamiseks tarbijate elektrivarustuskindluse tõstmine ning elektrikvaliteedi parandamine. Sellise eesmärgi saavutamiseks tuleb aastaks 2015 tagada elektrivõrgu uuendamine ligikaudu 30 aastastes perioodides ülekandevõrgus ja ligikaudu 40-aastastes perioodides jaotusvõrgus. Arengukava loetleb ja kirjeldab olulisemaid elektrivõrkude projekte, mille investeeringuvajadus on aastani 2015, lähtudes elektri võrgukadude vähendamisest, elektrivõrgus struktuuri parandamisest, varustuskindluse säilitamisest, taastuvatel energiaallikatel põhinevate ning soojuste ja elektri koostootmise tootmistehnoloogiate osakaalu suurendamisest, elektritootmise bilansis vajalik.

Elektrivarustuse kvaliteedi tõstmiseks ning osalemiseks Euroopa elektriturul on Eesti huvitatud ühenduse loomisest Kesk-Euroopa ühendenergiastüsteemiga. Valdav seisukoht on, et Loode-Venemaa ühendenergiastüsteemi, sh Balti ühendenergiastüsteemi liitumine UCTE-ga ei toimu enne aastat 2008. Aastal 2006 valmib Eesti ja Soome vaheline alalisvoolu kaabelühendus ESTLINK, millega ühendatakse Balti elektrisüsteem Põhjamaade elektrisüsteemiga, võimaldades vastastikust kauplemist regioonide elektriturgudel.

Elektritarbimise suurenedes Balti riikides on regiooni elektrivarustuskindluse osas kriitilise tähtsusega aasta 2009, mil suletakse Ignalina tuumaelektrijaam. Seejuures on prognoositav maagaasi ja kivisöe osakaalu suurenemine regiooni elektritootmise bilansis, aga ka surve põlevkivist toodetud elektri ekspordiks.

Alates 1. juulist 2004 on Läti ja Leedu elektriturud avatud kõikidele äritarbijatele, kuid erinevuste tõttu elektrituru regulatsioonis ei ole ühtset elektriturgu Balti riikides tekkinud. Baltimaade elektrituru tõhusa toimimise eelduseks on elektrituru regulatsioonide ühtlustamine. Eelkõige tuleb ühtlustada elektri müüjatele esitatavad nõudmised, rakendatavad ostukohustused ning bilansivastutuse põhimõtted. Samuti tuleb ühtlustada elektrisektori keskkonnamaksustamise põhimõtted. Ühiselt tuleb lahendada ka Venemaalt Balti riikide kaudu Euroopa Liitu imporditavale elektrile ja gaasile rakendatavad meetmed. Elektrisüsteemi toimimise tõhusust suurendaks ka ühtse süsteemiteenuste turu loomine Balti riikides.

Elektrimajanduse pikaajalise arengu strateegiliseks aluseks on lisaks tõhusale tehnoloogiasiirdele ka siseriiklik energiatehnoloogia arendus. Energiatehnoloogia valdkonnas on lähema 30 aasta jooksul globaalses perspektiivis ette näha mahukaid muudatusi, samuti nõuab energeetika siseriiklik arendamine pidevalt kvalifitseeritud tööjõudu. Riiklik eesmärk on sügava spetsialiseerumistasemega, kaasaegse ja uuendusmeelse energeetikaalase teadus- ning õppetöö kujundamine Eesti ülikoolide ja

kutseõppeasutuste juurde². Arengukava alusel on energeetika arenduse siseriiklikeks prioriteetideks põlevkivitehnoloogiad, energiasäästlikud tarbimislahendused, taastuvenergia, soojuse ja elektri koostootmise ning vesinikuenergeetika tehnoloogiad, eeskätt mikroenergeetilisel tasandil ja energoküberneetika.

Elektrimajanduse arendamise riiklikud meetmed ja tegevused

Elektrimajanduse suunamise peamiseks seadusandlikuks vahendiks on elektrituruseadus. Elektrituruseaduse ja selle alamaktidega soodustatakse elektri tootmist taastuvatest allikatest ning elektri ja soojuse koostootmist, investeerimist elektrisüsteemi ning tõhusamat energiakasutust ja mõjutatakse elektrilise tootmisstruktuuri kujunemist.

Energiasäästu meetmete juurutamiseks kooskõlastatakse EL energiamärgistamise direktiivi ning ökodisaini direktiivi alamastme aktid Eesti seadusandlusega. Samuti kehtestatakse riigihangete läbiviimisel seadmete ostuks energiatõhususe arvestamise kriteerium ning vastavatele seadmetele tõhususe miinimumnõuded.

Viimaks kooskõlla riigi keskkonna- ja majanduspoliitikat, muudetakse maapõue-seadust nii, et kaevelubade eraldamine toimuks Keskkonnaministeeriumi ning Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi koostöös.

Heitmelubade eraldamine energiaettevõtetele toimub Keskkonnaministeeriumi, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi ning Rahandusministeeriumi koostöös. Heitmelubasid eraldatakse energiaettevõtetele nii, et oleks tagatud riigi pikaajaline varustuskindlus ning vajalikud investeeringud uute elektriliste võimsuste ehitamiseks.

Maksupoliitika kujundamisel koostavad ja rakendavad Rahandusministeerium, Keskkonnaministeerium ning Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium hiljemalt aastaks 2008 ökoloogilise maksureformi. Reformi tulemused on toeks arengukavas kirjeldatud eesmärkide saavutamisele. Energiasäästualaste investeeringute tegemiseks säilitatakse renoveerimis- ja rekonstrueerimislaenu intresside mahaarvamise võimalus füüsilise isiku tulust.

Olulisimaks riiklikuks programmiks elektrimajanduses on Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi poolt koordineeritav energiasäästu sihtprogramm. Võimaldamaks programmi raames viia ellu katseprojekte energiatarbijate säästuharjumuste kinnistamiseks ja rakendamaks näidisprojekte uute energiatehnoloogiate ning energiasäästu lahenduste rakendamiseks avaliku sektori hoonetes ja paigaldistel, suurendatakse aastaks 2010 programmi rahaline maht vähemalt 80 mln kroonini. Lisaks on energiasäästu ja taastuvenergiaga seonduvate probleemide lahendamiseks võimalik taotleda toetust Keskkonnainvesteeringute Keskusest, Kred-Ex-ist ja mujalt ning samuti rakendada heitmekaubanduse meetmeid.

Investeeringud elektriliste tootmisvõimsuste arendamiseks aastani 2015 on hinnanguliselt 1000–1500 mln kr aastas. Investeeringud elektri ülekandevõrku aastatel 2005–2015 on keskmiselt 500–600 mln kr aastas ja jaotusvõrgu rekonstrueerimiseks keskmiselt 800–1000 mln kr aastas.

² Juba praegu tegelevad kõik Eesti suuremad teadusasutused (TTÜ, TÜ, EMÜ, KBFI) energiatehnoloogia arendusega erinevates suundades ning erineva spetsialiseerumisastmega. Autori märkus.

KirjandusReferences

1. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium (2006) Eesti elektrimajanduse arengukava 2005–2015. <http://www.mkm.ee/index.php?id=2619> või <https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=979263>.
2. Riigikogu (2004) Kütuse- ja energiamajanduse pikaajaline riiklik arengukava aastani 2015. <http://www.mkm.ee/index.php?id=2619> või <https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=829062>.

THE ESTONIAN ELECTRICITY MARKET DEVELOPMENT PLAN 2005–2015

Ando Leppiman

The Ministry of Economic Affairs and Communications
e-mail: Ando.Leppiman@mkm.ee

Abstract

Visions and future needs of electricity markets have changed fundamentally compared to the middle of last decade. Accession to the European Union has brought a number of opportunities, requirements and limitations; energy technologies have developed. Development of electricity markets have become more environment-centered rather than technology-centered.

Power market is governments' strategic infrastructure and has to assure security of supply as well as reliability of electricity production, transmission, distribution and consumption at as low prices as possible. Electricity production efficiency has to guarantee the sustainability of power market as well as the quality of electricity transmitted, aiming at maintaining the competitiveness of Estonian economy and prosperity of the population. Moreover, power market development plays an important role in regional development.

Considering the abovementioned, the government on 3 January 2006 sealed the “Long-term Electricity Market Development Plan 2005–2015” written by the Ministry of Economic Affairs and Communications of the Republic of Estonia. The development plan was developed in order to guide the development of electricity markets till 2015. The document describes the present situation of electricity markets, underlines issues in Estonia's accession agreement to the European Union, gives a prognosis for future electricity consumption and a strategic goal in development of power market, states goals and limitations that need to be considered in these processes, as well as developmental principles and magnitude of investments needed. The development plan also highlights problems that need to be analyzed further.

The strategic goal of Estonian Electricity Markets Development Plan 2005–2015 is to guarantee the optimal functioning and development of Estonian electricity markets in a market economy, and to properly supply consumers with electricity at as low prices as possible. It is important that power engineering reliability, security of supply and fulfilling of environmental requirements are guaranteed, that domestic consumption is covered by local production capacity, that efficiency of production, transmission and distribution are being constantly developed, and that support is given to R & D, development- and transfer of technologies by ensuring local know-how, and that international cooperation is intensified in order to better implement the abovementioned activities.

Reports of researches conducted during the compilation of the Estonian Electricity Market Development Plan 2005–2015 are available on the homepage of the Ministry of Economic Affairs and Communications of the Republic of Estonia (Majandus..., 2006).

SOOJUSÜLEKANNE, HEITMED JA PÕLEMISTEHNILISED PARAMEETRID BIOKÜTUSEKATELDES

Ants Veski¹, Aadu Paist¹, Vitali Borovikov² ja Toomas Tiikma

¹Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituut, Kopli 116, 11712 Tallinn
e-post: aveski@sti.ttu.ee, apaist@sti.ttu.ee

²AS Enprima Estivo, Väike-Ameerika 8–303, 10129 Tallinn
e-post: vitali.borovikov@enprima.com

Annotatsioon

Selles artiklis on ära toodud ja analüüsitud biokütuste restpõletamisel eksperimentaalselt saadud seoseid: leegi temperatuuri, kiirgusvoo, leegi kuju ja struktuuri ning põlemise täiuslikkuse sõltuvust põlemisõhu suhtelisest kogusest ehk liigõhutegurist. Jälgides esitatud soovitusi saab tõsta seadmete (katelde, ahjude, kaminade) kasutegurit, intensiivistada soojusvahetust ja vähendada kahjulike heitmete hulka suitsugaasis.

RESTPÕLETAMINE, LEEGI TEMPERATUUR, SOOJUSVOOG, KAHJULIKUD HEITMED

Siin kasutatud lühendid

V^{prim} , V^{sek} – primaar- ja sekundaarõhu kogus, m³/s,

V_{teor} – täielikuks põlemiseks teoreetiliselt vajalik õhukogus, m³/s,

$V_{väär}$ – väärõhu kogus, m³/s,

$\lambda = (V^{prim} + V^{sek} + V_{väär})/V_{teor}$ – seadme väljuva gaasi liigõhutegur,

W – kütuse niiskus, %.

Sissejuhatus

Eestis on tahkeid biokütuseid (seni põhiliselt puitu) ja turvast põletavad katlad varustatud enamasti restkolletega. Restil paiknevas kütusekihis toimuvad primaarõhu osavõtul kütuse kuivamine, lendosade eraldumine ja koksi põlemine. Lendosad, mis moodustavad 70–85% puidu ja turba põlevainest, ja koksi mittetäielikul põlemisel tekkinud vingugaas CO põlevad koldekambri kütusekihi kohal või kõrval peamiselt sekundaarõhu arvel. Ka parima põlemiskambri konstruktsiooni, sekundaarõhu sisestamise viisi ja gaasistamise produktidega segamise korral sõltub põlemine leegis väga tugevalt sekundaarõhu hulgast ning kokkuvõttes kogu põlemisõhu suhtelist kogust iseloomustavast liigõhutegurist.

Kui on täidetud konstruktiivsed tingimused ja põlemisõhk (sekundaarõhk) põlevgaasidega optimaalses vahekorras segatud, on koldes ülekantav soojushulk maksimaalne, gaasilise ning tahke põlevaine hulk koldest lahkuvas suitsugaasis minimaalne. Sel juhul töötab seade (kolle, katel, ahi, kamin) kõrge kasuteguriga ja saastab loodust võimalikult vähe ning saastub ka ise minimaalselt. Sel juhul on põlemisrežiim ja liigõhutegur optimaalsed.

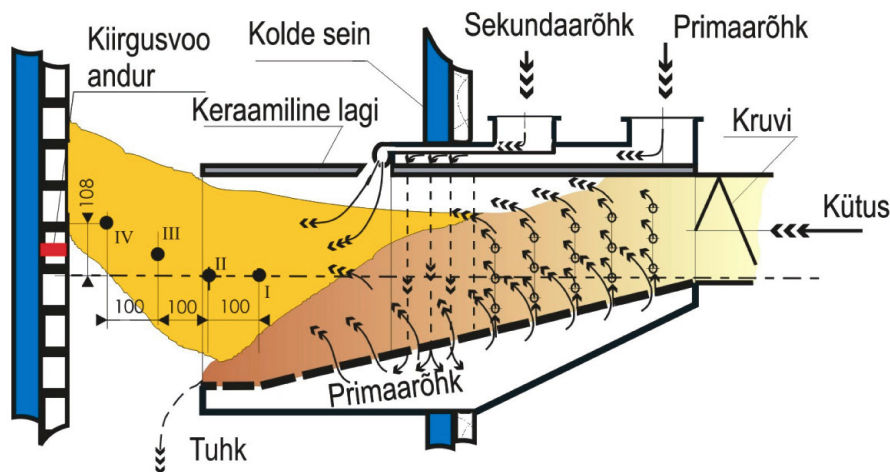
Oluline on parameetri valik, mille järgi põlemisprotsessi kontrollida. Olukorda kompliit

seerib asjaolu, et biokütuste ja turba põletusseadmed ning katlad peavad töötama kiirelt muutuvates tingimustes. Muutub kütuse niiskus, põletusseadme koormus, väärdõhu hulk (kui seade ei ole gaasitihe) jm. Niisugusel juhul ei iseloomusta seadme väljuvate gaaside põhjal saadud info olukorda põlemiskambris ja põletusprotsessi juhtimise signaal tuleks hankida otse koldest.

Lisaks optimaalse põlemisrežiimi tagamise võimalustele käsitleme probleeme, mida kutsuvad esile optimaalsetest tingimustest kõrvalekaldumine.

Katsed ja analüüs

Töö käigus põletasime biokütust (hakkpuitu) kompaktses restkoldes, mida nimetatakse ka stokerpõletiks. Uuritav kolle paiknes suuremas koldes, millele järgnesid katla soojusvahetuspinnad.



Joonis 1. Katsekolle (stokerpõleti). I, II, III, IV – temperatuuri mõõtmise kohad leegis
Figure 1. Test furnace (stoker burner). I, II, III, IV – temperature measuring points in flame

Mõõtsime leegi põlemistehnilisi parameetreid mitmesuguse niiskusega hakkpuidu põletamisel laias liigõhutegurite λ intervallis ja filmisime leeki.

Seadme soojuslikku võimsust püüdsime hoida konstantsena – 2/3 nimivõimsusest. Kütuse kütteväärtus ja primaarõhu vajadus sõltuvad kütuse niiskusest, seetõttu olid kütuse kulu ning primaarõhu kulu kütuse erinevate niiskuste korral erinevad. Konstantse niiskuse juures hoidsime kütuse kulu ja primaarõhu kulu konstantsena. Liigõhutegurit reguleerisime sekundaarõhu kulu muutmisega, mis põhjustas seadme võimsuse mõningase kõikumise ($\pm 5\%$).

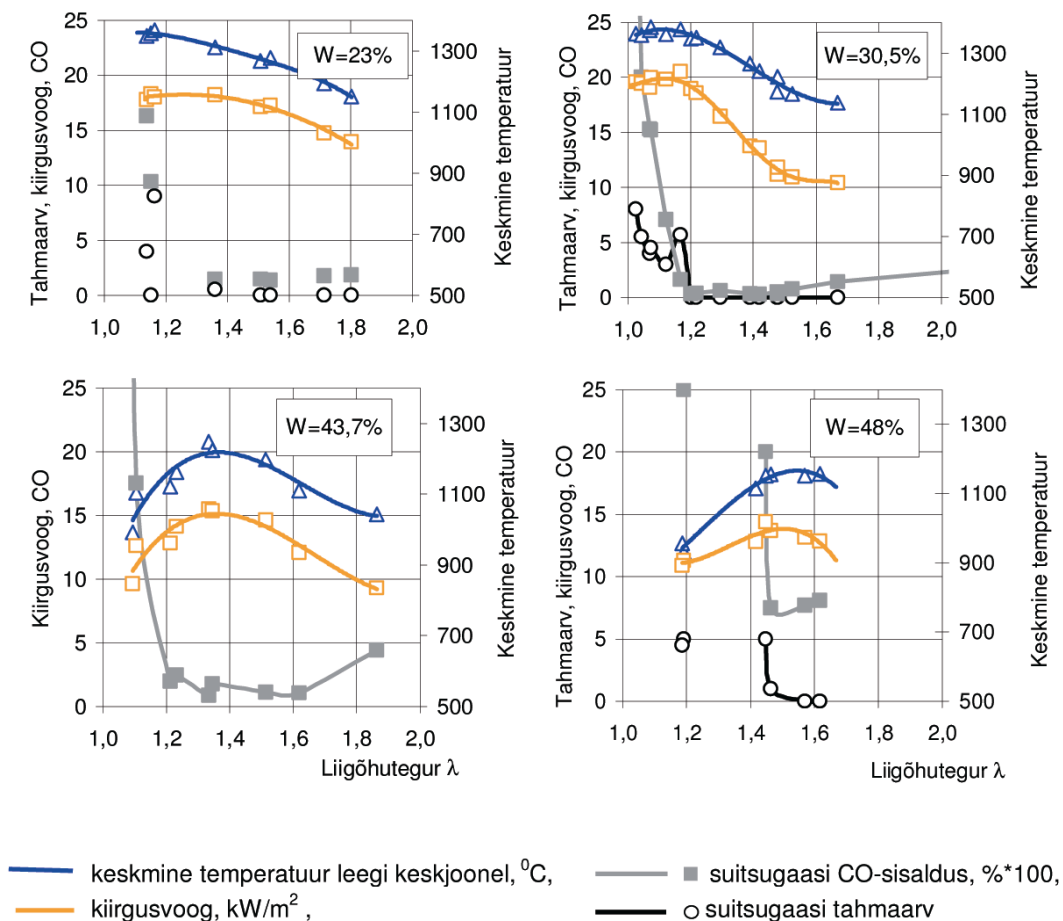
Nelja imipüromeetriga mõõtsime üheaegselt temperatuuri leegi ligikaudse keskjoone neljas punktis (joonis 1). Samaaegselt mõõtsime kiirgusvoo anduriga (Veski jt, 2002a; 2002b) resulteerivat soojusvoogu leegi ja kolde tagaseina vahel.

Keskmine temperatuur leegi keskjoonel (I, II, III ja IV mõõtmispunkti keskmine) ja resulteeriv kiirgusvoog omavad mingis liigõhuteguri piirkonnas maksimumi (joonis 2).

Selle piirkonna asukoht on mõlema parameetri jaoks sama, kuid sõltub kütuse niiskusest. Seda piirkonda nimetame optimaalse liigõhuteguri piirkonnaks.

$\lambda = \lambda_{opt}$ korral on tagatud biokütuse gaasistamise produktide ja õhuhapniku stöhhiomeetiline vahekord homogeenses gaasisegus. Kui on välistatud ümbritsevate seinte jahutav mõju gaaside ja sekundaarõhu segamise tsoonis (nii nagu see on meie seadmes), on optimaalse liigõhuteguri korral mittetäieliku põlemise produkte koldest ja katlast väljuvas gaasis minimaalselt (joonis 2). Gaasid põlevad turbulentses kineetilises leegis (joonis 3, $W = 30,5\%$, $\lambda = 1,2$).

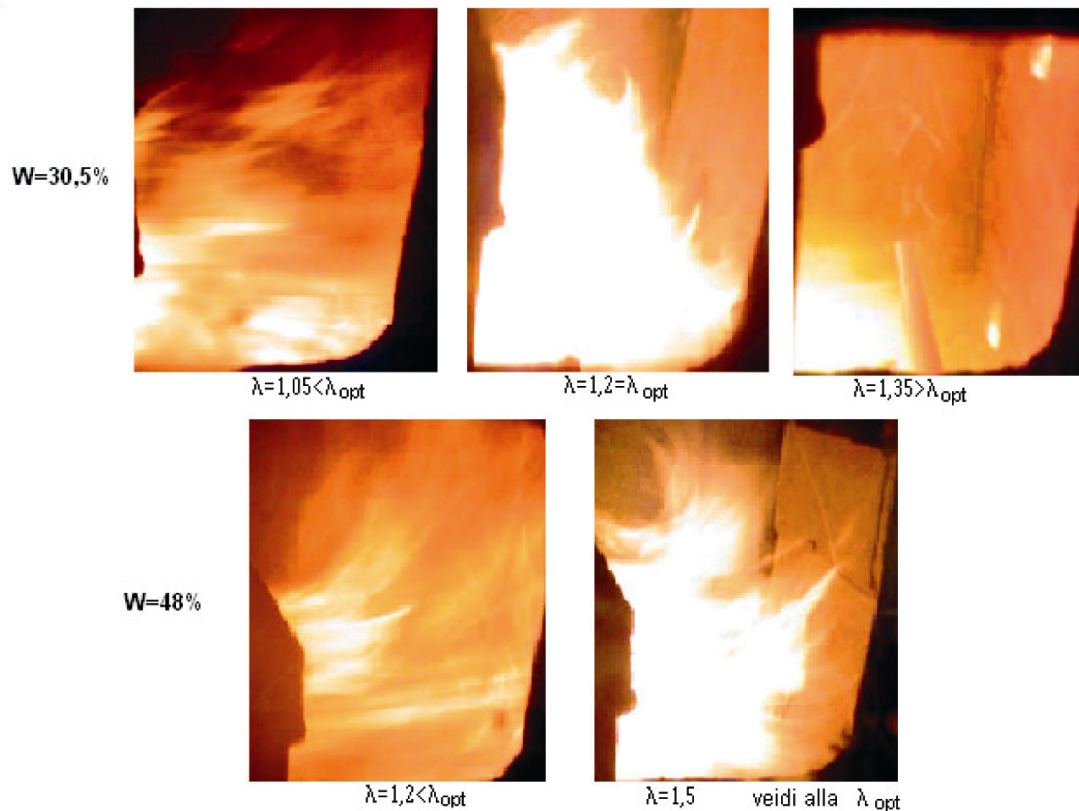
Optimaalsest väiksema liigõhuteguri ($\lambda < \lambda_{opt}$) korral põleb kineetilises leegis vaid see osa gaasistamise produktidest, milleks jätkub homogeenses segus olevast õhust. Ülejäänud põlevgaas koos kasutamata jäänud primaarõhuga ja gaasiliste põlemisproduktidega väljub kineetilise põlemise tsoonist ning moodustub difusioonilise põlemise tsoon (joonis 3, $W = 30,5\%$, $\lambda = 1,05$ ja $W = 48\%$, $\lambda = 1,2$).



Joonis 2. Temperatuur leegi keskel, resulteeriv kiirgusvoog, suitsugaasi CO-sisaldus ja tahmaarv sõltuvalt liigõhutegurist

Figure 2. Dependence of temperature in central section of flame, result heat flux, CO-content and smoke number of flue gas on air ratio

Niisuguses režiimis jääb osa põlevainest põlemata, koldest ja katlast väljuvad C_mH_n , CO, C (tahm) ja peened kütuseosakesed. Seega esineb soojuskadu keemiliselt mitte-täielikust põlemisest. Atmosfääri satuvad saasteained. Küttepinnad kattuvad tahmaga, mis tõstab seadme lahkuva gaasi temperatuuri ja vastavat soojuskadu.



Joonis 3. Leek kütuse erinevate niiskuste W ja liigõhutegurite λ juures seadme konstantsel koormusel

Figure 3. Shapes of flame at different fuel moistures W and air ratios λ at constant heat output of device

Optimaalsest suurema liigõhuteguri ($\lambda > \lambda_{opt}$) korral algab kihist väljuvate gaaside põlemine kihi lähedal ja see toimub lühikeses leegis. Vastavalt sellele on esimestes mõõtmispunktides temperatuur kõrge ja langeb tagapool järsult (joonis 4). Liigne põlemisõhk soodustab leegi temperatuuri langust ja isegi CO-sisalduse tõusu koldest lahkuvas gaasis (joonis 2).

Joonisel 4 on esitatud temperatuuri muutus piki leeki (leegi keskel) kütuse erinevate niiskuste ja liigõhutegurite juures. Liiga madala liigõhuteguri korral on temperatuuri maksimum leegi lõpus ja ülemäära suure liigõhuteguri korral leegi algusosas. Optimaalse liigõhuteguri korral on leegi temperatuur suhteliselt ühtlane.

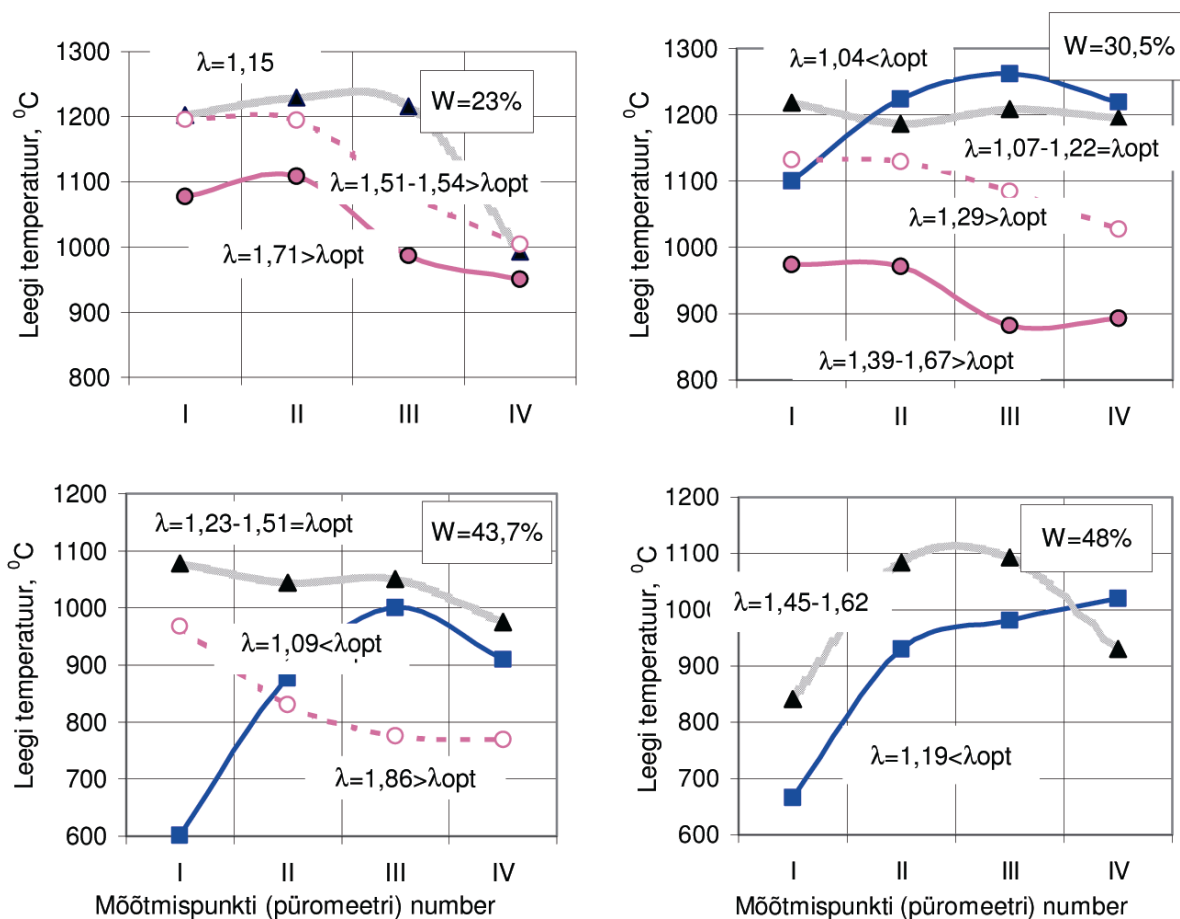
Intensiivse põlemise tsooni nihkumine leegi tagaosas poole vähendab soojusvastuvõttu koldes ja konvektiivsesse gaasikäiku saabuvad kõrgendatud temperatuuriga gaasid. Seetõttu võib liialt madal liigõhutegur mõnede biokütuste ja kütusesegude põletamisel põhjustada paakunud sadestiste tekkimise konvektiivpindadel (Veski ja Tiikma, 2004).

Et vähendada katla küttepindade saastumist ja atmosfääri sattuvate saasteainete hulka, tagada koldes vastuvõetava soojushulga maksimaalne kogus ning vähendada soojuskadusid, peab liigõhutegur olema optimaalne (parem veidi üle optimaalse, et vältida põlemisrežiimi kõikumiste korral sattumist $\lambda < \lambda_{opt}$ piirkonda).

Parameetrid optimaalse põlemisrežiimi hoidmiseks

Põlemisõhku võib reguleerida põlemata gaaside (eelkõige CO) sisalduse järgi sead-
mest lahkuvas suitsugaasis. Selleks on vajalik pidevalt töötavate töökindlate andurite
olemasolu. Vingugaasi järgi reguleerimist segab asjaolu, et liigõhuteguri tõus üle
optimaalse mõjutab CO-sisaldust vähe.

Põlemisprotsessi otseseks juhtimiseks tuleks põlemisõhku anda nii, et leegi tempera-
tuur oleks alati maksimaalne. Probleemid tekivad leegi temperatuuri mõõtmisega.



Joonis 4. Temperatuuri muutus piki leegi keskjoont

Figure 4. Temperature in different points of flame central section

Leegi temperatuuri T_{leek} mõõtmise võib asendada leegi kiirgusvoo $Q_{resulteeriv}$ mõõtmisega, sest kiirgusvoo andur on suhteliselt lihtne ja odav. Nende parameetrite vahel on järgmine seos:

$$Q_{resulteeriv} = \epsilon_{süsteem} \sigma_0 (T_{leek}^4 - T_{andur1}^4), \quad (1)$$

kus $\varepsilon_{\text{süsteem}}$ on leegist, koldest ja anduri kiirgust vastuvõtvast pinnast koosneva süsteemi mustsusaste, T_{andur1} – anduri kiirgust vastuvõtva pinna temperatuur, K, T_{leek} – leegi efektiivne kiirgustemperatuur, K ning σ_0 – kiirgustegur, $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$.

Liigõhutegur mõjub $\varepsilon_{\text{süsteem}}$ väärtusele (liigõhuteguri vähenemine alla optimaalse suurendab leegi mustsusastet), kuid meie mõõtmistulemuste põhjal langevad maksimaalse temperatuuri ja maksimaalse kiirgusvoo piirkonnad siiski kokku.

Kamine, ahjude ja väikekatelde varustamine kallite mõõteriistadega ei ole sageli otstarbekas. Neis seadmes võiks reguleerida põlemisõhku leegi struktuuri järgi.

Kokkuvõte

Mõõtsime leegi karakteristikuid hakkpuidu restpõletamisel laias liigõhutegurite diapsoonis kütuse mitme niiskuse korral. Leegi temperatuur ja kiirgusvoog on mingis liigõhutegurite piirkonnas maksimaalsed, kütuse gaasistamise produktid põlevad turbulentses kineetilises leegis ja koldest peaaegu ei välju mittetäieliku põlemise produkte. Seda piirkonda võiks nimetada optimaalse liigõhuteguri piirkonnaks. Et tagada küttepindade ja atmosfääri minimaalne saastamine ning seadme võimalikult kõrge kasutegur, peab liigõhutegur igal ajahetkel olema optimaalne (parem veidi üle optimaalse). Põlemisõhku võib reguleerida leegi temperatuuri, kiirgusvoo, seadmest lahkuva põlemisgaasi koostise või leegi struktuuri järgi.

Tänuavaldus

Käesolev uuring on teostatud Eesti Teadufondi toetusel (grant 5916).

KirjandusReferences

1. Veski, A. ja Tiikma, T. (2004) Biokütuste veekateldes põletamise soojustehnilistest probleemidest. Viienda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 88–96.
2. Veski, A., Tiikma, T., Borovikov, V. (2002a) Combustion Air Control in Biofuel-Fired Boilers. Proceedings of Twelfth European Biomass Conference Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. 17–21 June 2002. Amsterdam: 408–411.
3. Veski, A., Tiikma, T., Borovikov, V. (2002b) Õhu reguleerimisest biokütuste restpõletamisel. Kolmanda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 134–141.

HEAT TRANSFER, EMISSIONS AND COMBUSTION CHARACTERISTICS OF BIO FUEL BOILER

Ants Veski¹, Aadu Paist¹, Vitali Borovikov² and Toomas Tiikma

¹ Thermal Engineering Department of Tallinn University of Technology
e-mail: aveski@sti.ttu.ee, apaist@sti.ttu.ee

² Enprima Estivo Ltd
e-mail: vitali.borovikov@enprima.com

Abstract

The objective of the current work was to elaborate measures for optimizing bio fuels grate firing process.

We measured the flame characteristics in wide interval of air ratio at different moistures of fuel (wood chips) and filmed the flame. The simultaneous measurements of the temperature were made in central section of the flame by four suction pyrometers. At the same time the heat flux between the flame and back wall of the furnace was measured.

The average temperature of flame and resultant heat flux have maximal values in some air ratio range, gases are burning in the turbulent kinetic flame, combustion takes place almost without products of incomplete combustion. The range is the same for the both characteristics, but depends on moisture of the fuel. This range is called the optimal range of air ratio.

To guarantee the minimal fouling of the heat transfer surfaces and minimal atmospheric pollution, maximal quantity of heat transferred in furnace and high effectiveness of device, the air ratio must be a little over optimal. Air ratio may be controlled by heat flux, shape of flame, flame temperature or composition of flue gas.

PINGEKVALITEET ELEKTRITUULIKUID SISALDAVAS NÕRGAS ELEKTRIVÕRGUS

Ivo Palu

Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn
e-post: ivo.palu@ttu.ee

Annotatsioon

Käesolevas artiklis antakse ülevaade pingekvaliteedi olemusest ning neid määravatest standarditest. Standarditega võrdlemiseks korraldati kaks mõõtmiste seeriat Läätsa 35/10 kV alajaama "Tuulepargi" fiidril, kuhu oli mõõtmiste ajaks liidetud kolm 500 kW elektrituulikut. Elektrituulikute park asub Saaremaal Salme vallas Üüdibe külas. Mõõtmiste käigus koguti analüüsivat materjali 212 tunni ulatuses, mille sisse jääb elektrituulikute pargi täis- ja osavõimsusel töötamine ning kõigi elektrituulikute täielik seisak. Mõõtmistega kontrolliti ning analüüsiti elektrituulikute pargi võimalikku mõju pingekvaliteedile nimetatud alajaama 10 kV elektrivõrgus ning võrreldi tulemusi Eesti Vabariigi standardi EVS-EN 50160:2000 (EVS-EN ..., 2000) ja Eesti Energia ettevõttestandardi EE 10421629 ST 7:2001 "Tehnilised nõuded elektrituulikute liitumiseks elektrivõrguga" (Ettevõttestandard ..., 2001) nõuetega.

PINGEKVALITEET, ELEKTRITUULIKUD, NÕRK ELEKTRIVÕRK

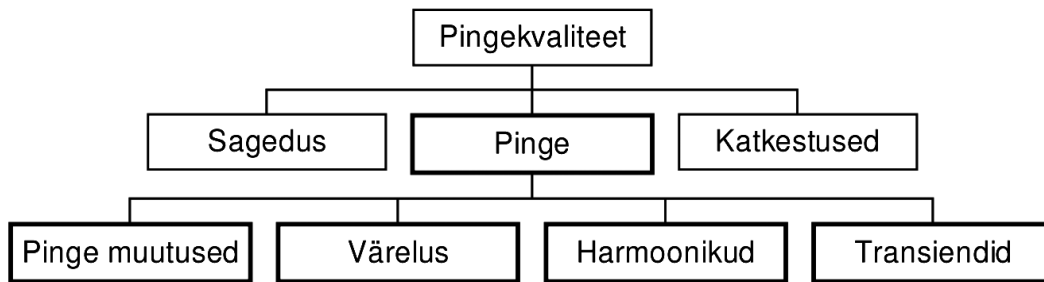
Elektrituulikud Eesti elektrivõrgus

Elektrituulikud paigutatakse sinna, kus on eelkõige olemas piisavalt tuuleenergiat. Tihti ei ole need paigad eriti tiheda asustusega ega ka tööstuspiirkonnad, mis tagaks tugevama elektrivõrgu. Praeguses on Eestis olemasolevad elektrituulikud paigutatud elektrivõrgu seisukohalt äärealadele. Elektrituulikute paigutamisel sellesse piirkonda muudame seni eksisteerinud võrgu normaaltalitlust (ühesuunalist elektriülekannet) ning võime põhjustada nii pingekvaliteedi halvenemist kui ka mõnel juhul paranemise.

Pingekvaliteet

Elektrivõrku ühendatud elektrituulikud mõjutavad pingekvaliteeti (vt joonis 1). Pingekvaliteet – see on sagedus, pinge ja toitekategestused. Elektrituulikud ühtses tugevas elektrisüsteemis mõjutavad otseselt vaid pinge parameetreid: pinge muutust, värelist, harmoonikuid ja transiente. Need on väärtused, mis iseloomustavad ka n-ö nõrka võrku. Mõju hindamine on iga võrgu unikaalse iseloomu ja elektrituulikute erinevate tüüpide tõttu keeruline.

Püsikiirusega elektrituulikud põhjustavad võimsuse pulsatsioone, mis tulenevad tuulekiiruse jaotumisest vertikaalsuunas ja torni varju efektist. Pulsatsioonid põhjustavad võrgu pinge fluktuatsioone, mis omakorda võivad esile kutsuda lubamatult suurt värelist. Muutuvkiirusega ja piiratult muudetava kiirusega, st muutuva libistusega asünkroongeneraatoritega elektrituulikud vähendavad oluliselt tuule kõrgusjaotusest ja torni varjust põhjustatud võimsuse fluktuatsioone (Nørgård ja Lundsager, 1996).



Joonis 1. Pinge kvaliteedi olemus

Figure 1. The meaning of power quality

Oluline probleem on tuuleturbiinide käivitumine. Võrku lülitatud püsikiirusega ja õhujoo rebenemisel põhineva reguleerimisega tuuleturbiinid võivad põhjustada suuri käivitusvoole, sest nende rootorite pöördemoment pole piisavalt juhitav, et kindlustada generaatorile vajalik pöördemoment. Labareguleerimisega püsikiirusega elektrituulikud ja muutuvkiirusega elektrituulikud on võimelised tagama pehmema käivituse (Nørgård ja Lundsager, 1996).

Muutuvkiirusega elektrituulikud on varustatud muunduritega, mis emiteerivad harmoonikuid ja vaeharmoonikuid. Võrgukommutatsiooniga muundurid põhjustavad madalat, 5.–7. järku (250–350 Hz), PWM ja IGBT tehnikat kasutavad suundkommutatsiooniga muundurid aga kõrget, alates 12. järgust harmoonikuid (> 600 Hz) (Carlson jt, 1994). Harmoonikute vähendamiseks kasutatakse spetsiaalseid filtreid. Et piirata harmoonikute mõju võrgu pingele kvaliteedile, peavad elektrituulikud talitlema vastavalt rahvusvahelistele standarditele (EVS-EN ... Elektromagnetiline ..., 2002; EVS-EN ... Electromagnetic ..., 2002).

Koormuse fluktuatsioonide tõttu kõigub süsteemi võrgus püsitalitluse pingele, eriti nõrkades, st pikkade ülekandeliinidega ja suhteliselt madala pingega võrkudes. Elektrituulikute parkide lisamine sellisesse võrku suurendab neid kõikumisi väljundvõimsuse lühi- ja pikaajaliste muutuste tõttu. Siiski võivad juhitava võimsusteguriga turbiinid ka vähendada pingele kõikumisi, kui võimsustegurit pidevalt koormuse poolt põhjustatud pingele kõikumistega sobitatakse (Ackermann jt, 1999).

Nõrk elektrivõrk

Elektrivõrku võib iseloomustada kui tugevat või nõrka võrku. Nõrgas elektrivõrgus muudavad aktiiv- või reaktiivvõimsuse voo muutused selle mingis sõlmes oluliselt pinget antud ja naabersõlmedes ning sellel võrgul on madal lühisvoolude tase. Mida tugevam võrk, seda vähem võimsuse kvaliteedi probleeme elektrituulikute võrku ühendamine tekitab. Maapiirkondades on tavaliselt nõrgemad võrgud kui linnas ja suurtes tööstuspiirkondades. Ühendamine nõrga võrguga seab aga elektrituulikute toodangule rea kitsendusi. Need on tavaliselt seotud elektrituulikute poolt toodetud elektrienergia mõjuga pingekvaliteedile ja ka (kuigi harvemini) võrgu läbilaskevõime soojuslike piirangutega. Kitsendused sõltuvad nii võrgu kui tuuleenergiapaigaldise karakteristikutest. Eesti paljud tuulerikkamad piirkonnad, näiteks Saaremaa lääneosa ja Hiiumaa, aga ka Peipsi-äärsed alad, paiknevad kaugel põhitoiteallikatest ja sinna

ulatuvad nõrgad, väikese läbilaskevõimega 10–35 kV võrgud. Elektrituulikute lülitamisel olemasolevatesse jaotusvõrkudesse peab silmas pidama, et võrgud on algselt planeeritud elektrienergia ühesuunaliseks edastamiseks. Seni ei ole elektrituulikute võimsuse vastupidist suunda ja nende käitumise eripära võrkude arengu planeerimisel arvestatud (Liik jt, 2005).

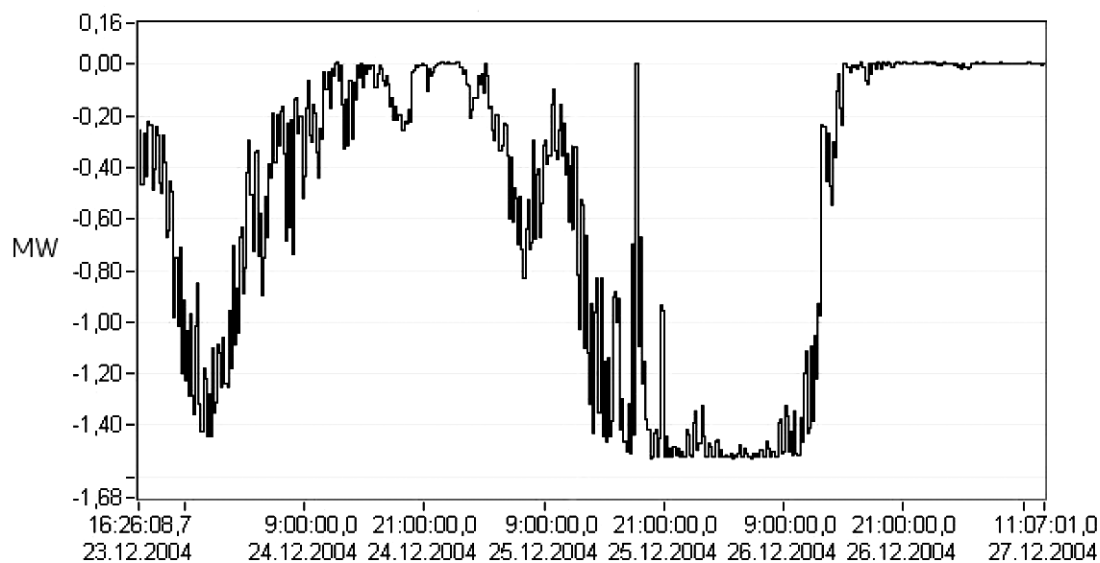
Elektrituulikute püstitamisel ja olemasolevasse võrku ühendamisel on esmatähtis võrgu piisava läbilaskevõime olemasolu ning energiakvaliteedi küsimused. Võrku oluliselt laiendamata võib mõlemat probleemi tõlgendada tehniliste kitsendustena, mis peavad olema täidetud ja mille alusel saab tuletada võrku ühendatavate elektrituulikute lubatavad võimsused olenevalt kavandatavast liitumiskohast. Elektrituulikute ühendamisel nõrga võrguga on määravaks peamiselt kolm aspekti:

- tuulevõimsuse mõju püsitalitluse pingele;
- pinge fluktuatsioonid;
- pinge lainekuju võimalikud moonutused.

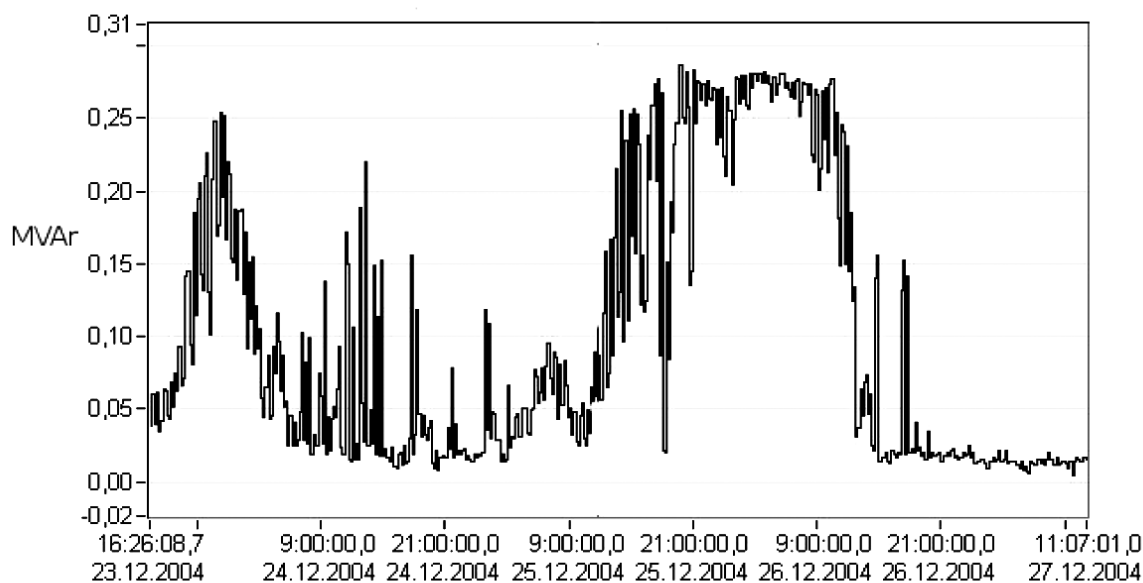
Mõõtmised

Mõõtmised korraldati kokkuleppel OÜ Jaotusvõrguga Saaremaal Läätsa 35/10 kV alajaamas. Pinge väärtused on mõõdetud alajaama 10 kV lattidelt pingetrafo sekundaarpoolelt. Vool on mõõdetud tuulepargi fiidri voolutrafode sekundaarpoolelt. Mõõdeti ja salvestati järgmised suurused: võimsustegur, vool, pinge, pinge- ja vooluharmonikud kuni 50. järguni, väreluse emissioon P_{lt} ja P_{st} , elektrituuliku poolt genereeritav reaktiiv-, aktiiv- ja näivvõimsus (Q , P ning S), pinge- ja vooluharmonikute summaarne moonutustegur (*total harmonic distortion factor*) THD U ning THD I, sagedus ja asümmeetria. Mõõtmistulemused on esitatud 1 min keskmiste suurustena. Mõõtmistulemuste graafikutel on elektrituulikute võimsus näidatud negatiivsena, sest maailmas on kokku lepitud vaadelda elektrituulikuid negatiivse koormusena. Artikli piiratud mahu tõttu on esitatud ainult kaks elektrituulikute toodangut iseloomustavat graafikut 23.–27. detsembri 2004 kohta, kus on märgata sagedasi elektrituulikute sisse- ja väljalülitusi.

Mõõtmistulemuste põhjal võib järeldada, et Läätsa alajaamas esineb ajuti mõõdukaid kõrvalekaldeid keskmisest pingekvaliteedist koos lühiajalise väljumisega standardiga lubatud piiridest. Kahjuks ei olnud teada pingekvaliteedi olukord enne elektrituulikute paigaldamist ning seetõttu ei saa nende mõõtmiste põhjal pingekvaliteedi rikkumises süüdistada ainult elektrituulikuid, kuid esinenud häiringud on ilmselt nendega seotud. Reaktiivenergia tarbimist ega liigset tootmist ei täheldatud. Võimsustegur on elektrituulikute täisvõimsusel töötades lähedal ühele. Analüüsist selgub, et standardis EVS-EN 50160:2000 lubatud kiirete pingemuutuste piirväärtusi ületati lepingulise toitepinge suhtes korduvalt. Lubatud maksimaalset väärtust ühes tunnis ületati isegi kuni 21 korda. Esinenud on ka mõned lühiajalised väreluse, pinge- ja vooluharmonikute teguri väga suured väärtused.



Joonis 2. Läätsa alajaamas mõõdetud tuulepargi aktiivvõimsus
Figure 2. Measured active power in Läätsa substation



Joonis 3. Läätsa alajaamas mõõdetud tuulepargi reaktiivvõimsus
Figure 3. Measured reactive power in Läätsa substation

Kokkuvõte

Tehtud analüüsi alusel võib väita, et Läätsa tuulepark ei ole põhjustanud elektri kvaliteedi näitajate olulist pikaajalist väljumist standardiga EVS-EN 50160:2000 lubatud piiridest. Kahjuks puudus kontakt tuulepargi omanikega ja mõõtmiste käigus toimunud kõrvalisi sündmusi mõõtmised selgitada ei võimaldanud. Suure tõenäosusega võisid nad olla seotud mingite korratustega tuulepargi talitluses või ka meile mitte teada olevate reguleerimistöödega tuulepargis. Eespool esitatud graafikud kehtivad

ainult nende elektrituulikute tüübi kohta antud võrgu tingimuste juures ning ei ole laiendatavad üldiste karakteristikutena.

Mõõtmiste analüüs kinnitab, et elektrituulikute paigaldamisel nõrka elektrivõrku peab hoolikalt jälgima nii elektrivõrgu enda kui ka elektrituulikute karakteristikuid. Kuivõrd standard EVS-EN 50160:2000 standardiseerib pingekvaliteedi tarbija liitumispunktis ja ei reguleeri üksikute seadmete poolt toodetud häiringuid, peab jälgima ka standardi EE 10421629 ST 7:2001 kehtivust elektrituulikute liitumisel.

Tänuavaldus

Autor avaldab tänu Euroopa Liidule ja Eesti Teadusfondile toetuse eest (grant 5885).

KirjandusReferences

1. Ackermann, T., Garner, K., Gardiner, A. (1999) Embedded wind generation in weak grids – economic optimisation and power quality simulation. In: Renewable Energy 18(2). Elsevier Science. Oxford: 205–221.
2. Carlson, O., Grauers, A., Svensson, J., Larsson, Å. (1994) A comparison of electrical systems for variable speed operation of wind turbines. European Wind Energy Association Conference and Exhibition (EWEC'94) 10–14 October 1994. Thessaloniki, Greece: 500–505.
<http://www.elkraft.chalmers.se/Publikationer/EMKE.publ/Abstracts/old/CarlsonGrauers.mf94a.abstr.html>.
3. Ettevõttestandard EE 10421629 ST 7:2001 (2001) Tehnilised nõudmised elektrituulikute liitumiseks elektrivõrguga. Eesti Energia ametlik väljaanne. Tallinn: 18.
4. EVS-EN 50160:2000 (2000) Elektri jaotusvõrkude pingetunnusuurused. Eesti Standardikeskus. Tallinn: 22.
5. EVS-EN 61000-4-7:2002 (2002) Elektromagnetiline ühilduvus (EMÜ). Osa 4: Katse- ja mõõtetehnika. Jagu 7: Toitesüsteemide ja nendega ühendatud seadmestiku harmoonikute ja vaheharmoonikute mõõtmiste ja mõõteaparatuuri üldjuhend. Eesti Standardikeskus. Tallinn: 40.
6. EVS-EN 61000-4-15:2002 (2002) Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4: Testing and measurement techniques. Section 15: Flickermeter – Functional and design specifications Eesti Standardikeskus. Tallinn: 47.
7. Liik, O., Oidram, R., Keel, M., Ojangu, J., Landsberg, M., Dorovatovski, N. (2005) Co-operation of Estonia's oil shale-based power system with wind turbines. Oil Shale 22(2) Special. Tallinn: 127–142.
8. Nørgård, P., Lundsager, P. (1996) A power quality framework for wind power applications. In: 1996 European Union wind energy conference. Proceedings. EWEC '96, Göteborg (SE), 20–24 May 1996. Zervos, A.; Ehmann, H.; Helm, P. (eds.), (H.S. Stephens & Associates. Bedford: 451–454.

POWER QUALITY IN WEAK GRIDS CONTAINING WIND TURBINES

Ivo Palu

Department of Electrical Power Engineering of Tallinn University of Technology
e-mail: ivo.palu@ttu.ee

Abstract

This paper describes the effect of wind turbines to power quality in a weak grid. Island Saaremaa is one of the best areas in Estonia for erecting wind turbines. Unfortunately the electricity grid does not support wind energy integration and sets its certain limits. During the implementation of this study, a number of measurement series was carried out in Läätsa 35/10 kV substation on “Tuulepargi” feeder. The wind park is situated in Salme municipality, in Üüdibe village. At the time of the measuring the wind park consisted of three 500 kW wind turbines with the total capacity of 1500 kW. The analysis of power quality is made according to standards EVS-EN 50160:2000 “Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems” and Eesti Energia’s company standard EE 10421629 ST 7:2001 “Technical requirements for connecting wind turbine installations to the power network”.

A grid could be characterized as weak or strong. If a grid is weak, the input of active and reactive power might change the voltage in connection point or in any point close to it. One thing that also describes a weak grid is low short-circuit power. In case of a strong grid, there are fewer problems with connecting wind turbines. The distribution grid in Estonian rural areas is usually weaker and relatively long and is away from strong 110 kV transmission network.

Based on the measurements made in Läätsa 35/10 kV substation, the wind park has not caused considerable power quality modifications according to EVS-EN 50160:2000 standard. As there was no direct contact with the wind park owners, it was not possible to determine whether the irregular events were caused by any disorder or by planned work or regulation in wind turbines. Graphics presented in this paper are valid only for the measured grid with the above mentioned wind turbines and are not expandable as typical characteristics.

As described in this paper, the integration of wind turbines into weak distribution grids requires precise evaluation of grid conditions with reviewing the wind turbine characteristics. Certain types of wind turbines are unrealistic to integrate into weak grids without causing power quality problems.

The author would like to thank the Estonian Science Foundation (Grant 5885) and the European Union for financial support of this study.

ENERGIAKULTUURIDE KASVATAMINE JA KASUTAMINE EESTIS

Katrin Jürgens ja Katrin Heinsoo

Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Kreutzwaldi 64, 51014 Tartu
e-post: katrin_j@zbi.ee, katrin@zbi.ee

Annotatsioon

Artiklis antakse ülevaade Eesti oludesse sobivatest energiakultuuridest ja nende kasutusvõimalustest, käsitletakse nende kasvatamise iseärasusi. Peamisteks etanoolikultuurideks (bioetanooli tooraine) on erinevad teraviljad, õlikultuuriks (biodiislikütuse tooraine) raps, kuid võimalik on ka teiste liikide sobivus. Potentsiaalsed biomassikultuurid on: 1) puittaimedest eelkõige pajud, 2) üheaastastest rohttaimedest kiukanep, 3) mitmeaastastest rohttaimedest päideroog. Lisaks on arvestatavaks biomassiallikaks biogaasi tootmisel poollooduslikud kooslused. Roostike ja märgalapuhastite potentsiaali energeetilise ressursina on seni üle hinnatud.

ENERGIAKULTUURID, ÕLIKULTUURID, ETANOOLIKULTUURID, ENERGIAVÕSA, ENERGIAHEIN, PRODUKTSIOONI POTENTSAAL

Energiakultuuride mõiste ja tähtsus

Energiakultuuriks (*energy crops*) nimetatakse põllukultuuri, mida kasvatatakse eelkõige energia (biokütuse või biomassist saadud elektri- või soojusenergia) saamiseks. Kui soojus- või elektrienergia tootmisse suunatakse vaid kõrvalsaadus või jäägid (nt põhk), ei ole tegemist energiakultuuriga.

Energiakultuure võib liigitada neist saadava energiakandja tüübi alusel:

- õlikultuurid – õlirikkad taimed, millest saadud õlist toodetakse biodiislikütust;
- etanoolikultuurid – suhkru- või tärkliserikkad taimed, millest toodetakse bioetanooli;
- biomassikultuurid ehk ligniini-tselluloosipõhised kultuurid, nii puit- kui rohttaimed – kasutatakse taimede maapealset rohtset või puitunud biomassi.

Toorainet energiakandjate tootmiseks saab lisaks põldudele ka poollooduslikelt niitudelt. Mahajäetud rannaniitudest kujunevad roostikud, mida peetakse samuti arvestatavaks biomassiresursiks nagu ka märgalapuhasteid. Võrreldes teiste taastuenergiaallikatega on energiakultuuride kasutamisel järgmised eelised:

- 1) energiakultuurid on seni ainus taastuenergiaallikas, mis võimaldab toota vedelaid mootorikütuseid olemasolevatele bensiini- ja diiselmootoritele (tehnoloogia arenedes ja odavnedes võib saada toorainet bioetanooli tootmiseks ka metsandusest);
- 2) Eestis on erinevail hinnanguil 270 000–400 000 hektarit mahajäetud põllumaid. Ehkki kõik alad ei sobi nõudlikumate kultuuride kasvatamiseks ning deklareerimata maade kasutusele võtmisel võib tekkida raskusi toetuste taotlemisel, on ressurss siiski arvestatav;

- 3) energiakultuuride kasvatamine ja saaduste töötlemine annab tööd paljudele inimestele ning aitab elavdada maapiirkondi;
- 4) enamasti saab kasutada olemasolevat põllumajandustehnikat, ka oskused on olemas;
- 5) säilivad traditsioonilised avatud maastikud;
- 6) energiakultuuride abil saab utiliseerida inimtekkelist heitvett ja selle jääkmuda.

Energiakultuuride kui taastuvenergiaallika puudustena nimetatakse eelkõige nende kasvatamise suurt töö- ja energiamahukust. Energiabilansi arvutamisel tuleks arvestada seda, kui suurt osa saagist kasutatakse energiakandjate tootmiseks, ning ilmastikust tingitud saagikuse varieerumist. Eriti ilmne on see talivormide puhul (nt talinisu saagikus oli 2005. a 3,6 t/ha, kuid 2003. a vaid 1,8 t/ha (Statistikaamet ..., 2005). Lisaks energeetilis-majanduslikele aspektidele tuleb arvestada ka sotsioloogilisi ja looduskaitselisi mõjusid.

Energiakultuuride potentsiaal Eestis

Energiakultuuride kasutuspotentsiaal tulevikus sõltub fossiilkütuste hinnast ja neile rakenduvatest saastemaksudest. Samal ajal arenevad tehnoloogiad selle valdkonna kõikides etappides (kasvatamine, töötlemine, kasutamine). Eriti oluline on siinjuures energeetiliste kultuuride kasutamise efektiivsemate tehnoloogiate turuletulek. Tehnoloogia eelistustel saab määravaks ka selle maksumus – efektiivsem ning alles arendusjärgus rakendusmeetod on üldiselt kallim kui traditsiooniline. Tuleks laiemalt uurida erinevate tehnoloogiate kasutusvõimalusi ja sobivust Eesti tingimustes. Teiste maade edulugude ülevõtmisel peaks kindlasti kontrollima nende paikapidavust Eesti looduslikes (eelkõige ilmastik, muld, võimalik produktsioon) ning majanduslikes (tööjõukulu, turu suurus) tingimustes. Kultuuride valikul peaks silmas pidama looduslikku mitmekesisust ja arvestama seda, et lühiaegsed kultuurid vajavad viljavaheldust. Energiakultuuride kasvatamise soodustamiseks on vaja kogu tootmistsükli kooskõlastatust kasvataja (põllupidaja), töötleja (kütuse tootja, väärindaja) ning tarbija (katla või mootori omaniku) vahel. Tänapäevase seisuga ei ole esimesel kindlustunnet, et tema saak ära ostetakse, teistel on risk, et tulevikus ei jätku toorainet või kütust. Seega on hädavajalik riiklikult planeeritav arendustöö. Kindlasti on abiks Euroopa Liidu erinevate toetusüsteemide (eelkõige energiakultuuride kasvatamise toetuse) kasutuselevõtmine Eestis. Energiareessursi potentsiaali hindamisel tuleb arvestada jätkuva vajadusega ka teiste põllumajandusproduktide (toit, loomasööt) järele.

Energiakultuuride kasvatamine

Energiakultuure kasvatatakse analoogselt teiste põllukultuuridega hea põllumajandustava kohaselt, järgides väetiste, taimekaitsevahendite ja muude kasvuregulaatorite kasutamisel kehtivaid nõudeid ning piiranguid. Kui tootmisjääke kasutatakse loomasöödana, on vaja arvestada ka sööda koostisele esitatavaid nõudeid. Järgides vastavaid määrusi, võib energiakultuuride väetamiseks kasutada reovett või selle setet, vähendades seega kulutusi. Energiakultuuride kasvatamise iseärasusteks on teistsugused kriteeriumid sordi- ja liigivalikus ning spetsiaalne energiakultuuride kasvatamise toetus. Õli- ja etanooli- ning osa rohtsete biomassikultuuride kasvatamise agro-

tehnoloogia ja masinapark on analoogsed traditsiooniliste põllukultuuridega. Mitmeaastaste energiaheinakultuuride kasvatamise eripäraks on varakevadine koristustehnoloogia. Energiavõsapõllud on pikemat aega kasutusel kui teistel põllukultuuridel ning nende saagikoristustsüklid pikemad, vajalikud on ka spetsiaalsed istutus- ja koristusmasinad.

Energiakultuurid

Õlikultuurid

Õlikultuurid on taimed (näiteks raps, päevalill, soja), mille õlirikastest seemnetest pressitud õli kasutatakse toorainena biodiislikütuse valmistamiseks. Eestis kasvatatakse peamiselt suvirapsi, vähem suvirüpsi ja talirapsi ning -rüpsi. Talisordid on üldjuhul saagikamad, kuid nende kasvatamist Eestis piiravad ebastabiilsed talvitumistingimused ja mujal aretatud sortide vähene talvekindlus. Puuduliku agrotehnika, teadmiste vähesuse ja muutliku ilmastiku tõttu on saagikus põldudel väiksem kui katsealadel – ehkki katsetes on rapsi saagipotentsiaal Eestis 2–3 t/ha (Ilumäe jt, 2004), oli 2002–2004. a keskmine saagikus 1,6 t/ha. Samal ajal oli Euroopa Liidu keskmine rapsisaak 3 t/ha (European ..., 2005). Rapsi ja rüpsi kasvatamisel peab külvikorra vahe teiste ristõielistega olema 4–6 a, teiste ühiseid haigusi kandvate kultuuridega üks aasta (Ilumäe jt, 2004). Stabiilsete ja suurte rapsisaakide saamiseks sobivaid muldi on enam Järva, Lääne-Viru, Jõgeva, Põlva ja Rapla maakonnas. Erinevate allikate hinnangul võib aastane rapsi kasvupind Eestis olla 56 000–60 000 või kuni 80 000 hektarit (Mõtte, 2002; Ilumäe jt, 2004). 2004. aastal kasvatati rapsi Eestis 50 400 hektaril (Statistikaamet ..., 2005), seega on optimaalse kasvupinna piir juba lähedal.

Alternatiivsete õlikultuuridena võiks Eestis kasvatada õlilina ja -kanepit, lina- ehk õlitutra ning valget sinepit. Nende eeliseks on vähenõudlikkus mullastikutingimuste osas, haiguskindlus ja väiksem väetustarve, nad sobivad viljelemiseks mahepõllumajanduses. Puuduseks on seniste kasvatuskogemuste vähesus, madalam saagikus, tudra ja sinepi puhul õlikoogi sobimatus loomasöödaks.

Kasutamine

1. Seemnetest pressitud õlist saadakse esterdamisreaktsioonil (metanooli lisamisel) metüülester (RME – rapsi metüülester) ehk biodiislikütus. Seda võib kasutada kütusena transpordivahendites, samuti katlamajades kerge kütteõli asemel. Biodiislikütust sobib mootorikütusena kasutada kõikides diiselmootorites, segatuna tavadiislikütusega suhtes 5% kogumahust või vastavalt kohandatud mootorites puhtal kujul.
2. Põhku saab kasutada põletamiseks või biogaasi tootmiseks.
3. Õli pressimisel tekkivat õlikooki ehk šrotti kasutatakse loomasöödana, kuid seda võib ka põletada või kasutada biogaasi tootmise toorainena.

Etanoolikultuurid

Etanoolikultuurideks nimetatakse suhkru- või tärkliserikkaid põllukultuure (näiteks suhkruroog, suhkrupeet, kartul, mais, teraviljad), millest toodetakse nn bioetanooli. Etanooli ja metanooli saab toota ka tselluloosipõhisest materjalist (puit, sh energia-

võsa, heintaimed, sh energiahein ning põhk, puidutööstuse jäätmed, vanapaber). Selleks sobiv täiendavat hüdrolüüsi vajav tehnoloogia on arendamisel.

Teraviljad

Bioetanooli saab toota kõigist teraviljaliikidest, peamiselt kasvatatakse selleks nisu, samuti rukist, otra, tritikut. Etanooli tootmiseks sobivad paremini sordid, mis sisaldavad vähe valku ja palju tärklisi, oluline on ka ensümaatiline aktiivsus. Lääne-Euroopas eelistatakse kasvatada talisorte, sest need on produktiivsemad, kuid Eesti oludes on nende saagikus ebastabiilne. Euroopas on aretamisel ka spetsiaalsed bioetanooli tootmiseks mõeldud sordid.

Kartul

Ehkki kartulist saadava bioetanooli saagis hektari kohta on suurem kui teraviljal, ei ole see eriti efektiivne tehnoloogia, sest saagis tonni kohta on kordi väiksem, mistõttu suureneb transpordi- ja säilituskulude osakaal.

Kasutamine

1. Bioetanool sobib kasutamiseks bensiinimootorites, üldjuhul 5% seguna.
2. Põhk sobib põletamiseks, samuti biogaasi tootmiseks.
3. Teraviljapiirituse tootmisjääke kasutatakse loomasöödana, kuid neid saab kasutada ka põletamiseks ja biogaasi tootmiseks.

Biomassikultuurid

Biomassikultuure on kahte tüüpi: rohttaimed ehk energiahein ning puittaimed ehk energiavõsa. Nende kasutamiseks on mitmeid võimalusi.

1. Põletamine soojuse või soojuse ja elektri tootmiseks. Biomassi võib põletada eraldi või koos fossiilsete kütustega (koospõletamine).
2. Biogaasi tootmiseks võib biomassi säilitada silona, mistõttu seda ei ole vaja kuivatada. Sõltuvalt reaktori tüübist võib biomassi kääritada eraldi või segus sõnniku või mitmesuguste jäätmetega (olme-, põllumajanduse, toiduainetetööstuse jäägid jms). Tekkinud biogaasil (metaan + CO₂) on palju kasutusvõimalusi: soojuse ja elektri tootmine, kütus transpordivahenditele jne. Käärinud mass on kasutatav väetisena.
3. Etanooli ja metanooli tootmine.
4. Pürolüüs.
5. Gaasistamine.

Viimased on efektiivsed, kuid esialgu veel kallid tehnoloogiad. Biomassi on otsustavalt väärtuslik, teha briketti, pelletteid, graanuleid. Sel moel kokkupressitud biomassil on energiasisaldus ruumalaühiku kohta suurem, nii et seda on lihtsam transportida ja ladustada, seda saab kasutada erinevat tüüpi ja suurusega kateldes ning ahjudes.

Biomassikultuurid – puittaimed (energiavõsa)

Energiavõsaks nimetatakse lühikese raieringiga (kuni 15 aastat) kiirekasvulistest puuliikidest rajatud istandusi, kust saadavat biomassi kasutatakse energiakandjana. Sobilik on kasvatada liike, mis on samal ajal levinud ka looduses ning seega

ilmastikukindlad ja keskkonnale ohutud. Eestis kasvatatakse ja katsetatakse järgmisi liike.

1. Vitspaju ja pikalehine paju – istanduse raiering 4–6 a, iga oletatavalt 20–25 a, saagikus 8–12 t/ha/a. Eestis on katseistandusi tehtud ja uuritud üle kümne aasta, põllumehed rajasid esimesed tootmispõllud 2005. aastal. Pajusid kasutatakse ka olmereovee puhastamiseks – see tõstab nende saagikust, vähendab kulusid väetistele ja parandab keskkonna seisundit.
2. Hall lepp – kasvab aeglasemalt kui pajud, mistõttu istanduse raiering on pikem (10–15 a) ja saagikus madalam kui pajul, 6,4 t/ha/a (Uri jt, 2002). Lepa eeliseks on see, et ta ei vaja lämmastikväetist. Eestis kasvatatakse seni üksikutel katselappidel.
3. Hariliku haava triploidne vorm – esimesed katselapid rajati 2005. aastal.
4. Hübriidhaab – raiering on pikem kui eespool nimetatud liikidel (20–30 a). Kasvatatakse Eestis alates 1999. a, praegu u 700 hektaril, põhiliselt küll eesmärgiga saada paberipuitu ja palke (Tullus jt, 2004).

Kasutamine

Energiavõsaistandustest saadav puidu biomass on sarnane laialdast kasutust leidnud metsajätmetega ning seega kasutatav hakkpuidu põletamiseks kohaldatud kateldes. Tooraine üha suureneva nõudluse tõttu nähakse energiavõsa kasvatamises suurt potentsiaali. Pajuistandused on tõestanud oma sobivust olmereovee puhastamiseks, seetõttu sobivad nad hästi väiksemate asulate lähistele, kus lisaks küttematerjalile kohaliku katlamaja tarbeks saaks puhastatud ka kohalik heitvesi.

Biomassikultuurid – rohttaimed (energiahein)

Maailmas enam kasutatavad ja uuritud energiaheinaliigid on siidpööris, harilik hiidroog, vitshirss, mais, sorgo, päideroog, kuid katsetatud on teisigi, nt lutserni, kanepit, teraviljaliike. Energiaheinapõllud võivad olla pikaajalised või ühe-kaheaastased.

Üheaastaste energiaheinakultuuride kasvatamine on kallim ja keskkonnale kahjulikum kui mitmeaastaste taimede kasvatamine. Nende kasvatamist peetakse põhjendatuks juhul, kui nad sobituvad hästi viljavaheldussüsteemi. Eesti oludes sobiks selleks kiukanep, teravili ja liblikõielised vahekultuurid. Kiukanepit peetakse kõrge saagikuse ja suure kiusisalduse tõttu väga heaks energiakultuuriks, eeskätt just põletusmaterjalina. Eestis on kanepikasvatus varem kehtinud karmide turvalisuse nõuete tõttu praktiliselt hääbunud, viimastel aastatel on sellega taas tegelema hakatud. Teravilja võib lisaks bioetanooli saamiseks kasvatada ka biomassikultuurina, kasutades saaki biogaasi tootmiseks või põletamiseks. Põletada võib kogu taime maapealset osa korraga või teri ja õlgi eraldi. Teradel on eriti suur kütteväärtus ja katlasse etteandmiseks sobiv kuju. Liblikõielisi vahekultuure saab kasutada biogaasi tootmiseks.

Mitmeaastaste energiaheinakultuuride kasvatamiseks on välja töötatud spetsiaalne agrotehnoloogia. Saak koristatakse kuluna varakevadel kohe, kui maa on tahenenud, või lumevaesel aastal külmunud pinnaselt, pallitakse, pakitakse või hekseldatakse. Väetamiseks sobib ka reoveesete ja/või tuhk. Põllu kasutusiga on 10–12 a ning esimene niide tehakse teisel kevadel. Ehkki saagikus on suvise niitmise võrreldes madalam, on kevadisel koristusmeetodil mitmeid eeliseid:

- 1) vähese niiskusesisalduse tõttu ei ole vaja saaki täiendavalt kuivatada;
- 2) kulu sisaldab vähem N, S, K, Ca, Mg ja tuhka ning seetõttu on tooraine kvaliteet põletamiseks sobivam. Et talveks juurtesse liikunud toitaineid ei viida põllult ära, on väetusvajadus väiksem;
- 3) kõrte osakaal biomassis on kõige suurem (kõrred sobivad põletamiseks paremini kui lehed);
- 4) niidumasinad ei ole sel ajal hõivatud loomasööda varumisega. Ühtlasi lüheneb masinatele tehtud kulutuste tagasiteenimise aeg võrreldes ainult suvise kasutusega (Pahkala jt, 2005).

Eestis on potentsiaalsete energiaheinaliikidena nimetatud eelkõige päideroogu, idakitsehernest ehk galeegat, roog-aruheina. Eeldades, et saaki koristatakse kevadel, võib Soome ja Rootsi uuringutele tuginedes pidada Eesti jaoks kohaseimaks energiaheinaliigiks päideroogu. Soomes kasvatatakse päideroogu ligikaudu 10 000 hektaril, 2015. a peaks külvipind suurenema 100 000 hektarini (Vesanto, 2005), aastane tootmine on 6–8 t/ha (Pahkala jt, 2005), tunnustatud on ka üks spetsiaalne energiapäideroo sort `Bamse`. Galeega võib ohustada meie looduskeskkonda, levides seemnete abil põllult edasi, ning seetõttu autorid tema kasvatamist Eestis ei soovita.

Looduslikud ja poollooduslikud kooslused

Poollooduslikud kooslused

Poollooduslikud ehk pärandkooslused on suure looduskaitse väärtusega alad, mille hooldamine (niitmine ja/või karjatamine) on kohustuslik. Kahjuks ei ole ala omanikul sageli sealse heinaga midagi teha, see kas põletatakse kohapeal või jäetakse koristamata. Suvisel niitmisel saadav biomass põletamiseks eriti ei sobi, sest on suure niiskusesisaldusega ja temas on palju suure tuhasisaldusega taimelehti. Üheks võimaluseks oleks seda nn kõrvalproduktina saadud biomassi kasutada biogaasi tootmiseks. Poolloodusliku koosluse tootmine ei ole tavaliselt kuigi suur (0,4–2,5 t/ha, vaid lühiajalisel kuni 7 t/ha) ning lähtudes looduskaitse printsiipidest ei tohi seda ka erinevate agrotehniliste võtetega suurendada. Seetõttu tuleks transpordikulude vähendamise eesmärgil kasutada väikseid ning hajusalt paiknevaid biogaasi tootmise rajatisi.

Roostikud

Roostikest kui põletamiseks sobivast biomassiallikast on TEUK-i raames juba korduvalt räägitud. Pillirooressursid energeetilise toorainena ei ole nii suured kui seni hinnatud. Erinevatest kasvukohtadest mõõdetud pilliroo tootmine erinevad omavahel peaaegu kolm korda, talvise saagikoristusega on võimalik kätte saada vaid umbes pool kasvavast biomassist, lisaks on pilliroog leidmas järjest suurenevat kasutust ehitusmaterjalina. Suvel veekogu kinnikasvamise takistamiseks lõigatud roog sobib biogaasi tootmiseks, kuid energeetilises mõttes ei ole see jätkusuutlik tegevus. Veel tuleks siinjuures nimetada asjaolu, et Euroopa Liidu seadusandlusest tulenevalt ei mahu pilliroog kui vees kasvav taim biomassi mõiste alla ning seega ei saa temast toodetud energiat pidada biokütuseks.

Märgalapuhastid

Heitveepuhastitena kasutatavatel märgaladel on pilliroo ja hundinuia biomassi-produktsioon märksa suurem kui looduslikes kooslustes, seetõttu arvestatakse neid sageli potentsiaalse energeetilise ressursina. Hetkeseisuga on märgalapuhastite tootmispindala väga väike ning produktid leidnud edukat kasutust ehitusmaterjalina. Sellest tulenevalt ei saa energeetiliste kultuuride tootmispotentsiaali märgalapuhastites pidada väga oluliseks.

Kokkuvõte

Energiakultuuride kasvatamise ja nende saaduste kasutamise hoogustumine eeldab riigipoolset arendustööd ning suunamist ja koostööd kasvataja, töötleja ning tarbija vahel. Energiakultuuride potentsiaali hindamisel tuleb arvestada kohalikke looduslikke ja majanduslikke olusid ning tehnoloogia arengut. Energiakultuuride kasvatamine ei erine oluliselt tavapõllumajandusest; erandiks on energiavõsakasvatus oma pikema kasvutsükli ning energiahein oma kevadise koristusperioodiga. Peamisteks etanooli-kultuurideks (bioetanooli tooraine) Eestis on erinevad teraviljad ja õlikultuuriks (biodiislikütuse tooraine) raps, kuid on ka teisi võimalikke liike. Biomassikultuuridel on palju kasutusvõimalusi. Puittaimedest on sobivaim paju, üheaastastest rohttaimedest kiukanep ja mitmeaastastest päideroog. Arvestatav biomassiallikas biogaasi tootmiseks on ka poollooduslikud kooslused. Roostike ja märgalapuhastite potentsiaali energeetilise ressursina on seni ilmselt üle hinnatud.

Kirjandus ▫ References

1. Ilumäe, E., Hansson, A., Kaarli, K. (2004) Raps on nõudlik kultuur. Maamajandus 6: 20–23.
2. Mõtte, M. (2002) Rapsi ja rüpsi kasvatamise agromajanduslik analüüs. Magistritöö. Eesti Põllumajandusülikool. Tartu: 92.
3. Pahkala, K., Isolahti, M., Partala, A., Suokannas, A., Kirkkari, A.-M., Peltonen, M., Sahramaa, M., Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E., Flyktman, M. (2005) Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. Maa- ja elintarviketalous 1. Maa- ja elintarviketäoluden Tutkimuskeskus (MTT). Vammalan kirjapaino Oy. Jokioinen: 31. <http://www.mtt.fi/met/pdf/met1b.pdf>.
4. Tullus, A., Tullus, H., Vares, A., Kanal, A. (2004) Hybrid aspen plantations as a new promising biomass resource in Estonia. 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10–14 May 2004. Rome, Italy: 121–124.
5. Uri, V., Tullus, H., Lõhmus, K. (2002) Biomass production and nutrient accumulation in short-rotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. Forest Ecology and Management 161: 169–179.
6. Vesanto, T. (2005) Agricultural Policy and Promotion of Renewable Energy Sources in Finland. International Conference “Contribution of Agriculture to Energy Production”. October 7–8, 2005. Tallinn, Estonia. <http://www.agri.ee/index.php/16403/>.
7. European Statistics – <http://epp.eurostat.cec.eu.int> (31.01.2005).
8. Statistikaamet – www.stat.ee (31.01.2005).

GROWING AND USING OF ENERGY CROPS IN ESTONIA

Katrin Jürgens and Katrin Heinsoo

Institute of Agriculture and Environmental Sciences
of Estonian University of Life Sciences
e-mail: katrin_j@zbi.ee, katrin@zbi.ee

Abstract

The article gives an overview of suitable energy crops for Estonia and their possible usage area, and deals with special growing features.

Improvement of growing and using energy crops needs national support, research and development as well as collaboration between farmers, producers and users. Profitability of energy crops is increasing continuously due to the development of technologies on all levels: growing, processing and using. Data and experiences from other countries should be considered, but not taken over mechanically as local climate and economical situation can be quite different. Growing of energy crops does not differ significantly from that of traditional agricultural crops know-how and agricultural machines are available. However there are some differences in methods, like special criteria for varieties. Perennial grasses can be harvested in early spring (delayed harvest method), it improves the yield quality for burning. Another exception is growing of short rotation forests as they have longer rotation period and need special machines. Some energy crops can also be used for wastewater purification and sludge reuse.

Main ethanol crops (raw material for bioethanol production) in Estonia are different cereals; potatoes are too expensive to transport and store. Main oilseed crop (raw material for biodiesel production) is rape, although alternative crops, like white mustard, false flax and linseed have their advantages. Winter varieties give better yield but are often unstable under Estonian climate conditions. Yield can be improved but is still lower than in most of the EU countries. *Lignocellulosic* (biomass) crops have several possible fields of usage, they can be burned for heat and electricity or used for biogas production. In the future more efficient technologies will probably also be available. Potential biomass crops in Estonia are:

- 1) trees (short rotation forest) – mainly willow species, possibly also grey alder;
- 2) annual energy grasses – fibre hemp;
- 3) perennial energy grasses – reed canary grass. Goat`s rue is not recommended as an invasive species.

In addition with the field crops, seminatural communities are a potential resource of biomass for biogas production. The potential of reedbeds and constructed wetlands as energetic resource in Estonia has been overestimated.

ETANOOOL BENSIINILISANDINA

Leevi Mölder

Tallinna Tehnikaülikool, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn
e-post: leevi.molder@ttu.ee

Annotatsioon

Etanooli sisaldava bensiini kokkusegamisel ja käitlemisel tuleb lahendada hulk tehnilisi probleeme. Kõige kriitilisemad nendest tulenevad etanooli veelembusest ja spetsiifilisest molekulaarstruktuurist. Bensiini veetaluvus sõltub peamiselt temperatuurist ja etanoolisisaldusest. Etanooliga segamisel kasvab bensiini aururõhk järsult. See mõjutab ka destillatsioonikarakteristikuid ja aurulukuindeksit. Prognoosimaks alkohole sisaldavate segu-bensiinide omadusi, on välja töötatud spetsiifiline blendimisprogramm.

ETANOOOL, BENSIIN, VEETALUVUS, AURURÕHK, DESTILLATSIOONIKARAKTERISTIKUD

Sissejuhatus

Etanool (etüülalkohol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) kui mootorikütuste, eriti bensiini koostisosa on tuntud juba vähemalt 20. sajandi alguskümnenditest. Viimase paarikümne aasta jooksul on huvi biokütuste, sealhulgas bioloogilisest toormest valmistatud etanooli vastu järsult kasvanud. Etanool toimib bensiini kõrgoktaanilise koostisosa (*high octane blend component*), suurendades oluliselt toote detonatsioonikindlust ja soodustades jäägitut põlemist. Kui kasutatakse etanooli sisaldavat bensiini, on mootori kasutegur suurem ning kahjulike ainete, eelkõige vingugaasi (CO) ja põlemata süsivesinike (HC) sisaldus heitgaasides väiksem kui vaid süsivesinikest koosneva bensiini puhul.

Vaatamata nendele vaieldamatutele eelistele on etanoolkütuse kasutamise maht jäänud seni palju tagasihoidlikumaks, kui vaid kümmekond aastat tagasi prognoositi. See on suures osas põhjustatud asjaolust, et etanooli suur aurumissoojus ja suhteliselt väike energiasisaldus (eripõlemissoojus) võimaldavad peamiselt etanoolist koosnevat kütust (ASTM D 5798 järgi vähemalt 70 mahuprotsenti etanooli ja 17–30 mahuprotsenti süsivesinikke või alifaatseid eetreid) kasutada vaid mootorites, mis on spetsiaalselt sellisele kütusele konstrueeritud. See kütus on majanduslikult otstarbekas vaid riikides, kus etanool on väga odav (tooraineks kasutatakse suhkrutööstuse jääke) ning automüügi maht on piisavalt suur, et toota erikonstruktsiooniga autosid ja rajada bensiiniga varustamise paralleelne süsteem.

Mujal maailmas püütakse nafta päritoluga nn baasbensiinile lisada etanooli vaid sellises koguses, et saadud segu oleks kasutatav süsivesinikkütuste jaoks konstrueeritud autodes, st et segu omadused vastaksid standarditega (Eestis EVS-EN 228:2004) sätestatud nõuetele. Etanooliga seoses on otseselt piiravad nõuded etanoolisisaldus (maksimaalselt 5 mahuprotsenti) ja üldine hapnikusisaldus (maksimaalselt 2,7 massiprotsenti).

Paraku tuleb ka 5 mahuprotsendilise etanoolisisaldusega bensiini blendimisel (koostisosadest kokkusegamisel) ja käitlemisel lahendada tehnilisi probleeme. Kõige kriitilise-

mad neist tulenevad etanooli veelembusest, spetsiifilisest molekulaarstruktuurist ning asjaolust, et paljud segubensiini omadused ei ole aditiivsed suurused. Nende küsimuste analüüs ongi käesoleva ettekande põhieesmärk.

Etanooli põhiomadused

Tabelis 1 on võrdlevalt esitatud konventsionaalse naftabensiini (baasbensiin), etanooli ja metüültertsiaarbutüüleetri (MTBE) omadused. Viimane on toodud kui nüüdisajal levinuim bensiini kõrgoktaaniline komponent.

Tabel 1. Bensiini koostisosade põhiomadusi

Table 1. Properties of gasoline components

Omadus	Baasbensiin	Etanool	MTBE
Tihedus 15 °C juures	720–770	794	744
Keemistemperatuur, °C	35–210	77,8	55
Hapnikusisaldus, massiprotsenti	0	34,7	18,2
Aururõhk RVP, kPa	45–90	15,9	53,8
Aurumissoojus, kJ/kg	180	930	320
Eripõlemissoojus, MJ/kg	42,7	26,8	35,1
Õhu kulu põlemiseks, kg/kg	14,6	9,0	11,7
Töösegu Δt^1 , K	22	78	23
Oktaaniarv:			
RON	95 ²	120–135	115–123
MON	85 ²	100–106	98–106

¹ Normaalse koostisega töösegu temperatuurilang, mis tuleneb bensiini adiabaatilise aurustumisest, s.o aurustumise alg- ja lõpptemperatuuri vahe.

² Nõuded standardsele bensiinile 95 Euro.

Tabelist 1 ilmneb, et hapnikusisalduse tõttu on etanoolis energiat 35–40% vähem ja aurumissoojus u 5 korda suurem kui naftabensiinil. Töösegu moodustumisel adiabaatilistes tingimustes alaneks segu temperatuur ligi 80 K võrra. Kui etanooli on bensiinis palju, võivad tekkida tõrked külma mootori käivitamisel. See on üks põhjustest, miks Euroopa Liidus on sätestatud bensiini etanoolisisalduse ja üldise hapnikusisalduse ülempiir.

Veetaluvus

Veevaba etanool seguneb bensiini süsivesinikega mis tahes vahekorras. Siiski pole ka veetustatud kütusetanool päris veevaba, vaid sisaldab alati u 1 mahuprotsendi vett (ASTM D 4806 lubab maksimaalselt 1,25 massiprotsenti). Seetõttu satub juba etanooli ja bensiini segamisel bensiinisse teatav kogus vett. Teisest küljest on etanool ahnelt vett siduv ning neelab õhust niiskust ja lahustab mahutite põhjas oleva kondensatsioonivee.

Etanoolisisaldusega bensiini võime hoida endas lahustunud kujul vett on piiratud. Kui sellise bensiini veesisaldus ületab teatud piiri, nn veetaluvuse (*water tolerance*, WT), setib liigne vesi välja.

Temperatuuri alanemisel WT väheneb. Seetõttu võib ilma jahenedes hakata suvel stabiilsest bensiinist vesi välja settima. Esialgu väljendub see bensiini hägustumises. Kui temperatuur veel langeb, moodustub mahuti või auto bensiinipaagi põhja veekiht. Sellesse läheb suuremal või vähemal määral üle ka bensiinis sisalduv etanool. See protsess on kuhjuv: kui bensiinist osa etanooli läheb veekihti, väheneb bensiini veetaluvus ning setib välja täiendav kogus vett. See omakorda lahustab bensiinist etanooli jne.

Selle eripära tõttu toimub etanooli sisaldava bensiini kihistumine kitsas temperatuurivahemikus ja spontaanselt. Juba väike temperatuuri alandamine võib esile kutsuda mahuka alumise (vesi + etanool) kihi tekke.

Autor on uurinud WT sõltuvust temperatuurist ja bensiini keemilisest koostisest. Bensiinisegud valmistati, lisades tüüpilise rühmakoostisega baasbensiinile vajaliku hulga MTBE-d, tolueni (aromaatne süsivesinik) ja erineva veesisaldusega kütusetanooli. Bensiin, MTBE ja toluen olid eelnevalt kuivatatud. Tolueni ja MTBE sisaldust varieeriti vahemikus 0 kuni 10 mahuprotsenti, etanoolisisaldust vahemikus 1 kuni 8 mahuprotsenti ning veesisaldust vahemikus 0,012 kuni 0,525 mahuprotsenti. Kokku määrati 137 segu WT.

Tulemused näitasid, et WT sõltuvus temperatuurist ja etanoolisisaldusest on ilmne: mida kõrgem on temperatuur ja suurem bensiini etanoolisisaldus, seda suurem on ka WT.

Seevastu WT sõltuvus lisatud tolueni ja MTBE kogusest osutus peaaegu tühiseks. Nende ühendite sisaldusest tingitud WT varieeruvus oli samas suurusjärgus katseveaga. See mõneti üllatav tulemus seletub arvatavasti asjaoluga, et kasutatud baasbensiin sisaldas juba ise 41% aroomaatseid ühendeid. Selle numbri taustal ei avalda täiendavalt lisatav toluen ja/või MTBE enam WT-le nii olulist mõju, et see oleks usaldusväärset tuvastatav.

Seega võib tüüpiliste baasbensiinide puhul (u 40 mahuprotsenti aroomaatseid süsivesinikke ja kuni 10% MTBE-d) WT väljendada funktsioonina vaid kahest parameetrist – temperatuurist T (K) ja etanooli mahuosast segus φ_E (φ_E = etanooli mahuprotsent/100), kombineerides neid vormis, mis annab parima kooskõla katseandmetega.

Leiti, et sobiv võrrandi kuju on

$$WT = \exp(A + B/T + C\varphi_E), \quad (1)$$

milles A , B ja C on empiirilised konstandid.

Sama kujuga võrrand on kasutatav ka bensiinide puhul, mille aroomaatsete ühendite sisaldus on väga väike (domineerivad isoalkaanid). Loomulikult on siis konstantide A , B ja C arvulised väärtused mõnevõrra erinevad kui autori poolt kasutatud tüüpilise bensiini jaoks määratud.

Teades konstantide A , B ja C arväärtusi ning segu etanoolisisaldust, võime WT arvutada mis tahes temperatuuril T . Kui sel temperatuuril bensiini tegelik veesisaldus W on väiksem kui WT, siis on bensiin selge ja läbipaistev ning ei ole karta vee

väljasettimist. Vastupidi, kui W on sellele temperatuurile vastavast WT-st suurem, siis on bensiin hägune ja/või bensiinikihi alla on moodustunud veesete.

Tüüpilise bensiini veetaluvus erineva etanoolisisalduse korral on esitatud tabelis 2.

Tabel 2. Etanooli sisaldava bensiini WT mahuprotsentides
Table 2. Water tolerance WT of gasoline-ethanol blends, vol. %

Temperatuur, °C	Etanoolisisaldus, mahuprotsenti				
	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
-20	0,092	0,110	0,134	0,158	0,189
-10	0,122	0,136	0,175	0,210	0,251
0	0,159	0,190	0,227	0,272	0,326
+10	0,202	0,242	0,290	0,347	0,415
+20	0,253	0,303	0,363	0,435	0,521

Võrrandi (1) teisendamisel saame valemi, mis võimaldab hõlpsasti leida temperatuuri t_k (°C), mille juures algab tuntud vee- ja etanoolisisaldusega bensiinist vee väljakihistumine:

$$t_k = \frac{B}{\ln W - (A + C\phi_E)} - 273,16. \quad (2)$$

Temperatuuril t_k on W ja WT võrdsed. Kui temperatuur on suurem kui tegelikule veesisaldusele W vastav t_k , siis on bensiin stabiilne.

Tabelis 3 on toodud temperatuurid t_k , mille juures algab kindla vee- ja etanoolisisaldusega bensiinist vee väljakihistumine.

Tabel 3. Segubensiini t_k sõltuvalt vee- ja etanoolisisaldusest, °C
Table 3. Effect of water and ethanol content on the t_k (°C) of gasoline-ethanol blends

Veesisaldus, mahuprotsenti	Etanoolisisaldus, mahuprotsenti				
	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
0,10	-17	-23	-29	-35	-40
0,15	-2	-9	-16	-22	-28
0,20	10	2	-5	-12	-18
0,25	19	11	4	-3	-10
0,30	28	20	12	4	-3

Pidades silmas, et teatav kogus vett satub paratamatult bensiinisse ka mahutite hingamisel, peab bensiinisekul valmistamise ajal olema vähemalt 1,5-kordne veetaluvuse varu.

Aurustumisomadused

Kõik alkoholid on autoassotsieeruvad ühendid. Vedelas olekus esinevad nad assotsiaatidena, milles molekulide vahel on vesinikside.

Seetõttu on puhta etanooli aururõhk RVP tavalult väike. Bensiini ja etanooli segamisel

kasvab segu RVP järsult, olles üldiselt suurem kui kummalgi koostisosal eraldi võetuna. Kui baasbensiini RVP, aurulukuindeks ja destillatsioonikarakteristikud on lubatud ülempiiri lähedal, võivad etanooli sisaldava segu vastavad näitajad lubatud piiridest väljuda. Tulemuseks on toitesüsteemi aurukorkide tekke oht.

Katsetes segati etanool tüüpilise naftabensiiniga (RVP 62 kPa) ning mõõdeti segude RVP. Tulemused näitasid, et RVP juurdekasv etanooliga segamisel (ΔRVP) on rahuldavalt kirjeldatav valemiga

$$\Delta RVP = A\phi_E^B, \quad (3)$$

milles A ja B on etanooli toimet iseloomustavad empiirilised konstandid.

A ja B sõltuvad mõningal määral baasbensiini RVP-st ning aromaatsete süsivesinike sisaldusest. RVP vahemikus 45–90 kPa ei ole see sõltuvus siiski nimetamisväärne.

Ligikaudselt võib hinnata, et etanooliga segamisel on bensiini ΔRVP järgmine: 0,5 mahuprotsenti etanooli – 3,5 kPa, 1 mahuprotsenti – 4,9 kPa, 2 mahuprotsenti – 6,9 kPa, 3 mahuprotsent – 8,4 kPa, 4 mahuprotsenti – 9,6 kPa, 5 mahuprotsenti – 10,7 kPa.

Et etanooliga segamisel muutub bensiini RVP, mõjutab see loomulikult ka destillatsioonikarakteristikuid. Eriti puudutab kõnealune nähtus 70 °C ja 100 °C juures destilleerunud osa (vastavalt E-70 ja E-100). Sõltuvalt baasbensiini destillatsioonikarakteristikutest suurendab iga mahuprotsent etanooli:

- E-70 väärtust 1,0–1,5 mahuprotsendi võrra;
- E-100 väärtust 0,4–0,6 mahuprotsendi võrra;
- E-150 väärtust u 0,2 mahuprotsendi võrra;
- E-180 väärtust u 0,05 mahuprotsendi võrra.

Vastavalt suureneb etanooliga segamisel bensiini aurulukuindeks VLI: 1 mahuprotsent etanooli – 58 ühikut, 2 mahuprotsenti – 87 ühikut, 3 mahuprotsenti – 110 ühikut, 4 mahuprotsenti – 130 ühikut, 5 mahuprotsenti – 150 ühikut.

Etanoolbensiini blendimine

Erinevate omadustega naftasaaduste kokkusegamine (blendimine) on praktikas laialt levinud. Ka bensiin segatakse kokku mitmest, mõnikord isegi kümnekonnast naftatöötlemise pooltootest. Tagamaks lõpptoote omaduste vastavust kvaliteedinõuetele, on vaja segude omadusi prognoosida arvutuslikul teel. Siis pole vaja segu koostist korduvalt korrigeerida ning saab projekteerida odavaima segu, mis vastab etteantud omadustele.

Siiski on paljud omadused blendimisel mitteaditiivsed, s.o segu jaoks ei ole neid võimalik arvutada komponentide vastava näitaja ja mahuosa või massiosa korrutiste summana. Iseäranis keeruline on omaduste prognoosimine siis, kui komponentide hulgas on peale traditsiooniliste naftafraktsioonide (nt reformaat, isomeraat, alkülaat) ka ühest ainest koosnevaid kõrgoktaanilisi koostisosi, eriti alkohole.

Ettekande autor on niisuguste segude jaoks välja töötanud spetsiaalse blendimisprogrammi, mis võimaldab komponentide omaduste põhjal prognoosida segu-

bensiinide näitajaid. Kokku 21 prognoositava näitaja hulgas on ka RON, MON, destillatsioonikarakteristikud (sh FBP), RVP ja VLI.

Järeldused

1. Etanoolbensiini veetaluvus sõltub eelkõige temperatuurist ja etanoolisisaldusest. MTBE ja aromaatsete süsivesinike sisalduse mõju veetaluvusele võib esimeses lähenduses jätta arvesse võtmata.
2. Etanooli lisamine bensiinile suurendab oluliselt viimase aururõhku ja muudab destillatsioonikarakteristikuid, eriti E-70 ning E-100 väärtusi. Seetõttu saab segamiseks kasutada ainult sellist bensiini, millel need näitajad on lubatud ülempiirist piisavalt kaugel.
3. Autori poolt koostatud blendimisarvutuste programm võimaldab prognoosida mis tahes koostisega segubensiini näitajaid.

ETHANOL AS A COMPONENT OF GASOLINE

Leevi Mölder

Tallinn University of Technology
e-mail: leevi.molder@ttu.ee

Abstract

Derived from natural sources, ethanol is a high octane blend component that enhances antiknock quality and promotes complete combustion of gasoline. When using ethanol containing fuel, engine efficiency is increased and the content of toxic compounds, such as CO and HC, is reduced in exhaust gases. To blend and handle ethanol containing gasoline, several challenges must be overcome. Gasoline will remain stable as long as the actual water content is smaller than the water tolerance under specified conditions. WT depends on temperature, ethanol content and chemical composition of the base stock. To get practical WT values (vol. %), the following formula can be used

$$WT = \exp(A + B/T + C\varphi_E), \quad (1)$$

where T is temperature (K), φ_E is ethanol volume fraction in gasoline, A , B and C are empirical constants, which are determined experimentally.

All alcohols are auto-associating compounds. Therefore the vapour pressure RVP of pure ethanol is uncharacteristically low. When ethanol is mixed with gasoline, the RVP of blend increases sharply. The increase in RVP (ΔRVP) with ethanol addition can be calculated by the following formula

$$\Delta RVP = A\varphi_E^B, \quad (2)$$

where A and B are empirical constants.

The author of this presentation has created a computer program that enables to predict properties of gasoline-alcohol blends.

SÄÄSTVA ARENGU ENERGIANDIKAATORITE VÕRDLEV ANALÜÜS

Anton Laur ja Koidu Tenno

Tallinna Tehnikaülikooli majandusuuringute teaduskeskus, Kopli 101, 11712 Tallinn
e-post: anton.laur@tv.ttu.ee, koidu.tenno@tv.ttu.ee

Annotatsioon

Käesolevas artiklis antakse ülevaade energiaindikaatoritest, mis on seotud majanduse säästva arengu hindamise ja kavandamisega – säästva arengu energiaindikaatoritest. Analüüsitakse nende indikaatorite tähtsamate esindajate väärtusi ja dünaamikat Eestis ja teistes EL riikides, eeskätt Balti riikides ja Põhjamaadel. Säästva arengu energiaindikaatorid on defineeritud ÜRO ja rahvusvaheliste energeetikaorganisatsioonide poolt välja töötatud vastavates metoodilistes juhendites ning neid kasutatakse laialdaselt teiste statistiliste näitajate kõrval säästva arengu majandus- ja energiapoliitika kujundamisel. Vaadeldavate energiaindikaatorite kujunemise uurimisel Eestis on arvestatud meie makromajandusliku arengu ja energiasektori eripära.

SÄÄSTEV ARENG, ENERGIANDIKAATORID, ENERGIINTENSIIVSUS

Kasutatud lühendid

SKP – sisemajanduse koguprodukt;

PEV – primaarenergiaga varustatus;

KHG – kasvuhoonegaasid;

IEA – Rahvusvaheline Energiaagentuur (*International Energy Agency*).

Sissejuhatus

Eesti majandus on edukalt läbinud üleminekuperioodi ja kiires tempos kasvanud. Viimastel aastatel on kasv olnud eriti kiire: perioodil 2000–2005 kasvas SKP 6,5–9,8% aastas. Samas on Eesti positsioon energiakasutuse efektiivsuse osas teiste EL liikmetega võrreldes veel üsna tagasihoidlik. Seda peegeldavad mitmesugused laialdaselt kasutatavate energiaindikaatorite võrdlusandmed, näiteks SKP energiamahtumise näitajate võrdlus. Rahvusvahelise Energiaagentuuri andmetel oli Eesti selle näitaja osas veel 2003. aastal tollaste EL liikmesriikidega võrreldes viimasel kohal, ehkki erinevus Eesti ja EL riikide vahel oli tunduvalt väiksem kui eelnenud aastatel. Sama tendents iseloomustab ka Eesti ja EL riikide kasvuhoonegaaside (CO₂) emissiooni intensiivsuse näitajate võrdlust. Nendest andmetest lähtuvalt ja suurel määral ka Eesti peamise energiaressursi – põlevkivi – kasutamise paratamatult madalat kasutegurit silmas pidades loetakse Eesti energiasüsteemi vähetõhusaks.

Energiasüsteemide efektiivsuse sügavamaks analüüsimiseks ja lõplike hinnangute andmiseks tuleb väga täpselt defineerida ning põhjalikult lahti seletada hinnangute aluseks olevad näitajad, vältimaks ebaadekvaatseid võrdlusi ja ekslikke arvamusi. Seetõttu anname käesolevas artiklis ülevaate energiaindikaatoritest, mis on defineeritud ÜRO ja rahvusvaheliste energeetikaorganisatsioonide poolt kui säästva

arengu energiaindikaatorid. Analüüsimise nende tähtsamate esindajate olemust ja väärtusi ning dünaamikat Eestis ja teistes EL riikides, eeskätt Balti riikides ja Põhjamaadel. Kommenteerime vaadeldavate energiaindikaatorite kujunemist ja taset Eestis, arvestades nii makromajanduslikku tausta kui ka meie energiasektori eripära.

Säästva arengu energiaindikaatorite iseloomustus

Säästva arengu energiaindikaatorite juhendmaterjalid ja nende arvutamise meetodikad on välja töötanud Rahvusvaheline Aatomienergia Agentuur (IAEA), ÜRO, Rahvusvaheline Energiaagentuur (IEA), EUROSTAT ja Euroopa Keskkonnaagentuur

Tabel 1. Tähtsamad säästva arengu energiaindikaatorid
Table 1. The main indicators for sustainable development

Sümbol	Indikaator	Komponendid
Majanduslikud		
ECO1	Energiakulu elaniku kohta	Energiakasutus (PEV ja lõpptarbimine, elektritarbimine) Elanike arv
ECO2	Energiakulu SKP ühikule	Energiakasutus (PEV ja lõpptarbimine, elektritarbimine) SKP
ECO3	Energialiikide tootmise ja jaotamise efektiivsus	Kaad süsteemis energia tootmisel, ülekandel ja jaotamisel
ECO11	Kütuste osatähtsus energiakasutuses	PEV ja lõpptarbimine, elektritootmine ja võimsus kütuste kaupa PEV ja lõpptarbimine, elektritootmine ja koguvõimsus
ECO13	Taastuenergia osatähtsus energiakasutuses	PEV ja lõpptarbimine, elektritootmine ja võimsus taastuenergia alusel PEV ja lõpptarbimine, elektritootmine ja koguvõimsus
Sotsiaalsed		
SOC2	Kütuse ja elektri osatähtsus leibkonna sissetulekus	Leibkonna sissetuleku osa, mis on kulutatud kütusele ja energiale Leibkonna sissetulek
SOC3	Leibkonna energiakulu igale tulugrupile ja vastav kütusekasutus	Energiakulu igale tulugrupile Leibkonna sissetulek igale tulugrupile Vastav kütusekasutus igale tulugrupile
Keskkonnapõhised		
ENV1	KHG emissioon energialiikide tootmisel ja kasutamisel elaniku ja SKP ühiku kohta	KHG emissioon energialiikide tootmisel ja kasutamisel Elanike arv ja SKP
ENV2	Õhu saasteainete kontsentratsioonid linnaõhus	Saasteainete kontsentratsioonid õhus
ENV3	Õhu saasteainete emissioonid energiasüsteemidest	Õhu saasteainete emissioonid

(EEA) (IAEA, 2005). Nendes juhendmaterjalides on defineeritud säästva arengu energiaindikaatorid kolmes dimensioonis: majanduslikus, sotsiaalses ja keskkonnapõhises. On käsitletud nende olemust, arvutamise meetodikaid ja kasutamist. Kokku on vaadeldud 30 energiaindikaatorit, neist 16 majanduslikku, 4 sotsiaalset ja 10 keskkonnapõhist. Tabelis 1 on tehtud nende indikaatorite hulgast valik käesoleva töö jaoks ning kirjeldatud nende olemust ja komponente.

Sotsiaalvaldkonda kuuluvaid energiasektoriga seotud indikaatoreid, eeskätt kulutusi energiale Eesti elanike väljaminekutes, käsitlesime TEUK-6 artiklis eelmisel aastal (Laur ja Tenno, 2005). Käesolevas artiklis esitame riikidevahelised võrdlusandmed mõnede majanduslike (primaarenergia kulu SKP ühikule, elektritarbimine elaniku kohta) ja keskkonnapõhiste (CO₂ emissioon energialiikide tootmisel ning kasutamisel SKP ühiku ja elaniku kohta) indikaatorite osas. Võrdlusalusteks riikideks valisime lähinaabrid Läänemere ääres – teised Balti riigid ning Soome ja Rootsi.

Säästva arengu energiaindikaatorite võrdlusandmed Balti riikides ja Põhjamaadel

Majanduslikest energiaindikaatoritest on enam kasutatavaks kujunenud energiantensiivsus ehk SKP energiamahukus (eeskätt primaarenergia kulu SKP ühikule). IEA andmebaasis on andmed selle indikaatori kohta riikide lõikes nii otseses kui ka korrigeeritud (ostujõu pariteedi alusel) SKP arvestuses. Viimane välistab eri riikide hinnatasemete erisuse mõju ja seetõttu on sellele arvestusele tuginemine riikidevahelistes võrdlustes kahtlemata objektiivsem ning eelistatum.

Tabelis 2 ja joonisel 1 on toodud SKP energiamahukuse võrdlusandmed Balti riikides ja lähimatel arenenud Põhjamaadel – Soomes ja Rootsis perioodil 1993(1995)–2002 (IEA, 2004a; IEA, 2004b). Näeme, et selle indikaatori dünaamikas on Balti riikides üsna sarnane langustendents – SKP energiamahukus on aastatel 1993–2002 vähenenud Eestis ja Lätis ligikaudu 1,7 ning Leedus 1,6 korda. Soomes ja Rootsis on see vähenemine olnud aga minimaalne – aastatel 1995–2002 vastavalt 1,1 ja 1,2 korda. IEA andmebaasi alusel on olukord samaväärselt stabiilne ka Lääne-Euroopa riikides – n-ö vanades EL liikmesmaades, näiteks Saksamaal, Prantsusmaal, Inglismaal, aga ka mujal. Siit võib järeldada, et energiakasutuse efektiivsus on nendel maadel saavutanud juba üsna kõrge taseme, samal ajal on seal ka SKP tase kõrge. Balti riikidel kui taasiseseisvunud endistel sotsialismimaadel on aga veel arvestatavaid reserve nii energiakasutuse efektiivsuse tõstmisel kui ka SKP kasvul.

SKP energiamahukuse (energiaintensiivsuse) näitaja kasutamisel, eriti riikidevahelistes võrdlustes, tuleb aga arvestada järgmisi asjaolusid.

- ***SKP taseme oluline mõju***

Analüüs näitab, et Eesti nagu tõenäoliselt ka teiste EL uute liikmesriikide puhul on vaadeldava näitaja kõrge taseme kujunemisel määravam mitte primaarenergia suur tarbimine, vaid SKP suhteliselt madal tase.

- ***Kliimatiliste erinevuste mõju – nii geograafiliselt kui aastate lõikes***

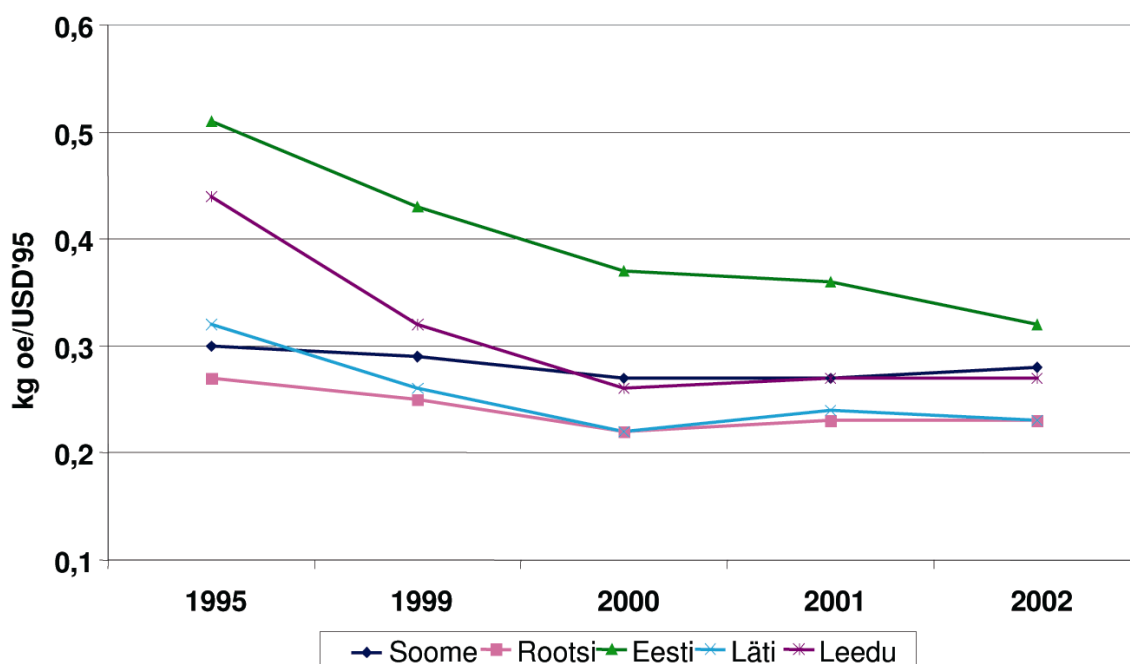
On üsna ilmne, et pole mõistlik otseselt võrrelda SKP energiamahukust näiteks Põhjamaadel ja sooja kliimaga Vahemere äärsetes riikides. Ilmastikuerinevusi

Tabel 2. SKP* energiamahukuse dünaamika Soomes, Rootsis ja Balti riikides perioodil 1993–2002, kg oe/USD'95

Table 2. Dynamics of GDP energy intensity in Finland, Sweden and the Baltic States in 1993–2002, kg oe/USD '95

Riik	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Soome			0,30				0,29	0,27	0,27	0,28
Rootsi			0,27				0,25	0,22	0,23	0,23
Eesti	0,53	0,57	0,51	0,54	0,47	0,43	0,43	0,37	0,36	0,32
Läti	0,39	0,36	0,32	0,32	0,32	0,29	0,26	0,22	0,24	0,23
Leedu	0,42	0,42	0,44	0,45	0,39	0,39	0,32	0,26	0,27	0,27

* Ostujõu pariteeti arvestades. Allikas: Rahvusvaheline Energiaagentuur (IEA, 2005).



Joonis 1. SKP energiamahukuse dünaamika 1995–2002

Figure 1. Dynamics of GDP energy intensity in 1995–2002

peaks arvestama aga ka selle näitaja dünaamika analüüsil, sest need erinevused aastate lõikes on märkimisväärselt suured ja primaarenergia tarbe objektiivseks hindamiseks tuleb see mõju elimineerida. Selleks oleks vajalik vastava nn kraadpäevade statistika pidamine, mida paljudes riikides ka tehakse. Eestis pole selle pidevat arvestust veel käivitatud. Siiski on katsetatud ka võimalust energiaintensiivsuse dünaamika analüüsil ilmastiku mõju välja kaaluda (Roos ja Soosaar, 2005).

- **Muundatud energia ekspordi mõju**

Primaarenergia tarvet tõstab muundatud energia eksport, eriti kui eksporditavaid energiaressursse muundatakse madala kasuteguriga, nagu see on Eesti puhul. Eesti Statistikaametis koostatud energiabilansi andmetel saab välja arvutada (2004. a andmed), et iga eksporditav GW·h elektrienergiat toob endaga kaasa primaarenergia vajaduse netojuurdekasvu ligikaudu 6,6 TJ (1,835 GW·h), iga eksporditav põlevkiviõli tonn aga 0,051 TJ (0,014 GW·h) ulatuses. Arvestades, et 2004. aastal oli Eesti elektrienergia (neto)eksport 1794 GW·h ja põlevkiviõli eksporditi 202 000 tonni, kulus selleks primaarenergiat ligikaudu 22 000 TJ (6,116 TW·h), mis on veidi üle 10% kogu primaarenergiaga varustatusest 2004. aastal.

Lisaks tuleb märkida, et SKP energiamahukuse analüüse komplitseerib erinevate ühikute kasutamine – eeskätt erinevates andmebaasides, aga ka ühe andmebaasi piires. Kui erinevates energiaühikutes esitatud andmete puhul on ühtlustamine lihtne vastavaid koefitsiente kasutades, siis erinevate (ja ka eri aastate) vääringute kasutamisel SKP osas on andmete võrreldavuse tagamine palju keerukam – eriti aegridade analüüsil. See on ka põhjuseks, miks SKP-ga seotud indikaatorite dünaamika on artiklis toodud aastani 2002 – alates 2003. aastast on IEA andmebaasis SKP andmed esitatud 2000. a dollarites.

Arvestades ülaltoodud asjaolusid ei saa SKP energiamahukust võtta eraldi väga absoluutse mõõdupuuna, vaid vastavaid andmeid on õigem vaadelda ühises süsteemis makromajanduslike näitajatega ja teiste säästva arengu energiaindikaatoritega.

Järgnevalt ongi esitatud vaadeldavate riikide võrdlusandmeid teiste tähtsamate energiaindikaatorite osas. Tabelis 3 on toodud võrdlusandmed SKP CO₂ mahukuse kohta. Siinjuures vastavas IEA andmebaasis on arvesse võetud ainult energiasektorist (kütuste põletamisest) tulenevat CO₂ emissiooni. Hakkab silma selle indikaatori stabiilsus Soomes ja Rootsis, aga ka Lätis. Märkimisväärsem langustendents on Eestis ja Leedus, kuid Eestis on selle indikaatori tase üle kahe korra kõrgem kui teistes riikides.

Tabel 3. SKP CO₂ (kütuste põletamisest) mahukuse dünaamika Soomes, Rootsis ja Balti riikides perioodil 1999–2002, kg/USD'95*

Table 3. Dynamics of GDP CO₂ (from fuel combustion) intensity in Finland, Sweden and the Baltic States in 1999–2002, kg/USD'95

Riik	1999	2000	2001	2002
Soome	0,48	0,44	0,49	0,50
Rootsi	0,26	0,26	0,22	0,26
Eesti	1,25	1,17	1,15	1,03
Läti	0,45	0,42	0,42	0,38
Leedu	0,50	0,46	0,45	0,39

* Ostujõu pariteeti arvestades. Allikas: Rahvusvaheline Energiaagentuur (IEA, 2005).

Tabelis 4 esitatud arvud näitavad CO₂ emissiooni elaniku kohta. Siin on Eestil ja Soomel ligilähedaselt võrdne tase 10–12 t elaniku kohta aastas, teistes vaadeldavates riikides on see tunduvalt madalam, eriti Lätis ja Leedus.

Tabel 4. CO₂ emissioonid (kütuste põletamisest) Soomes, Rootsis ja Balti riikides perioodil 1999–2003, t elaniku kohta

Table 4. CO₂ emissions (from fuel combustion) in Finland, Sweden and the Baltic States in 1999–2003, t per capita

Riik	1999	2000	2001	2002	2003
Soome	10,87	10,58	11,60	12,21	13,93
Rootsi	5,97	5,86	5,40	5,61	5,98
Eesti	9,80	10,18	10,21	10,24	12,04
Läti	2,79	2,76	2,96	3,03	3,11
Leedu	3,52	3,03	3,48	3,47	3,53

Allikas: Rahvusvaheline Energiaagentuur (IEA, 2005).

Tabelis 5 on toodud sisemaise elektritarbimise andmed (elaniku kohta). Selle indikaatori väärtus on väga kõrge Soomes ja Rootsis, näiteks üle kolme korra suurem kui Eestis. See asjaolu kinnitab ülaltoodud väidet, et kõrge energiantensiivsuse kujunemisel Eestis on määravam madal SKP tase (lisame, et IEA 2003. a andmetel on primaarenergia tarbimine elaniku kohta Soomes ja Rootsis 1,7–2 korda suurem kui meil (IEA, 2005)). Samas on Eesti elektritarbimine elaniku kohta omakorda ligemale 2 korda suurem kui teistes Balti riikides.

Tabel 5. Elektrienergia tarbimine Soomes, Rootsis ja Balti riikides perioodil 1999–2002, kW·h elaniku kohta

Table 5. Electricity consumption in Finland, Sweden and the Baltic States in 1999–2003, kW·h per capita

Riik	1999	2000	2001	2002	2003
Soome	15 062	15 274	15 680	16 131	16 427
Rootsi	15 475	15 661	16 006	15 656	15 397
Eesti	4507	4628	4766	4838	5226
Läti	2073	2080	2193	2278	2460
Leedu	2697	2381	2687	2827	3055

Allikas: Rahvusvaheline Energiaagentuur (IEA, 2005).

Kokkuvõte

- Energiasektori toimimise tõhususe analüüsimiseks ja energiapoliitika rakenduste mõju hindamiseks kasutatakse järjest enam säästva arengu energiaindikaatoreid, mis rahvusvahelise meetodika kohaselt jagunevad kolme valdkonda – majanduslikud, sotsiaalsed ning keskkonnapõhised.
- Enam kasutatavateks indikaatoriteks on energiantensiivsuse näitajad, eeskätt primaarenergia tarbimine, aga ka elektritarbimine ja energia lõpptarbimine SKP

ühiku kohta. Otstarbekas on neid näitajaid vaadelda koos teiste energia-indikaatorite (näiteks *per capita* (elaniku kohta) näitajad) ja makromajanduslike näitajatega.

- Eesti on energiantensiivsuse indikaatorite osas Euroopa Liidu liikmesriikide hulgas viimastel positsioonidel. Samas on meil kogu taasiseseisvusperioodi jooksul energiantensiivsus (SKP energiamahukus) pidevalt vähenenud, sealjuures kiiremas tempos kui kõrgema arengutasemega varasemates EL liikmesriikides. See annab alust väita, et praegu võime olla kliimaatilistelt tingimustelt lähedaste Põhjamaadega (näiteks Soomega) võrdses või isegi mõnevõrra paremas seisus. Siinjuures tuleb riikidevaheliste võrdluste juures arvestada, et energiantensiivsust mõjutab oluliselt SKP madal tase, muundatud energia eksport ja ilmastiku erinevused. Võrdlemisel on probleemiks ka asjaolu, et rahvusvaheliste energeetika andmebaaside uuendamine on suhteliselt pika tsükliga. Nii ongi praegu viimased avaldatud andmed 2003. a kohta.

Tänuavaldus

Käesolev artikkel on kirjutatud sihtfinantseeritava teadusteema nr 0142697As05 ja Eesti Teadusfondi grandide nr 5926 toetusel.

KirjandusReferences

1. IAEA (2005) Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. International Atomic Energy Agency. UN Department of Economic and Social Affairs, IEA, Eurostat and EEA, Vienna: 161.
2. IEA (2005) Key World Energy Statistics. <http://www.iea.org/>.
3. IEA (2004a) Energy Balances of NON-OECD Countries 2001–2002. IEA Statistics. International Energy Agency. Paris: 353.
4. IEA (2004b) Energy Balances of OECD Countries 2001–2002. IEA Statistics, International Energy Agency. Paris: 247.
5. Laur, A., Tenno, K. (2005) Kulutused energiale elanike väljaminekutes. Kuuenda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 132–141.
6. Roos, I., Soosaar, S. (2005) Energy and environmental indicators for Estonian energy sector. Oil Shale 22 (4 Special): 487–498.

A COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY INDICATORS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Anton Laur and Koidu Tenno

Centre for Economic Research at Tallinn University of Technology
e-mail: anton.laur@tv.ttu.ee, koidu.tenno@tv.ttu.ee

Abstract

This article provides an overview of the energy indicators used for analysing and planning sustainable development of the economy – energy indicators for sustainable development. The authors analyse the values and dynamics of the most significant of these indicators in Estonia and other EU countries, especially in the Baltic States and Nordic countries. Energy indicators for sustainable development have been defined in the respective methodological guidelines elaborated by the UN and international energy organisations and these are used widely, in addition to other statistical indicators, for creating economic and energy policies for sustainable development. While investigating the development of the discussed energy indicators in Estonia, the authors have taken into account specific features of our macroeconomic development and of the energy sector.

ELEKTRIENERGIA TARBIMISE SUUNAMISE JA KOORMUSE JUHTIMISE VÕIMALUSTEST

Peeter Raesaar

Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn
e-post: peeter.raesaar@ttu.ee

Annotatsioon

Energiapoliitika oluliseks strateegiaks on elektritarbimise suunamine, et pidurdada energia tarbimise ja summaarse koormustipu kasvu. Põhilisteks tarbimise suunamise vahenditeks on elektrienergia säästmine ja tarbimise juhtimine. Mõlemad on maksimaalselt keskkonnasõbralikud tehnoloogiad. Artiklis antakse lühiülevaade elektritarbimise olukorrast Eestis ja selle prognoosidest. Vaadeldakse elektrienergia säästmise võimalusi, samuti tarbimise juhtimise olemust ja kasu. Käsitletakse Eesti elektritarbimise suunamise probleeme.

ELEKTRITARBIMINE, TARBIMISE SUUNAMINE, ENERGIASÄÄST, TARBIMISE JUHTIMINE

Sissejuhatus

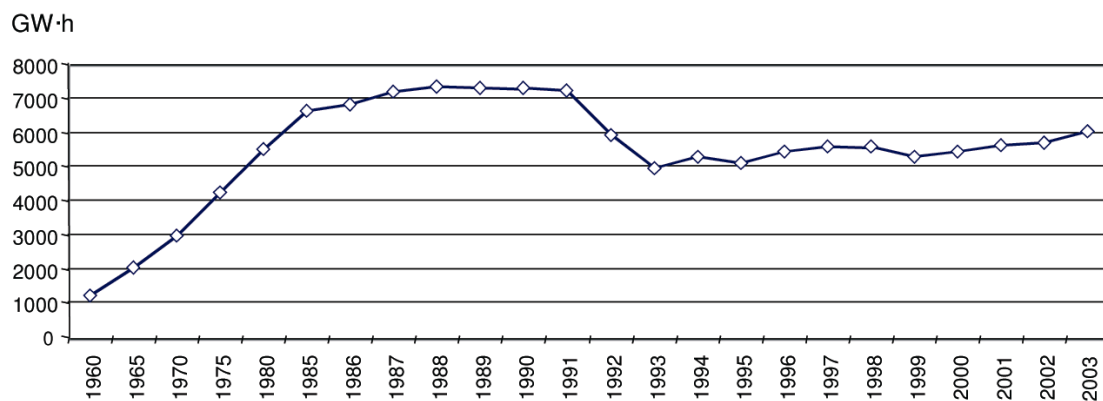
Eesti olemasolevate elektrijaamade ressursi ammendumine lähitulevikus, keskkonnapiiirangute jätkuv karmistumine ja energiaressursside otstarbeka kasutamise vajadus sunnib otsima ratsionaalseid teid tarbijate elektrienergia vajaduste rahuldamiseks. Arvestades energiakasutuse suurt intensiivsust, st tarbitud energiakogust sise-majanduse koguprodukti (SKP) ühiku kohta Eestis, on eriti oluline pöörata tähelepanu lahenduste efektiivsusele ja keskkonnasõbralikkusele.

Üha olulisemaks energiapoliitika strateegiaks, mis võimaldab pidurdada elektrienergia tarbimise ja summaarse koormustipu kasvu ning sellega kaasnevaid keskkonnavalaseid tagajärgi, muutub elektritarbimise suunamine. Ka Euroopa Liidu (EL) energiavarustuskindluse probleeme käsitlevates raamdokumentides (European ..., 1999; Green ..., 2000) rõhutatakse energiavarustuse geopoliitiliste, majanduslike ja keskkonnahoiuga seonduvate aspektide käsitlemisel vajadust seni peamiselt energiavarustusele keskendunud energiapoliitikalt rohkem keskenduda tarbimise mõjutamisele.

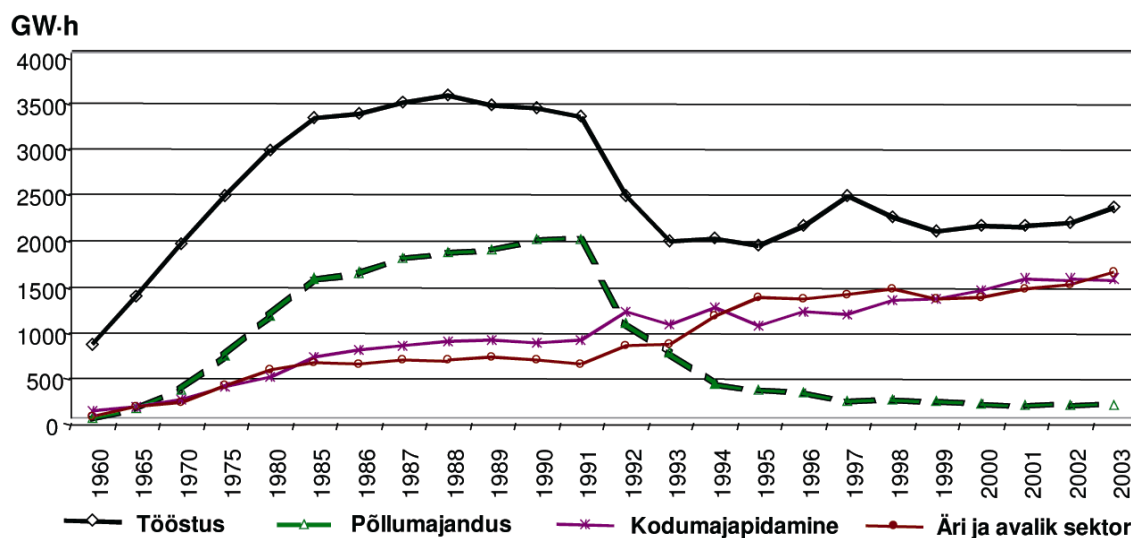
Käesoleva artikli eesmärgiks on käsitleda elektritarbimise suunamise põhilisi tehnoloogiasid – elektrienergia säästu ja tarbimise juhtimist. On oluline rõhutada, et need mõlemad on maksimaalselt keskkonnasõbralikud tehnoloogiad, mille efektiivne rakendamine annab tõhusa panuse jätkusuutliku arengu kindlustamisse.

Elektritarbimise tänane olukord

Elektrienergia tarbimine vähenes pärast Eesti taasiseseisvumist aastail 1990–1995 ligi neljandiku võrra, stabiliseerudes seejärel aastatel 1996–1998 (vt joonis 1). Eelkõige vähenes tarbimine põllumajanduses ja töötlevas tööstuses, samas on oluliselt kasvanud kodutarbimine ning tarbimine äri- ja avalikus sektoris (vt joonis 2).



Joonis 1. Eesti elektrienergia lõpptarbimise dünaamika aastail 1960–2003 (Elektrienergia ..., 2004)
 Figure 1. Dynamics of the Estonian electricity end use consumption in 1960–2003 (Elektrienergia ..., 2004)



Joonis 2. Elektrienergia lõpptarbimise dünaamika tegevusalade lõikes aastail 1960–2003 (Elektrienergia ..., 2004)
 Figure 2. Dynamics of the Estonian electricity end use consumption in 1960–2003 by fields of activity (Elektrienergia ..., 2004)

Mõned Eesti summaarsed lõpptarbimist iseloomustavad näitajad:

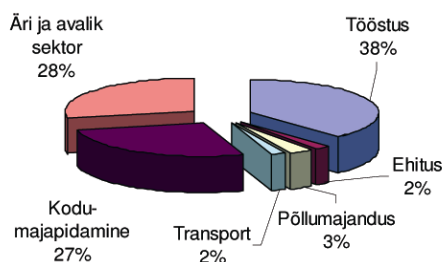
tippkoormuse aeg $T_{max} = A_{aasta} / P_{max}$ 5140 tundi,

koormustegur $k_{koorm} = T_{max} / T_{aasta}$ 0,585,

koormuse ebahütlustegur $k_{eü} = P_{min} / P_{max}$ 0,27.

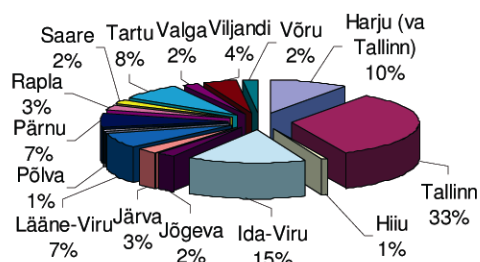
Siin A_{aasta} – aastane energiatarbimine; P_{max} – aastane koormustipp; P_{min} – aastane koormusmiinimum; T_{aasta} – aasta tundide arv.

Elektrienergia lõpptarbimise struktuuri tegevusalade järgi aastal 2003 illustreerib joonis 3, tarbimise jaotust maakonniti iseloomustab joonis 4.



Joonis 3. Elektrienergia lõpptarbimise struktuur tegevusalade lõikes 2003. aastal (Eesti Statistika-ameti ..., 2004)

Figure 3. Electricity end use consumption structure by fields of activity in 2003 (Eesti Statistika-ameti ..., 2004)



Joonis 4. Elektrienergia lõpptarbimise struktuur maakondade lõikes 2003. aastal (Eesti Statistika-ameti ..., 2004)

Figure 4. Electricity end use consumption structure by counties in 2003 (Eesti Statistika-ameti ..., 2004)

Elektritarbimise prognoos

Esitame siin mõned 2004. a koostatud elektritarbimise prognoosi tulemused (Eesti elektritarbimine ..., 2004). Prognoosimisel lähtuti majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi majanduse arenguprognoosidest kuni aastani 2035 majanduse kasvu kolme stsenaariumi – madala, mõõduka ning kõrge kasvutempo jaoks.

Summaarse lõpptarbimise prognoosid aastani 2015 on toodud joonisel 5. Sisemaise kogutarbimise prognoos aastani 2015 majanduse mõõduka kavu korral on esitatud joonisel 6. Elektrienergia sisemine kogutarbimine avaldub valemina

$$\text{kogutarbimine} = \text{lõpptarbimine} + \text{kaod jaotusvõrgus} + \text{kaod põhivõrgus}.$$

Kogutarbimise prognoosimisel eeldati elektrienergia kadude vähenemist Eesti jaotusvõrkudes 11,1%-lt 8,4%-ni, põhivõrgus 2,8%-lt 2,4%-ni.

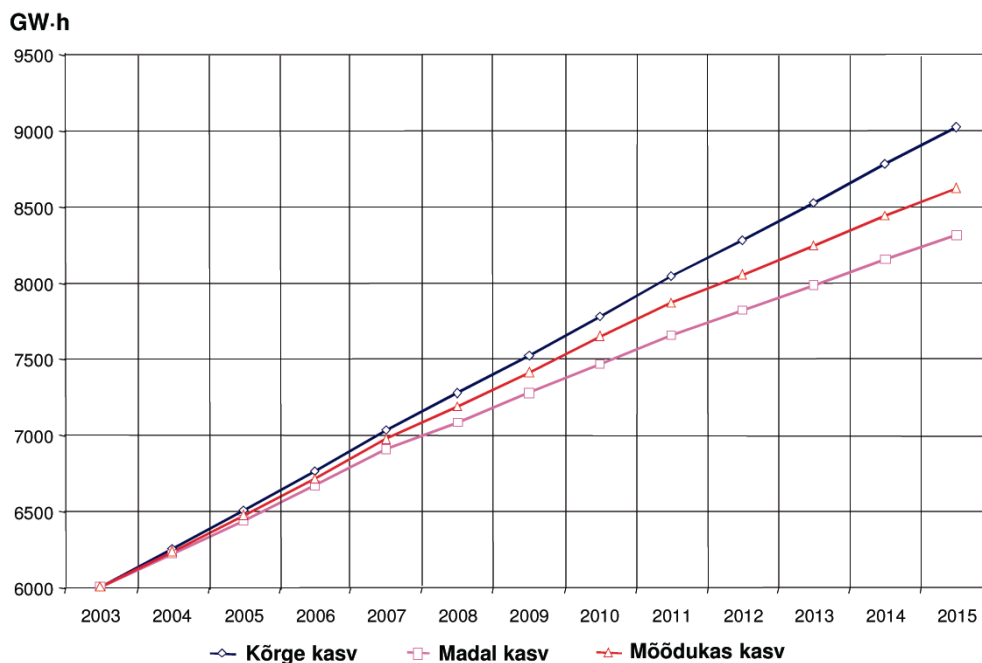
Elektri vajalikud tootmisvõimsused ja elektrivõrkude nõutav läbilaskevõime on määratud koormustippudega. Sisemaise tippkoormuse prognoosid aastani 2015 on toodud joonisel 7.

Nagu nähtub joonistelt, on kõigi majanduskasvu stsenaariumide korral oodata elektritarbimise ja tippkoormuste märgatavat suurenemist.

Elektrienergia säästmise võimalustest

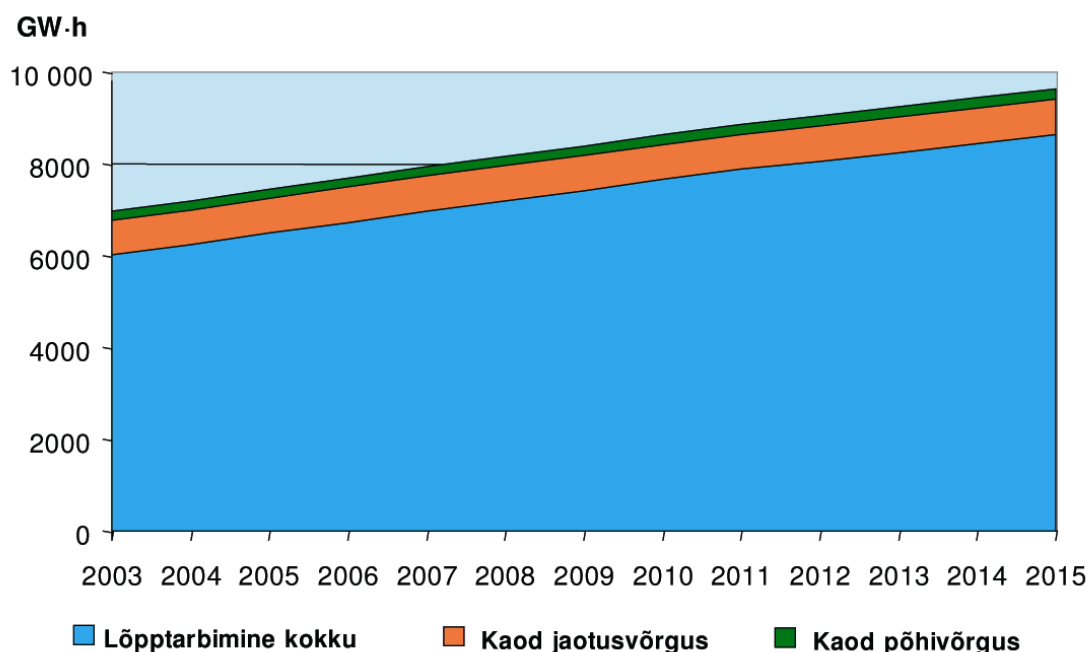
Energiasäästu all mõistame elektritarbimise vähendamist energiakasutuse tõhususe tõstmise arvel. Energiasäästuna ei käsitleta energiatarbimise sellist vähendamist, mis viib elukvaliteedi langusele (energiavarustuse katkestused, ruumide ebanormaalselt madalad temperatuurid jne).

Energiakasutuse tõhusust iseloomustab SKP energiamahukus, st primaarenergiaga varustatuse suhe SKP-sse. SKP energiamahukus on viimase kümne aasta jooksul tänu mitmetele säästumeetmetele ja efektiivsema tehnoloogia rakendamisele tunduvalt



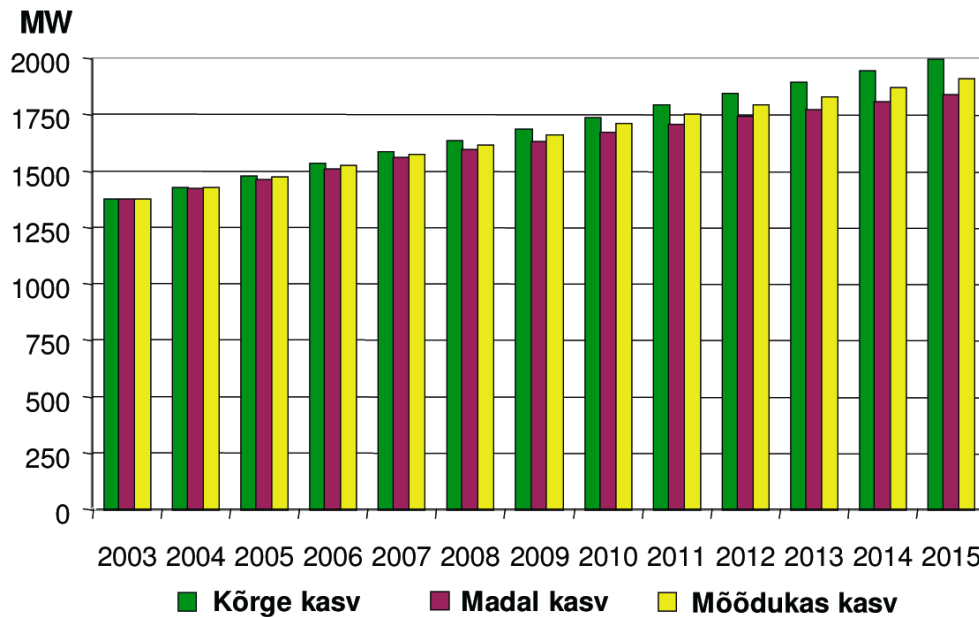
Joonis 5. Elektrienergia lõpptarbimise prognoosid aastani 2015 (Eesti elektritarbimine ..., 2004)

Figure 5. Electricity end use consumption forecasts up to the year 2015 (Eesti elektritarbimine ..., 2004)



Joonis 6. Sisemaise kogutarbimise prognoos aastani 2015 majanduse mõõduka kasvu stsenaariumi korral (Eesti elektritarbimine ..., 2004)

Figure 6. Forecasts of the total inland electricity consumption up to the year 2015 for the moderate economic growth scenario (Eesti elektritarbimine ..., 2004)



Joonis 7. Sisemaise tippkoormuse prognoosid aastani 2015 (Eesti elektritarbimine ..., 2004)

Figure 7. Forecasts of electricity total peak demand up to the year 2015 (Eesti elektritarbimine ..., 2004)

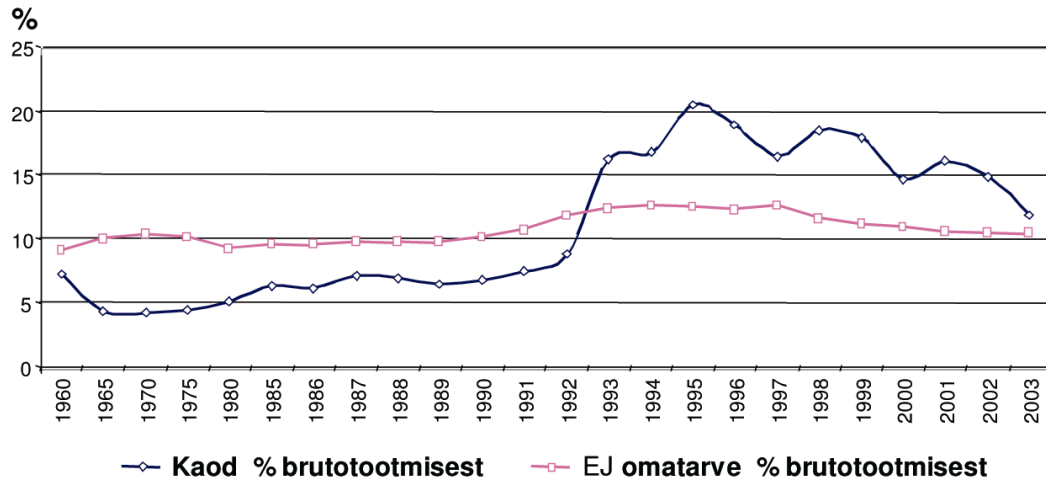
vähenenud – 0,90-lt 1993. aastal väärtuseni 0,49 MW·h/(mln kr) 2004. aastal (Eesti Statistikaameti ..., 2004). Siiski jääb Eesti selle säästva arengu näitaja osas Rahvusvahelise Energiaagentuuri (IEA) andmetel veel tunduvalt maha EL keskmisest tasemest, sealhulgas võrreldava kliimaga naaberriikidest (Key world ..., 2004). Seega võib eeldada, et energia säästmise potentsiaal on kõrge.

Säästumeetmete tõhusaks rakendamiseks tuleb teadvustada energiakasutuse madala efektiivsuse põhjusi, millest tuleks eelkõige mainida järgmisi:

- endiselt moodustavad osa elamufondist õhukese soojusisolatsiooni ja halva aknastruktuuriga paljukorterilised paneelmajad, kus soojuskaod on suured;
- osaliselt vananenud ja väheefektiivne tehnoloogia nii soojuse ja elektrienergia tootmisel kui tarbimisel;
- osa jaotusvõrkude vanus ja halb tehniline seisund (soojusvõrkude keskmine vanus ületab 10 a, rohkem kui poole elektrivõrgu liinide vanus on üle 30 a);
- soojuse ja elektri koostootmise eeliste tagasihoidlik kasutamine;
- tehnoloogia uuendamiseks vajalike finantsressursside nappus;
- informatsiooni nappus elektrisäästu tehnilistest ja korralduslikest võimalustest;
- piisava oskusteabe nappus elektrisäästu meetmete rakendamiseks;
- tarbijate vähenenud teadlikkus ja ebapiisav arusaamine energiasäästust, kui keskkonnasõbralikust tehnoloogiast;
- sotsialismiaja pärandina energia säästmise harjumuse puudumine.

Elektrimajanduses võib teatavasti põhimõtteliselt eristada elektrivarustuse poolt ja tarbimise poolt. Varustuse poole energeetilist efektiivsust iseloomustavad eelkõige

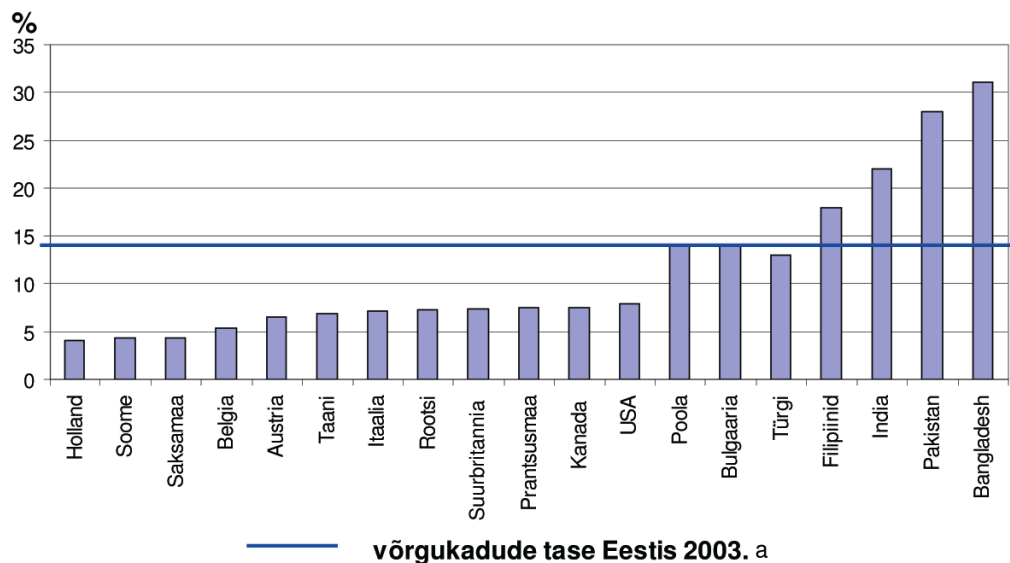
elektri ülekandmise ja jaotamise efektiivsus, st kaod elektrivõrkudes ning elektri- jaamade omatarve. Kadude ja omatarbe dünaamikat protsentides elektri- jaamade brutotoodangust illustreerib joonis 8 (Elektrienergia ..., 2004).



Joonis 8. Elektrivõrgu kadude ja elektri- jaamade omatarbe dünaamika (% jaamade brutotoodangust)

Figure 8. Dynamics of electrical networks losses and self-consumption of power plants (per cents of the gross production of the plants)

Näeme, et pärast elektri tootmise ja tarbimise järsku langust ning võrgukadude kiiret tõusu aastail 1989–1993 on kadude tase alates aastast 1993 stabiliseerunud. Kahjuks on see toimunud kadude suhteliselt kõrgel tasemel (joonis 9).



Joonis 9. Elektrivõrgu kadude tase osas riikides

Figure 9. Levels of electric network losses in some countries

Kadude optimaalne tase sõltub riigi majandusliku arengu tasemest ja elektrienergia hinnast ning arenenud maadel loetakse selleks 5–8% elektrienergia kogutoodangust. Eesti tingimustes on kadude optimaalne tase mõnevõrra kõrgem – piires 7–8%, milleni jõuda on reaalne hiljemalt aastaks 2020.

Tarbijapoolset säästu potentsiaali hinnata on suhteliselt raske. Ligikaudsed hinnangud on vahemikus 10–30% praegusest kogutarbimisest (Eesti ..., 1996). Arne Leisalu ja Claes Hedenström on hinnanud selleks 30% (Leisalu ja Hedenström, 1993). Arvestades teiste maade hinnanguid ja Eesti energiakasutuse madalat efektiivsust, võib seda pidada küllalt realistlikuks elektrisäästu tehnilise potentsiaali hinnanguks. Reaalselt realiseeritava ressursi määratlemisel tuleb lähtuda majanduslikult põhjendatud meetmetega saavutatavast säästust, s.o majanduslikust säästupotentsiaalidest. Viimane on tihedalt seotud energia hindadega ja riigi majandusliku arengu tasemega ning ligikaudse eksperthinnangu järgi moodustab 10–15% praegusest elektri kogutarbimisest. Säästu stiimulid ja võimalused on suured avalikus sektoris.

Kui üheksakümnendatel aastatel oli säästu potentsiaali realiseerimise põhitakistuseks elektri suhteliselt madal hind, siis praegu on selleks vähene informeeritus säästu olulisusest ja võimalustest nii ettevõtte, riigi kui globaalsel tasandil ning säästuharjumuste puudumine.

Tarbimise juhtimine

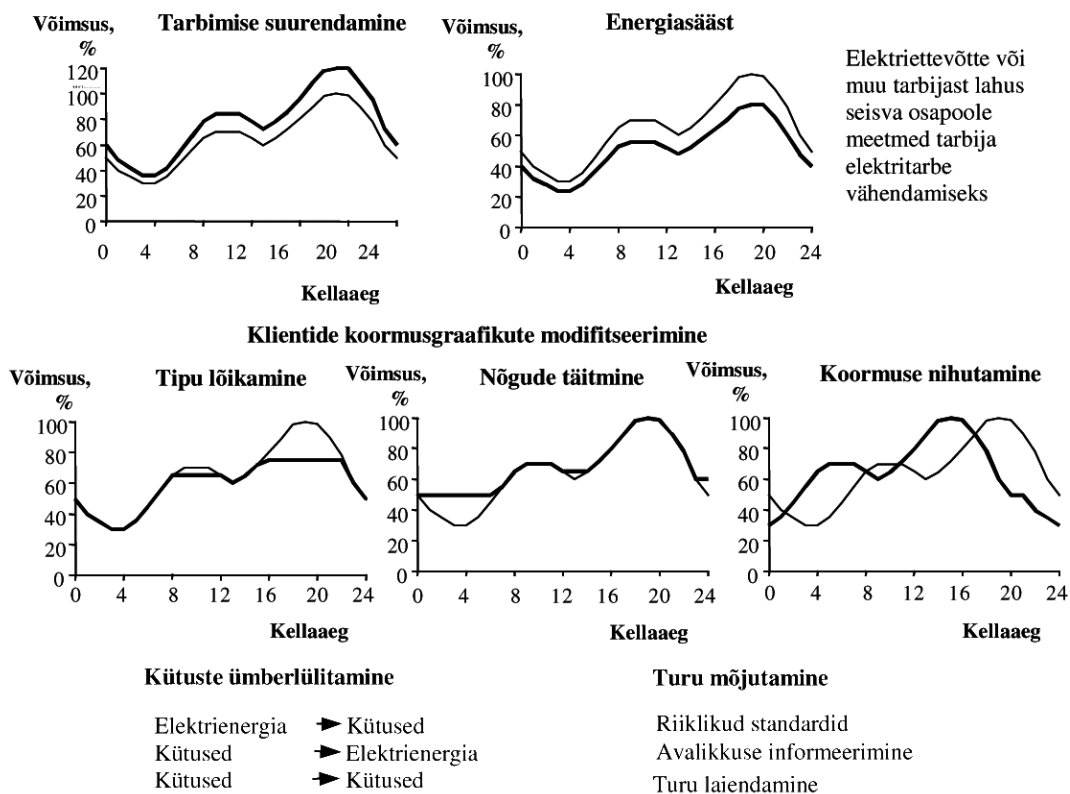
Tänapäeval on paljude elektri-ettevõtete praktikasse ulatuslikult juurdunud nii tootmis- kui tarbimisressursside integreeritud planeerimine, mille puhul kasvava tarbimise katmiseks vaadeldakse tavapärase genereerivate võimsuste laiendamise ja elektrivõrkude läbilaskevõime suurendamise kõrval ka energiasäästu ning tarbimise juhtimise võimalusi eesmärgiga vähendada koormustippe ja/või elektrienergia tarbimist. Arvestatakse, et tarbijale pole oluline mitte elektri tarbimine, vaid vajalike elektri-teenuste (valgustus, küte ja ventilatsioon, heli ning pilt audio-videoseadmetes, elektrimootorite poolt sooritatavad töötusprotsessid, jahutus, külmutus jms) saamine sobiva hinnaga. Kahjuks on Eesti arenguplaneerijate vaateväljast seni kõrvale jäänud ressurside integreeritud planeerimine, sh tarbimise juhtimise võimaluste arvestamine.

Tarbimise (nõudluse) juhtimine on sihipärane tegevus, mõjutamaks klientide koormusvõimsust, tarbitava elektrienergia kogust ja tarbimise aega. Tarbimise juhtimise programmid hõlmavad elektri-ettevõtte, valitsuse või kohalike omavalitsuste tegevusplaanid, mis innustavad kliente rakendama energiasäästlikke tehnoloogiaid, tooteid, seadmeid ja teenuseid.

Tarbimise juhtimise peamised strateegiad on järgmised (joonis 10).

- Elektritarbimise suurendamine – rakendatakse harva suurte kasutamata tootmisvõimsuste olemasolul ja pole Eesti oludes enam aktuaalne.
- Elektrienergia sääst – elektri-ettevõtte või muu tarbijast lahus oleva osapoole meetmed tarbija elektritarbe vähendamiseks, mida ei tuleks segi ajada tavapärase säästumeetmetega, mida rakendavad tarbijad oma elektriarvete vähendamiseks. Elektri-ettevõtete tegevus säästuprogrammide realiseerimisel seisneb säästmise propageerimises, vastavas koolitamisest ja energiaauditite läbi viimises, kaasfinantseerimises või finantseeringute stimuleerimises.

- Klientide koormusgraafikute modifitseerimine graafiku tippude lõikamise, nõgude täitmise ja tarbimise nihutamise teel eesmärgiga ühtlustada elektri-ettevõtte summaarset koormusgraafikut ning eelkõige vähendada koormustippu. Modifitseerimine saavutatakse selliste abinõudega nagu katkestuskõlblike tarbijate väljalülitamine, kliendipoolse tootmise stimuleerimine, adekvaatne hinnapoliitika ja klientide elektritarbimise harjumuste muutmine.
- Kütuste ümberlülitamine – üleminek elektri tarbimiselt kütuste tarbimisele (nt üleminek elektripliitidelt gaasipliitidele, puuküttele jms) või vastupidi, samuti üleminek ühelt kütuseliigilt teisele (nt üleminek gaaskütelt puuküttele jne).
- Turu transformatsioon – turuosaliste käitumise muutmine riiklike standardite kehtestamise teel tarvitite tõhususele, hoonete soojapidavusele jne; tarbijate informeerimise teel energiasäästu kasudest ja võimalustest; uute energia-säästlike seadmete ning tehnoloogiate turule ilmumise kiirendamine ja nende turuosa suurendamine jms.



Joonis 10. Tarbimise juhtimise peamised strateegiad
Figure 10. Main strategies for demand side management

Tarbimise juhtimisest saavad põhimõtteliselt kasu kõik hõlmatud osapooled.

- Elektritootjad saavad valida efektiivsemad moodused tarbijate vajaduste rahuldamiseks, edasi lükata investeeringuid tootmisvõimsuste laiendamiseks; vähendada tipuelektrijaamade ja reservvõimsuste vajadust, paremini ära kasutada olemasolevaid tootmisvõimsusi ning vähendada tootmise marginaalkulusid.

- Elektrivõrguettevõtetal tekib võimalus edasi lükata investeringuid ülekande- ja jaotusvõrkude läbilaskevõime suurendamiseks ning vähendada võrgukadusid.
- Elektritarvitite ja tehnoloogiate tootjatel on võimalus laiendada energiaefektiivsete tarvitite ning tehnoloogiate turuosa ja neil suureneb huvi nende väljatöötamiseks.
- Lõpptarbijatel vähenevad elektriarved, ettevõtetal vähenevad tootmiskulud ja tõuseb konkurentsivõime.
- Kogu ühiskonna kasudeks on majanduse energiatõhususe ja kodumaiste kaupade konkurentsivõime tõus, elektritootmisega seotud saastekoormuse vähenemine, kodumaiste energiaressursside säästmise, primaarenergia impordi vajaduse vähenemine.

Tarbimise ja/või koormuse juhtimises võib eristada kaht peamist suunda.

- Otsene juhtimine – saavutatakse elektritarvitite (tarbijate) otsese väljalülitamise, ümberlülitamise ja nende talitluse modifitseerimise teel.
- Kaudne juhtimine – saavutatakse eelkõige elektritariifide vastava struktuuri abil, et innustada tarbimise iseloomu muutumist sobivas suunas. Kaudse juhtimise moodusteks on ka tarbijate informeerimine ja koolitus, reklaamikampaaniad jne.

Otsese juhtimise potentsiaal sõltub klientide varustatusest juhtimiseks sobivate tarvititega, nende tarbimise iseloomust ja klientide valmisolekust osaleda tarbimise juhtimise programmides. Otsese juhtimise tehniliseks potentsiaaliks on hinnatud 73 MW aastal 2005 ja 91 MW aastal 2017 (Raesaar jt, 2003). Siiski on mainitud potentsiaal pigem teoreetiline, kuni tarbijatel tekib arusaamine koormuse otsese juhtimise olemusest ja kasudest ning usaldus selle rakendamise suhtes, sh usaldus ka Eesti Energia AS vastu, kelle ettevõtmisena koormuse juhtimine praktiliselt kõne alla tuleb. Ilmselt pole ka viimane lähitulevikus veel valmis koormuse juhtimise programmide realiseerimiseks. Ühtlasi näitas uurimus (Raesaar jt, 2003), et otsene juhtimine jääb eelseisva 4–5 a vältel majanduslikult mittetasuvaks. Koormuse kaudse juhtimise teoreetiliseks potentsiaaliks kodumajapidamises hinnati orienteerivalt 146 MW, reaalseks majanduslikuks potentsiaaliks aga 50 MW.

Elektritarbimise suunamine

Elektritarbimise suunamise põhieesmärkideks on tarbitava elektrienergia koguse vähendamine ja summaarse koormusgraafiku tipu alandamine. Selleks tuleb jätkata Eesti energiasäästu sihtprogrammi ja selle rakenduskava täitmist. Aastaks 2015 tuleb:

- viia võrgukadude ja jaamade omatarbe tase 9%-ni brutotoodangust;
- saavutada elektrienergia sääst 15% ulatuses või püüda hoida majanduskasvust tingitud elektritarbe muutus vähemalt kaks korda madalamal SKP juurdekasvust.

Nende eesmärkide saavutamisel on esmaülesanneteks:

- tarbijate ja üldsuse energiasäästlike hoiakute kujundamine koolituse, info-kampaaniate, infopunktide loomise jms teel;

- energiaauditite läbiviimine ettevõtetes ja asutustes energiaalase situatsiooni selgitamiseks ning konkreetsete säästuvõimaluste tuvastamiseks;
- energiasäästlike seadmete ja tehnoloogia turule ilmumise kiirendamine vastavate standardite ning efektiivsusnõuete sätestamise ja reklaamikampaaniate ning koolituse vahendusel.

Tarbimise juhtimise rakendamisel elektriettevõtete praktikasse on esmatähtsaks üldsuse teavitamine ja suhtumise kujundamine tarbimise juhtimise eesmärkidest, kasudest, võimalustest ning põhimõtetest, toonitades selle olemust maksimaalselt keskkonnasõbraliku, säästvat arengut toetava ja mitmepoolset kasu andva tehnoloogiana. Selleks tuleks kasutada koolitust, infopäevi, seminare, näitusi, messe jms, maksimaalselt kasutades massikommunikatsioonivahendite, sh Interneti võimalusi. Oluline on koolitajate koolitus ja nende tutvustamine vastava välismaise kogemusega. Saavutada tuleks selgitustöö vähemalt samaväärne tase, nagu see on saavutatud taastuvate energiaallikate propageerimisel ja üldsusele teadvustamisel.

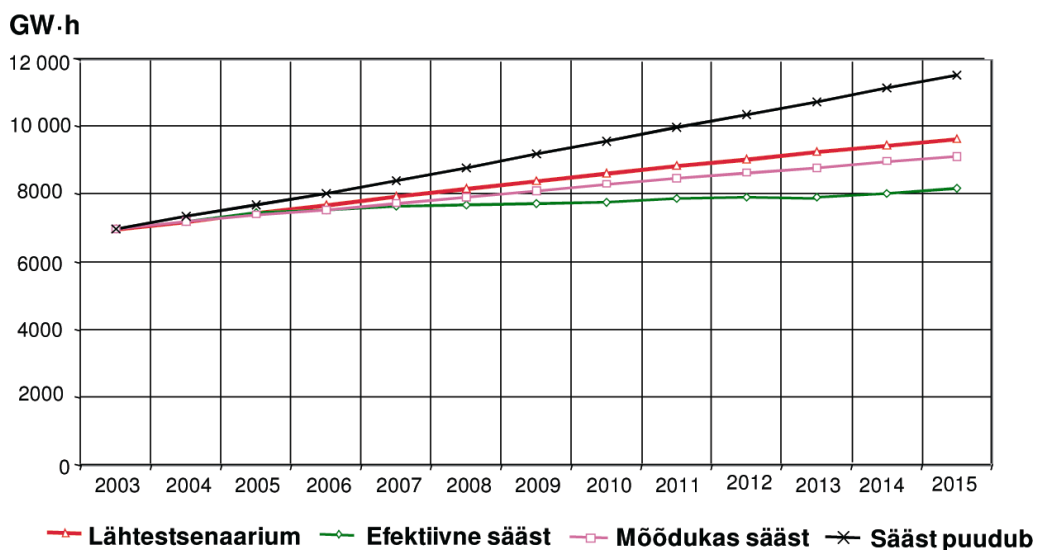
Edasiste ülesannetena tuleks mainida järgmisi:

- elektriettevõtete personali koormuse juhtimise koolitus;
- klientide koostöövalmiduse kujundamine;
- tarbijate hinnaelastsuse hindamine;
- uurimistööd elektritarvitite juhtimiseks sobivuse väljaselgitamiseks;
- kliendiuringud (koos selgitustööga) juhtimiseks sobivaid tarviteid omavate koostöövalmis klientide selgitamiseks;
- väikesemahuliste (10–100 klienti) katseprojektide käivitamine ja tulemuste propageerimine;
- energiaauditid ettevõtetes ja avaliku sektori asutustes tarbimise otsese juhtimise võimaluste uurimiseks;
- klientide eriuuringud katkestuskõlblike tarbijate potentsiaali ja majanduslikkuse selgitamiseks (eelkõige suuremates tööstusettevõtetes);
- tarbimise kaudse juhtimise (tiputariifid, säästumeetmete toetamine) otstarbekuse uuringud;
- tarbijate innustamine ja nõustamine, osalemaks EL energiasäästu projektides.

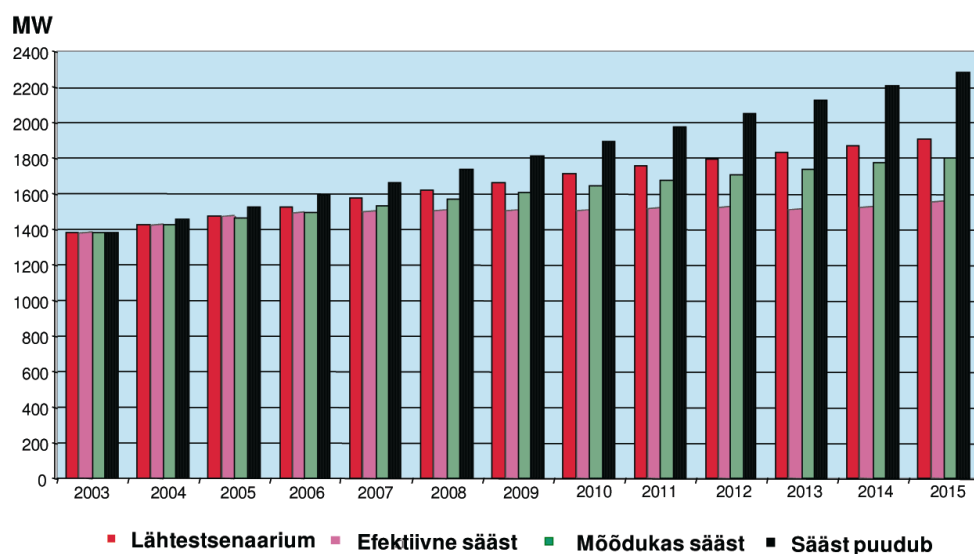
Tarbimise suunamise toetamiseks tuleks kaaluda energiasäästu fondi loomist, mille ülesanneteks oleks:

- energiasäästuprojektide rahastamine (kaasrahastamine);
- laenuaotluste dokumentatsiooni ettevalmistamine ja laenude vahendamine;
- projektide järelevalve, raha sihipärase kasutamise kontroll;
- projektide efektiivsuse analüüs, õnnestunumate tutvustamine;
- elektriettevõtete ja elektritarbijate nõustamine.

Fondi põhikapital võiks moodustuda riigi eelarvest ning elektriettevõtete, säästliku tehnoloogiate tootjate ja turustajate, aga ka tarbijate vabatahtlikest sisseasketest. Lõpetuseks on joonisel 11 toodud elektritarbimise hinnanguline alternatiivprognoos mõõduka majandusarengu ning erinevate säästustsenaariumide puhuks, joonisel 12 aga sisemaise koormustipu prognoosid erinevate säästu ja tarbimise juhtimise juurutamise



Joonis 11. Elektritarbimise hinnanguline alternatiivprognosis mõõduka majandusarengu ning erinevate säästustsenaariumide puhul
 Figure 11. Alternative forecasts of electricity consumption in the case of moderate economic growth and different energy conservation scenarios



Joonis 12. Sisemaise koormustipu prognoosid erinevate säästu ja tarbimise juhtimise juurutamise stsenaariumide puhul majanduse mõõduka kasvu korral
 Figure 12. Alternative forecasts of the peak inland electricity demand in the case of moderate economic growth and different scenarios of energy conservation and demand side management implementation

stsenaariumide puhul majanduse mõõduka kasvu korral (Eesti elektritarbimine ..., 2004).

Ühtlasi rõhutame, et **elektritarbimise suunamine on suure inertsiga pidev protsess, mille reaalsed tulemused sõltuvad väga suurel määral tarbijate ja kogu üldsuse hoiakute, arusaamade ja käitumisharjumuste muutumisest ning säästliku mõtteviisi kujunemisest.**

Kokkuvõte

Eesti energiaressursside otstarbekaks kasutamiseks tuleb otsida ratsionaalseid mooduseid tarbijate elektrivajaduse rahuldamiseks. Oluliseks energiapoliitika suunaks tarbimise kasvu piiramisel on selle suunamine. Peamisteks abinõudeks selles osas on elektrienergia säästu abinõude rakendamine ja tarbimise juhtimine. Need mõlemad on maksimaalselt keskkonnasõbralikud tehnoloogiad. Käesolevas artiklis on toodud ülevaade Eesti elektritarbimise dünaamikast minevikus ja võimalikest tulevikutrendidest. Lühidalt on käsitletud elektrienergia säästmise võimalusi.

Kahjuks ei ole Eesti elektrimajanduse planeerimisel seni leidnud praktilist rakendust ressursside integreeritud planeerimine, mis hõlmaks ka tarbimise juhtimise võimalusi. Seetõttu on käesolevas töös käsitletud tarbimise juhtimise olemust ja eeliseid ning on ligikaudselt hinnatud juhtimise potentsiaali. Samuti on käsitletud Eesti elektritarbimise suunamise peamisi eesmärke ja vahendeid.

KirjandusReferences

1. Eesti elektritarbimine aastatel 2005–2015 (2004) Lepingu aruanne. Tallinna Tehnikaülikool, elektroenergeetika instituut. Tallinn: 50.
2. Eesti Majandusministeerium (1996) Eesti energiastrateegiad. Hinnang energiasituatsioonile. PHARE projekti ES94.04/01.03 vahearuanne. Tebodin, Consultants&Engineers. Tallinn: 103.
3. Eesti Statistikaameti andmebaas 11.10.2004.
<http://gatekeeper.stat.ee:8000/px-web.2001/Dialog/statfilere.asp>.
4. Elektrienergia bilanss. Eesti Statistikaameti andmebaas 11.10.2004.
<http://gatekeeper.stat.ee:8000/px-web.2001/Database/Majandus/02Energeetika/02Energeetika.asp>.
5. European Commission (1999) Energy in Europe. Economic Foundations for Energy Policy. Special Issue. December. Brussels: 164.
6. Green Paper (2000) Towards a European strategy for the security of energy supply. COM769. Brussels: 90.
7. Key world energy statistics 2004. International Energy Agency. 82.
<http://library.iea.org/dbtw-wpd/Textbase/nppdf/free/2004/keyworld2004.pdf>.
8. Leisalu, A., Hedenström, C. (1993) Energy Efficiency 1993. Challenge in Estonia. ECEEE Summer Study. Denmark: 13.
9. Raesar, P., Tammoja, H., Tiigimägi, E., Valtin, J. (2003) Tarbimise juhtimise võimalused ja tasuvus Eesti elektrisüsteemis. Lepingu aruanne. Tallinna Tehnikaülikool. Tallinn: 81.

OPPORTUNITIES OF ELECTRICITY CONSERVATION AND DEMAND SIDE MANAGEMENT

Peeter Raesaar

Department of Electrical Power Engineering of Tallinn University of Technology
e-mail: peeter.raesaar@ttu.ee

Abstract

Expedient utilization of Estonian energy resources impels to find rational ways to satisfy customers' electricity demand. An important strategy of rational energy policy is the electricity consumption management to restrain the demand growth. The main tools of this strategy are energy conservation and demand side management. Both of the above mentioned tools are entirely environmental-friendly measures. An overview of the Estonian electricity consumption and its future projections are presented in this paper. Opportunities for electricity conservation are observed briefly. Unfortunately, Estonian energy planners have discarded the integrated resource planning including demand side management so far. Therefore, the entity of demand side management, its benefits and preliminary estimations of its potential are presented. The main objectives and tasks of the electricity consumption management in Estonia are discussed.

ROHELISEST ENERGIAST ETTEVÖTTES JA KODUS

Alo Kivistik¹ ja Jaan Kivistik²

¹Friends Textile OÜ, A.T. Kaubandus AS

e-post: alo@friends.ee

²Eesti Maaülikool, Kreutzwaldi 64, 51014 Tartu

e-post: jaan.kivistik@emu.ee

Annotatsioon

Säästlik eluviis, mida võime tinglikult iseloomustada sõnaga *roheline*, peaks olema igiomane inimesele, kes tahab paikselt elada. Minevikku on jäänud nomaadide ajastu, kus oli loomulik edasiränne kurnatud maa-aladelt. Praeguseks on osal maailmast valitsemas kõrgtsivilisatsioon, milles hetkelise mõnu, kasu või võimu nimel võidakse kulutada ja isegi hävitada kõik enda ümber ning kaugemalgi. Energia globaalses riikidevahelises suhtlemises ja välispoliitikas on muutumas võimuallikaks. Globaalsel tasemel hakkab poliitika üha rohkem mõjutama majandust tervikuna ja sealhulgas eeskätt energeetika abil. Seejuures poliitika võib allutada majanduse, mille selgeks näiteks on kava gaasitoru Venemaalt suunata Läänemere kaudu Lääne-Euroopasse.

Vastukaaluks tsivilisatsiooni pahedele on tekkinud roheline mõtteviis ja seda toetav nn roheline liikumine. Roheline mõtteviis sisaldab palju alasid ja probleeme, puutudes kokku toasoojusest riikidevahelise poliitikani, geneetiliselt muudetud organismidest tornaadodeni. Üks probleemidering, mille arendamisele ja levitamisele on kaasa aidanud alates aastast 1999 korraldatud teaduskonverentsid, sisaldub konverentside nimetuses “Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine”.

ROHELINE MÖTTEVIIS, ROHELINE ENERGIA, ENERGIA KOKKUHOID, INVESTEERINGUD

Rohelisest mõtteviisist

Rohelist mõtteviisi propageerib ja toetab Eesti Roheline Liikumine, aga ka mitmed teised organisatsioonid ja isikud. Esimene Roheline Foorum ja ühtlasi ERL ametlik asutamine toimus Tallinnas 23. mail 1988 ja esimene aastakoosolek oli 10. detsembril 1988. ERL seab ”... oma programmiliseks eesmärgiks loodushoiu ja -kasutuse, mis tagab biosfääri taastootmisvõime, inimese kehalise ja vaimse heaolu”. ERL on oma mitmekülgsete ürituste ja publikatsioonidega seisnud hea roheline liikumise arendamisel. Välja on kujunenud kaheksa alalist töörühma: energeetika ja atmosfäär, põllumajandus, säästev tarbimine, transport jt (Eesti ..., 2005).

Roheline mõtteviis sisaldab palju alasid ja probleeme toasoojusest riikidevahelise poliitikani, geneetiliselt muudetud organismidest tornaadodeni. Üks probleemidering, mille arendamisele ja levitamisele on kaasa aidanud alates aastast 1999 korraldatud teaduskonverentsid, sisaldub konverentside nimetuses “Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine” (TEUK). Nende konverentside põhikorraldajaks ja väljaannete peatoimetajaks on olnud taastuvenergeetika *Grand Old Man* Valdur Tiit. Jõudumööda on neis osalenud koos kaasautoritega ka Jaan Kivistik (Kivistik ja Hinno, 2003; Merdikes ja Kivistik, 2002; Mäesaar ja Kivistik, 2004; Kivistik ja Laas, 2005).

Energia ettevõtluses

Energia on kõikjal, kõik on seotud energiaga. Energiat on kulutatud ja kulub kõigele, mida tarbime, olgu selleks toiduained või rõivad, korter või toasoojus, auto või auto-kütus jne. Eestis on kümne viimase aastaga energiamahukus vähenenud ligi kaks korda. (Energiabilanss ..., 2005). Samal ajavahemikul on kodumaise energia osatähtsus kasvanud 1990. aasta 53%-lt aastaks 2004 65%-le, olles siiski tunduvalt vähem kui 1960. aasta 84%. Primaarenergia ressurssidest moodustab Eestis põlevkivi ligi poole, kusjuures elektrienergiast toodetakse üle 90% põlevkivi baasil. Alates aastast 2000 on põlevkivitoodang vahepealsest madalseisust hakanud uuesti suurenema. Kasv säilis ka aastatel 2003–2004, seda isegi 8% tasemel. Üheksakümnendate algusaastate kivisöe, koksi ja vedelkütuste osa on primaarenergias tunduvalt vähenenud, küteturba ning puidu osa suurenenud. Turbabriketi, küttepuude ja puidujäätmete suurtarbijaks on kujunenud kodumajapidamised. Puidujäätmete suurim tarbija on puidutööstus ise. Aastal 2004 tarbiti Eestis eelnimetatud ja muude kütuste kõrval 120 000 tonni rasket kütteõli, 130 000 tonni põlevkiviõli, 608 000 tonni kerget kütteõli ja diislikütust ning 287 000 tonni autobensiini. Viimase suurimaks tarbijaks kujunes kodumajapidamine 190 000 tonniga (Energiabilanss ..., 2005)

Sadade tuhandete tonnide energiakandjate tootmisel kui ka tarbimisel saastame looduskeskkonda. Kõige rohkem saastabki loodust tarbimine ja sellest lähtuv nõudlus toodete või teenuste järele. Mida rohkem seda nõudlust piirata, seda parem oleks see keskkonnale. Tänapäeva mõistes „vältimatute asjade” tarbimisel on aga väga oluline, mida ja kuidas tarbida.

Millised oleksid siis ettevõtja võimalused piirata tarbimist ja/või tarbida võimalikult keskkonnasäästlikult?

Investeeringud on üks suurimaid saasteallikaid, sest loob nõudluse seadmete, masinate, ehitiste, infrastruktuuri jne loomiseks ja tootmiseks. Need mõjutavad looduskeskkonda nii taastuvate kui ka taastumatute ressursside kasutamise kaudu tootmise hetkel, kuid ka märksa pikemaajalise perioodi jooksul, sest juurde tulevad säilitus-, kasutus- ja likvideerimiskulud. Seetõttu on looduskeskkonna hoidmise seisukohast lähtudes oluline investeeringute absoluutse mahu piiramine (nt autode arv), kuid vähemalt samavõrra oluline on ka investeeringute kvaliteet ning keskkonnahoidlikkus, sest see määrab, kui palju mõjutab tehtud investeering keskkonda oma eksisteerimisaja jooksul.

Milliseid keskkonnaga seotud asjaolusid tuleb arvesse võtta, investeerides uute hoone- te, rajatiste, tehnoloogiate jms kasutuselevõttu?

1. **Investeeringute pikaajalisus.** Tasub investeerida võimalikult nüüdisaegsesse ning kvaliteetsesse materiaalsesse varasse (seadmed, arvutid, transpordivahendid, mööbel jne), mille moraalne ning funktsionaalne kasutusiga on võimalikult pikk. Sellega lükatakse investeeringu asendamise/uuendamise vajadus edasi võimalikult kaugesse tulevikku.
2. **Investeeringuobjekti keskkonnasõbralikkus tarbimistsükli jooksul.** Lisaks investeeringuobjekti kasutamise ajalisele pikkusele on väga oluline ka selle jooksulate kasutuskulude ning likvideerimiskulu minimeerimine.

3. **Eelista keskkonnateadlikke partnereid.** Samasuguste funktsionaalsete omaduste ja investeerimismahu juures tasub eelistada partnereid, kelle suhtumine on keskkonda säästvam. Näiteks edukatel firmadel on toodete võimaliku taaskasutuse protsent kõrgem, nende endi tegevus kahjustab keskkonda vähem jne. Ettevõtte sellise suhtumisega säilitatakse keskkond tervemana ja aidatakse kaasa keskkonda säästva mõtteviisi levikule.
4. **Projekteeri ehitised targasti.** Projekteerimisel ja ehitamisel tuleb lähtuda parimatest teadaolevatest lahendustest soojakadude minimeerimiseks – kõrgetasemel soojustus, ventilatsiooni soojusvahetid, väljuva õhu soojust kasutavad soojuspumbad jne. Sõltuvalt ehitise kasutamise spetsiifikast on võimalik ka välja töötada lokaalne ja looduslik lahendus heitvete puhastamiseks jne. Hästirajatud ettevõtte hoone või ka elamu võimaldab kasutamise ajal säästa energiat ja hoida keskkonda

Energia säästmine ettevõttes ja kodus

Energiat peaksime kasutama ettevõttes ja kodus võimalikult säästlikult. Samad võimalused, mis on loodushoiuks ettevõtjana, on ka eraisikuna – eelkõige investeerida ja tarbida vaid vajalikku ning teha seda võimalikult keskkonnasäästlikult. Tegelikus elus see sageli nii ei ole. Tallinna Tehnikaülikooli energiateaduskonna dekaan Olev Liik on öelnud “kõva sõna” säästva arengu foorumil, mille trükkis Roheline Värav (Liik, 2005): “Selle elektrienergia tootmiseks, mida vajavad Euroopa kõik ooterežiimil olevad kodumasinad, peavad töötama kogu Suurbritannia elektrijaamad.”

Elektrienergia kasutust saaks minimeerida mitmesuguste säästlike lahendustega. Soovitada tuleb Rohelise Energia tarbimist, mis kasvataks tootjate huvi suurendada puhta elektri tootmist.

Kütmine. Tootmis- ja laohoonete kütmisel tuleb rohkem kasutada taastuvaid energia-kandjaid (hakkpuit, pelletid jms) ja teisi ökoloogilisest aspektist säästlike lahendusi (soojuspumbad, päikesekollektorid jne). Elamus võib kasutada õhusoojuspumpa, mis töötab külmkapiga samal põhimõttel, kuid toodab jahutamise asemel 1 kW·h tarbitud elektrienergia abil kuni 5 kW·h soojust. Soojuspumba kõige efektiivsem töö on temperatuuridel $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, kuni $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Seadme hind koos paigaldusega algab 21 000 kroonist ja tasuvusajaks arvestatakse kolm aastat. Üldiselt piisab ühest seadmest korterisse või eramusse. Kui ruumide pindala ületab 160–180 m², sobiks paigaldada kaks siseosa (Körper, 2005).

On olemas elamu kütmiseks maasoojuspumba kasutamise kogemus. Maja on ideaalilähedaselt soojustatud, ventilatsioonisüsteemil on väga kaasaegne soojusvaheti. Uusimate soojuspumpade efektiivsusnäitajad (muundustegur, *Coefficient of Performance* COP) on väga kõrged, kuni 5.

Transport. Samas suurusjärgus transpordivahendeil on olulisimad näitajad minimaalne kütusekulu, minimaalsed ning puhtaimad heitgaasid. Rohkem tähelepanu hakatakse pöörama CO₂ heitmetele, mida seni ei ole piisavalt oluliseks loetud.

Keskkonnaministeeriumi määrus nõuab alates 7. oktoobrist 2005 automüüjatelt ostjate teavitamist autode kütusekulu kõrval ka süsinikdioksiidi heitmete suurusest. Määruse järgi peab autoregistrikeskus (ARK) hakkama välja andma elektroonset teatmikku, kus on kirjas kõigi Eestis müüdavate autode kütusekulu ja CO₂ heitmete suurus.

Urmas Tooming kirjutab oma artiklis Mazdasid müüva firma Esma Auto müügijuhi Jaanus Simsoni arvamuse: “Süsinikdioksiidi kogused ei huvita inimesi üldse. Huvitavad hind ja kütusekulu, sest need käivad rahakoti pihta” (Tooming, 2005).

Eesrindlikumad tootjad on saavutatud sõiduki tootmisel ning utiliseerimisel väiksemad kahjud keskkonnale. Tänapäeval on parimaks lahenduseks bensiinimootoriga hübriidsõidukid. Ainult bensiinimootorit kasutava analoogiga võrreldes saavutavad sellised sõiduautod vähemalt 25% kütuse kokkuhoidu ja linnasõidul isegi rohkem. Oluliselt väiksem on hübriidsõidukite CO₂ eralduse tase. Näiteks hübriidautol Toyota Prius on see kombineeritud tsükklis 104 g/km, mis on väiksem igast võrreldavast bensiini- või diiselmootoriga sõidukist. Kõrvutades analoogiliste diiselmootoritega on bensiini abil töötaval Toyota Prius hübriidsõidukil väiksem mitte ainult CO₂ tase, vaid ka 96% väiksem NO_x gaaside emissioon võrreldes diiselmootoritel EURO IV lubatud normatiividega. Samuti puudub diiselmootoritele omane tahmaosakeste emissioon, mille mõju kasvuhooneefekti tekitajana on väga suur.

Taastuenergia ettevõttes ja kodus

Eestis on viimasel ajal mitmeid positiivseid näiteid taastuvate energiaallikate kasutuselevõtul. Märgime siinkohal Postimehe majandusleheküljel avaldatud BNS lühiteate “Läänemaal avati järjekordne tuulepark” (BNS, 2005). Teates on märgitud, et tuulepargi avas Saaremaa firma Roheline Ring Läänemaal Hanila vallas Esivere külas. Nelja tuulikuga kogu projekt läks koos liitumisega Eesti Energia võrku, kaablitrasside ja alajaama rajamisega maksma 138 miljonit krooni. Tuulepargis kavatseb Roheline Ring avada aastal 2006 veel kuus tuulikut. Pargi praegune võimsus on kokku kaheksa megavatti.

Eesti taastuenergeetika arengu üheks tulevikusammuks on rapsiõli tootmise laienemine ja sellest biodiislikütuse valmistamine. Aivar Reinap märgib oma artiklis: “Eesti kapitalile kuuluv OÜ Nordic Biodiesel leiutas ja patenteeris uudse tehnoloogia biodiisli valmistamiseks, mis on senise tehnoloogiaga ligi viiendiku võrra efektiivsem ja keskkonnasõbralikum” (Reinap, 2005) Aasta jooksul loodab OÜ Nordic Biodiesel Balti Laevaremonditehases 25 miljoni krooni eest ehitada 13 000-tonnise aastatoodanguga õlitechase prototüübi. Biodiislikütuse mark BPU tooraineks sobivad madalakvaliteetsed toorained, sealhulgas kasutatud toiduõli, loomsed ja taimsed rasvad ning loomulikult erinevatest kultuuridest, näiteks rapsist, sojast või päevalildest toodetud taimeõli. Uudne biodiislikütuse tootmiseseade BPU-30 võib toota 35 tonni biodiislikütust ja 4 tonni glütserooli päevas. Seade mahub 40-jalasesse konteinerisse ja maksab 30 miljoni krooni piires.

Tarbimine on vältimatu, kuid ometi saab vähendada mõju keskkonnale, kui taastuenergiat ja tarbimise jääke kasutatakse säästlikult. Samuti on väga oluline oma eeskujuga üles kutsuda ka teisi keskkonda säästvalt käituma. Positiivne on keskkonna säästmisele suunatud üritustel osalemine. Näiteks firmade osalemine EU liitumise puhul toimunud vabatahtlikul 1 miljoni puu istutamisel.

Säästmist propageeriva firmakultuuri ülesehitamine ja rohelise mõtteviisi propageerimine peaks olema märk tervele kollektiivile. Unustada ei tohi taaskasutuse

soodustamist. Siia kuuluvad vanapaber, plastik ning sõltuvalt tegevusvaldkonnast ka muud jäätmed.

Koduses majapidamises võiksid igapäevased nõudepesuvahendid, pesupulber jms olla võimalikult loodussõbralikud – näiteks Miniriski sarjast. Unustada ei saa ka toiduaineid. Ökoloogiliselt toodetud toiduained on tervislikumad, soodustavad positiivselt tööhõivet maapiirkondades ning saastavad vähem keskkonda. Selliseid tooteid pakuvad Ökosahver ja mitmed teised firmad.

Postimees kirjutas 3. oktoobril 2005 rubriigis “Päeva pluss” Rootsi keskkonnaministri Mona Sahlini arvamus (Sahlin, 2005): “Rootsist saab maailmas esimene riik, mis loobub fossiilsete kütuste tarbimisest ja läheb üle üksnes taastuvate energiaallikate kasutamisele. Juba 2020. aastal ei sõltu Rootsi enam naftast.”

Kunas jõuab Eesti sellisele tasemele taastuvate energiaallikate kasutamisega, mida pakub heaoluriik Rootsi aastaks 2020?

Kirjandus ✕ **References**

1. BNS (2005) Läänemaal avati järjekordne tuulepark. Postimees, 3. oktoober, lk 11.
2. Eesti Roheline Liikumine (2005) <http://www.roheline.ee/index.php3>.
3. Energiabilanss 2004. Aastakogumik (2005) Statistikaamet, analüüsi ja väljaannete talitus. Ofset OÜ. Tallinn: 36, lk 3 ja 20.
4. Kaas, K. (2005) Nähtamatu võim. Päeva Komm. Postimees, 6. oktoober, lk 2.
5. Kivistik, J. ja Hinno, P. (2003) Vee-energia kasutamise otstarbekus ja perspektiivid Eestis. Neljanda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 145–148.
6. Kivistik, J. ja Laas, H. (2005) Biodiislikütuse tasuvusest Eestis. Kuuenda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 81–92.
7. Köpper, I. (2005) Õhusoojuspump kütab ja jahutab. Postimees, 28. september. Rubriik “Kodu”, lk 28.
8. Kütuse- ja energiamajanduse pikaajaline riiklik arengukava aastani 2015 (2004) <http://www.mkm.ee/index.php?id=2619> ja <https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=829062>.
9. Liik, O. (2005) Kõva sõna. Roheline Värav nr 42, 12 mai, lk 2.
10. Merdikes, M. ja Kivistik, J. (2002) Taastuvenergia kasutamise vajadustest ja võimalustest Eestis. Kolmanda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 84–90.
11. Mäesaar, M. ja Kivistik, J. (2004) Bioenergia ressurssidest Eesti metsa- ja põllumajanduses. Viienda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 142–148.
12. Reinap, A. (2005) Eestlased arendavad uudset biodiisli tootmise tehnoloogiat. Postimees, 19. aprill. Rubriik “Majandus”, lk 10.
13. Sahlin, M. (2005) Päeva +. Postimees 3. oktoober, lk 2.
14. Tooming, U. (2005) Uus määrus aitab ostjal valida säästlikku autot. Postimees 6. oktoober, lk 6.

ABOUT GREEN ENERGY IN BUSINESS AND AT HOME

Alo Kivistik¹ and Jaan Kivistik²

¹Friends Textile OÜ, A.T. Kaubandus AS
e-mail: alo@friends.ee

²Estonian University of Life Sciences
e-mail: jaan.kivistik@emu.ee

Abstract

Sustainable lifestyle can be characterised as green. Green thinking and lifestyle encompasses a range of various areas and issues, from heating your home to state politics, from genetically modified organisms to tornados. One of the areas is renewable or green energy. Since 1999 these issues have been discussed at scientific conferences on Investigation and Usage of Renewable Energy Sources.

Energy is everywhere and everything is connected with energy. Energy has been and will be used on everything we consume, be it food and clothes, dwelling and heating, cars and fuel, etc. This article describes some ways to save energy and use green energy in business and at home. The article includes examples on using hybrid cars powered by petrol engines in a company and a ground source heat pump in a dwelling.

PAKRI TUULEPARK

Martin Kruus¹ ja Valdur Tiit²

¹OÜ Pakri Tuulepark, Estonia pst 1/3, Tallinn, e-post: martin@4energia.ee

²Taastuvenergeetika nõukogu, e-post: vtiit@neti.ee

Annotatsioon

Eesti on tuulerikas maa ja tuuleenergia ulatuslik kasutamine on siin väga aktuaalne. Käesolevas artiklis kirjeldatakse Pakri tuulepargi ehitamist ja esitatakse tema peamised tehnilised andmed. Siia on püstitatud kaheksa 2,3 MW võimsusega Nordex N-90 tüüpi tuulikut. Pakri tuulepargi ehitamise kogumaksumuseks kujunes 24 miljonit eurot. Tuulepargi loodetav aastane elektritoodang on orienteerivalt 56 GW-h, mis moodustab 1% Eesti elektrienergia tarbimisest.

TUULEENERGIA, TUULEPARK, RAHVUSVAHELINE KOOSTÖÖ

Sissejuhatus

Maailma tuuleenergia varud on väga suured ja ei ammendu veel miljardite aastate jooksul. Tuuleenergia kasutamine areneb maailmas kiiresti, sest tehnika tema abil elektri tootmiseks on viimastel aastakümnetel jõudsalt arenenud ja muutunud odavamaks. Oma hinnalt on tuuleelekter muutunud konkurentsivõimeliseks traditsiooniliste fossiilseid energiakandjaid kasutavate jõujaamade toodanguga. Tuuleelektri tootmine on praktiliselt saastevaba, mistõttu tema kasutamine võimaldab hoida loodust puhtamana. Arvestades tuuleturbiinide püstitamiseks vajalike kohtade valikul keskkonnanõudeid ja kohalike inimeste soove, saab viia nende võimaliku negatiivse mõju väga väikeseks.

Pakri poolsaar on üks Eesti tuulisemaid paiku (Kull, 1996). Ta on merepinnast umbes 25–30 meetrit kõrgemal ja iga ilmakaare tuultele avatud. Samuti puuduvad seal tuule liikumist segavad ehitised või metsad. Pakri tuulepargi ehitamine ja seal tuuleelektri tootmine on tähelepanu vääriv etapp tuuleenergia suuremahulise kasutuselevõtu pikal teel Eestis.

Pakri tuulikud

Pakri tuulepark asetseb Paldiskist idas Pakri poolsaare tipus vana majaka läheduses. Ettevalmistusi Pakri tuulepargi rajamiseks alustati juba aastal 2000. Selle suure töö üheks eesmärgiks oli anda panus Eesti riikliku eesmärgi – tõsta 2010. a taastuvelektri osakaal vähemalt 5,1 protsendini – saavutamiseks. Projekti ettevalmistusega tegeles firma AS Tuulepargid, kes jätkas ka projektijuhtimist tuulepargi ehitusfaasis. Reaalne ehitustöö Pakri tuulepargi rajamiseks algas 2004. a suvel (vt jooniseid 1 ja 2). Püstitatavad 2,3 MW võimsusega elektrituulikud Nordex N-90 olid valmistatud tuntud Saksa firmas Nordex Energy GmbH. Nende tiiviku läbimõõt on 90 m ja masti kõrgus 80 m. Esimene tuulik ühendati elektrivõrguga 15. detsembril 2004. a. Täisvõimuse saavutas tuulepark 2005. a märtsis (OÜ Pakri ..., 2005). Tuulepargi loodetav aastane

elektritoodang on orienteerivalt 56 GW·h, mis moodustab 1% Eesti elektrienergia tarbimisest.

Tuulepargi ametlik pidulik avamine toimus Pakri poolsaarel 13. juunil 2005. a. Sellest ajaloolisest, hästi läbiviidud sündmusest võtsid osa nii idee algatajad, täideviijad ja omanike esindajad kui ka paljud energeetikahuvilised.

Pakri tuulepargi avamise tähtsust näitas ilmekalt asjaolu, et pidulikust sündmusest võtsid osa ja esinesid päevakohaste kõnedega Soome suursaadik Jaakko Blomberg, Norra suursaadik Per Kristian Pedersen, Vardar AS nõukogu esimees Tor Ottar Karlsen, Soome keskkonnaministeeriumi esindaja Markku Nurmi, Eesti keskkonnaministeeriumi abiminister Olavi Tammemäe ja Paldiski linnapea Kaupo Kallas. Tänu sõnadega pöördus kõigi suurest ja edukast tööst osavõtjate ning kohalviibijate poole OÜ Pakri Tuulepark juhataja Martin Kruus.



Joonis 1. Tuulikute osade transport
Figure 1. Transportation of the wind turbine parts



Joonis 2. Tuuliku monteerimine Pakri poolsaarel
Figure 2. Erection of a wind turbine on the Pakri peninsula

Pakri tuulepargi kogumaksumus on ligikaudu 24 miljonit eurot, millest umbes 87% moodustab tuulikute, nende vundamentide ja paigalduse maksumus. Muudest kuludest on põhilisteks liitumine elektrivõrguga, juurdepääsuteede ja platside rajamine ning

ettevalmistustööd (uuringud, planeeringud ja projektid). Investeeringuid finantseeriti nii omanike poolt kui ka pangalaenuga (OÜ Pakri ..., 2005).

OÜ Pakri Tuulepark omanik on Vardar Eurus AS.

Kokkuvõte

Pakri Tuulepark on praegu suurim Eestis. Tema edukas ehitamine oli võimalik ulatuslikus rahvusvahelises koostöös. Pakri Tuulepargi ehitamise ja eksploateerimise kogemused on väärtuslik panus tuuleenergeetika arendamisse Eestis.



Joonis 3. Pakri tuulepargi üldvaade

Figure 3. Overview of the Pakri Wind Park

KirjandusReferences

1. Kull, A. (1996) Eesti tuuleatlas. Magistritöö. TÜ geograafia instituut. Tartu: 95 + lisad 39.
2. OÜ Pakri Tuulepark (2005) Pakri Tuulepark.
<http://www.pakri-tp.ee/?page=12&subpage=0&type=page&lang=et>.

PAKRI WIND PARK

Martin Kruus¹ and Valdur Tiit²

¹OÜ Pakri Tuulepark, e-mail: martin@4energia.ee

²Renewable Energetics Council, e-mail: vtiit@neti.ee

Annotation

Estonia is rich in wind and extensive usage of wind energy is very actual here. The current article describes the building of Pakri wind park, also its main technical data is presented. 8 Nordex N-90 wind turbines, each with a capacity of 2.3 MW have been erected here. The full cost of Pakri wind park is EUR 24 million. Wind farm's yearly production of electricity is ca. 56 GW·h that is 1% of Estonian electric energy demand.

Introduction

World's wind energy supplies are huge. Wind energy usage develops fast in the whole world since the technical equipment that is being used for producing electricity has developed thrivingly and become cheaper. Producing wind energy is practically nonpolluting. Taking into consideration environmental requirements in erecting wind turbines and also considering local people's wishes, the negative impact can be minimized.

Pakri peninsula is one of the most windy places in Estonia. It is 25-30 m above sea level and open to wind from each direction. There are no buildings or forests impeding wind's movement.

Pakri Wind Turbines

Pakri wind farm is located in Paldiski, at the tip of the Pakri peninsula near the old lighthouse. Preparations for the Pakri wind park foundation began already in year 2000. One of the main goals of such a big project was to contribute to Estonian national goal of having 5.1% of electricity derived from renewable sources by the year 2010. The summer of 2004 was the beginning of the actual construction. First wind turbine was connected with the power grid on the 15th of December, 2004. Full capacity was achieved in March of 2005. Wind Parks Ltd. that continued working on the project during the construction phase as well did the preparation for the wind farm. 2.3 MW Nordex N-90 wind turbines were produced and transported by Nordex Energy GmbH, a well-known German manufacturer. The official festive opening of the wind farm took place on the 13th of June, 2005.

The significance of the opening of Pakri wind park was clearly demonstrated by the presence of and speeches by the ambassador of Finland Jaakko Blomberg, the ambassador of Norway Per Kristian Pedersen, the chairman of the supervisory board of Vardar Ltd Tor Ottar Karlsen, a representative of the Ministry of Environment of Finland Markku Nurmi, the assistant minister of the Ministry of Environment of Estonia Olavi Tammemäe and the lord mayor of Paldiski Kaupo Kallas. The director of Pakri Tuulepark Martin Kruus made a speech in which he addressed with gratitude all those who had contributed to the successful completion of the wind park.

The total cost of Pakri wind park is about EUR 24 million, most of that was spent on the wind turbines, the foundations and the installation. Other expenses include grid connection costs, the construction of access roads and service areas and the preparatory works (studies, engineering, projects). The investments were financed by owners equity and bank loan.

OÜ Pakri Wind Farm belongs to Vardar Eurus Ltd.

Summary

Pakri wind park is currently the biggest in Estonia. Its successful construction was feasible in extensive international co-operation. The skills of constructing and exploiting Pakri wind park is a valuable contribution to developing wind energetics in Estonia.

ESIVERE TUULEPARK

Kaie Ilves-Hion

Lääne Elu, Posti 30, 90504 Haapsalu
e-post: kaie@le.ee

Tuulejõu kasutamiseks Eestis astuti järjekordne oluline samm. 2005. a 30. septembril avati Läänemaal Hanila vallas Esivere tuulepark. Pidulikul sündmusel osalesid Eesti Vabariigi president Arnold Rüütel, Lääne maavanem Sulev Vare, Hanila vallavanem Arno Peksar ja omanike esindaja, OÜ Roheline Ring juhatuse liige Ants Ink.

Tuulepargis toodavad rohelist elektrienergiat neli ENERCON E-70 E4 tüüpi 2000 kW võimsusega elektrituulikut. Seega on tuulepargi koguvõimsus 8 MW. Tuuliku rootori (tiiviku) diameeter on 71 m, selle telje kõrgus on 85 m. Tiivikul on 3 laba. Kõigi tuulikute arvutatud aastane elektrienergia toodang on 21 000 MW·h.

Esivere tuulepargi maksumus on 138 miljonit krooni ja see valmis nelja riigi koostöös. Roheline Ring ostis tuulikud maailma ühelt oma ala tipptegijalt Saksa firmalt Enercon GmbH, kes oli tuulepargi peatöövõtja. Alltöövõtjad olid Eestist, Lätist ja Soomest.

ESIVERE WIND PARK

Kaie Ilves-Hion

Lääne Elu
e-mail: kaie@le.ee

For the purpose of utilizing wind power, next important step was taken in Estonia. On 30 September 2005, the Esivere Wind Park was opened in Hanila parish of Läänemaa district. At the festive event participated Arnold Rüütel – the President of the Republic of Estonia, Sulev Vare – the governor of Läänemaa district, Arno Peksar – the head of Hanila parish, and the owner's representative, Ants Ink – the CEO of joint stock company Roheline Ring (The Green Ring).

In the wind park, four ENERCON E-70 E4 wind generators with output of 2000 kW each, produce the green power. Therefore, wind park's total output is 8 MW. Wind turbine's rotor diameter is 71 m, its hub height is 85 m, the rotor has three blades. The calculated yearly energy production of four turbines is 21 000 MW·h.

The cost of the Esivere Wind Park is 138 million EEK, and it was built in co-operation of four countries. Roheline Ring purchased the wind turbines from one of the top manufacturers, the German firm Enercon GmbH, which was also the main contractor for the park. Subcontractors were from Estonia, Latvia and Finland.

“ROHELISE RAHA” AHVATLUS EHK TUULEPARK IGA HINNA EEST

Ülo Laanoja

Võiküla selts, Võiküla, 94702 Muhu vald, Saare maakond
e-post: ylo.laanoja@mail.ee

Annotatsioon

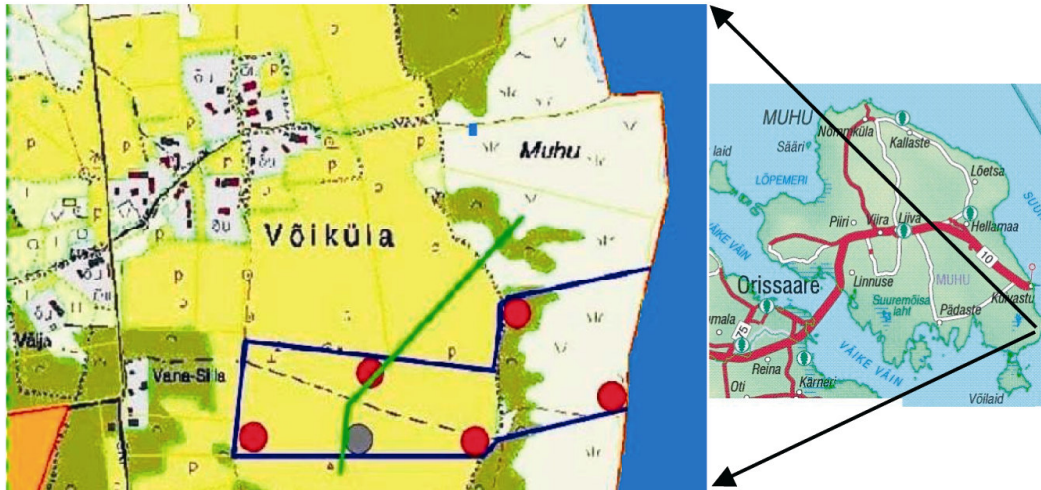
Ettekanne on koostatud tuginedes Muhu valda Võikülasse Toomi maaüksusele Megapoint OÜ kavandatava tuulepargi (joonis 1) keskkonnamõju hindamise (KMH) protsessis avalikel aruteludel omandatud kogemustele. Töö eesmärgiks on juhtida tähelepanu KMH protsessis arvukalt praktiseeritavale pealiskaudsusele ja erapoolikusele ning rõhutada ettevaatuse printsiibi olulisust tuuleparkide rajamisel inimasustuse ja/või loodusväärtuste lähedusse. Käsitatud on katset hiilida kõrvale ehitusseadusest, püstitamaks tuuleturbiine ehituskeeluvööndisse, soovimatust hinnata objektiivselt (uurida) tuulepargi mõju linnustikule ja loomastikule (nahkhiired) ning soovi mitte arvestada kohalike elanike põhjendatud protestidega. Lõpetuseks esitatakse mõned ettepanekud, mis aitaksid ennetada võimalikke konfliktseid olukordi ning samas annaksid uue tõuke tuuleenergeetika arengule Eestis.

KESKKONNAMÕJU HINNANG, TUULEPARK, MÜRA, INFRAHELI

Millest alustada, ehk kuidas kompromiteerida tuuleenergiat

Nagu sageli äritegevuses juhtub, nii koguneb ka roheline energia “meepoti” lähedusse “arendajaid”, kes oma tegevusega on võimelised kompromiteerima üldkasulikke mõtteid ja arenguid. Mõistagi algab ka tuuleparkide arendustegevus asukoha valikust. Kahjuks on siin sageli määravaks lihtne argument: sobivaimaks peetakse maaüksust, mis õnnestub soodsalt kätte saada. Vaatamata sellele, et nn kauboikapitalismi ajajärk on jõudnud lõpusirgele, on sellel perioodil veel hiljuti edu taganud meetodid endiselt katsetamist väärt, seetõttu jäetakse kohalike elanike huvid tagaplaanile. Et protsess saaks kulgeda suhteliselt valutult, on mõistlik alustada nõusolekute hankimist väheinformeeritud eakate maaomanikelt, kasutades igapäevases juures mõjutavat väidet: ”Kõik teised on juba nõusoleku andnud.” Sellise meetodiga õnnestub praeguses tagasihoidlikult arenenud kodanikuühiskonnas saavutada esmane paberlikult tarvilik edu, mille juures on kindlasti kasulik omada kohalikku agenti/abimeest, kelleks sobib näiteks soetatud krundi endine omanik, kelle toetuse võib mõistagi ka kinni maksta. Informeeritumat seltskonda ei tasu torkida, eriti kui nende maaüksused tuulepargi rajamiseks soetatud kinnistuga vahetult ei piirne. On ju olemas suhteliselt suur tõenäosus, et nad ei märka teateid planeeringute ja keskkonnamõju hinnangute kohta.

Arendajale on kahjuks toeks ka tänane Eesti õigusruum, mille kohaselt keskkonnamõju hinnangu (edaspidi KMH) aruande koostamise kulud on “arendaja” kanda. Seega valib “arendaja” endale sobiliku mõistagi nende litsentseeritud hindajate seast, kelle pagasis on valdavalt projektide elluviimist toetavad aruanded. On raske süüdistada keskkonnamõjude hindajaid erapoolikuses, sest tõeliselt erapooletutena kaotaksid nad valdava osa oma tulust. Seetõttu kohtabki aruannetes formuleeringuid:



Joonis 1. Võikülasse kavandatava tuulepargi asendiplaan. — — Toomi maaüksuse piir, — — kaugus lähima elamuni on umbes 350 m, ● — kavandatud tuulegeneraatori asukoht, ● — tuulegeneraatori alternatiivne asukoht
 Figure 1. Scheme of the planned wind farm in Võiküla village on Muhu island. — — border of the Toomi land ownership, — — distance to the nearest dwelling is about 350 m, ● — location of the planned wind turbine, ● — alternative location of the wind turbine

“kavandatu on mõistlik realiseerida”³, “arukas on projekt ellu viia”. KMH peaks ideaalis olema erapooletu dokument, mis annab kohaliku omavalitsuse volikogule neutraalse, objektiivse ning piisava kirjelduse projekti realiseerimisega kaasnevatest riskidest, pakub välja mõjude vähendamise võimalusi ning võrdleb võimalikke alternatiivsete (kuigi mõnikord hetkel veel vaid hüpoteetiliste) arendusprojektide riske. Ja omavalitsuse volikogu on ainsana volitatud otsustama, kas projekti on mõistlik realiseerida või mitte.

Muidugi sobib sellistesse erapoolikult kallutatud aruannetesse 0-alternatiivi kajastama ironiline hinnang “ärme teeme midagi”. Et aruande koostamine oleks võimalikult kasumlik tegevus ja et “arendaja” soovib selle kätte saada võimalikult odavalt, on parimaks viisiks meetod “lõika ja kleebi”, mille kasutamine ei nõua ju isegi kohapealse olukorraga põgusat tutvumist. Kuidas muidu oleks võimalik kohata rahvusvahelise linnukaitsealaga piirneva roostiku kohta sõnastust: ”ei ole ökoloogilisest aspektist kuigi väärtusliku kooslusega”. Rääkimata läbivatest hinnangutest à la “taimestikulisi väärtusi tõenäoliselt ei ole”, “haudelinnustiku osas ... andmed puuduvad”, “olemasolevate teadmiste põhjal pesitsevate liikide seas rangelt kaitstavaid liike ei ole”, “nahkhiirte esinemise kohta andmed puuduvad” jne. Ning need arvamused on sedavõrd kindlalt aruandesse raiutud, et kohalike väited ühtede või teiste liikide olemasolust ei leia mingit äramärkimist, sest need pole dokumentaalselt tõestatud. Aga uuringuid pole eelnevalt mõttekas läbi viia, sest informatsiooni otsustamiseks on niigi piisavalt ning seiret võiks ju soovitada, kui kõik analoogseid

³ Kõik edasised viideteta tsitaadid pärinevad Hendrikson & Ko OÜ koostatud Võikülla kavandatava tuulepargi KMH aruande erinevatest versioonidest, millega on võimalik tutvuda Muhu vallavalitsuses. Autori märkus.

projekte teostavad firmad teeksid sedasama. Aruande koostamise ajal ei soovita teha minimaalsemaidki uuringuid, sest need nõuavad nii aega kui raha ja mõlema täiendav kulu mõistagi kahandab arenduse atraktiivsust.

“Tuulikute rajamine ehituskeeluvöändisse ilma seda vähendamata on võimalik juhul, kui tuuleturbiine käsitleda tehnorajatistena.” Mis sest, et õigusaktides on täpselt fikseeritud tehnorajatised, mille puhul see on lubatud (torustikud, kaablid jne). Ikkagi on sobilik toetada aruande tellija soovi ning viidata mõnele varasemale pretsedendile, kus kohalik omavalitsus “õnnestunult” formuleeritud definitsiooni õnge läks.

Eriliselt õnnetus olukorras on omavalitsused, kellel puudub üldplaneering ja keda ründavad vastandlike arendusprojektidega kinnisvaraomanikud, kes kõik esitavad oma KMH aruandeid, mida koostajad “soovitavad ellu viia”, kuid mille puhul alternatiivide objektiivsusest võrdlemisest pole mõtet rääkida.

Üldplaneeringu puudumine annab võimaluse manipuleerida ka terminitega “elamumaa” ja “õuema”, sest varasema terminoloogia alusel määratud õuemaale ju elamumaa kohta kehtivad piirangud ei ulatu ja seaduse alusel oleks kõik justkui õige. Milleks pöörata tähelepanu pensionäridele, kes praeguseid arenguid niikuinii ei mõista. Kui ikka õnnestub tõestada, et elamu juures arvutuslik müra lubatud piirmäär ei ületa, on kõik ju korras. Vaatamata Euroopas ilmunud uuringutele, et sageli osutub müra arvutuslikust suuremaks ning räägitakse vajadusest arvutusmeetodid tänapäevaste kõrgemate ja võimsamate tuulegeneraatorite tõttu üle vaadata. Mis sest, et “müra teeb kinnisasja mittemüüdavaks” (Luscombe jt, 2000).

Kas ja kuidas võib tuulepark häirida elanikke?

„Tagasihoidliku kiirusega tuule korral maapinna läheduses öisel ajal tuuleturbiinide tekitatav müratase võib osutada 15 kuni 18 dB arvutuslikust kõrgemaks. Erinevus tegelikkuse ja arvutusliku müra vahel on suurem kõrgemate turbiinide korral. Tuuleturbiinide müra rehkendamise rahvusvahelised reeglid ja mudelid vajavad korrigeerimist” (van den Berg, 2003).

Infrahelist on aga üldse raske rääkida, sest puudub regulatsioon, kuidas mõõta ja mõõtmistulemusi hinnata. Pealegi on andmed tema mõju kohta inimestele vastuolulised. Seepärast ei ole mõistlik lähtuda ettevaatusprintsipist, vaid ikka põhimõttest: mis pole (veel) keelatud, on lubatud. “Uuring kaasaegseid kõrgeid turbiine kasutavas Dunlaw’ tuulepargis tuvastas, et kui 60-meetrine turbiin alustab elektri tootmist, siis isegi väikese tuulekiiruse korral saab vibratsiooni mõõta koguni 10 km kaugusel” (Reynolds, 2005).

Omaette teemaks inimasustuse läheduses on varjutamine. Tuulegeneraatorid oma kõrge torni otsas heidavad teatud aastaajal ja kellaegadel pikki varje, mis näiteks kuuekümnemeetrise masti korral ulatuvad kuni 1,6 kilomeetri kaugusele. Seejuures on oluline rõhutada, et tegemist on pöörleva tiiviku varjuga, mis mõjupiirkonnas liigub keskmiselt sagedusega 90 korda minutis üle õue või akna. Et selline vari võib avaldada psüühikale ebasoodsat mõju, pole vist tarvis inimkatsetega tõestada. Millegipärast ei soovita KMH aruandes analüüsida, millised elamumaad, elamud ja õued sellise mõju alla jäävad.

Konkreetsed aruanded koostajana on härra Kuido Kartau korduvalt meedias väitnud, et: “Peale objektiivsete asjaolude (müra) võivad tuuleturbiinid kohalikes maaomanikes vastuseisu põhjustada ka subjektiivsetel asjaoludel – nn NIMBY sündroomi (“mitte minu tagahoovis” – “*Not In My Back Yard*”) tõttu.” Kindlasti on väide õige, kuid lahtiseks jääb küsimus, miks võimaldab õigusruum üldse püstitada taolisi ehitisi kellegi tagahoovi. Arvestades meie rannajoone pikkust ei tohiks olla puudu aladest, kus tuulepargid saavad rahus kerkida, sattumata põliste külade tagahoovi ja vastuollu kohalike elanikega.

Võiks õppida nende riikide kogemustest, kus tuuleenergeetika omab juba suhteliselt pikaajalist traditsiooni. 26. septembril 2005 oli Soome TV eetris põhjalik probleemsaade “Tuulivoima – paljon melua, vähän sähköä”. Muu hulgas vaadeldi seal ka Saksamaa kogemust, kus “aastakümneid (et mitte väita aastasadu) rahus elanud külad on pööranud tülli”, sest mõned maaomanikud on oma territooriumile paigaldanud tuulegeneraatorid, mis on osutunud häirivamaks, kui eelnevalt lubati ja kirjeldati. Soome enda kohta aga väideti, et ideaalsetes kohtades on kahjuks mitmeid erinevaid takistusi – nii loodushoiulisi (kotkaste pesa- ja jahipaigad) kui inimkeskseid.

Omaette teemaks võivad kujuneda sidehäired. „Kui turbiinid asuvad TV-saatja ja -vastuvõtja vahel, põhjustavad nad häireid kuni 10 km kaugusele. Nende asukohtade televaatajani jõuab rikutud signaal, mis põhjustab detailide, värvide või hääle kadumist. Lisaks võivad turbiinidest kõrvalsuunas paiknevad televaatajad kogeda perioodilisi peegeldusi labadelt, mis tõstab „varjude” esinemise sagedust ja pildi vilkumist rootori pöörlemisel.

Arvestatav interferents esineb enam kui 10 km ulatuses turbiinidest „allavoolu” ja 500 m ulatuses mis tahes suunas tuulepargi ümber. Arendajatel on võimalik lahendada enamik probleeme, kui nad on nõus selleks piisavalt raha kulutama.

Turbiinid häirivad ka mikrolainealal toimivaid sidevahendeid ning sel põhjusel blokeerisid Rootsi relvajõud 15 tuulepargi rajamise Norrtäljes ning on seisnud vastu tuuleenergeetika arendustele Stockholmi ja Upplandi vahelisel rannikualal (Luscombe jt, 2000).

Tõendamaks, et KMH aruannete koostajate suhtumises esineb pealiskaudsust, piisab ehk asjaolust, et Toomi maaüksusele kavandatava tuulepargi KMH aruanne on senini kinnitamata, kusjuures KMH protsess algatati augustis 2004.

Kas leidub rohtu?

Kuidas leida väljapääs? Kuidas välistada roheline energia kompromiteerimine tormakate ja isepäiste “arendajate” poolt? Kuidas tagada probleemivaba elektri tootmise hajutamine?

Esiteks on oluline riiklikul tasandil määratleda ja kinnitada tuuleenergia tootmiseks perspektiivsed alad.⁴ Sellega on jäädud lootusetult hiljaks ning süüdi on selles nii senised Eesti Vabariigi valitsused kui ka monopoolne Eesti Energia oma juhtkonnaga. Kuid mitte ainult. Praegusel ajahetkel oleks oluline tehtud vead (tegematajätmised)

⁴ Sama mõtet väljendas 1999. a Majandusministeeriumi tuule- ja hüdroenergiaseadmete rakendamise ja kasutamise stimuleerimise kava väljatöötamise komisjon oma aruandes. Peatoimetaja märkus.

parandada võimalikult kiiresti. Vähetähtis ei ole ka mõistliku ehk tasuva ja motiveeriva (kokkuostu)hinna kehtestamine taastuvaid loodusressursse kasutavatele tootjatele. Ja kui tõesti osutub tarvilikuks kavandada tuuleparke just põlise inim-asustuse vahetusse lähedusse, siis analoogselt looduskaitsealadega peaks võimaldama soovijatele asendusmaad või kompensatsiooni. Riiklikul tasandil planeeringute puhul on kindlasti võimalik tagada ka erapooletus KMH aruannete koostamisel, kusjuures siis on tegemist juba strateegilise KMH aruandega.

Mitmed asjatundjad kinnitavad, et Virtsu tuulepark sai rajatud valele kohale, kuid KMH aruannete koostajad ja “arendajad” kasutavad seda ebaõnnestunud näidet pidevalt õigustuse ja põhjendusena, miks nende kavandatud tuulepargiga kindlasti ebasoovitavaid mõjusid ei kaasne.

On andestamatu, et praegune Eesti Vabariigi energeetika arengukava on jätkuvalt orienteeritud põlevkivist elektrienergia tootmisele. On mõistetamatu, miks põlevkivist toodetud elektri hinnas ei kajastu kaevandustes raisatud vee ja rikutud põhjavee hind. Isegi mitte praegune suhteliselt tagasihoidlik hind. On mõistetamatu liitumine Leedu tuumaenergeetikakavadega ilma eelneva diskussioonita vähemalt poliitilistes ringkondades, avalikkusest rääkimata.

Kui leiduks poliitilist tahet töötada välja terviklik energiaprogramm, mis, tuginedes tänastele trendidele ja kaasaegsele kogemusele, võtaks üheks aluseks julgeoleku aspektist üliolulise energialiikide tootmise hajutamise printsiibi, siis võiksime suure tõenäosusega tõdeda, et kavas on leidnud olulise koha ka tuuleenergia. Me jõuame selleni niikuinii: küsimus on vaid selles, millal ja millise hinnaga, kas ainult oma vigadest õppides või siiski vahepealset halvimat vältides?

Kokkuvõte

Nagu mitmetes liberalismi ülistavates ühiskondades juhtub, on ka Eestis tuuleenergeetika areng jäänud riikliku tähelepanuta. Just siit algavad põhilised probleemid, just siin peituvad konfliktide allikad, mis lähtuvad primitiivliberalistlikust väitest “minu maa, teen sellega ja sellel, mida tahan”, ning unustatakse sealjuures demokraatliku ühiskonna toimimiseks olulisim postulaat: “Indiviid on vaba toimetama viisil, mis ei riku teise indiviidi samasugust vabadust.” KMH protsessi on tarvis korrigeerida viisil, mis tagaks aruande koostaja objektiiivsuse ja erapooletuse, seepärast ei saa KMH aruande tellijaks (või vähemalt maksjaks) olla niinimetatud arendaja, vaid ikka ning ainult avaliku huvi esindaja.

KirjandusReferences

1. Luscombe, T., Dodds, J., Ratcliff, G. (2000) The case against wind'farm'. www.countryguardian.net. <http://www.countryguardian.net/case.htm>.
2. Reynolds, J. (2005) Wind-farm noise rules 'dated'. <http://news.scotsman.com/scitech.cfm?id=1730242005>.
3. Van den Berg, F. G. P. (2003) Wind turbines at night: acoustical practice and sound research. www.viewsofscotland.org; http://www.viewsofscotland.org/library/docs/Wind_turbines_at_night_Van_Den_Berg_Mar03.pdf?vos=30313397c4d12f56ce609015f8c3d94f.

ENTICEMENT OF “GREEN BUCKS” OR WINDPARK AT ANY COST

Ülo Laanoja

Võiküla selts, Muhu parish, Saare County
e-mail: ylo.laanoja@mail.ee

Abstract

The aim of current paper is to share sceptic standpoint that locations for wind farms should be carefully chosen. According to the Estonian legislation expenses related with the compilation of reports on environmental impact assessments usually should be covered by the so-called developer. As a result, the reports have a tendency for partial interpretation of impact to support installation of wind farms practically in every location, on arbitrary property developers succeeded to purchase. Environmental impact reports are compiled using ‘copy and paste’ without even minor local investigation with an aim to show absence of influence on humans, birds and bats. No openness on the newest investigations worrying about outdated noise rules and low frequency generated impact.

Estonia has an urgent need for state level policy about renewable energy to determine perspective areas for wind farms and to guarantee independent reports on environmental impact assessments.

MIDA OLEME TUULEENERGEETIKA ARENDAMISEL TEINUD VALESTI? KUIDAS MINNA EDASI?

Vello Selg

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

Annotatsioon

Aastate jooksul on Eestis erinevatel põhjustel mitmed välismaise abiga alustatud tuuleenergeetika projektid jäänud lõpetamata. Et tulevikus sarnased vead ei korduks, vaatame, kuidas üldse on toimunud tuuleenergeetika areng maailmas ja mida tehti Eestis valesti, et projektid pooleli jäid. Tuuleenergeetika arengut on mõjutanud sõjad ja naftakriis, lennunduse, arvutite ning programmeerimise areng, uued materjalid ja tehnoloogiad, informatsiooni levik Interneti kaudu, riikide erinevad suhtumised energiapoliitikasse. Just viimases tuleb otsida põhjusi, miks Eesti tuuleenergeetika areng on kulgenud üle kivide ja kändude, kuid lõpuks siiski hoo sisse saanud. Targemalt talitades oleksime kindlasti kaugemale jõudnud.

TUULIKUD, TUULEPARGID, TUULEELEKTRI HIND

Siin kasutatud lühendid

NACA – *National Advisory Committee for Aeronautics*;

HT – horisontaalteljega elektrit ja/või soojust tootev tuulik (tuulejõuseade);

Cx ja Cy – vastavalt aerodünaamiline takistus- ja tõstejõutegur;

EL – Euroopa Liit;

EC – Euroopa Komisjon;

EWEA – Euroopa Tuuleenergia Assotsiatsioon;

EE – Eesti Energia;

STI – Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituut.

Lühipilk tuuleenergeetika arenguprobleemidele

Maailma tuuleenergeetika arengus on olnud tõuse ja mõõne, mille on esile kutsunud sõjad ning kriisid naftarikastes piirkondades. Lennunduse areng ja läheneva maailmasõja oht eelmise sajandi esimesel poolel innustas suurriike rajama tuuletunnelitega aerodünaamika uurimise keskusi (NACA USA-s, Göttingeni ülikool Saksamaal jt) ning massiliselt katsetama lennukite kandepindade ja tüüride profiile. Eesmärk oli luua kiiremaid ja suurema kandejõuga lennukid nii sõjaliseks kui ka tsiviilotstarbeks. Aerodünaamilisi profiile uuriti laias diapasoonis (Reynoldsi arvud $4 \cdot 10^4$ kuni $3 \cdot 10^6$), mis vastas toleaegsetele lennukiirustele 150–250 km/h ehk 42–70 m/s. Nende esialgu salastatud uurimistööde tulemused (tiivaprofiilide Cy ja Cx ning teised väärtused) sobisid hästi tuulejõuseadmetele, panid eelmise sajandi keskel aluse HT tiibade kujundamisele erineva profiiliga lõikudest, optimeerides seadenurka ja mõõtmeid vastavalt aerodünaamiliste jõudude bilansile. Nii jõuti eelmise sajandi keskel kiiresti ka esimeste megavatt-klassi kuuluvate katsetuulikute püstitamiseni. II maailmasõja perioodil hakati Taanis energiapuuduse tingimustes väiketuulikutega elektrit tootma.

Saadud kogemused aitasid kolmkümmend aastat hiljem naftakriisi ajal Taani tööstusel teistest kiiremini alustada elektrituulikute tootmist ja ruttu hõivata turuliidri koht.

Kasutades NACA jt laboratooriumide poolt välja töötatud profiilide andmeid ja vastavaid arvutiprogramme, on ka Eestis võimalik hea geomeetriaga tiibu välja töötada (Karileet, 1984). Kuid probleemiks on tiiva valmistamise tehnoloogia. Maailmas on vähe kvaliteetsete tiibade tootjaid, kellel on aastatepikkused erinevate tiibade valmistamise ja katsetamise kogemused. Kui tahaksime Eestis alustada kaasaegsete elektrituulikute tootmist, siis on õigem tee kohapeal litsentsi alusel valmistada tuuliku komponendid (tornid, masinaruumi osad jne) ning komplekteerida imporditavate tiibade, generaatorite ja kiiruskastidega kuni tuulikute püstitamiseni tuuleparkides. Kuid kas see on otstarbekam (odavam) kui valmis tuulikute ostmine ja püstitsemine, seda peavad näitama majandustehnilised arvutused.

Tuuleenergeetika hetkeseis maailmas

Statistika maailma tuuleenergeetika seisust 2005. aasta lõpul räägib selget keelt: 2005. aasta jooksul oli elektrit tootvate tuulejõuseadmete ehk elektrituulikute koguvõimsuse juurdekasv maailma ulatuses 11 531 MW. Võrreldes 2004. aasta juurdekasvuga (8207 MW) suurenes kasvutempo 40,5%. Investeeringute kogusumma 2005. aastal oli ~12 miljardit eurot. Sellise kasvutempo tulemusena oli eelmise aasta lõpuks maailmas püstitatud elektrituuliku koguvõimsusega 59 084 MW ehk ~20 Eesti elektrijaamade koguvõimsust. Sellise edu tagasid paljudes riikides rakendatud tuuleenergeetika arengut soodustavad seadused ja muud regulatsiooni mehhanismid. Maailmajagudest on liidriks Euroopa, kus on elektrituuliku paigaldatud koguvõimsusega 40 500 MW ehk 69% maailma elektrituulikute ja nad tootsid tuuleolude poolest keskmisel 2005. aastal ~2,8% EL elektrit. EC poolt püstitatud ülesanne: aastaks 2010 viia elektrituulikute koguvõimsus EL riikides 40 000 MW-ni täideti 5 aastat varem! Kuidas on kasvanud elektrituulikute koguvõimsus aastate lõikes (MW-des), seda kirjeldab alljärgnev juurdekasvude ja koguvõimsuste tabel 1 (GWEC, 2006).

Tabel 1. Tuulikute võimsuse aastane juurdekasv ja koguvõimsus maailmas aastatel 1996–2005

Table 1. Global annual and cumulative installed wind energy capacity in 1996–2005

Aasta	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Kasv MW	1280	1530	2520	3440	3760	6500	7270	8133	8207	11 531
Kokku MW	6100	7600	10 200	13 600	17 400	23 900	31 100	39 341	47 620	59 084

Tuuleenergeetika on midagi enam kui ainult energia püüdmine tuulest. Ta võimaldab toetada väiksemate ettevõtete majanduslikku arengut, täiustada energiatootmise viise, luua uusi töökohti, arendada energeetikat järkjärguliselt ja hajutatult, vähendada kasvuhoonegaaside teket. Elektrituulikud on suhteliselt väikesed, praegusel ajal kuni 6 MW, hea automaatikaga varustatud elektrijaamad, mis on võimelised hoidma nõrga võrgu sagedust (toetama elektrivõrku) või töötama ka autonoomselt, näiteks väikesaare tingimustes.

Tiheda asustusega piirkondades on suurema (kuni 30 elektrituulikuga) tuulepargi raja-

miseks sobiva asukoha valik raskendatud. Seepärast on viimasel ajal üha enam hakatud suuri tuuleparke rajama merre (nn *off-shore*), kus puuduvad mandrile omased õhuvooluse takistused (metsad, majad, ebatasasused). Väiksema takistuse tõttu on merel tuulekiirused suuremad ja sellest kuubilises sõltuvuses olevad elektrituulikute poolt kasutatavad võimsused ~1,5 korda suuremad. Kuid merre ehitamine on keerulisem ja ehituskulud seetõttu samuti ~1,5 korda suuremad.

Eestis on käesoleval ajal 21 suuremat, vähemalt 0,5 MW võimsusega elektrituulikut: $8 \cdot 2,3 = 18,4$ MW Pakri poolsaarel; $4 \cdot 2,0 = 8,0$ MW Rõustes; $3 \cdot 0,6 = 1,8$ MW Virtsus ja $6 \cdot 0,5 = 3,0$ MW Sõrves. Lisaks neile on veel 5 väiksemat (75 kuni 300 kW) varem kasutusel olnud elektrituulikut koguvõimsusega 1,065 MW. Seega oli Eesti elektrituulikute koguvõimsus 2005. a lõpul 32,265 MW ehk ~1,1% elektrit tootvate seadmete koguvõimsusest. Umbes sama palju elektrituulikuid kavatakse paigaldada 2006. aasta jooksul. Nende asukohtadeks on tõenäoliselt Viru-Nigula (8·3,0 MW), Tamba (2·3,0 MW), Rõuste (4·1 või 4·3 MW). Tõsiselt on päevakorras 50 MW tuulepargi ehitamine Narva tuhamägedele. Kui keskmise tuuleaasta eeldatav nimivõimsuse kasutusaeg on 25% (2190 tundi aastas), siis toodaksid 2007. aastal 75 MW elektrituuliku kokku ~164 GW·h elektrit (ligikaudu 1,8% kogutoodangust). Kuid heal tuuleaastal on Virtsu ja Sõrve elektrituulikute nimivõimsuse kasutusajad olnud tublisti üle 30% ja 75 MW on kõige tagasihoidlikum hinnang Eesti elektrituulikute koguvõimsusele 2007. aastal.

Milline on Eesti tuuleenergia-alane poliitika?

Kes on osalenud energiapoliitika nõupidamistel Toompeal või mujal, see teab, kui raske on selgeks teha vajadust tegelda tuuleenergeetika probleemidega just siis, kui on võimalik kasutada välisriikide teadmisi koos finantsabiga. Kahjuks on ainult üksikud mõjukad poliitikud tuuleenergeetika arengule märkimisväärset tuge pakkunud – pean silmas siin endisi ministreid Andres Tarandit ja Jaak Leimanni. Järgnev nimekiri Eestis osaliselt või täiesti ebaõnnestunud tuuleenergeetika projektidest peaks olema õpetlik.

Luhtunud abipakkumine Ruhnu saare energiavarustatuse parandamiseks

Taani keskkonnaministri algatusel pidas Eesti Majandusministeerium alates 1990. a läbirääkimisi Taani Uurimiskeskuse Folkecenter juhtkonnaga, mille eesmärgiks oli Taani teadlaste abiga ja Taani Energiaagentuuri finantstoetusel Ruhnu saarele diiseli-generaatoritega koos töötava elektrituuliku paigaldamine. Saarel tegid Taani spetsialistid vastavad eeluuringud ja esitasid aruande, mille järgi oleks parim variant olemasolevate 2·50 ja 2·120 kW diisielektrijaamade kõrval kasutusele võtta 100 kW tuulik koos 50 kW konverteri ja vastava akudepatareiga. Peeti mitmeid nõupidamisi, korduvalt käisid Ruhnus Taani ja Eesti asjatundjad, kuid elektrituulik pole veel Ruhnusse jõudnud ning Ruhnu elektri omahind ületab senini kordades meile tuntud EE elektritariifi.

Eesti teine eksimus aitas Lätit

Saksa LV pakkus 1992. a Eestile tagastamatut abi 250 kW tuuliku paigaldamiseks. Tingimuseks oli, et Eesti pool peab tasuma 30% tuuliku maksumusest ja kõik muud

kulud (kokku ~2,5 miljonit valuutarubla). 30. aprillil 1992. a alanud läbirääkimised Tacke tehases lõppesid nii, et Eesti-poolsete kulutuste katjaks pakutud EE keeldus projektis osalemast. Tehase omaniku palvel leidsin lõpuks uue partneri – Latvenergo. Tulemus: 2-600 kW Tacke tuulikud töötavad meie piiril, aga Läti poolel!

Eesti tuuleenergia rakendusprogramm

1992. a sügisel sain tollaegselt keskkonnaministrilt Andres Tarandilt kiireloomulise ülesande välja selgitada, milliseid Vene okupatsioonivägede poolt äsja vabanenud territooriume (endisi raketibaase) tuleks reserveerida tulevaste tuuleparkide jaoks. Ülesande täitmisel koostatud Eesti tuuleenergia rakendusprogramm nägi ette 50 MW koguvõimsusega tuuleparkide rajamise neile territooriumidele, sellest 20 MW Sõrve ja 10 MW Undva ninale, ülejäänud 20 MW hajutatult üle Eesti. Täis optimismi, sõitsin kõik territooriumid läbi ja programmi üleandmisel olin veidi pettunud, kui see kiirelt Majandusministeeriumi kantsleri sahtlisse maandus ning sinna ka jäi.

Prangli projekti ajalugu

23.10.1992 toimus Tallinnas Eesti Tuuleühingu seminar, millest teiste hulgas võttis osa 15 Soome Tuuleühingu liiget. Neile korraldas reisi Pranglisse saarevanem Lembit Tammsaar. Selle külastuse tulemusena alustas Soome Meteoroloogia Instituut koos Eesti Energeetikainstituudiga 1993. a märtsis Pranglis tuulemõõtmisi, mis tõestasid sealseid väga häid tuuletingimusi. Sama aasta kevadel toimus Helsingis EWEA juhatuse korraline istung, millest osavõtnud 7 EWEA juhatuse liiget 27. mail teel koju külastasid ka Tallinna, et kohtuda ministrite Andres Tarandi ja Arvo Niitenbergiga ning arutada Eesti tuuleenergeetika-alase mahajäämuse põhjusi. Ühtlasi oli kohtumiste eesmärgiks avaldada toetust Pranglisse eksperimentaalse tuule-diiselektrijaama rajamise projektile. Keeruliseks tegi läbirääkimised asjaolu, et Majandusministeeriumi energeetikaminister Arvo Niitenberg ei nõustunud küsimusi arutama keskkonnaminister Andres Tarandi juures, ja nii toimus kaks eraldi läbirääkimist, põhjalikum neist Andres Tarandi juures. Mida Arvo Niitenbergiga räägiti või kokku lepitati, selle kohta mul täpsem info puudub, sest sõidutasin samal ajal juba EWEA presidenti Ezio Sestot lennuväljale.

Lühike kronoloogia sündmuste edasisest arengust.

- 22.06.1993 alustati EC PHARE programmi raames Prangli projektiga.
- 10.12.1993 eraldas EC projekti toetuseks 150 000 eküüd.
- 21.12.1993 eraldas Soome valitsus Prangli projektile 1 512 000 Soome marka.
- 17.08.1994 eraldas Taani keskkonnaminister 1 242 000 Taani krooni.
- 12.10.1994 eraldas Viimsi kohalik võim tuulikule asukoha.
- 14.11.1994 registreeriti Prangli Tuulejõud PTJ Prangli saarel.
- 24.11.1994 toimus kõigi projekti osapoolte nõupidamine Tallinnas.
- 21.12.1994 arutas minister Niitenberg Prangli projekti Taani konsuliga ...

Pole mõtet kronoloogiat jätkata. Energiaminister Niitenbergi asemel hakkasid küsimusega tegelema uued majandusministrid, algul Toivo Jürgenson, siis Liina Tõnisson. Põhiprobleemiks oli elektrituuliku püstitamise jaoks ehitusloa andmine, millega venitati niikaua, kuni Soome valitsuse kannatus katkes ja ta abiraha tagasi

võttis ning seejärel ka kõik teised toetajad projektis osalemisest loobusid. Projekt jäigi täitmata, sest Eesti ministrid ei suutnud aru saada, **milleks on soomlastel vaja paigaldada Eestisse eksperimentaalseade**. Et tegemist oli Eesti abistamise projektiga, mille toetussumma oli kokku 3,129 miljonit Soome marka, ei jõudnud poliitilise kemplemise keerises vist lihtsalt kohale. Vahepeal leiti, et Pranglit on odavam varustada energiaga merekaabli kaudu. Ehk mäletate veel uudiseid sellest, kuidas siis ühe Prangli lähedal pikemat aega triiviva laevavraki ankur Prangli kaabli puruks rebis ja Prangli elektri omahind jälle mitmekordselt kerkis. Et Pranglis elektrituulikut praegugi veel ei ole ja vist ei tule ka (?), selle pärast on kahju ja häbi.

Visad taanlased

6.12.1994 toimus EL Energiakomitee Poola Energiakeskuses Elblagis Balti mere piirkonna riikide seminarnõupidamine, kus arutati tuuleenergeetika arendamise olukorda Balti mere piirkonnas. EL eesmärgiks on katseprojektide (pilootprojektide) toetamine. Oma ettekandes ütlesin, et esimese Taani abiga rajatava elektrituuliku vundament Tahkunas on valmis. Seepeale avaldas nõupidamise korraldaja, EWEA sekretär Peter Hjuler Jensen soovi tulla Eestisse meie olukorraga tutvuma, pidades silmas võimalikku Eesti tööstuse rakendamist elektrituulikute komponentide tootmisel. Pidasin nõu Eesti tuuleenergeetika eestvedaja, Hiiumaa Biosfääri Kaitseala direktori Ruuben Postiga ja otsustasime olukorrast ette kanda siis juba peaminister Andres Tarandile. Peaministri kantselei saatis peaministri resolutsiooniga varustatud kirja edasi oma arvamuste esitamiseks majandusminister Toivo Jürgensonile ja energeetikaminister Arvo Niitenbergile.

Vastus kirjale oli veidi ootamatu: “... **tuuleenergia kasutamine elektrienergia tootmiseks ei kuulu momendil energeetikaprobleemide prioriteetsete temade hulka. Kuigi tuulejaamade rajamisel ... on perspektiivi ...**”.

Teema oli nii “habras”, et Brüsselis töötava tuuleenergeetika juhtiva spetsialisti külaskäigu soovile tuli anda (otsitud?) eitav vastus. Eesti poolelt keegi ju raha ei küsinud, otse vastupidi!

Tahkuna sai siiski valmis

Eesti energeetikajuhtide passiivsusele vaatamata tulid septembris 1995 olukorraga tutvuma EWEA spetsialistid Per Lundsager ja Seppo Islander. Selle neli päeva kestnud visiidi tulemuseks oli, et Taani Energiaagentuur leidis võimaluse (raha) Ruuben Posti unistuse, Tahkuna 150 kW GENVIN projekti lõpuleviimiseks. Eesti osalus projektis oli rahaliselt ainult ~15%. Nagu hiljem selgus, polnud Tahkuna tuulik mitte algselt lubatud Taani “uus toode”, vaid “uueks” kohendatud ja üle värvitud vist DANWIN-24. Projekti Eesti-poolne eestvedaja, Ruuben Post kinnitas saadud positiivsete kogemuste alusel siiski, et vähemalt Hiiumaal tasub tuuleenergiat elektri toomiseks kasutada. Pole siiski ime, et vanaduse tõttu tegi tuulik müra ja ei tahtnud vahel hästi töötada.⁵

Murranguline 1997/98. a

Koostöö Taani, Soome ja Saksa LV tuuleenergeetikutega hakkas pikkamööda vilja

⁵ Tahkuna tuulik võeti tehnilistel põhjustel käigust maha 2005. a veebruaris. Peatoimetaja märkus.

kandma. Taani Energiaagentuuri toetusel õppisid Taani uurimiskeskuses Folkecenter Tallinna Tehnikaülikooli üliõpilased, uuesti tõusis päevakorda Ruhnu saare tuule-diiselektrijaama ehitamise küsimus, millest oli huvitatud Eesti Piirivalve. Piirivalve huvi ka väiketuuliku paigaldamisest Vaindlo saarele. Läbirääkimistest kaugemale asi siiski ei arenenud. Taani tehase VESTAS esindaja Erkki Haapanen pakkus viit 500 kW tehase tuulepargis aasta töötanud elektrituulikute Sørve saarele tingimusel, et EE ostab nende poolt toodetud elektrit hinnaga 55 senti/kW·h. Pakkumine lükati tagasi, sest Narva elektrijaamade omahind oli väidetavalt kaks korda madalam. Aastaid hiljem kaks nendest pakutud 500 kW VESTAS-tuulikust siiski Sørve jõudsid, kui tuuleelektri hinnaküsimused seadustega paika pandi ja eraettevõtjad asja ajasid.

Neil aastatel toimus huvitav konkurents Taani ja Saksa LV tuuleenergeetika arendajate vahel. Mõlemad pakkusid Eestile võimalust osa võtta elektrituulikute tootmisest ja püstitamisest. Esimene katse Tallinnas ettevõttes Bunim Enerconi tehasele torne valmistada ebaõnnestus ebapiisava töökvaliteedi tõttu. Kuid Balti Laevaremonditehases tehtud 4 torni 750 kW tuulikutele said firma Jacobs eksperdi Georg Böhmeke poolt hea hinnangu.

Georg Böhmeke osa Eestis tuuleenergeetika arendamisel on märkimisväärne. Omades tuuleenergeetika alast kõrgharidust ja töökogemusi Saksa LV elektrituulikuid projekteerivates ettevõtetes, kutsuti ta Soome VTT-sse 1989. a paiku tööle osalemiseks Soome NEMO taastuvenergia arendusprogrammis. Ta on korduvalt külastanud Eestit ja on meie tuuleenergeetika probleemidega hästi tuttav. Georg Böhmeke töötas hiljem Saksamaal Tacke tehases (kuidas muidu oleks Tacke osanud Eestile tagastamatut abi välja kaubelda, mis meie jäärapäisusest lõpuks Lätile läks) ja suurtuulikuid projekteerivas firmas AERODYN. Perekondlikel põhjustel (abikaasa oli soomlanna) on Georg Böhmeke nüüd jälle Soomes, Pohjalan Voima elektrituulikuid tootva tütar-ettevõtte WinWinD peakonstruktor. Viru-Nigulasse paigaldatakse veel käesoleval aastal 8 selles ettevõttes valmistatud 3 MW WinWinD elektrituulikute.

Kohtumistel Jackobsi tehastes rääkisin muu hulgas seda, kuidas Saksa LV tagastamatu abi Eesti asemel Läti jõudis. Firma Jackobs tõstis asja Bonnisis uuesti päevakorda ja lootis saada toetust ettepanekule hakata ühiselt Tallinnas tootma 500 ja 600 kW Jackobsi tuulikuid. Koostöö käigus oleks Balti Laevaremonditehase osalus pidevalt kasvanud: I etapil (20 tuulikute) oleks toodetud torne, raame ja muid metallimahukaid komponente, kaasa arvatud vundamentide valmistamine ning tuulikute paigaldamine; II etapil (60 tuulikute) oleks lisandunud veel kardaanvõllide ja generaatori valmistamine; III etapil (120 tuulikute) lisaks eespool toodule litsentsi alusel 50% kiiruskastide valmistamine. Saksa LV valitsuse majandusnõunik Wolfhart von Stackelberg (sündinud Tallinnas!) toetas abi pakkumist, kuid pidas otstarbekamaks Eestile ühe 600 kW Enercon E-40 (hind ~8 mln kr) kinnimaksmist, mis oleks ühtlasi olnud STI õppebaasiks. Asukohana pakuti Tallinnas Kopli poolsaart või Paljassaart. Läbirääkimistel osalesid majandusminister Jaak Leimann, STI direktor akad Arvo Ots, EE esindajad Rein Talumaa ja Martin Kruus ning Rohelise Ringi üks omanikke Tullio Liblik. Pärast Tallinnas käimist sai Wolfhart von Stackelbergile selgeks, et Tallinna linnavalitsus ei soovi elektrituuliku(te) paigaldamist Paljassaarele, sest see varjab linna siluetti. Olukorra lahenduseks jagati toetussumma pooleks EE ja Rohelise Ringi vahel, kumbki maksis lisaks poole tuuliku maksumusest ja lisakuludest ning Roheline Ring

veel ühe tuuliku täishinna koos lisakuludega. Nii olime saanud oma kolm esimest kaasaegset Virtsu elektrituulikut⁶.

Tamba 6 MW tuulepark

Tamba tuulepark on musternäide välismaise toetuse nullimisest ja Eesti maine rikkumisest EL-is. Tamba projekti vastu äratas Saksamaal huvi Eestis sündinud ja 1939. a siit 9-aastase poisina lahkunud Gottlieb Plaxin. Tema initsiatiivil tuli projektis osalema tuntud Saksa LV firma OSTWIND, kellel oli parajasti käsil 100 MW projekt Prantsusmaal. Probleem tekkis EE poolt küsitud liitumistasuga. 17,4 mln kr (6 MW kohta) pluss tegelikud liitumiskulud oli juba 1,5 miljonit eeluuringutele kulutanud firmale liig. Saksa spetsialistidele jäi arusaamatuks, miks 35 kV liin tuleb 6 MW lisamise puhul ümber ehitada 110 kV liiniks. Praegu on Tamba projekti üle võtnud Eesti ettevõtjad. Loodame, et nendel on kergem EE-ga kokkuleppele jõuda.

Majandusminister Liina Tõnissoni ettekandest Riigikogus 11. detsembril 2002

Toome mõned väljavõtted majandusminister Liina Tõnissoni ettekandest **elektrituru seaduse eelnõu** teisel lugemisel Riigikogus (Riigikogu ..., 2002).

*“... kui Narva Elektriijaamad suudavad toota odavamalt elektrit, siis põhimõtteliselt saavad odavamalt elektrit ka tarbijad. Ka taastuva elektrienergia tootjad peavad siis rohkem püksirihma pingutama, ... sest nende elektrienergia on niikuinii ligi kaks korda kallim ... **Ükskõik, kui palju me taastuvat elektrienergiat ka ei toodaks, Narva Elektriijaamade turbiinid vähem ei pöörle ja seal vähem elektrienergiat ei toodeta.** Taastuva elektrienergia hinna tõstmine mõjutab otseselt tarbija taskut ja me täna siin ei suuda liiga keskkonnasõbralikuks minna, määrates väga kallid hinnad näiteks tuuleenergiale ...*

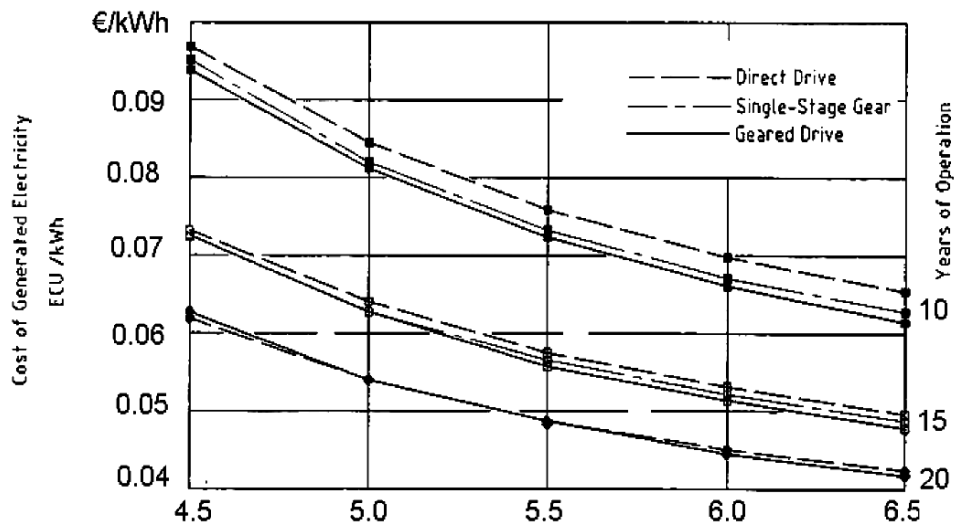
Tänaseks päevaks on Eestis tekkinud olukord, kus lootuses, et me kehtestame taastuvatest energiaallikatest toodetava elektri hinnaks keskmiselt, kilovati⁷ hinnaks umbes 80 senti, see on tekitanud erilise soovi ja buumi Eestis tuulegeneraatoreid püüsti panna ...” Nii sai mõne aasta eest asjast aru tookordne majandusminister.

Millised on tuuleelektri tootmiskulud?

Joonisel 1 on toodud tuntud välismaiste ekspertide hinnang tuuleelektri tootmiskulude sõltuvusele aasta keskmisest tuulekiirusest 30 m kõrgusel erinevate elektrituuliku tüüpide puhul, arvestades ka laenu tasumise kestusega (Böhmeke jt, 1997). Eesti rannikule omase keskmise tuulekiiruse 5,5 kuni 6 m/s ja pangalaenu 10-aastase kestuse puhul tuleb arvestada tootmiskuludega ~0,07 €/kW·h ehk ~1,05 kr/kW·h. Umbes samale tulemusele jõudis ka käesoleva artikli autor Virtsu tuulepargi majandusliku tasuvuse hindamisel. Järeldus: kui pank pole nõus laenu andma 15-aastase tähtajaga ja tulevase elektrituuliku asukohas on aasta keskmine tuulekiirus 30 m kõrgusel alla 6,5 m/s, siis ähvardab projekti läbikukkumine – kulud võivad ületada tulusid.

⁶ Need lülitati pidulikult käima 11. oktoobril 2002 (Pirksaar ja Tiit, 2004). Peatoimetaja märkus.

⁷ Mõeldud on kilovatt-tunni hinda. Peatoimetaja märkus.



Joonis 1. Tuuleelektri tootmiskulude sõltuvus aasta keskmisest tuulekiirusest (m/s) (Böhmeke jt, 1997)

Figure 1. Cost of wind-generated electricity versus average wind speed (Böhmeke jt, 1997)

Mis puutub vajadusse omada reservi (tuulevaikuse ajaks), siis seda vajavad kõik energialiikide tootmise viisid. Kuni elektrituulikute koguvõimsus on alla 240 MW, saab ilma reservita hakkama (Selg, 2005). Koguvõimsuse kasvades üle selle piiri võib ju reguleerida võimsust ka elektrituulikute abil, eriti kui tuulikute omanikuks on EE.

Kokkuvõte

Põlevkivi säästmiseks tuleks Narva elektrijaamu kasutada baaskoormusel optimaalselt väljareguleeritud töörežiimiga, jättes koormuse reguleerimise ülesanded väiksematele, näiteks gaasiturbiinide või gaasimootoriga koostootmisjaamadele. Elektrivõrgu tuulerikastes piirkondades (läänerrannikul) tuleks ülekandeliinid kaasajastada potentsiaalseid investoreid traumeerimata, ikka mõistlikke kompromisse otsides. Kui olemasolevatele ja sel aastal valmivatele elektrituulikutele lisaks lähiaastatel püstitada veel täiendavalt ~80 MW elektrituulikuid, viies nende koguvõimsuse 150 MW-ni ja aastatoodangu tasemele 350 GW·h, siis on aeg tulemusi analüüsida ja selle põhjal energeetika arengusuundi valida.

Kirjandus ✕ References

1. Böhmeke, G., Boldt, R., Beneke, H. (1997) Geared drive intermediate solutions-comparisons of design features and operating economics. Proc European wind energy conference. EWEC' 97. Dublin: 664-667.
2. GWEC (2006) Internetis: www.gwec.net/uploads/media/Global_WindPower_05_Report.pdf.
3. Karileet, U. (1984) Tuulemootori kasutamine põllumajanduses. Diplomitöö. TTÜ STI. Juhendaja Selg, V. Tallinn: 81.

4. Pirksaar, R. ja Tiit, V. (2004) Eesti esimene kaasaegne tuulepark. Viienda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 25–28.
5. Riigikogu 11. detsembri koosoleku protokoll (2002) Vabariigi Valitsuse algatatud elektrituru seaduse eelnõu 1157 SE teine lugemine.
<http://web.riigikogu.ee/ems/stenograms/2002/12/m02121111.html>.
6. Selg, V. (2005) Tuuleenergia koht Eesti energeetikas. Kuuenda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 56–64.

WHAT HAVE WE DONE WRONG IN DEVELOPING WIND ENERGETICS? HOW SHOULD WE GO FORWARD?

Vello Selg

Thermal Engineering Department of Tallinn University of Technology
e-mail: wello@online.ee

Abstract

Recently many wind energy projects started in Estonia with foreign aid remained uncompleted for various reasons. The reason for incompleteness of these projects and the general development of wind energy sector in the world are analysed in order to avoid similar mistakes in the future. The development of wind energy is influenced by wars, oil crisis, development of aviation, computers and programming, new materials and technology, spreading of information over the Internet and the various attitudes of Governments towards energy policy. The latter is the main reason of the struggling start of wind energy development in Estonia. After a rough start the development is now progressing faster. With wiser management the wind energy sector in Estonia could have been more developed by now.

MTÜ EESTI VESKIVARAMU VI KOKKUTULEK RÕIKA VESIVESKIS

Anto Juske¹, Arvo Järvet², Heiti Haldre³ ja Mae Juske⁴

^{1; 4}MTÜ Eesti Veskevaramu, Hellenurme veski, Palupera vald, 67502 Valgamaa
e-post: maeveski@hot.ee

²Tartu Ülikooli geograafia instituut, Vanemuise 46, 51014 Tartu
e-post: arvo.jarvet@ut.ee

³Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut, Kreutzwaldi 5, Tartu 51014
e-post: heiti.haldre@emu.ee

Annotatsioon

MTÜ Eesti Veskevaramu järjekordne, kuues kokkutulek toimus Rõika vesiveskis. Kokkutulekul käsitleti muude veskeid puudutavate teemade kõrval põhjalikumalt Põltsamaa jõe veejõu kasutamist inimkonna hüvanguks juba 18. sajandi algusest, tänapäeva ja tulevikuplaane. Välja toodi tööstuskomplekside säilitamise, taastamise või uuendamise olulisust ajaloolisest ja energeetilisest aspektist. Kokkutulekul allkirjastati pöördumine Eesti Vabariigi õiguskantsleri poole looduskaitse seaduse § 51 lg 1 sisalduva paisutamispriirangu seaduslikkusest.

VESKIVARAMU, PÕLTSAMAA JÕGI, VEEJÕUD, LOODUSHOID

Sissejuhatus

MTÜ Eesti Veskevaramu järjekordne, kuues kokkutulek toimus 31. juulil 2005. a Kolga-Jaani vallas Põltsamaa jõel asuva Rõika vesiveski juures, mille omanikel on tahe panna kaks aastasada vana ja hästi säilinud sisustusega veski uuesti tööle vee jõul. Kokkutulekust võttis osa 42 veejõu kasutamise ja ajalooliste ning samuti kaasaegsete veskite huvilist. Koosolekul kuulati ettekandeid tuulikute ja veepaisutamisest ning arutleti päevaprobleemide üle. Elav arutelu toimus looduskaitse seaduse § 51 lg 1 sisalduva paisutamispriirangu seaduslikkuse üle. Selle mõttevahetuse alusel koostati pöördumine õiguskantsleri poole.

Ettekanded

Anto Juske (Eesti Veskevaramu) esitas ajaloolise ülevaate “Põltsamaa jõe tehnopark”, milles rääkis huvitavalt 18. sajandil selles piirkonnas tegutsenud ettevõtetest. Saadi teada, et seal asutati ja töötasid vasepada, tärklisevabrik, roheline klaasi vabrik, aknaklaasivabrik, peeglivabrik (12 lihvimisseadet, 4 poleerimisveskit, 6 lihvimisplaati), portselanimanufaktuur Põltsamaal ja sajandi lõpus asutatud Rõika-Meleski klaasivabrik.

Arvo Järvet (Tartu Ülikool) esitas ettekande “Põltsamaa jõe veejõu kasutamisest”. Põltsamaa jõgi kuulub Eesti suurimate jõgede hulka. Jõe pikkus on 135 km, valgala 1310 km², keskmine vooluhulk suudmes 11 m³/s. Jõe keskmine lang on suhteliselt väike, 0,55 m/km, kuid oluline osa langusest on koondunud Põltsamaa-Kamari lõigule. Sajandeid on jõe vooluenergiat kasutatud vesiveskite käitamiseks Põltsamaa-Rõika

ümbruses. Praegu töötab veejõujaam Kamaris (200 kW) ning on tehtud ettevalmistusi veejõu taaskasutamiseks ka Põltsamaal ning Rõikal.

Kamari hüdroosõlm on kõige mitmekesisem vesiehitiste kompleks Kesk-Eestis ja seepärast tuleb selle kordategemist ning kasutamist vaadelda ka laiemas tähenduses, sh Eesti vesiehituste ajaloo ja turismi aspektist.

Siinsetel paisjärvedel on:

- oluline puhkemajanduslik tähendus;
- täita oluline osa piirkonna kultuurilis-ajaloolise identiteedi kandjana;
- kultuurilises, sotsiaalses ja ökoloogilises sfääris tähtis avalikkust huvitav roll;
- majandusteguri osa, mis võib aidata kaasa uute töökohtade loomisele;
- märkimisväärne osa aidata rahuldada inimese püüdlusi tunda rõõmu väärtustest.



Joonis 1. Kamari veejõujaam

Figure 1. Hydropower station in Kamari

Heiti Haldre (Eesti Maaülikool) oma ettekandes “Vesirattast turbiinini” andis ülevaate veejõu kasutamise seadmete arengust aastasade vältel. On mitmeid kirjeldusi veejõu kasutamisest enne meie ajaarvamise algust. Kuid esimene täpsem vesiveskite kirjeldus pärineb Marcus Vitruvius Pollio teosest “*De architectura libri decem*” (umbes 25 a eKr). Varem kasutati vertikaalse, hiljem, kui arenesid hammas-ülekanDED, ka horisontaalse võlliga vesirattaid. Viimased muutusidki enim levinud vesirattaliigiks. Tuleb märkida, et 2000 aasta jooksul vesirattaste kuju praktiliselt ei muutunud ja kasutegur oli madal. Olukord hakkas muutuma pärast seda, kui prantsuse matemaatik Jean Victor Poncelet kirjeldas kõverate labadega altvoolurattast (1822. a), mille kasutegur oli teoreetiliselt küll 100%, kuid praktikas siiski 60–70%. Edasine tehnika areng jõudis veeturbiinide valmistamiseni, mille pöörlemissagedus on suurem ja mõõtmed väiksemad. Kasutegur ulatub neil väga suurtes hüdrojaamades kuni 97 protsendini.

Viimasel ajal on kirjanduses hakatud Poncelet’ vesirattast uuesti üles äratama. Neid saab kasutada lihtsalt kiires veevoolus, ilma tammi ehitamata. Kogu jõe veevoolu ei haarata, osa voolab mööda, ka kalad saavad vesirattast mööda. Ratas pöörleb aeglaselt,

labade vahele mahtuvad kalad jäävad vigastamata. Tegemist on loodusesõbraliku, atraktiivse ja veest n-õ rohelist energiat ammutava seadmega.

Kokkuvõte

2004. aasta sügisel asutatud MTÜ Eesti Veskivaramu iga-aastased kokkutulekud on tõestanud, et huvi veskite kui oluliste ajaloopärandite vastu on jätkunud hoolimata sellest, et järjest keerulisem on taastada veskipaise nii asjaajamise poole pealt kui ka realselt teostades. Rõika kokkutulekul allkirjastati pöördumine Eesti Vabariigi õiguskantslerile looduskaitseaduse § 51 lg 1 sisalduva paisutamispääsude seaduslikkusest. Tänapäevaks on teada õiguskantsleri seisukoht – see paragrahv ei ole vastuolus põhiseadusega. 15-leheküljelises vastuses põhjendab ta oma seisukohta, aga lõpus leiab, et riik (keskkonnaministeerium) on kohustatud põhjendama oma praegusi ja edasisi samme keskkonna kaitsmisel. Igal meetmel peab olema teaduslik alus. Selle aluse puudumisele aga oleme me pidevalt viidanud.

Kokkutuleku järel külastasime Kolga-Jaani pika ja huvitava ajaloo kirikut ning Kamari hüdrojaama. Päev lõppes Põltsamaa linnas Eesti Energia AS poolt taastatava vana hüdrojaama juures.

THE SIXTH REUNION OF THE NGO EESTI VESKIVARAMU IN RÕIKA WATERMILL

Anto Juske¹, Arvo Jävet², Heiti Haldre³ and Mae Juske¹

¹NGO Eesti Veskivaramu, e-mail: maeveski@hotmail.ee

²Institute of Geography of University of Tartu
e-mail: arvo.jarvet@ut.ee

³Institute of Forestry and Rural Engineering of Estonian University of Life Sciences
e-mail: heiti.haldre@emu.ee

Abstract

The sixth convention of the NGO Eesti Veskivaramu (Estonian Mill Repository) this time took place in Rõika watermill in Viljandi county. This watermill is over 200 years old and its interior is very well preserved. Present owners have marvellous plans to restore the damlike and utilise the watermill using waterpower. There were three presentations during the convention, which discussed among other issues concerning mills also the usage of waterpower of the Põltsamaa river for the best of mankind since the beginning of the 18th century, also the present plans and plans for the future. The importance of maintaining, restoring and renewing the industry complexes from the aspects of history and energy was stressed. At the convention a complaint to the Estonian Chancellor of Justice concerning the legality of barrage restrictions in the Nature Conservation Act § 51 lg 1 was signed. After the official part the participants visited Kolga-Jaani church, which has long and interesting history and also Kamari hydropower station. The day ended in Põltsamaa city beside the old hydropower station that is going to be restored by AS Eesti Energia (Estonian Energy Ltd).

NAHKHIIRTE VAATLUSED RANNIKUL SEoses TUULETURBIINIDEGA

Matti Masing

Sicista Arenduskeskus, pk 111, 50002 Tartu
e-post: sicista@hotmail.ee

Annotatsioon

Käesolev uuring käsitleb nahkhiirte liikumisaktiivsust Eestimaa rannikutel ja tuuleparkide aladel ning on esimene taoline töö, milles kasutati ultrahelidetektorit. Vastavalt ultraheli tüübile jaotati nahkhiireliigid kahte rühma: 1) püsisagedusliigid (PS-liigid), kes orienteerumisel suhteliselt avatud lennupaigas saavad kindlas, 5–6 kHz sagedusvahemikus (5 kHz reegel) helirõhu maksimumi omavaid ning suhteliselt madalal sagedusel algavaid impulsse ja 2) muutsagedusliigid (MS-liigid), kellel samas lennusituatsioonis impulsside helirõhu maksimum ei ole kitsas sagedusvahemikus ning impulsid algavad kõrgel sagedusel. Esimene rühm on tuuleparkides ohustatum, sest selle esindajad lendavad sageli üsna kõrgel, sattudes turbiinipropellerite tööpiirkonda. 2005. a septembris kolmes rannikupiirkonnas viiel ööl teostatud detektoruuringu käigus loendati Pettersson D240 detektoriga 485 minuti vältel kokku 216 nahkhiirte möödalendu ja registreeriti viis liiki nahkhiiri. Uuringust ilmneb, et suve lõpul koonduvad nahkhiired Eestimaa rannikul. Ent eksisteerivad piirkonnad, kus nahkhiired lendavad suhteliselt harva, ja seda nii sisemaal kui ka rannajoonel. Viimased on paigad, kus tuuleturbiinide püstitamise on nahkhiirtele suhteliselt ohutu. Et neid ohutuid kohti täpselt kindlaks teha, selleks tuleb enne tuulikute asukohtade lõplikku määramist tellida nahkhiirte ekspertidelt tuuleparkide detektor-eeluuringuid

TUULETURBIINID, NAHKHIIRED, DETEKTORUURINGU METOODIKA

Sissejuhatus

Nahkhiirte vaatlused rannikul toimuvad meil 1975. a alates, kui üksikuid nahkhiiri tabati Kabli randa üles seatud linnumõrrast lindude sügisrände uurimise aegu (Vilbaste, 1976; Keppart jt, 1984). Spetsiaalne nahkhiirte uuring toimus aastail 1984–1988 augustis–septembris Kablis ja Laos ranna lähedale ehitatud linnumõrdu kasutades (Masing jt, 1987a; 1987b). Selle töö käigus konstrueerisid meie nahkhiireteadlased maailma ühe efektiivsema **nahkhiirte automaatpüünise**, võrepüünise BT 7+4+3+3 (Masing, 1989; 2004b), mille abil püüti viie aasta jooksul kokku umbes 600 nahkhiirt 11 liigist (seega kõik Eestis teada olnud liigid). Loomad määrati, mõõdeti ja märgistati linnurõngastega. Uuringust ilmses, et nahkhiired liiguvad rannikul mõnikord arvukalt. Kabli püügis domineeris igal aastal **pargi-nahkhiir**, kes elab meil üksnes suvel ning rändab talvituma lõuna poole. Kablis liikusid nahkhiired üsna rannajoonel lähedal (püünis oli rannast 200 m kaugusel).

Nahkhiirte püük toimub järgmiselt. Nahkhiired lendavad suure linnumõrda tagaossa ööseks paigaldatud BT 7+4+3+3 võrepüünisesse paremalt poolt (joonis 1). Püünises on neli kihti 0,2 mm jämedusi vertikaalseid pingul niite (tamiil), millesse takerdudes loomad libisevad võre all olevasse kiliseintega kogumiskotti. Püünise taga põõsas oleva lambi valguse taustal saab linnumõrras istuv vaatleja loendada püünisele

lähenevaid nahkhiiri ja nõnda määrata püünise efektiivsust (mitu looma püünise juurde lennanutest satub kogumiskotti) (Masing, 1989). Siinne püünis kavaldab nahkhiired üle – loomad tunnetavad, et nad saavad niitide vahelt läbi lennata, kuid kui nad avastavad, et ei saa, siis on tagasi pöörduda liiga hilja, sest lennuhoog on peatatud, ja nad libisevad kogumiskotti. Numbrid püünise nimes näitavad niitide vahekaugust sentimeetrites, esimesest võrest alates. Need vahemaad osutusid püüniste katsetamisel kõige efektiivsemaks, ning taoline 4 võrest koosnev võrepüünis püüab kõiki meie nahkhiireliike ühtviisi, kehasuurusest olenemata (väiksemad liigid lendavad esimestest võredest läbi, kuid takerduvad järgmistes).



Joonis 1. Nahkhiirte automaatpüünis BT 7+4+3+3 töötamas Kablis 1988. a septembris (Masing, 2004b)

Figure 1. Automatic bat trap BT 7+4+3+3 set up at Kabli in September 1988 (Masing, 2004b)

Järgnevatel aastatel meie rannikul nahkhiiri spetsiaalselt ei uuritud, kuid nt Hiiumaal 2001. ja 2002. a augustis toimunud pisiimetajate uuringu käigus registreeriti ultraheli-detektoritega nahkhiiri erinevates lennupaikades, sh rannikul (Masing jt, 2004). 2002. a augustis registreeriti meil esimene nahkhiir avamere kohal, Pakri poolsaare tipust 5 km kaugusel lendav **põhja-nahkhiir** (Masing, 2004a).

2004. a suve lõpul toimus nahkhiirte detektoruuring valitud punktides Eestis, Lätis ja Soomes, sh Eesti alal kolmel rannikul: a) mandriosa läänerannikul, b) põhjarannikul ning c) Peipsi rannikul (Matti Masing, Yrjö Siivonen ja Terhi Wermundsen, avaldamata andmed).

Nahkhiirte uuring rannikul on nüüd muutunud aktuaalseks seoses rannikualadele ja ka merre rajatavate **tuuleparkidega**. On ilmnud, et Ameerikas hukkub tuuleturbiinides arvukalt nahkhiiri (Blum, 2005). Euroopas on senistel andmetel tuuleturbiinide oht nahkhiirtele olnud väiksem, kuid nt Hispaanias oli hukkunud nahkhiirte arv vahemikus

3–13 ühe turbiini kohta (Rodrigues jt, 2005). Rootsis on hukkunud nahkhiirte arv turbiinide all olnud erinev, ulatudes paiguti mõne tosinani (Ahlén, 2002; 2003).

Eestis tegutsevad tuulepargid praegu Virtsus, Esiveres, Salmes ja Pakril, lähiajal on neid kavas rajada mujalegi rannikule ja merre. Järelikult on meilgi aktuaalne nahkhiirte ja tuuleturbiinide konflikti teema (Masing ja Lutsar, 2005).

2005. a septembris tegin nahkhiirte detektoruuringut mõnes paigas Eestimaal rannikul ja tuuleparkide piirkonnas (Masing, 2005b; 2005c). Käesolev töö annab selle uuringu kokkuvõtte. Kokkuvõttele eelneb originaalne detektoruuringu meetodika kirjeldus, mida saab kasutada nahkhiirte lennuaktiivsuse uurimisel rannikul, tuuleparkide piirkonnas ja mujal.

Metoodika – juhendmaterjal nahkhiirte uuringuks rannikul, tuuleparkide piirkonnas ja mujal

Nahkhiirte öine lennuaktiivsus, lendavate nahkhiirte koondumine maastikul, lennukõrgus

Nahkhiirte öise lennuaktiivsuse mõistmiseks on hea teada selle põhjusi ja seda mõjutavaid tegureid. Viimaseid saab arvestada nii loenduste läbiviimisel, loendustulemuste interpreteerimisel kui ka tuulikute töö kavandamisel tuulepargis.

Nahkhiired lendavad öösel eeskätt toitumise eesmärgil, mida nad saavad teha siis, kui öö on piisavalt soe ja tuul pole väga tugev. Kõik Eestis elavad nahkhiired (teadaolevalt 11 liiki) toituvad öösel lendavatest putukatest jt selgrootutest, kelle paiknemine ja arv sõltuvad suuresti õhutemperatuurist, pilvisusest, sademetest, tuule tugevusest ning suunast. Lisaks lendavad nahkhiired oma lennuvõime tagamiseks (mis nõuab treeningut), orienteerumisvõime arendamiseks, rände sooritamiseks, varjupaikade otsimiseks ja vahetamiseks ning üksteisega suhtlemise vajaduse rahuldamiseks.

Soodsa ilma korral on nahkhiired aktiivsed öösel kogu pimedaja vältel (meil valdavalt aprillist oktoobrini), mil nad toituvad, vahetavad lennupaiku ja varjupaiku ning peavad lennus vahet. Öise lennu kestus sõltub liigist. Teatavatel öödel koonduvad nahkhiired maastiku mõnedes kohtades, mis on kas saakputukate koondumiskohad, varjupaikade piirkond või liikumiskoridor. Konkreetsetes maastikus saab nahkhiirte ekspert neid koondumiskohti kindlaks teha detektoruuringuga (vt allpool).

Lennukõrgus ja kaks liigirühma. Tuulikute ehitamisel nahkhiirte elupaika tuleb teada nahkhiirte lennu kõrgust, sest tuuleturbiini tiivikuga kokku põrgata saavad ainult need nahkhiired, kes lendavad tiiviku tööpiirkonnas. Lennukõrgus oleneb liigist ja ilmselt ka konkreetsest paigast, aastaajast ning ilmastikust. Maapinna või puude vahetus läheduses toitu otsivad liigid (meil 5 liiki lendlasi ja pruun-suurkõrv) lendavad suhteliselt madalal ning arvatavasti ei tõuse puuvõradest kõrgemale. Seevastu ülejäänud liigid (sh 4 rändliiki ja 1 paikne liik) lendavad aeg-ajalt üsna kõrgel ning nende kokkupõrkeid tuuleturbiinidega on täheldatud välismaal.

Ilmastiku mõju nahkhiirte lennuaktiivsusele

Kui taevas on pilves kogu öö vältel, siis püsib õhutemperatuur enam-vähem sama

õhtust hommikuni. Väga soojal ööl (õhutemperatuur üle +15 °C) ja soojal ööl (õhutemperatuur +11...+15 °C) lendavad putukad arvukalt kogu öö läbi, ehkki nende aktiivsus võib olla kõrgem öö esimesel poolel. Jahedal ööl (õhutemperatuur vahemikus +6...+10 °C) on lendavate putukate arvukus üldjuhul madalam kui soojal ööl, ning öö teisel poolel lendab neid liiga vähe, et nahkhiirtel oleks mõtet neid püüda. Külmal ööl (õhutemperatuur vahemikus 0...+5 °C) on lendavate putukate aktiivsus väga madal ning samuti ka nahkhiirte lennuaktiivsus; taolisel ööl enamik nahkhiiri ei lenda üldse.

Kui taevas on öösel selge, siis tuulevaikse ilma korral õhutemperatuur langeb öö jooksul märgatavalt (mõnikord 2...3 kraadi tunnis). Lisaks tekib madalamates piirkondades udu, mis võib pärssida nahkhiirte lendu.

Tugeva tuule puhul (üle 8 m/s) ja vihmaga on nahkhiirte lend raskendatud ning siis lendavad nad kas varjulistes kohtades (nt kaldajärsaku või puude varjus, sildade all) või ei lenda üldse.

Need ilmastikutingimused mõjutavad oluliselt nii nahkhiirte kui ka putukate öist lendu. Järelikult tuleb nahkhiirte lennuaktiivsuse määramisel (nende öisel loendamisel) arvestada nii ilmastiku kui ka öö perioodidega.

Öö kestuse mõju nahkhiirte lennuaktiivsusele

Öö periodiseerimine (liigendamine nahkhiirte lennuaktiivsuse perioodideks). Suve jooksul on ööd erineva pikkusega ning sellest tulenevalt on nii putukate kui ka nendest toituvate nahkhiirte lennuaktiivsus öö eri perioodidel erinev. See tingib vajaduse liigendada öö perioodideks, et loendusandmed oleksid võrreldavad, nt: a) õhtune lend, b) kesköine lend ja c) hommikune lend.

Nahkhiirte lennuaktiivsus on harilikult kõrgeim õhtuse lennu ajal (1–3 tundi pärast loojangut), mil putukad on kõige aktiivsemad, ning sel ajal on harilikult ka öö kõrgeim õhutemperatuur. Nahkhiirte lennuaktiivsus järgnevatel ööpäriodidel oleneb öö kestusest, ilmastikust, putukate aktiivsusest ja sellestki, kas nahkhiirtel on vaja sel ajal lennata (nt rännet sooritada, uusi varjupaiku otsida, paarituda).

Lennuaktiivsuse perioodid juuni lõpus ja juuli alguses

Lühikestel suvealguse öödel juuni lõpus ja juuli alguses lendavad nahkhiired sageli öö läbi, sest pime ja hämar aeg kokku kestavad siis kõigest 2–3 tundi. Sel perioodil võib umbes 3-tunnise öö nahkhiirte lennuaktiivsusest lähtudes jagada kolme aktiivsuseperioodi: 1) õhtune (1–2 tundi pärast loojangut, suveaja järgi kl 23.40–00.50), 2) kesköine (2–3,5 tundi pärast loojangut, kl 00.50–02.00) ja 3) hommikune (3,5–4,5 tundi pärast loojangut, kl 02.00–03.10).

Suve teisel poolel (augustis–septembris) kestab pime aeg öösel 6–9 tundi. Öö esimene pool, mil nahkhiirte lend on aktiivsem, moodustab sellest 3–4,5 tundi.

Lennuaktiivsuse perioodid augustis

Nahkhiirte lennuaktiivsusest lähtudes võib **augusti keskpaiga ligikaudu 7-tunnise öö**

jagada kolme aktiivsuseperioodi: 1) õhtune (1–3 tundi pärast loojangut, suveaja järgi kl 22–24), 2) kesköine (3–5,5 tundi pärast loojangut, kl 00–02.30) ja 3) hommikune (5,5–7,5 tundi pärast loojangut, kl 02.30–04.30).

Lennuaktiivsuse perioodid septembris

Analoogiliselt võib **septembri keskpaiga umbes 9-tunnise öö** jagada viide aktiivsuseperioodi: 1) õhtune (1–3 tundi pärast loojangut, suveaja järgi kl 20.40–22.40), 2) hilisõhtune (3–5 tundi pärast loojangut, kl 22.40–00.40), 3) kesköine (5–6 tundi pärast loojangut, kl 00.40–01.40), 4) varahommikune (6–8 tundi pärast loojangut, kl 01.40–03.40) ja 5) hommikune (8–10 tundi pärast loojangut, kl 03.40–05.40).

Septembris on öö suhteliselt pikk ning nahkhiirte kõrgeima lennuaktiivsusega periood (ligikaudu 2-tunnine õhtune lend) seega suhteliselt lühem ning kellaaajaliselt varasem kui augustikuus.

Detektoruuringu aparatuur, loendusmeetodid, lennuaktiivsuse määramine

Lendavate nahkhiirte aktiivsust (lennuaktiivsust, liikuvust) määratakse ultrahelidetektori abil, mis muudab nahkhiirte ultraheli inimkõrvale kuuldavaks. **Nahkhiirte ekspert** saab detektorit kasutades registreerida kõik möödalendavad nahkhiired ning tihti määrata ka nende liigilist kuuluvust.

Lihtsa detektori (nt Pettersson D200 heterodüündetektor) abil saab loomi registreerida/loendada ainult heli kuulamise põhjal, lisaks võib liigi määramiseks looma vaadelda kas heleda põhjataeva või veepinna taustal või tugeva käsilambi valgel. Keerukama detektori puhul (nt Pettersson D240 heterodüün- ja ajavenitusdetektor; joonis 2) saab lisaks kuulamisele heli detektoris salvestada ning seda liigimäärangu eesmärgil aeglustatult kuulata. Detektorist kas otse arvutisse või kassetile salvestatud heli saab hiljem analüüsida, mis samuti aitab määrata liike (Pettersson, 1993; Pettersson Elektronik, 2000a; 2000b; 2005; Masing, 2005a).

Heterodüündetektorist on nahkhiirte ultraheli kuuldav, olenevalt liigist, umbes 5 kuni 100 m kauguselt. Kõrgelt lendavate liikide (PS-liigid) ultraheli on tugevam ning detektorist kuuleb seda 20–100 m kauguselt, olenevalt liigist ja detektori sagedusnäidiku asendist.

Nüüdseks on välja töötatud spetsiaalsed nahkhiirte loendamise meetodid (Ahlén, 1981; Masing, 1994; 1999; Boonman, 1996; Masing jt, 1998; 2000; 2002; 2005; Masing ja Möller, 2004; Keppart jt, 2005; Möller ja Masing, 2005; Roos, 2005). Need jagunevad põhiolemuselt kaheks: 1) detektor-joonloendus (loendaja liigub valitud rajal ning registreerib kuuldud/nähtud nahkhiired) ja 2) detektor-punktloendus (loendaja on loenduseks valitud punktis paigal, kus ta loendab nahkhiiri teatava ajavahemiku jooksul). Esimene meetod võimaldab kiiresti saada teavet selle kohta, kus nahkhiired maastikul paiknevad ja kus nad koonduvad. Teine meetod võimaldab täpselt määrata nahkhiirte aktiivsust ja arvukust valitud punktides ja elupaigatüüpides ning paremini registreerida nõrga häälega liike ja loendusosal harva liikuvaid loomi. Tuulepargi piirkonnas nahkhiiri uurides sobib kasutada mõlemat meetodit (Masing, 2005b; 2005c).

Et nahkhiireliigid erinevad oma lennuaktiivsuse, -paikade, -kõrguse, ohuseisundi ja kaitsestaatuse poolest, siis kuulub tuulepargis teostatava eeluuringu hulka lisaks nahkhiirte loendamisele ka **liikide või liigirühmade määramine**.



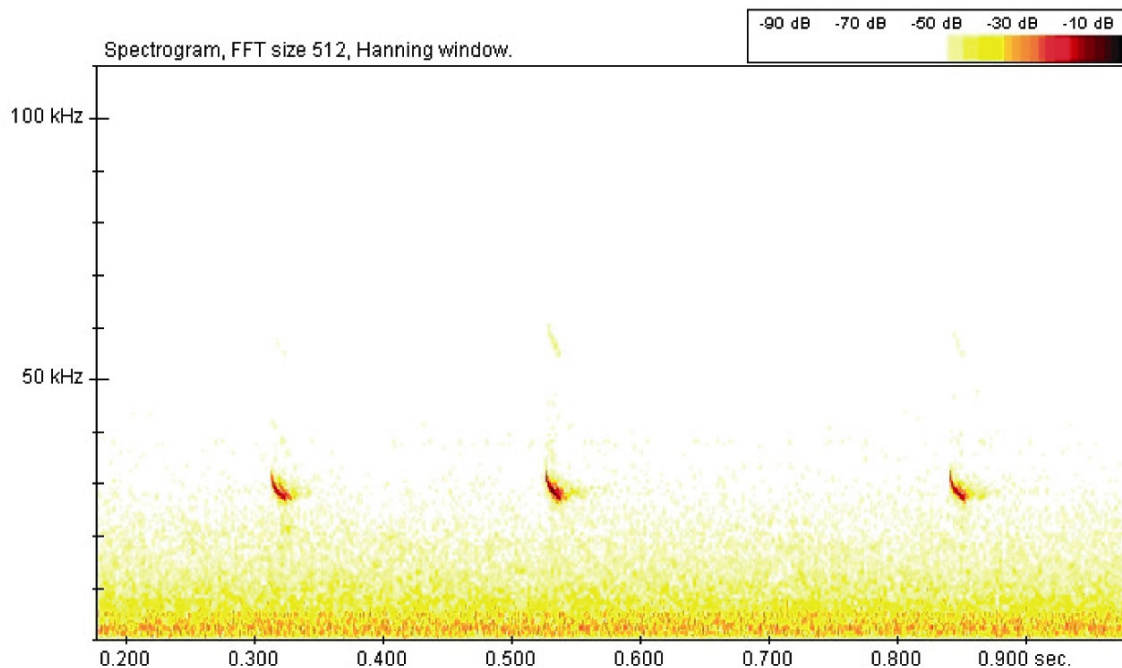
Joonis 2. Nahkhiirte detektoruuringu varustus. Vasakult alates: 1) Panasonic RQ-L30 salvesti, 2) Pettersson D240 detektor, 3) Panasonic RP-HT030 kõrvaklapid. Detektori sagedusnäidik on asendis 35 kHz, mis võimaldab korraga kuulda ultrahelisid vahemikus 30–40 kHz

Figure 2. Equipment to study bats. Items shown from the left: 1) Panasonic RQ-L30 mini cassette recorder, 2) Pettersson D240 bat-detector, 3) Panasonic RP-HT030 earphones. The frequency on the display of the detector is set on 35 kHz, which enables to hear ultrasounds between 30 and 40 kHz

Detektorist kuulduva heli põhjal eristatakse kaht tüüpi nahkhiiri: 1) tippagedusliigid ehk püsisagedusliigid, PS-liigid (nende liiki saab tihti määrata heterodüünetektorist heli kuulates) ja 2) mitte-tippagedusliigid ehk muutsagedusliigid, MS-liigid (nende liiki ei saa tihti määrata ainult heli kuulates; lisaks on vajalik kas lendava looma vaatlus, salvestatud heli analüüs või looma püük võrguga) (joonised 3 ja 4) (Kalko ja Schnitzler, 1993; Masing, 2004c; 2004d). **PS-liigid on tuuleparkides ohustatumad**, sest nad lendavad suhteliselt kõrgel (tihti üle 20 m). Meie faunas on enamik neist **rändliigid**, kes kasutavad rannikut rändekoridori ja toitumispaijana ning koonduvad seal mõnel aastaajal.

PS-liigi tunnuseks (vt sonogrammi joonisel 3) on suhteliselt madalal sagedusel (tihti alla 50 kHz) algavad pikad (5–25 ms) ning lõpuosas väljavenitatud impulsid. Sageduse püsimine samal tasemel suhteliselt kaua muudab heli tugevaks ning selline heli on kuuldav üsna kaugelt (20–100 m, olenevalt liigist ja kuulamise sagedusest). Avatud lennupaigas (nt rannikul) lennates on PS-liigil tugevaima helirõhuga piirkond kindlas 5–6 kHz vahemikus (5 kHz reegel) (Masing, 2004c), mis on liigispetsiifiline ning seega võimaldab ära tunda PS-liike. Heterodüünetektorist on PS-liigi sonar kuuldav rütmilise helina, mis meenutab kas vee tilkumist, matsutamist, tampimist või pehmet plüdinat. Siin joonisel on impulsside tugevaim helirõhk sagedusel 29 kHz, mis veenab, et tegemist on põhja-nahkhiirega. 800 ms ajalõigu vältel tekitas loom 3 impulssi, mille

algsagedus on 34 kHz, lõppsagedus 26 kHz, impulsside kestus 12 ms ning impulsside vahed 197 ja 300 ms. Heli on salvestatud Tartus Emajõe kaldal, avatud lennupaigas, 11.10.2005.



Joonis 3. Püüsisagedusliigi (põhja-nahkhiir) sonar sageduse/aja väljas. BatSound'i spektrogramm (sonogramm)

Figure 3. The sonar of a narrowband species (*Eptesicus nilssonii*), a BatSound spectrogram (sonogram)

MS-liigi tunnuseks (vt sonogrammi joonisel 4) on suhteliselt lühikesed (kuni 5 ms) impulsid. Need algavad tihti suhteliselt kõrgel sagedusel (50–120 kHz) ning heli sagedus langeb väga kiiresti kogu impulsi ulatuses. Et impulsid on lühikesed ja sagedus impulsi vältel pidevalt muutub, siis on heli suhteliselt nõrk ning detektorist kuuldav kõigest 5–30 m kauguselt, olenevalt liigist ja lennusiituatsioonist. Heterodüün-detektorist on MS-liigi sonar kuuldav pragina, kahina või tärinana. Paljud MS-liigid (nt perekonnast lendlane) tekitavad sarnast heli, mille põhjal ei saa liike eristada. Siin joonisel näidatud impulsside tugevaim helirõhk on sagedusel 37 kHz, mis ei võimalda määrata MS-liiki. Kuid veepinna kohal lendava veelendlase impulsid algavad sagedusel 55–75 kHz ning on sonogrammil punktiirjad, mis on siingi joonisel selgelt nähtav. 800 ms ajalõigu vältel tekitas loom 7 impulssi, mille algsagedus oli vahemikus 54–75 kHz, lõppsagedus 20–25 kHz, kestus 4–5 ms ning impulsside vahed 70–160 ms. Heli on salvestatud Ihastes Emajõe ääres 09.10.2005; loom lendas veepinna kohal ning kaldast 12 m kaugusel.



Joonis 4. Muutsagedusliigi (veelendlane) sonar sageduse/aja väljas. BatSound'i spektrogramm (sonogram)

Figure 4. The sonar of a broadband species (Myotis daubentonii), a BatSound spectrogram (sonogram)

Detektorloenduse tulemused väljendatakse järgmiselt: 1) isendite või möödalendude arv kas 100 km või 60 min kohta (detektor-joonloendusel); 2) isendite või möödalendude arv 100 loenduspunkti kohta (igas punktis kuni 10 minutit kestval detektor-punktloendusel); 3) möödalendude arv 60 minuti kohta (igas punktis üle 10 minuti kestval detektor-punktloendusel).

Probleem ja selle võimalikud lahendused

Käesoleva uuringu probleemiks (millele otsitakse lahendusi) on **nahkhiirte ja tuuleturbiinide konflikt**: lendavad nahkhiired põrkavad vastu pöörlevaid propellereid ja hukuvad.

Miks nahkhiired põrkavad vastu propellereid? Hüpoteesid: 1) nad koonduvad rannikul, kus on nende liikumisteed ja toitumispaid, 2) nad kogunevad tuulikute juurde toituma, kuhu koonduvad nende saakputukad (Ahlén, 2002; 2003).

Millised nahkhiireliigid hukuvad tuuleturbiinides? Peamiselt püsisagedusliigid (PS-liigid), kes lendavad avatud lennupaikades ja sageli üsna kõrgel (välismaa uuringute andmetel nt suurvidevlane, hilis-nahkhiir, põhja-nahkhiir ning pargi-nahkhiir, Eestis on neist leitud kolm liiki).

Konflikti võimalikud lahendused: 1) kavandatud tuulepargi alal tuleb tellida nahkhiirte detektor-eeluuring ühe soojaperioodi vältel (meil aprillist oktoobrini), et leida kohad, kus nahkhiired ei koonu – sinna võib paigaldada tuulikud; 2) tuleb konstrueerida sellised tuulikud, mis ei meelita juurde lendavaid ööputukaid

(Ahlén, 2002; 2003; Masing ja Lutsar, 2005) või mis peletavad eemale putukaid ning/või nahkhiiri.

Uuringu eesmärk, tööülesanded ja kirjeldus

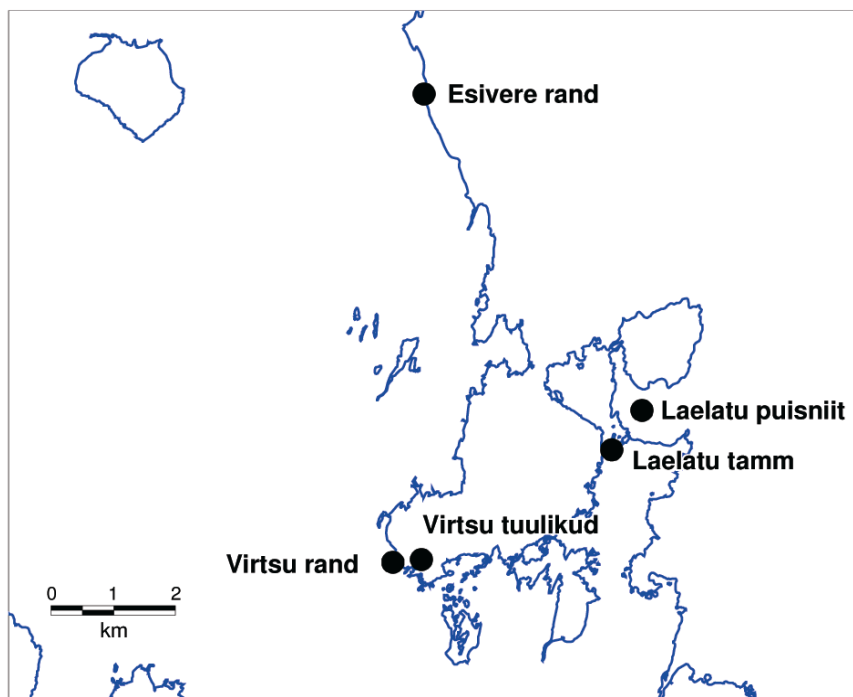
Uuringu eesmärk oli aidata kaasa eelnimetatud probleemi lahendamisele, täpsemalt: teha kindlaks kas nahkhiired liiguvad rannalähedaste tuuleparkide piirkonnas ja kui arvukalt. Selleks tuli määrata nahkhiirte lennuaktiivsust (suhtelist arvukust) rannikul ja selle lähedal asuvates või seal kavandatavates tuuleparkides ning võrrelda nahkhiirte lennuaktiivsust eri paikades. **Välitööd** toimusid 2005. a septembris Virtsu, Kunda ja Aseri piirkonnas viiel suhteliselt soojal ööl, kui nahkhiirte lennuaktiivsus oli kõrge (tabel 1, joonised 5 ja 6) (Masing, 2005b; 2005c). Uuringu teostas artikli autor.

Tabel 1. Nahkhiirte detektoruuringu tingimused septembris 2005

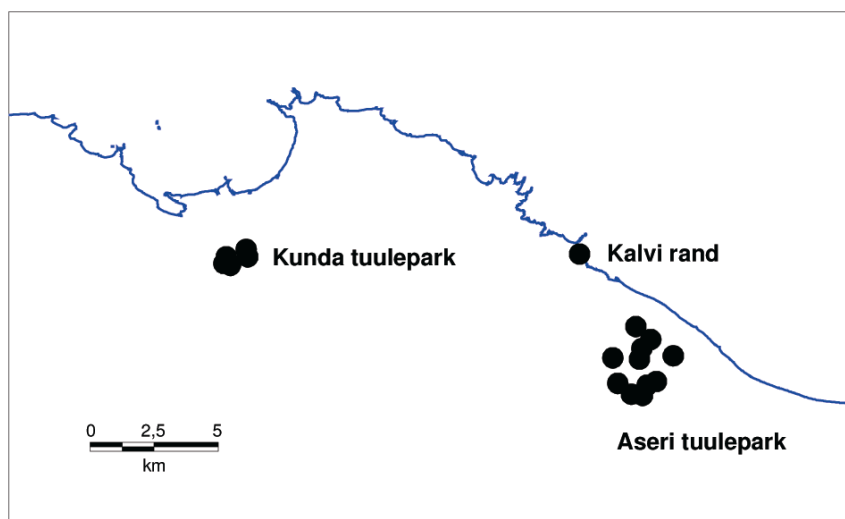
Table 1. The conditions of bat-detector study in September 2005

Uurimiskoht	Kuu-päev õhtuse seisuga	Loenduse algus, vööndi aeg	Punktide arv või raja pikkus	Loenduse kestus, min	Õhutemperatuur, °C	Tuul	Pilvisus, udu	Vee-pind
Virtsu tuulikud	02.9	20.50	3	30	+11,0*	Vaikne	Selge	
Virtsu rand	02.9	21.09	1	15	+12,5	Vaikne	Selge	Sile
Esivere rand	02.9	22.16	1	60	+10,5	Vaikne	Selge	Sile
Laelatu tamm	02.9	00.50	1	60	+11,5	Vaikne	Selge, nõrk udu	Sile
Laelatu puisniit	02.9	02.01	6	60	+7,5	Vaikne	Selge	
Kalvi rand	06.9	22.26	1	30	+13,8	SW, 4 m/s	Selge	Üsna sile
Kalvi rand	22.9	20.08	1	30	+9,0	SW, 1–2 m/s	Selge	Üsna sile
Kunda tuulepark	07.9	20.30	1600 m	30	+16,5	SW, 6–10 m/s	Pilves	
Kunda tuulepark	22.9	21.00	1600 m	30	+9,0	SW, 2 m/s	Pilves	
Aseri tuulepark	06.9	20.24	7	70	+14,5	SW, 3–9 m/s	Poolpilves	
Aseri tuulepark	23.9	19.11	7	70	+13,5	SW, 2 m/s	Pilves	

* Õhutemperatuur 1,5 m kõrgusel rannäärse tuuliku lähedal kl 21.20 oli +11,5 °C, tuuliku seinä ääres aga +14,5 °C.



Joonis 5. Nahkhiirte loenduspunktid Virtsu piirkonnas 2005. a septembris
Figure 5. Counting points of bats in Virtsu area in September 2005



Joonis 6. Nahkhiirte loenduspunktid Kunda ja Aseri piirkonnas 2005. a septembris
Figure 6. Counting points of bats in Kunda and Aseri areas in September 2005

Nahkhiirte loendamise meetoditest kasutas autor detektor-joonloendust ja detektor-punktloendust (vt eespool); mõlema loendusmeetodi tulemused on väljendatud möödalendude arvuna 60 min jooksul (Masing ja Möller, 2004). Nahkhiirte loendamisel oli abiks Petterson Elektronik D240 detektor. Nahkhiireliigid määras autor enamasti väljas detektorit kuulates (Masing, 2005a). Autor salvestas mõnede loomade hääled ja uuris neid hiljem Petterson BatSound arvutiprogrammi abil.

Tabel 2. Nahkhiirte liigid ja arvukus detektorloendustel Eestimaa rannikul septembris 2005. PS-liigid: E – põhja-nahkhiir (*Eptesicus nilssonii*), nath – pargi-nahkhiir (*Pipistrellus nathusii*), sp – liik määramata. MS-liigid: M – veelendlane (*Myotis daubentonii*), P – pruun-suurkõrv (*Plecotus auritus*), das – tiigilendlane (*Myotis dasycneme*), Msp – lendlane või suurkõrv, liik määramata

Table 2. Bat species and bat numbers received during a bat-detector study on Estonian coasts in September 2005. NB-species: E – *Eptesicus nilssonii*, nath – *Pipistrellus nathusii*, sp – unidentified. BB-species: M – *Myotis daubentonii*, P – *Plecotus auritus*, das – *Myotis dasycneme*, Msp – *Myotis sp* or *Plecotus sp*.

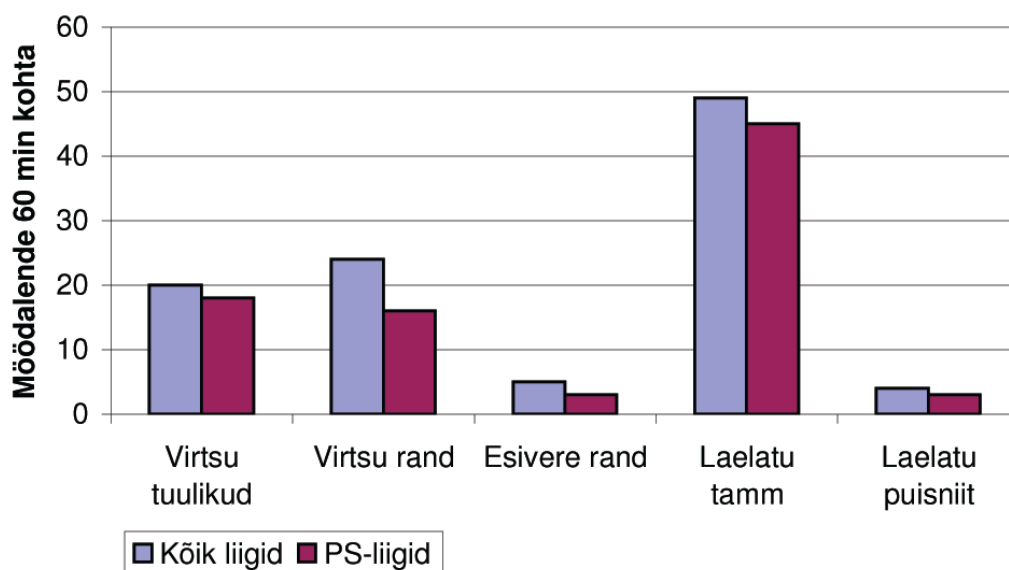
Uurimiskoht	Kuu-päev õhtuse seisuga	Loenduse algus, vööndi aeg	Loenduse kestus, min	PS-liikide möödalende	MS-liikide möödalende	Möödalende kokku
Virtsu tuulikud	02.9	20.50	30	5E,4nath	1Msp	5E, 4nath, 1Msp = 10
Virtsu rand	02.9	21.09	15	3E,1nath	2M	3E,1nath, 2M = 6
Esivere rand	02.9	22.16	60	2E,1nath	1P,1das	2E,1nath, 1P,1das = 5
Laelatu tamm	02.9	00.50	60	28E,14nath, 3sp	1M,1P, 2Msp	28E,14nath, 3sp,1M,1P, 2Msp = 49
Laelatu puisniit	02.9	02.01	60	2E,1nath	1Msp	2E,1nath, 1Msp = 4
Kalvi rand	06.9	22.26	30	35E	3M,17das, 2Msp	35E,3M, 17das,2Msp = 57
Kalvi rand	22.9	20.08	30	5E	3M,15das	5E,3M, 15das = 23
Kunda tuulepark	07.9	20.30	30	4E	1M	4E,1M = 5
Kunda tuulepark	22.9	21.00	30	1E	1M,1P	1E,1M,1P = 3
Aseri tuulepark	06.9	20.24	70	23E	13Msp	23E,13Msp = 36
Aseri tuulepark	23.9	19.11	70	13E	1P,4Msp	13E,1P, 4Msp = 18
Möödalende kokku			485	121E, 21nath,3sp = 145 (67,1%)	11M,4P, 33das, 23Msp = 71 (32,9%)	121E, 21nath, 3sp,11M,4P,33das, 23Msp = 216 (100%)

Tulemused

Viiel septembriööl registreeris autor Virtsu, Kunda ja Aseri piirkonnas 485 minutit väldanud detektorloendustel kokku 216 nahkhiirte möödalendu. Loenduste käigus määrati liigina järgmised 5 nahkhiireliiki: tiigilendlane, veelendlane, pruun-suurkõrv, pargi-nahkhiir ja põhja-nahkhiir. Kõigest möödalendudest 145 (67,1%) olid püsisagedusliikide omad, kellel on oht kokku põrgata tuuleturbiinide propelleritega (tabel 2).

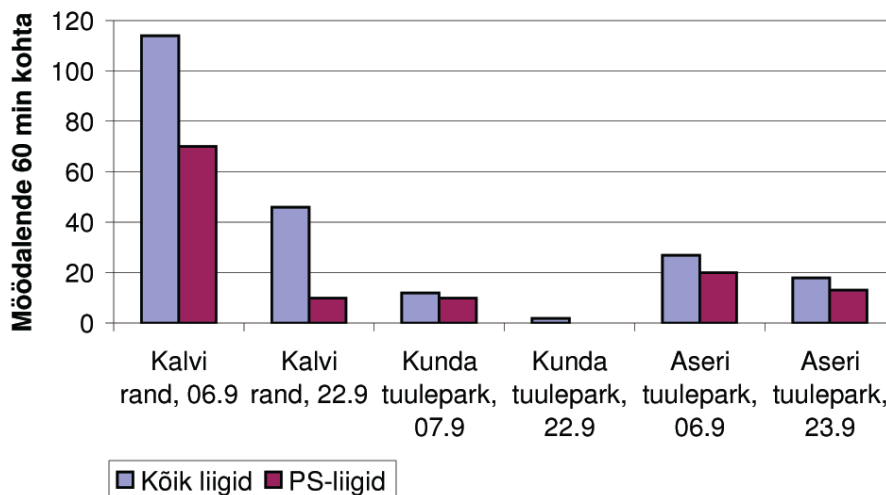
Detektorloenduste tulemustest (joonised 7 ja 8) ilmneb nahkhiirte koondumine mõnel pool rannikul jm suurema vee ääres (nt Virtsu rand, Laelatu tamm, Kalvi rand). Samuti ilmneb, et mitte kõikjal rannikul ei koondu nahkhiired arvukalt: välimuselt sarnaste randade puhul võib nahkhiirte lennuaktiivsus erineda viiekordselt (nt Virtsu rand ja Esivere rand). Samuti on joonistelt näha, et nahkhiirte liikumisaktiivsuses võib olla suur vahe isegi üsna lähedal paiknevate kohtade vahel. Näiteks Laelatu tammi ja Laelatu puisniidu loenduskohtade vahemaa on kõigest 500 m, kuid nahkhiirte lennuaktiivsuse erinevus septembri algul oli seal kümnekordne.

2005. a septembris ulatus nahkhiirte liikumisaktiivsus uurimisaladel üle 100 möödalennuni tunnis (Kalvi rand). Kuid praegu jääb teadmata, milline on nahkhiirte liikumisaktiivsus rannikul ja tuuleparkide piirkonnas muudel aegadel kevade ning sügise vahel. Selle teadasaamine eeldab täiendavaid uuringuid.



Joonis 7. Nahkhiirte lennuaktiivsus öö jooksul Virtsu piirkonnas (02/03. september 2005, soodsa ilmaga)

Figure 7. Flight activity of bats in Virtsu area during the night of 02/03 september 2005, with suitable weather (bat passes per hour: all species in the left column, only NB-species in the right column)



Joonis 8. Nahkhiirte lennuaktiivsus öö esimesel poolel Kunda–Aseri piirkonnas (september 2005, soodsa ilmaga)

Figure 8. Flight activity of bats in Kunda–Aseri area during the first half of night in September 2005, with suitable weather (bat passes per hour: all species in the left column, only NB-species in the right column)

Joonistelt 7 ja 8 ilmneb, et suure osa rannikupiirkonnas lendavatest nahkhiirtest moodustavad püsisagedusliigid, kes lendavad suhteliselt kõrgel ning seega võivad sattuda tuuleturbiinide propellerite tööalale. Just neid liike on leitud hukkununa tuulikute alt välismaa tuuleparkides.

Mõõtmistulemustel oli õhutemperatuur tuuleturbiini posti välisseina ääres Virtsus öö algul kolme kraadi võrra soojem kui ümbritseval alal. Järelikult võib tuuleturbiin öösel ligi meelitada nahkhiirte saakputukaid ja nahkhiiri.

Peamised järeldused

Käesolev uuring on esimene trükki antud töö nahkhiirte liikumisaktiivsusest Eestimaa rannikutel, milles kasutati ultrahelidetektorit. Samuti on see esimene töö, milles määrati nahkhiirte liikumisaktiivsust rannalähedaste tuuleparkide aladel Eestis ja võrreldi seda näitajat tuuleparkide lähedal asuvate paikade loendusandmetega. Kahest liigirühmast on tuuleparkides rohkem ohustatud püsisagedusliigid, kes lendavad tihti suhteliselt kõrgel, sattudes turbiinipropellerite tööpiirkonda. Uuringust ilmneb, et suve lõpul koonduvad nahkhiired Eestimaa rannikul. Ent on piirkondi, kus nahkhiired lendavad suhteliselt harva, ja seda nii sisemaal kui ka rannajoonel. Need on paigad, kus tuuleturbiinide püstitamine on nahkhiirtele suhteliselt ohutu. Et neid ohutuid kohti täpselt kindlaks teha, tuleb nahkhiirte ekspertidelt jätkuvalt tellida detektor-eeluuringuid potentsiaalsete tuuleparkide aladel.

Tänuavaldused

Transpordiabi osutasid Peeter Vissak, Taavi Kolk ja Tõnis Muru. Arvutikaarte aitas koostada Lauri Lutsar. Põhjarannikul tehtud uuringute rahastamise korraldas Kuido Kartau. Autor on neile selle eest väga tänulik.

KirjandusReferences

1. Ahlén, I. (1981) Field identification of bats and survey methods based on sounds. *Myotis* 18–19: 128–136.
2. Ahlén, I. (2002) Summary: Bats and birds killed by wind power turbines. *Fladdermöss och fåglar dödade av vindkraftverk*. *Fauna och Flora* 97(3): 14–21.
3. Ahlén, I. (2003) Wind turbines and bats – a pilot study. Final report 11 December 2003. Presented to Swedish National Energy Administration. English translation from 05 March 2004: 5.
4. Blum, J. (2005) Researchers Alarmed by Bat Deaths from Wind Turbines. – *Washington Post*. January 1: A01.
<http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/articles/A39941-2004Dec31.html>.
5. Boonman, M. (1996) Monitoring bats on their hunting grounds. *Myotis* 34: 17–25.
6. Kalko, E. K. V. and Schnitzler, H.-U. (1993) Plasticity in echolocation signals of European pipistrelle bats in search flight: implications for habitat use and prey detection. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 33: 415–428.
7. Keppart, V. Keppart, P. ja Masing, M. (1984) Haruldased nahkhiired Kablis. *Eesti Loodus* 9: 603–605.
8. Keppart, V., Masing, M. ja Lutsar, L. (2005) Nahkhiired Luual (Bats at Luua). Belials, V. (koostaja). *Luua Metsanduskool. Artiklid ja uurimused* 4. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 77–88.
9. Masing, M. (1989) Experiments with bat traps. In: Hanák, V., Horáček, I. and Gaisler, J. (eds.). *European bat research 1987*. Charles University Press. Praha: 617–618.
10. Masing, M. (1994) Nahkhiirte seire detektoriga. *Kogumik. Zooloogiakonverents: Zooloogia arengusuunad Eestis*. Tartu: 21.
11. Masing, M. (1999) Experience of bat monitoring with bat detectors in Estonia. *Trav. sci. Mus. nat. d'hist. nat.* 31. Luxembourg: 51–58.
12. Masing, M. (2004a) Bats over the sea, and over the Townhall Square. *Eptesicus* 2. www.hot.ee/eptesicus.
13. Masing, M. (2004b) Estonian Bat Group – the story. *Eptesicus*, 3. www.hot.ee/eptesicus.
14. Masing, M. (2004c) The single pulse analysis – a method for quick identification of “peak frequency bats” (*Chiroptera, Vespertilionidae*) based on their ultrasound. In: Bogdanowicz, W., Lina, P. H. C., Pilot, M. and Rutkowski, R. (eds.). *Programme and abstracts for the 13th International Bat Research Conference*. Mikolajki, Poland: 23–27 August 2004. Museum and Institute of Zoology PAS. Warszawa: 96.
15. Masing, M. (2004d) The types of ultrasound calls of boreal “peak frequency bats” (*Chiroptera, Vespertilionidae*). In: Bogdanowicz, W., Lina, P. H. C., Pilot, M. and Rutkowski, R. (eds.). *Programme and abstracts for the 13th International Bat Research Conference*. Mikolajki, Poland: 23–27 August 2004. Museum and Institute of Zoology PAS. Warszawa: 95.
16. Masing, M. (2005a) Identifying boreal bat species. *Eptesicus*, main menu. www.hot.ee/eptesicus.
17. Masing, M. (2005b) Nahkhiirte detektor-eeluuring Aseri tuulepargi piirkonnas septembris 2005. *Lepingutöö. Käsikiri*: 15.

18. Masing, M. (2005c) Nahkhiirte detektor-eeluuring Kunda tuulepargi piirkonnas septembris 2005. Lepingutöö. Käsikiri: 15.
19. Masing, M., Keppart, V., Keppart, P., Leivits, A. ja Vilbaste, H. (1987a) Nahkhiirte rände uurimisest Kablis 1984. aasta sügisel. Loodusevaatlusi 1985, 1: 75–86.
20. Masing, M., Laur, T., Leivits, A. ja Vilbaste, H. (1987b) Studies on bat migration in Estonia in autumn 1985. Loodusevaatlusi 1985, 1: 87–103.
21. Masing, M. ja Lutsar, L. (2005) Tuuleturbiinid ja nahkhiired. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Peatoim Tiit, V. Kuuenda konverentsi kogumik. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 77–80.
22. Masing, M., Lutsar, L. ja Lotman, K. (1998) Monitoring bats with bat detectors in Estonia. *Myotis* 36. Proceedings of the 7th European Bat Research Symposium. Veldhoven. The Netherlands: 167–176.
23. Masing, M., Lutsar, L. ja Lotman, K. (2000) Monitoring bats (*Chiroptera, Vespertilionidae*) in summer habitats in Estonia, 1995–1999. *Folia Theriologica Estonica* 5: 118–130.
24. Masing, M., Lutsar, L. ja Lotman, K. (2002) The improved route counting method to monitor boreal bats. 9th European Bat Research Symposium, 26–30 August 2002. Abstracts. University of Le Havre. France: 13.
25. Masing, M., Lutsar, L. ja Lotman, K. (2005) Line counting and point counting of foraging bats in Estonia, a comparison. *Le Rhinolophe* 17: 121–125.
26. Masing, M., Lutsar, L. ja Tammela-Ring, H. (2004) Bats in Hiiumaa Island. – *Eptesicus* 2. www.hot.ee/eptesicus.
27. Masing, M. ja Möller, T. (2004) How long should point counting last? *Eptesicus* 3. www.hot.ee/eptesicus.
28. Möller, T. ja Masing, M. (2005) Implementation of the point counting method to monitor foraging bats in Estonia. *Le Rhinolophe* 17: 141.
29. Pettersson, L. (1993) Analysis of bat sounds for identification purposes. Proceedings of the First European Bat Detector Workshop. Ed by Kapteyn, K. Netherlands Bat Research Foundation. Amsterdam: 37–44.
30. Pettersson, L. (1999) Time expansion ultrasound detectors. *Trav. sci. Mus. nat. d'hist. nat. Luxembourg* 31: 21–34.
31. Pettersson Elektronik AB (2000a) Bat detectors. *Nietoperze* 1(1). Wrocław: 97–98.
32. Pettersson Elektronik AB (2000b) Sound analysis software. *Nietoperze*, 1(1). Wrocław: 99–102.
33. Pettersson Elektronik AB (2005) www.batsound.com.
34. Rodrigues, L., Harbusch, C., Smith, L., Bach, L., Catto, C., Lutsar, L., Ivanova, T., Hutson, T. and Dubourg-Savage M.-J. (2005) Report of the Intersessional Working Group on Wind Turbines and Bat Populations. 10th Meeting of the Advisory Committee. Bratislava, Slovak Republic, 25–27 April 2005. Doc.EUROBATS.AC10.9
35. Roos, E. (2005) Experience with bat counting in Tartu, Estonia. *Le Rhinolophe*, 17: 133–135.
36. Vilbaste, H. (1976) Operatsiooni “Baltika” Eesti sektsiooni tööst 1975. aasta sügisel. *Loodusvaatlusi* 1975, 1: 50–63.

OBSERVATIONS OF BATS ON THE COAST IN CONNECTION WITH WIND TURBINES

Matti Masing

Sicista Development Centre
e-mail: sicista@hotmail.ee

Abstract

The present study is the first one about the flight activity of bats on Estonian coasts in which ultrasound detectors were used. The paper presents a review of bat research carried out on Estonian coasts, and it describes bat counting methods that can be effectively used in various habitats, including the places where wind turbine parks are planned. According to the type of emitted ultrasound bats are divided into the following two sonic groups: 1) constant frequency bats or narrowband species (NB-species), which in open flight places emit ultrasound pulses that start relatively low on frequency scale, and that have the highest sound pressure within 5–6 kHz interval (the 5 kHz rule); and 2) frequency modulating bats or broadband species (BB-species), which in similar flight situations emit pulses starting on high frequency, and whose pulses have the highest sound pressure within a much broader interval than 5–6 kHz. The first sonic group is assumed to be in greater danger in wind turbine parks as the animals belonging to this group often fly high. In September 2005, 216 bat passes were counted in three coastal areas during 485 minutes, using a Pettersson D240 detector. Five bat species were identified from these counts. It appeared that at the end of summer bats concentrated on the coast, but not everywhere. Areas where the flight activity of bats was low existed both on the coast and away from the coast. The latter places are relatively harmless to bats, and those are recommended for establishing wind turbine parks. Further detector-based bat research is needed to ascertain those areas.

Explanations to Figures 1, 3 and 4.

Fig. 1. Bats are entering the large Heligoland bird trap from the right. Four layers of parallel vertical threads, each thread 0.2 mm in diameter, represent the four frames of the frame-trap BT 7+4+3+3. Bats entering the trap get entangled in the threads and fall down into the collecting bag made of plastic. The lamp in the bush enlightens the background, thus the observer can count the approaching bats and measure the efficiency of the trap (how many of the approaching bats get caught in the trap: (Masing, 1989). Numbers in the trap name indicate distances in cm between threads in each layer, beginning from the first layer. Those distances proved most effective for catching bat species of all sizes. Smaller bats usually fly through the first layers, but get caught in the following layers.

Fig. 3. The pulses of a NB-species are relatively long (5–25 ms) on the sonogram, they start on relatively low frequency (often below 50 kHz) and are stretched out in distal part. Such pulses are relatively strong and can be heard from a heterodyne detector

from distances up to 20–100 m, depending both on the species and the chosen frequency. During flight in a relatively open habitat the pulses in a NB-species have the strongest parts on certain frequencies within the interval of 5–6 ms. These intervals are often species specific and, thus, can help to identify the species. The strongest sound pressure of the pulses shown on the figure are on 29 kHz, convincing that this particular sound belongs to *Eptesicus nilssonii*. Three pulses shown on the figure have start frequency on 34 kHz, end frequency on 26 kHz, pulse duration 12 ms, and intervals between the pulses 197 and 300 ms, which all are typical of this species flying in an open place.

Fig. 4. The pulses of a BB-species are relatively short (up to 5 ms) on the sonogram, they start on relatively high frequency (50–120 kHz), and their frequency constantly falls towards the end of the pulse. Such pulses are relatively weak, and they can be heard from a heterodyne detector from distances up to 5–30 m, depending both on the species and flight situation. BB-species produce similar pulses, which causes big troubles in identifying their species on the basis of sound alone. Seven pulses shown on the figure have start frequency between 54 and 75 kHz, end frequency between 20 and 25 kHz, pulse duration 4–5 ms, and intervals between the pulses 70–160 ms. The appearance of these pulses resembles dotted lines. Those characters indicate that the bat is flying over water surface, and that it probably belongs to *Myotis daubentonii*. Species confirmation was made visually using a strong hand-torch; the animal was indeed flying over water surface, 12 m from the riverbank in Tartu, and it resembled Daubenton's Bat.

ÜKSIKU KAHEPOSITSIOONILISELT JUHITAVA HELIOKOLLEKTORI OMADUSED

Teolan Tomson

Tallinna Tehnikaülikooli materjaliteaduse instituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn
e-post: teolan@staff.ttu.ee

Annotatsioon

Päikeseenergia paremaks omandamiseks kasutatakse päikese asendit jälgivat heliokollektorit. Käesolevas töös analüüsitakse kaks korda päevas ümber oma telje kahte erinevasse asendisse pööratava üksiku heliokollektori toodangu suurenemist (=kasu) võrreldes ühes jäigas asendis toimiva heliokollektoriga. Kasu sõltub otse- ja hajukiirguse suhtest, kollektori pöördetelje kaldenurgast ning kellaajast, olles suurim hommiku- ja õhtutundidel. Eesti tingimustes on suvesesooni arvutuslik kasu hinnatav ~10% horisontaalse teljega, ~20% 45° kaldteljega ja ~30% vertikaalteljega heliokollektori jaoks.

**PÄIKESEENERGIA, HELIOKOLLEKTOR, TOODANGU SUURENEMINE
= KASU, SUVESESOON**

Sissejuhatus

Eesti vähese ja vaid suviti kättesaadava päikeseenergia paremaks omandamiseks võib kasutada päikese asendit jälgivat heliokollektorit⁸. Madalamatel laiuskraadidel (ja kõrbepiirkondades) kasutatavad keerukad ja kallid kaheteljelised pideva toimega jälgimissüsteemid ei õigusta ennast tasapinnaliste (PV ja termiliste) kollektorite puhul, mida on suurem osa. Küll võib loota kahepositsiooniliselt juhitud tasapinnaliste kollektorite massilisele rakendamisele, sest kahepositsiooniline ajam on lihtne ja energiasäästlik. Selline eksponeerimisviis lubab kollektori poolt püütud kiirgusenergia kogust üsna märgatavalt suurendada. Energiakoguse suurenemist nimetame lühidalt kasuks (*gain*), mida interpreteerime kui kahepositsiooniliselt eksponeeritud kollektori energiatoodangu (tegelikult kogumise) suhet optimaalse fikseeritud asendiga kollektori toodangusse. Seda võib defineerida tunni, päeva, kuu või kogu sesooni kasuna.

Tunni kasu = (kallutatud kollektori toodang)/(fikseeritud kollektori toodang), kW·h/kW·h.

Päeva kasu = (kallutatud kollektori toodang kahes erinevas asendis)/(fikseeritud kollektori toodang), kW·h/kW·h.

Kuu ja sesooni kasu on defineeritud analoogiliselt päeva kasuga. Toodangu asemel võime kasu määrata ka kiiritustiheduste keskväärtuste suhtena $\text{kWm}^{-2}/\text{kWm}^{-2}$.

Kasu tuleneb:

- tööaja pikenemisest;
- keskmise kohtumisnurga vähenemisest tööaja vältel.

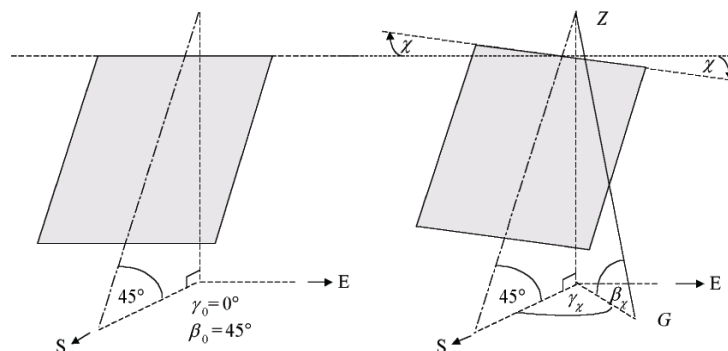
⁸ Lühiduse huvides edaspidi „kollektor“, ehkki me alati peame silmas heliokollektorit. Autori märkus.

Sellise üksiku kallutatava kollektori efektiivsuse uuringu (ETF grant 5671) tulemustele ongi käesolev kirjutis pühendatud.

Tööpõhimõte

Suurima sesoonse energiasaagisega on Eesti oludes need kohtkindlad heliokollektorid, mis on orienteeritud lõuna suunas asimuudiga $\gamma_0=0$ ja mille kaldenurk on $\beta_0=45^\circ(50^\circ)$. Olgu selline fikseeritud asendiga kollektor edaspidi võrdluse aluseks.

Suvesesooni toodangu edasine suurendamine on võimalik, kui sellist kollektorit ümber oma (kald)telje hommikupoolikul ida suunas ja õhtupoolikul lääne suunas nurga χ võrra pöörata (joonis 1). Hommikuse asendi taastamine võib toimuda suvalisel hilisõhtusel või öisel ajal. Päeval on mõistlik asendit muuta keskpäeval. Seega pikeneb otsekiirguse kohtumisnurga $\Theta_T < 70^\circ$ piirides tööaeg hommikuti ja õhtuti. Keskpäeval aga kohtumisnurk Θ_T suureneb võrreldes fikseeritud asendiga, mistõttu kahepositsiooniline kollektor kaotab lõuna paiku oma efektiivsust. Optimaalne pöördenurk χ on ilmselt selline, mille puhul lõunane efektiivsuse vähenemine ei ületa veel hommiku ja õhtu arvel teenitud efektiivsuse suurenemist. Reaalne päikesekiirgus on määratud perioodilise ja juhusliku protsessi (pilved!) koostoimel, seepärast tuleb teoreetilisel analüüsil tugineda kiirguse pikaaegsetele statistilistele andmetele (Eesti ..., 2003).



Joonis 1. Kahepositsiooniliselt ida ja lääne suunas nurga $\pm\chi$ võrra pööratav kollektor
Figure 1. Collector, deflectable at the angle $\pm\chi$ to the east and west direction

Muundatav päikeseenergia on määratud kaldpinnale langeva kogukiirgusega Q_T ja arvutatav teatmikus toodud aktinomeetriliste andmete (s , D) järgi, kui on teada selle kaldpinna asimuut γ_χ ja tema kaldenurk rõhtpinna suhtes β_χ . Pärast kollektori pöörämist ümber oma telje ei jää kollektori asimuut $\gamma_\chi \neq \gamma_0$ ega kaldenurk samaks $\beta_\chi \neq \beta_0$, mis komplitseerib arvutust. Nimelt moodustub uus pööratud pind iseendaga paralleelsetest gradientjoontest (joon ZG joonisel 1). Ainult rõhtsa ja vertikaalse teljega heliokollektori puhul on uued nurgaparaameetrid selgelt määratavad. Rõhtsa kollektori (Zomeworks ..., 2006; Track ..., 2006) pööramisel ümber horisontaalse NS pöördenurk kujunevad kaldenurgad $\beta_\chi = \pm\chi$ ning asimuudid $\gamma_\chi = -90^\circ$ hommikupoolikuti ja $\gamma_\chi = +90^\circ$ õhtupoolikuti. Meie laiuskraadil pole sellise kollektori kasutamisel mõtet. Vertikaalse, ümber vertikaalse telje pööratavate kollektorite jaoks on kaldenurk jääv, $\beta_\chi = \beta_0 = 90^\circ$, aga asimuut on $\gamma_\chi = -\chi$ hommikupoolikuti ja $\gamma_\chi = +\chi$ õhtupoolikuti.

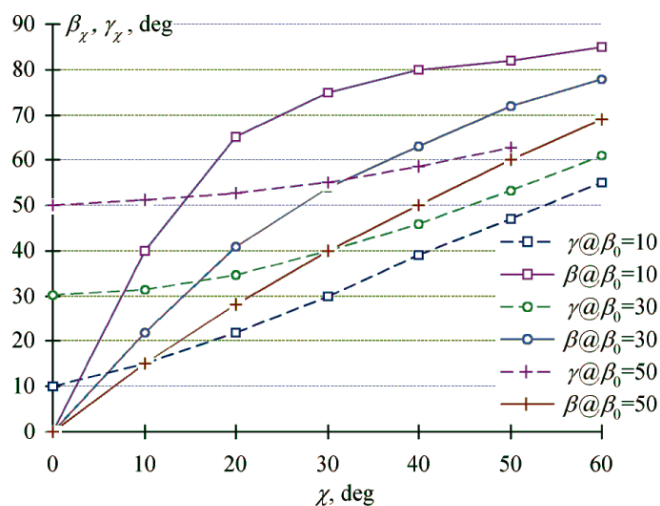
Selliste, ehitiste fassaade katvate kollektorite kasutamine meie laiuskraadil on väga mõttekas. Esitatud avaldistest nähtub, et siinjuures peetakse silmas sümmeetrilist juhtimist, mis ei ole ainuvõimalik. Kui päikesekiirguse ööpäevane diagramm ei ole keskpäeva suhtes sümmeetriline või kui algasend mingil põhjusel erineb lõunasuunalisest, siis tuleb kõne alla ka kollektori ebasümmeetriline kahepositsiooniline juhtimine. Sellist juhtumit me käesolevas artiklis ei käsitle.

Arvutustes vajalikud nurgad

Otsime seoseid optimaalse pöördenuurga avaldamiseks Eesti laiuskraadil, kusjuures suvaliseks parameetriks on kaldu kollektori algkaldenurk $\beta_0 \in \{30^\circ, 45^\circ \text{ ja } 60^\circ\}$. Vahetu analüütiline gradientjoone kaldenurga $\beta_\chi = f(\beta_0, \chi)$ leidmine on põhimõtteliselt võimalik, kuid matemaatiliselt väga keeruline ülesanne. Seda enam, et otsitavad muutujad β_χ ja γ_χ on alati seotud paariviisi ja ei avaldu trigonomeetriliste seoste abil. Ülesanne lahendati pööratava kollektori füüsilise maketi abil, mõõtes pööratud kollektori normaali projektsioonide nurgad paariti horisontaal- ja vertikaaltasapinnal iga simulatsioonimudelil kasutatava paari β_0, χ jaoks, millest otsitavad $\beta_\chi = f(\beta_0, \chi)$ ja $\gamma_\chi = f(\beta_0, \chi)$ on leitavad jooniselt 2. Joonisel on täisjoonega antud $\beta_\chi = f(\chi)$ ning punktiirjoonega $\gamma_\chi = f(\chi)$. Kõverate parve parameetriks on algkaldenurk β_0 .

Leitud analüütiline seos lubab arvutada pööratud kollektori tootlikkust $E_\chi = f(\beta_0, \chi, s, D)$. Suhe algasendi juures leitud tootlikkusega $E_0 = f(\beta_0, s, D)$ annab otsitava tootlikkuse kasvu (võimendusteguri), mida joonistel tähistame ingliskeelse sõnaga *gain* (kasu).

$$\text{gain} = E_\chi / E_0 \quad (1)$$



Joonis 2. Pööratud kollektori gradientjoone kaldenurga ja asimuudi seos muutujatega β_0 ning χ . Märkus⁹

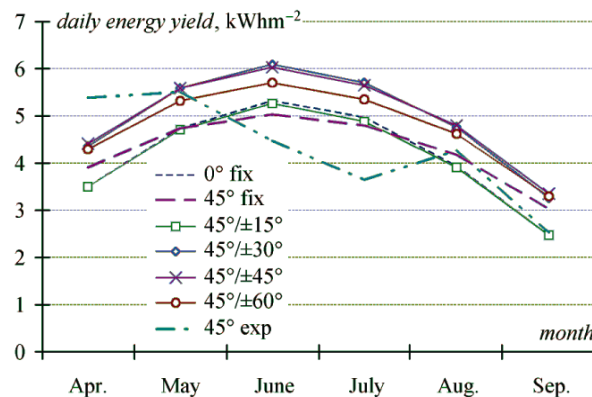
Figure 2. Gradient line of the deflected collector and the azimuth of its horizontal projection depend on the deflection angle χ and the initial tilt angle β_0

⁹ Tehnilistel põhjustel on jooniste 2–10 valmistamisel kasutatud ingliskeelset tarkvara. Autori märkus.

Nagu öeldud, võib tootlikkusi E_{χ} ja E_0 defineerida nii tunni, päeva, kuu kui sesooni kohta. Seejuures peame silmas, et simulatsioonil on tegemist tunni, päeva või kuu statistiliste andmetega. Eksperimendil saame tulemuse aga alati mingi konkreetse tunni, päeva või kuu jaoks; ka siis, kui me kasutame keskmisi andmeid üle (alati piiratud) katseaja. Seepärast ei saa arvutuslikud ja eksperimentaalsed andmed omavahel täpselt kokku langeda.

Päevane energiasaagis sesooni vältel

Et päikese rada (ja sellega ka otsese kiirguse kohtumisnurk kollektori suhtes) muutub sesooni vältel, siis ka fikseeritud (mittepööratava) kollektori keskmine päevatoodang on aja (analüüsil: jooksva kuu) funktsioon (joonis 3), sõltudes kaldenurgast $\beta_0 \in \{0^\circ, 30^\circ, 45^\circ \text{ ja } 60^\circ\}$. Kui $\beta_0 = 0^\circ$, siis on tegemist horisontaalpinna päevatoodanguga (0° fix), mis on antud võrdluseks.



Joonis 3. Käsiraamatu andmetel arvutatud ja 2004. aasta suvel tegelikult registreeritud helioenergia päevasaagis (45° exp) funktsioonina kuust

Figure 3. Theoretically calculated and experimentally recorded in 2004 daily energy yield (45° exp) as the function of the month

Telgjoonega (45° exp) on esitatud 2004. suve vältel registreeritud 45° all fikseeritud lõunasuunalise kaldpinna päevatoodang. Näeme, et see aasta on kaugel keskmisest aastast, seda iseloomustab päikeseline kevad ning pilves ja vihmane kesksuvi. Selle aasta iseärasused kajastuvad ka teistel diagrammidel.

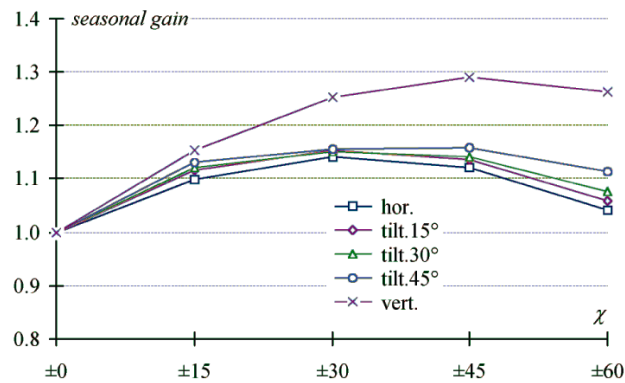
Sesooni toodang kalde- ja pöördenurga funktsioonina

Pakub huvi, millised on optimaalsed kalde- ja pöördenurgad suvesesooni maksimaalse toodangu saavutamiseks. Heino Toominga (Eesti ..., 2003) andmeil arvutatud graafik on esitatud joonisel 4.

Ülemine joon kuulub ümber vertikaaltelje pööratavale kollektorile ja me näeme, et selles asendis tagab kahepositsiooniline juhtimine suurima teoreetilise kasu. Seda omadust kinnitab ka eksperiment, ehkki looduslikul eksperimendil ei ole võimalik saada samaseid kiiritustingimusi. Eksperimendil saadud tulemused ületavad üldjuhul teoreetilist arvutust, sest keskmised kiirgusandmed on 2004. ja 2005. aasta suve tegeliku kiirgusega võrreldes tagasihoidlikud.

Päevane kasu muutumine

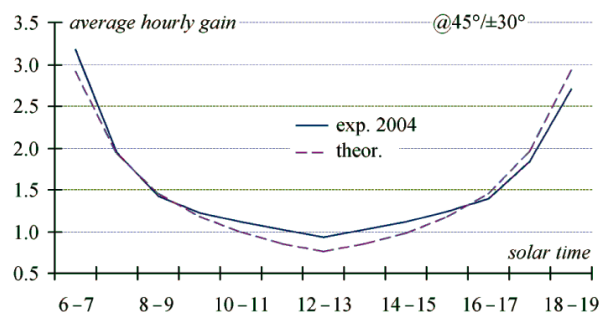
Siin on kasu defineeritud keskmise tunni kohta, kusjuures parameetrik on kuu. Joonis 5 kujutab punktiirjoonega kahepositsiooniliselt eksponeeritava kaldpinna arvutuslikku kasu Heino Toominga (Eesti ..., 2003) andmeil, mida kõrvutatakse samadel tingimustel 2004. aasta suve eksperimentaalselt leitud keskmiste andmetega.



Joonis 4. Optimaalsed pöördenurgad sõltuvalt algkaldest β_0

Figure 4. Optimal deflection angles depending on the initial tilt angle β_0

Kellaajaline sõltuvus on märgatav, kuid kuu tulemust see praktiliselt ei mõjuta, sest erinevuse ruutkeskmine hälve jääb alla 3%. Keskpäeval on kasu ootuspäraselt alla 1. Veel suurem sõltuvus kellaajast on jälgitav vertikaalpinnal. Ühest palju suurem tunnine kasu tuleneb sellest, et pööratud kollektori kohtumisnurk otsekiirgusega jääb mõõdukaks, lõunasse suunatud pinnal aga ligineb varastel ja hilistel tundidel 90° -ni ja kiirgust ei omastata enam.



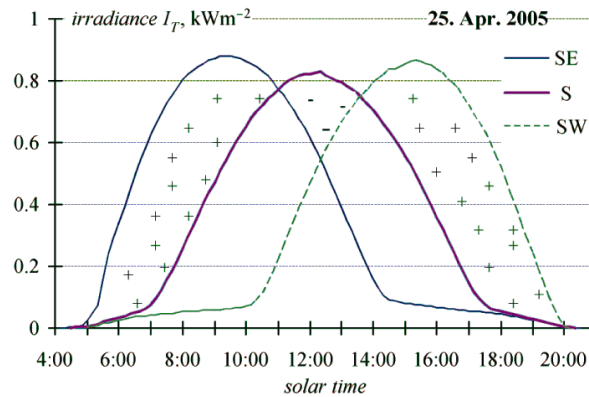
Joonis 5. Eksperimentaalne keskmine tunni kasu kaldpinnal, kui $\beta_0 = 45^\circ$, $\chi = \pm 30^\circ$

Figure 5. Experimental hourly gain on the vertical plane at $\beta_0 = 45^\circ$ and $\chi = \pm 30^\circ$

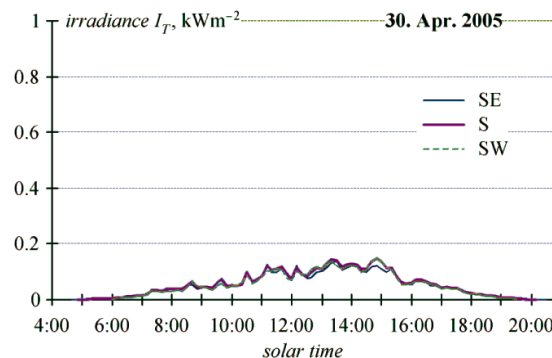
Head ja halvad päevad

Hea päev on muidugi selline, kus pilvi ei ole. Teolan Tomsoni andmetel ei ole selliseid päevi palju, aga neid esineb (Tomson, 2005). Selle näide on toodud joonisel 6. Sellel joonisel on + -ga tähistatud kiirgusenergia, mida me kollektori pööramisega võidame, ja - -ga kiirgus, mille me kollektori pööramisega kaotame. Halva päeva näide on esitatud joonisel 7.

Halval päeval pole sama kiiritustiheduse mõõtkava kasutades võimalik erinevate asimuutidega kiirgusdiagramme eristada. Mõõtmised näitavad, et sellisel puhul kahepositsiooniline eksponeerimine võitu ei anna, päevane kasu võib olla isegi alla ühe.



Joonis 6. Hea päeva kiiritustiheduse diagramm erineva asimuudiga vertikaalpindadel
 Figure 6. Diagram shows irradiance on the vertical plane with different orientation in a good day

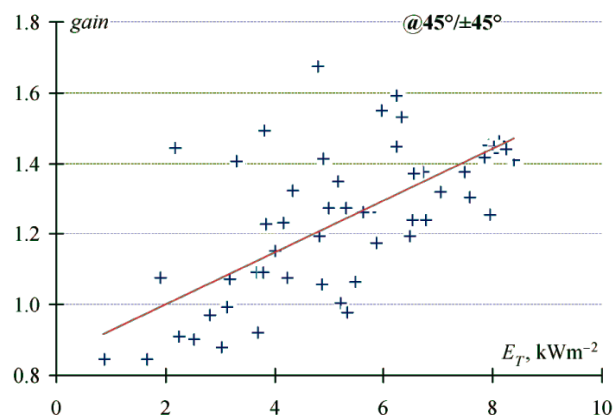


Joonis 7. Halva päeva kiiritustiheduse diagramm erineva asimuudiga vertikaalpindadel
 Figure 7. Diagram shows irradiance on the vertical plane with different orientation in a poor day

Kasu seos keskmise kiiritustihedusega

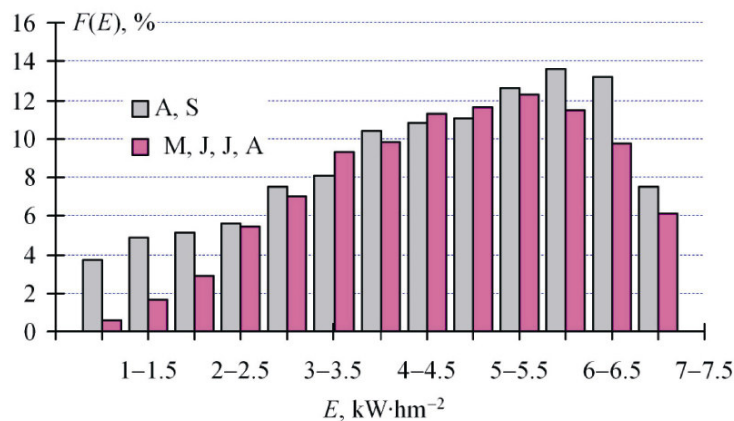
Korrelatiivne seos päevase energiatoodangu ja saavutatud päevase kasu vahel on 2005. aasta juuni-juuli andmete põhjal 45° kaldega ja $\pm 45^\circ$ pöördenurgaga kollektori jaoks esitatud joonisel 8. Analoogse diagrammi saame ka vertikaalteljega kahepositsioonilise kollektori jaoks. Kui päeva kasu on üle 1,5, siis on tegemist üldiselt pilvise päevaga, millel on selge hommik või õhtu. Sellisel puhul on otsekiirguse kohtumisnurk lõunasse suunatud kollektori jaoks juba liiga suur, küll aga töötab efektiivselt veel kõrvalepööratud kollektor.

Näeme, et mõningatel pilvistel päevadel on kollektori kallutamisel vastupidine efekt, sest kasu < 1 . Kogu kuu või sesooni energiatoodangule sellest kaotust ei ole, sest



Joonis 8. Kasu korrelatsioon päevase energiasaagisega (45° algkaldega ja $\pm 45^\circ$ pöörataval pinnal)

Figure 8. Gain is correlated with the daily energy yield (tilt angle 45° and deflection angle $\pm 45^\circ$)



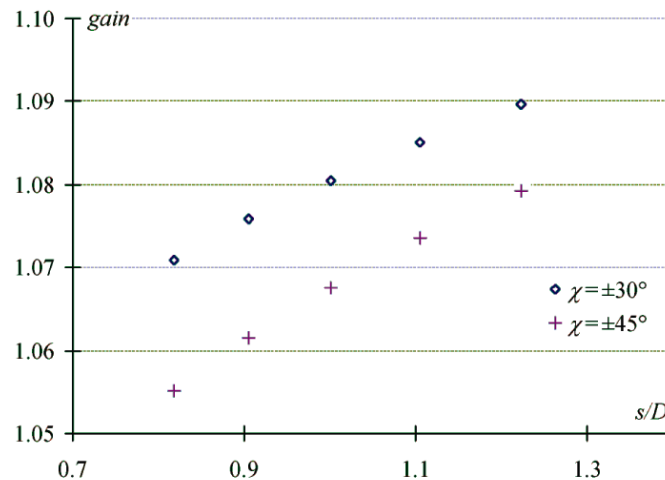
Joonis 9. Päevase energia jaotus lõunasse suunatud 45° kaldpinnal 2004. a suvel

Figure 9. Distribution diagram of the daily energy of the 45° tilted and South faced plane in the summer 2004

selliste päevade energiatoodang on tühine. Seda näeme päevatoodangu sagedusdiagrammil joonisel 10. Kui kasu inversioonitingimuseks võime lugeda päevatoodangut $1,5 \text{ kW}\cdot\text{hm}^{-2}$, siis nende päevade osakaal on aprillis ja septembris 9%, ülejäänud suvekuudel alla 3%. Histogrammil on pööratud Weibulli funktsiooni kuju, kui võrrelda seda tuulekiiruse sagedusliku jaotusega. Joonis 9 on ehk liialt optimistlik, sest 2004. a suvi oli üle keskmise päikesepaisteline.

Pakub huvi otsida sellise korrelatiivse seose põhjusi. Oletus, et kasu on seotud keskmise kiiritustiheduse tasemega, ei pea paika. Arvutisimulatsioon näitas, et kasu ei sõltu üldise kiiritustiheduse tasemest, vaid on selle suhtes invariantne. Küll aga on kasu otseses funktsionaalses seoses otse- ja hajukiirguse suhtest (joonis 10). Ka see on

simuleeritud diagramm, kus on varieeritud käsiraamatu andmeid $s'/D = \text{var}$ tingimusel $s' + D = \text{const}$.



Joonis 10. Kasu teoreetiline simuleeritud sõltuvus otsekiirguse ja hajukiirguse suhtest keskmise juunikuu andmetel, kui $\beta_0 = 45^\circ$

Figure. 10. Simulated functional dependence of the gain on the ratio of the beam and diffuse radiation in June at $\beta_0 = 45^\circ$

See omadus viitab sellele, et kahepositsiooniline kollektori juhtimine on efektiivsem väiksema hajukiirguse osatähtsusega paikades, näiteks kontinentaalse kliimaga piirkondades. Eestis tähendab see Lääne-Eesti saari ja Liivi lahe ümbrust (Eesti ..., 2003), kus on väikseim üldpilvisus.

Kokkuvõte

Tööst võib teha järgmisi järeldusi.

1. On selgitatud otstarbekad pöördenukad mitmesuguse algasendiga lõunasse suunatud kahepositsiooniliselt eksponeeritava heliokollektori jaoks.
2. Suvalise kaldega heliokollektori kahepositsiooniline eksponeerimine annab toodangu juurdekasvu mõttes märgatavat kasu – 10–30%.
3. See kasu on eriti märgatav hommiku- ja õhtutundidel, s.t kahepositsiooniliselt eksponeeritud fotoelektriliste kollektorite talitus ühildub hästi elektrilise koormusgraafikuga.
4. Saavutatud kasu on korreleeritud kiirguse tasemega ning funktsionaalses seoses otse- ja hajukiirguse suhtega.
5. Eesti oludes on heliokollektori kahepositsiooniline eksponeerimine efektiivselt vertikaalsetel (fassaadi)kollektoritel.

Uuringuid tuleb jätkata, sest töö heliofarmides, mis toob kaasa optilised piirangud, ja töö optimaalse kallutuse jaoks lõuna suunast erineva algasendi korral vajavad veel selgitamist.

Tänuavaldus

Autor tänab sihtasutust Eesti Teadusfond toetuse eest grantide 5671 ja 6563 näol.

KirjandusReferences

1. Eesti kiirguskliima teatmik (2003) Toim Tooming, H. EMHI Tallinn: 384.
2. Zomeworks Passive Energy Products. <http://www.zomeworks.com/>.
3. Tomson, T. (2005) Päikesekiirguse dünaamika. Kuuenda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 34–41.
4. Tomson, T. (2006) ETF Grandiprojekt 5671 (2004–2005). Kahepositsiooniliselt juhitud heliokollektorite efektiivsuse uuring. TTÜ materjaliteaduse instituut. Tallinn: 33.
5. Track rack passive solar tracker for photovoltaic modules. <http://www.e-marine-inc.com/products/mounts/tracker.html>.

QUALITY OF A SINGLE SOLAR COLLECTOR WITH TWO-POSITIONAL CONTROL

Teolan Tomson

Department of Materials Science of Tallinn University of Technology
e-mail: teolan@staff.ttu.ee

Abstract

Utilization of solar energy at high latitudes in the North-European area around the 60°-parallel has problems due to low actinometrical solar resource in the region, which is around 970–980 kW·hm⁻²y⁻¹. Because of that the possibilities to increase solar energy yield have to be studied. One of possibilities is tracking, but it is not economically motivated in its traditional form as high cost of complicated drive and its high energy demand does not support the most widely used flat plate (thermal and PV) collectors (FPC). Tracking possibility looks much more promising in its discrete form. In this paper we analyze the performance of the two-positional (triggered) control of flat plate collectors. Drive for triggering is simple (it's widely used to control gates and doors) and performing in pulse regime it has very low energy demand. In principal both the seasonal and daily triggering possible, but in this paper we pay our attention to the daily triggering of FPC.

Flat plate collectors perform the best being turned south $\gamma_0=0$ (in the northern hemisphere) and installed at the optimal tilt angle. The tilt angle of $\beta_0=45^\circ$ should be preferred at the latitude around 60°, which warrants the best average value of the irradiance on the tilted surface I_T . This position will be a base for comparison, made below. Daily triggering means deflecting the collector around its tilted axis twice per day under the angle $\pm\chi$. Result of that operation is two different positions of the collector, which may be characterized by new tilt angles β_χ and two new azimuths $\pm\gamma_\chi$. Irradiance on the surface in the new position I_χ has a different value. Deflecting the collector left, it looks to the east, what extends the performance period in the morning. Deflecting the collector right, it looks to the west, what extends the performance period in the evening. In both cases we lose some energy at noon due to increased incident angle.

Positive effect of the triggered performance can be best characterized by the ratio I_χ/I_T , which is considered as gain of the collector. The theoretical seasonal gain, calculated on the basis of the published average values shows the value of 1.1–1.3, depending on γ_0 and β_0 . The best gain may be achieved for the vertically installed collectors. Experimental results, obtained during the seasons 2004 and 2005 show the seasonal gain 1.2–1.4, which makes the two-positional control economically effective.

PÄIKESEKOLLEKTORI KASUTEGURI SÕLTUVUS PAIGALDAMISE SEADENURKADEST

Veli Palge

Eesti Maailikooli tehnikainstituut, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu
e-post: pvel@emu.ee

Annotatsioon

Elanikkonna jõukuse kasvuga suureneb energiavajadus olmetingimuste korraldamiseks. Päike on meile kõige võimsam energiaallikas. Artiklis käsitletakse päikesekollektorite paigaldusnurdade mõju kollektori efektiivsusele. Ühtviisi väheefektiivsed on paigaldused vertikaalseintele ja väikese kaldenurgaga katustele.

PÄIKESEKIIRGUS, PÄIKESEKOLLEKTOR, PAIGALDUSNURKAD, EFEKTIIVSUS.

Sissejuhatus

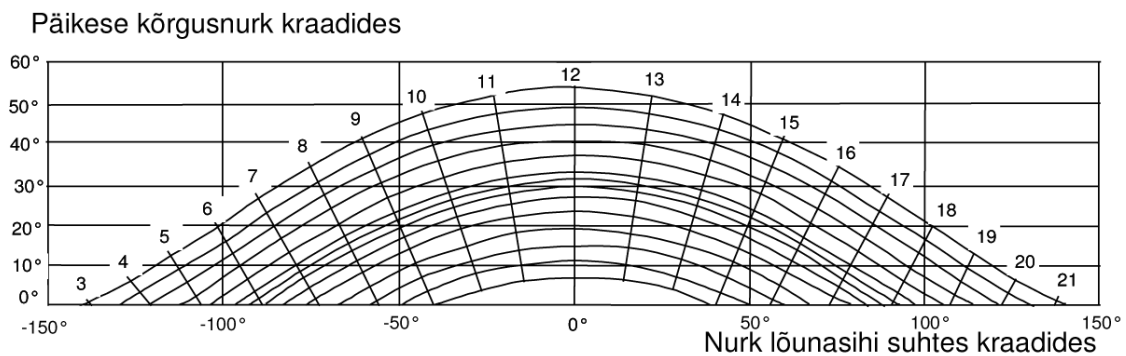
Päike on planeet Maaga seostuv kõige võimsam energiaallikas. Päikesekiirgus jaotub hajutatult üle maakera pinna ja sellest sõltub elu maa peal. Taastuvatest energiaallikatest on päikesekiirguse kõrval ka tuul inimeste jaoks oluliseks energiaallikaks. Tuule ruumilise jaotuse kontsentratsioon võib mingil konkreetsel ajahetkel olla väga suur, kuid tuule esinemine mingis konkreetses ruumpunktis madalates õhukihtides ei ole pikaajaliselt täpselt prognoositav. Päikesekiirguse muutused on tuuleprognoosidest täpsemad. Neid kahte energialiiki tuleks kasutada kombineeritult.

Inimeste elamis- ja tootmistehnoloogia baseerub kaasajal olulisel määral elektrienergial. Seetõttu on levinud tendents tegelda rohkem energialiikidega, mida on lihtsam muundada elektrienergiaks. Ometi moodustab inimkonna poolt kasutatavast energiast suurema osa soojusenergia. Kütustest saadav energia muundatakse sageli vaid elektrienergiaks, paisates soojusenergia lihtsalt õhku. Alles viimastel aastakümnetel on tõusnud päevakorda koostootmisjaamade kasutamine. Kuid sel puhul on probleem: soojal aastaajal ei osata nn madala potentsiaaliga soojusenergiaga midagi peale hakata. Samal ajal kulutatakse talvisel ajal hoonete kütmiseks ära palju kütust, ilma et sellest elektrienergiat toodetaks.

Päikeseenergiat on praeguse levinud tehnoloogia juures sobiv kasutada eelkõige soojusenergia saamiseks. Tehakse küll intensiivseid uuringuid päikeseenergia elektri muundamise valdkonnas, kuid esialgu on niisuguse elektrienergia hind fotoelementide väikese tootmismahu tõttu kõrgem kui teistel viisidel saadud elektrienergial. Tehnoloogiate majanduslikkuse hindamiseks pole alati kõige õigem hinnata neid hetkeolukorrast lähtudes, vaid perspektiivi silmas pidades. Hetkel odavaimate tehnoloogiate kasutamine võib tulevikus põhjustada suuri kulutusi või lausa katastroofe, kui arutelud inimesepoolse kliimatasakaalu rikkumise kohta on tõesed. Nendest aruteludest lähtudes tuleks teha tõsisemaid jõupingutusi päikesekiirguse kui looduse seisukohalt kõige "puhtama energia" muundamiseks nii elektri kui ka soojuseks.

Päikesekiirguse intensiivsus sõltub päikese liikumisteedest taevavõlvil ja see toimub väga kindla seaduspärasuse järgi. Joonisel 1 on näidatud Päikese näiva

teekonna trajektoorid taevavõlvil aasta erinevatel kuudel. Suvisele pööripäevale vastab kõige kõrgem kõver ja talvisele kõige madalam, keskmine tase vastab kevadisele ning sügisele pööripäevale. Numbrid sirgete juures tähistavad kohalikku päikeseaega. Meie laiuskraadidel on päikeseenergia salvestamise võimalused väikesemad kui lõunapoolsetel regioonidel. Kuid samas on meil energiaprobleemid lõunapoolsetest regioonidest suuremad. Seetõttu on paljudel juhtudel kerkinud probleem meie piirkondades päikeseenergia püüdmise ratsionaalsusest. Kõigele vaatamata langeb ka meie regioonis maapinnale päikeseenergiat märkimisväärsel hulgal, kui oskaksime seda vaid efektiivselt muundata või akumuloida. Kuni pole lahendatud energia efektiivse akumuloidmise probleem, jääb meil kahjuks päikeseenergia kasutusvõimalus piiratuks.

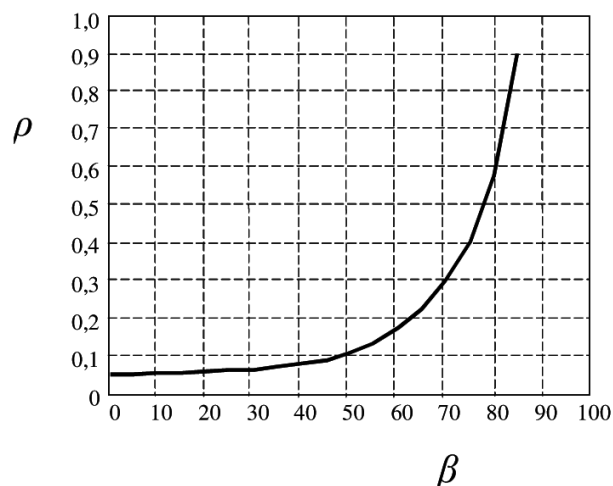


Joonis 1. Päikese näiva teekonna trajektoorid taevavõlvil aasta erinevatel kuudel
Figure 1. The apparent trajectory of the sun over the year

Energia akumuloidmisega seostuvad alati probleemid: igasugused energia kontsentreeritud paiknemiskohad omavad vale käsitlemise korral potentsiaalset ohtu. Isegi kõige ajaloolisemad puuriidad on ohtlikud, kui juhtuvad süttima või kui need süüdatakse, rääkimata vedelkütuste- ja gaasihoidlatest või kuumaal veel baseeruvatest soojusakumulaatoritest.

Päikesekollektor on ette nähtud Maale langeva päikese kiirguse muundamiseks soojuseks. Võib kasutada erinevaid kollektoreid. Neid võib ka erineval viisil paigaldada. Enamasti koosneb päikesekollektor kiirgust neelavast kehast, korpusest ja katteklasist. Kiirgust neelavast kehast voolab läbi soojuskandja, selle taga on soojusisolatsioon energiavahetuse vähendamiseks keskkonna ja kiirguse neelaja vahel. Neelaja ees olev klaas võimaldab päikese kiirgusel neelduda neelajas ning vähendab konvektiivset soojusvahetust kiirguse neelaja ja väliskeskkonna vahel.

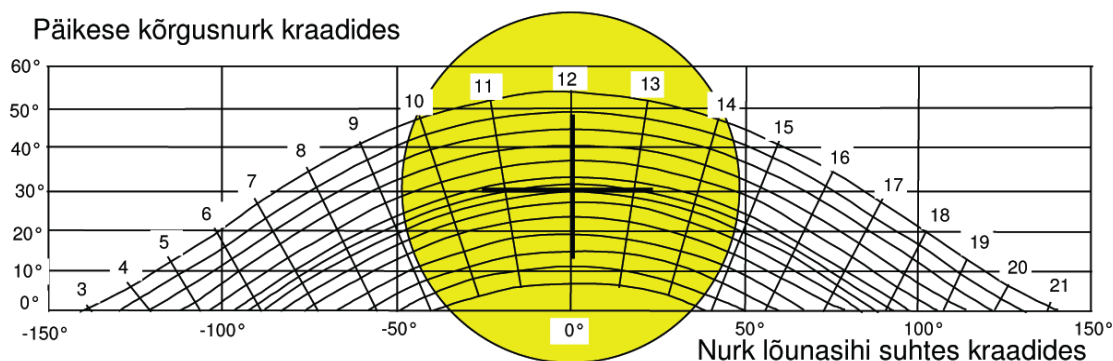
Energia neeldumine ei sõltu väliskeskkonna temperatuurist. Küll aga olenevad keskkonna temperatuurist oluliselt kaod väliskeskkonda. Energia neeldumine sõltub samuti päikese kiirte katteklasile pealelangemise nurgast, klaaskatte läbipaistvusest ja neelaja neelamistegurist. Väga oluliselt mõjutab neeldumist katteklas, mis kollektori ebasoodsa asetuse korral peegeldab suurema osa pealelangevast kiirgusest. Katteklasi peegeldusteguri ρ sõltuvus päikese kiirte ja katteklasi pinnanormaali vahelisest nurgast β on näidatud joonisel 2. Kui klaasi pinnanormaali ja kiirte vaheline nurk ületab 50 nurgakraadi, siis pinnalt peegeldumine hakkab kiiresti suurenema.



Joonis 2. Klaasi peegeldusteguri ρ sõltuvus kiirte ja klaasi pinnanormaali vahelisest nurgast β

Figure 2. The dependence of the reflection index of the glass ρ of glass surface on the angle β

Tuleb arvestada ka seda, et koos peegeldumise suurenemisega väheneb samal ajal nurga muutusest tingitud kiiritustihedus. Analüüsid näitavad, et ligikaudu võib efektiivseks kiirte langemisnurgaks lugeda kuni 45° pinnanormaalist. Sellest tuleneb, et igat klaasikihti neelava pinna ees saab tõlgendada kui 90° koonuse nurgaga lehtrit.



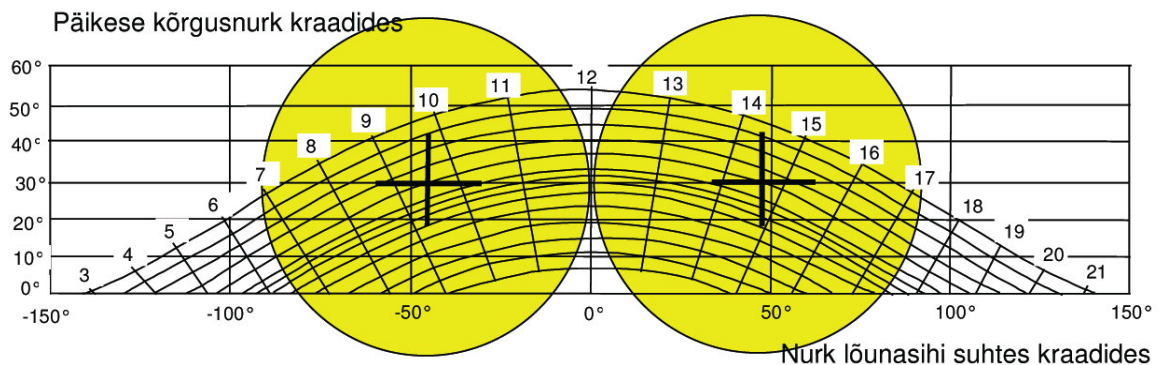
Joonis 3. Otsese kiirguse neeldumine kollektorisse, kui kollektori pinna normaal on suunatud lõunasse ja kaldenurk 30° on üle horisondi

Figure 3. The absorption of sun's radiation into the solar collector in case the normal of collector's surface is directed to the south and lies 30 degrees above the horizon

Väljaspool seda lehtrit klaaspinnale langevast kiirgusest jõuab neelava pinnani väga väike osa. Maapealse 24-tunnise ööpäeva juures muudab päike oma asimuuti keskmiselt 15° tunnis, seega kollektori optimaalse asendi korral saab kohtkindlalt paigaldatud kollektor efektiivselt töötada vaid kuni 6 tundi (vt joonis 3). Vaid selle aja kestel saavad kollektori neelavale pinnale langeda otsesed päikesekiired. Joonisel 3 on toonitud alaga näidatud kindlate paigutusnurkadega kollektori jaoks olukorrad, kui

kollektorile langev kiirgus saab tungida kattedklaasist läbi. Joonisel (vaadeldaval juhul on kollektori pinna normaal suunatud lõunasse ja kaldenurk 30° on üle horisondi) kirjeldatud paigutuse korral talvel, kevadisel ja sügisesel pööripäeval tungib kiirgus kollektorisse peaaegu 6 tunni kestel, suvisel pööripäeval vaid veidi üle 4 tunni jooksul.

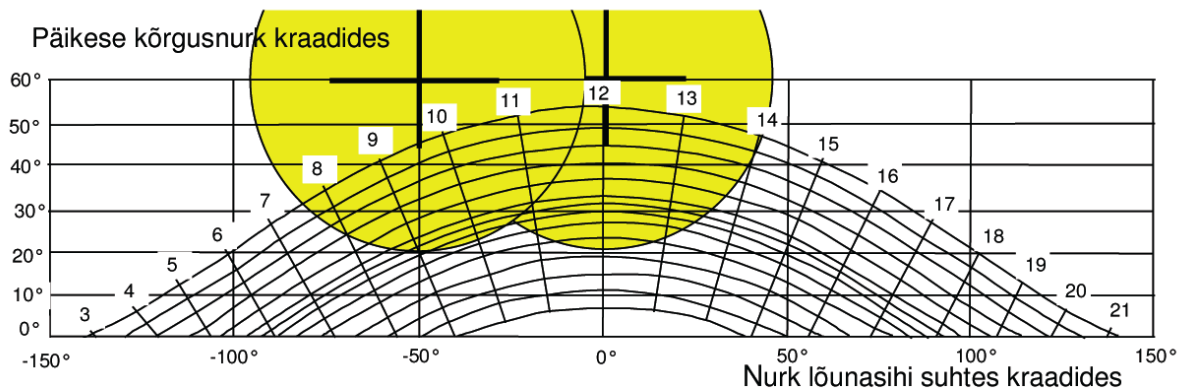
Jooniselt saab järeldada, et üks kollektor ei kasuta meie suviste pikkade päevade kiirguspotsentsiaali ära. Seetõttu tuleks kaaluda kahe kollektori paigaldamist teineteise suhtes ligikaudu 90° -kraadise nurga all, nagu on näidatud joonisel 4.



Joonis 4. Kaks erineva paigutusega kollektorit võimaldavad pikendada otsese päikesekiirguse püüdmise aega

Figure 4. Two collectors with different set-ups enable lengthen the time of solar absorption

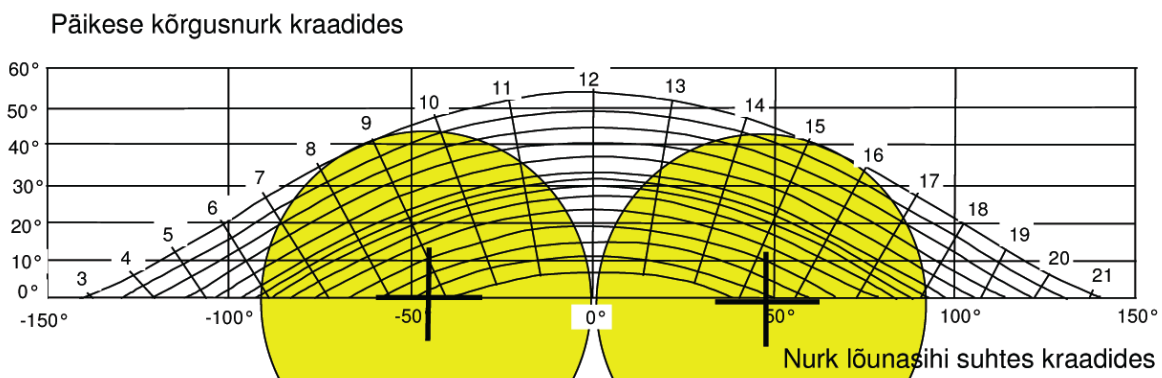
Sageli paigaldatakse kollektorid mitte kollektori ja päikese vastastikuse asendi alusel, vaid lähtudes kollektori sobivusest ehitusega. Selle tagajärjel võib kollektori efektiivsus osutuda üsna madalaks. Näiteks on joonisel 5 kirjeldatud olukorrad, kus kollektorid on monteeritud 30° -kraadise kaldega katuse pinnaga rööbiti ning kollektori pinna normaal on suunatud 50° lõunast ida poole ja teisel juhul otse lõunasse. Mõlemal juhul, tingituna kollektori pinnanormaali liiga suurest nurgast horisondi suhtes, on kollektorite kiirguse neelamise võime maksimaalsest potentsiaalst tunduvalt väiksem. Mõnikord esinevad juhud, kui kollektorid on monteeritud vertikaalse seina külge (vt joonis 6). Jooniselt selgub, et selliselt paigaldatud kollektorid kesksuvel energiat peaaegu ei neela. Päikeseliste ilmade korral oleks nende efektiivsus suurem talvel, kevadel ja sügisel. Kuid meie kliimatingimustes on sügisel ja talvel pilvituse esinemise tõenäosus suurim. Arvestada tuleb ka seda, et talvel on päikese teekond madalal horisondi kohal ning kiirte tee jääv atmosfäärikiht tavalisest oluliselt paksem. Talvises atmosfääris sisalduvad sageli ka jääkristallid. Loetletud faktorid vähendavad päikese madala asendi korral kollektorini jõudva päikesekiirguse intensiivsust. Varakevadel ja kevadel on päikeseapaisteliste ilmade esinemise tõenäosus keskmisest suurem. Seega on kollektoreid selliselt sobiv paigaldada varakevadel ja kevadel kasutamiseks.



Joonis 5. Kiirguse neeldumispirkonnad, kui kollektorid on monteeritud 30-kraadise kaldega katuse pinnaga rööbiti ning ühe kollektori pinna normaal on suunatud 50° lõunast ida poole ja teisel juhul otse lõunasse

Figure 5. Areas of absorption in case collectors are placed parallel to a roof at a 30 degrees angle, and the normal of the first collector is 50 degrees eastwards from the south and the other is directed to the south

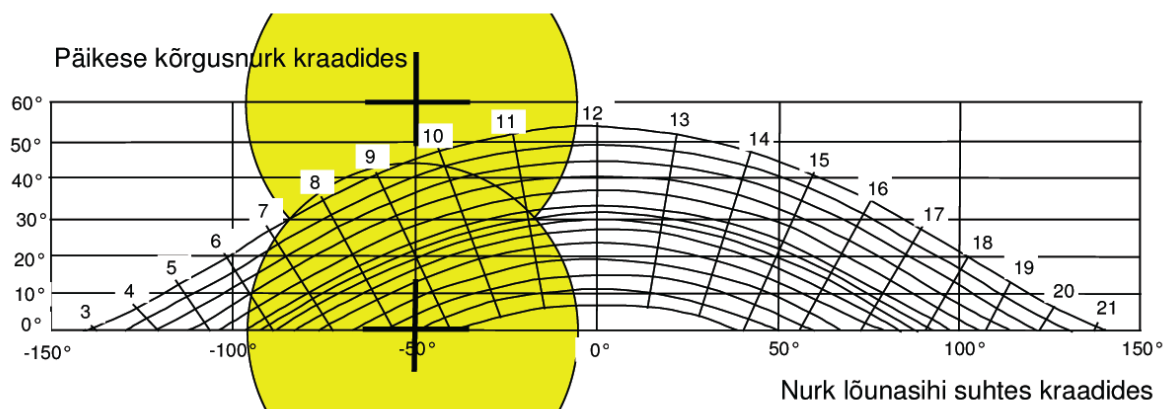
Kuigi hajuskiirguse intensiivsus on enamasti otsesest kiirgusest oluliselt väiksem, aitab see suvises intensiivse kiirguse olukorras kollektori tootlikkust sobiva paigalduse korral veidi suurendada. Vertikaalselt paigaldatud kollektoritele jääb hajuskiirguse mõju väga tühiseks, sest arvesse tuleb hajuskiirgus pärineb valdavalt kõrgel asuvalt heledalt pilvituselt. Vertikaalselt paigaldatud kollektorid aga “vaatavad” taeva alumist serva ja maapinda. Sellest suunast otsesele kiirgusele praktiliselt lisa ei tule.



Joonis 6. Kiirguse neeldumispirkonnad, kui kollektorid on monteeritud vertikaalse seina külge

Figure 6. Areas of absorption in case collectors are attached to a vertical wall

Harvadel juhtudel on kollektor paigaldatud teise klaasikihi taha. Sellega nagu väheneksid kaod väliskeskkonda. Kuid sel juhul lisandub teise klaasikihi mõju. Soodsaim juhuseks on, kui teine klaasikiht on kollektori katteklasi rööbiti. Kui aga teine klaasikiht ei ole rööbiti, siis kollektori töövõime väheneb oluliselt. Selline juhus on näidatud joonisel 7.



Joonis 7. Kiirguse neeldumispirkonnad, kui kollektor on paigaldatud vertikaalseinale teise klaasikihi taha, mis on kaldenurgaga 30°. Klaaside vastastikusest mõjust tingituna jõuab päikesekiirgus neelava pinnani vaid toonitud pindade ühisosal

Figure 7. Areas of absorption in case the collector is attached to a vertical wall behind the second layer of glass, which is at 30 degrees. Due to the impact of the roof's glass the area of absorption is the shared area of colored areas

Kui palju energiat neelavast kehast akumulaatorisse jõuab, sõltub neelava keskkonna temperatuuri ja akumulaatori temperatuuri erinevusest. Kui see temperatuuride vahe on suurem, siis neeldub akumulaatorisse rohkem energiat. Selle tõttu oleks vaja, et neelav keha omaks kõrgemat temperatuuri. Seda ühest küljest. Kuid teisest küljest, kui neelava keha temperatuur on kõrgem, siis soojuskaod välisesse keskkonda on suuremad. Neelava keskkonna temperatuur tuleks hoida optimaalsena erinevaid reguleerimisvõtteid ja -põhimõtteid kasutades.

Kokkuvõte

Eelöeldu põhjal saab väita:

- päikesekollektorite efektiivsus sõltub oluliselt nende paigaldusest;
- ühtviisi väheefektiivsed on paigaldused vertikaalseintele ja väikese kaldenurgaga katustele;
- lisaks paigalduskoha valikule oleks maksimaalse efektiivsuse saavutamiseks vaja analüüsida sooja vee kasutusrežiimi ja valida optimaalne akumulaatori maht;
- tuleks vältida kollektori paigaldamist klaasi taha, mille asend ei ole kollektori katteklasaiga rööbiti.

THE DEPENDENCE OF SOLAR COLLECTOR'S EFFICIENCY ON THE SETTLEMENT ANGLES

Veli Palge

Institute of Technology of Estonian University of Life Sciences
e-mail: pvel@emu.ee

Abstract

The Sun is the most powerful source of energy for mankind. The solar energy is the “cleanest energy” on the Earth. People may use the solar energy by using various solar collectors. In northern regions mostly the glazed flat-plate collectors are used. Their efficiency depends on the angle between rays of incident radiation and normal of glass surface because of the dependence of the reflection index of the glass of glass surface on the angle. On basis of this dependence we may identify a covering glass leaf to funnel with cone of 90 degrees. Depending on the placement of collector there are various conditions for absorbing incident radiation. The article describes and illustrates various cases with figures.

INIMKONNA AINUKE VÕIMALUS ON TAASTUVATE RESSURSSIDE KASUTAMINE

Taito Mikkonen

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

Annotatsioon

Senised konverentsid annavad vähe kasu, kui vaid üksikud osavõtjad näevad neid osana programmist minna üle jätkusuutlikule majandusele ja eluviisile. Inimkonna tulevikku hävitava ökokatastroofi peatamiseks tuleb aega viitmata rakendada abinõud fossiilsete varude kasutamise lõpetamiseks jätkusuutlikkuse eesmärgil. Tuleb lõpetada majanduskasvu taotlemine. Maakera elanikkond peab kahanema. Optimaalne elanike arv on praegusest märksa väiksem. Ainult sellisel moel on võimalik kindlustada inimkonnale elamisväärne elu veel miljardite aastate vältel.

FOSSIILSED AINED, PÕLETAMINE, MAJANDUSKASV, UUS MÕTTEVIIS

Sissejuhatus

Olen mures tuleviku pärast, mis kujuneb suuresti meie praeguste ettevõtmiste alusel. Ma olen varem osalenud nendel konverentsidel kolm korda ja iga kord olen masendunult ära läinud. Minu arvates on konverentsid kasutud, kuna enamik osalejaid ei võta konverentsi teemat osana programmist minna üle jätkusuutlikule majandusele ja eluviisile.

Kas pole kerge aru saada, et fossiilsed ained peab jätma põletamata? Teisiti on inimkonna tulevik lühike ja karm. Kuidas ma pean arvama, kumb kahest võimalusest on tõsi: kas ei teata ega saada aru või teatakse, aga siiski räägitakse ja tehakse valesti, teadmisest hoolimata? Mul on kahest ebameeldivast variandist raske valida.

Võhikute hulgas muidugi leidub ka neid, kes tõesti ei tea, aga vähemalt siin konverentsil arvan olevat hulk tarku, kes teavad. Kas teie kardate oma karjääri pärast? See kartus pole ehk asjatu, aga siiski alatu kodanikujulguse puuduse pärast ja tõe eest välja astumisest hoidumise pärast.

Inimkond vajab olulisi muudatusi

Muidugi on vaja suuri muudatusi päris olulistes põhimõtetes, aksioomides, millega on harjutud nii, et enam ei pruugita neist mõtelda ega neid märgatagi. Mõtete muudatustest tulenevad konkreetse tegelikkuse muudatused on rasked ellu viia, aga satume palju halvemasse olukorda, kui keeldume tõtt tunnistamast ehk peidame pea liivasse või tegutseme edasi, nagu riigi ja majanduse juhid praegu tahavad.

Nüüd kasutame meie loodust, seda ainukest maailma – mitte ainult inimeste, vaid ka teiste elusolendite – ühekordse kasutamise viisil. Elu ja tegevuse pidevuse võimaldab ainult aine lõputult võimalik ringlus. Enne tööstusajastut eksisteerinud atmosfääri

koostist ei tohi muuta. See on energeetika muutumatu põhiseadus. Alles sellest algavad valikuvõimalused.

Taastuvad energiaallikad ei võimalda tarbimist praeguses suuruses. Sellega peab leppima. Aga pole viga, vähemagagi saab hakkama. On ka varem saadud, mis siis nüüd! Eluviis peab muutuma vähem tarbimist vajavaks. Praegune majandus üha lisab tarbimise vajadust. See, et energiakasutus oleks väiksem kui praegu ja ei kasvaks enam, tähendab, et praegune majandus esialgu kahaneb ja jääb siis jätkusuutlikkusest nõutud tasemele. Eeskätt peab vähendama ja saab vähendada liiklust. Transport väheneb, tsentraliseerumise ja globaliseerumise asemele tuleb kohalikkus, eksporditoetus jäetakse ära, pakendit ning taarat kasutatakse korduvalt või need on taastuvatest materjalidest ja põlevad kahjutult, vabastades energia.

Energia teemast veidi kõrvale kaldudes

Ka toitaineid peab põllumajanduses toidu tootmiseks taaskasutama, muidu veekogud eutrofeeruvad, nagu Läänemerel ja Soome lahel on hästi näha. Taaskasutus on piisav, kuna kunstväetisi pole vaja.

Et toodanguvõimalused on piiratud, on piiri vaja ka tarbijate arvule. Riikide peameestel ja juhtidel on aeg lõpetada tobe kurtmine sündimuse vähesuse üle ning oma rahva kahanemise kartmine. Üldise kultuuri ja hariduse jätkumise võimaldamiseks on vaja, et rahvas saaks oma ülalpidamise mõõduka vaevaga. Selleks peab rahvaarv kahanema kiiresti: sündimus peab kahanema ajutiselt palju ning kohe, ja hiljem tõusma sedavõrd, et rahvaarv jääb püsima mõistlikule tasemele.

Tõe kartjad või sellest mööda hiilijad räägivad üldiselt süsinikdioksiidi kvootidest. Et energiakasutust tahetakse suurendada mõistusevastaselt edasi üle kvootidegi, aetakse juttu süsinikdioksiidi vedeldamisest. Selle eesmärgiks ei ole lõpetada atmosfääri kahjustamist ehk rikkumist, vaid kavas on suurte kvootide mahus jätkuvalt elutingimusi rikkuda. Rahvale räägitakse juttu vedeldamisest ega rõhutata eriti, et see jutt käib ainult kvootide ületamiseks. Kas ehk tahetakse rahvas viia eksiarvamusele ja uskuma, et kvootide mahus reostamine pole kahjulik ja lõplikku lahendust võib oodata vedeldamisest. Vedeldamine aga tõstab energia hinda ja tarbib energiat. Kui vedeldatakse kõik süsihappegaas, mis tuleb fossiilsete ainete põletamisest, kuhjuks ilmatu suured hoidlad kõrge surve all peetava vedelikuga. Kas me tahame jätta lastelastele oma prügi, radioaktiivsed jäätmed ja vedeldatud süsinikdioksiidi hoidlad hooldada ning karta? See pole lahendus.

Fossiilseid aineid põletades kulutame atmosfäärast hapnikku. Fossiilseid aineid on palju, arvatavasti nii palju, et jätkub kogu hapniku kulutamiseks. Kui oleks võimalik ja põletataks kõik, jääks atmosfääris alles ainult lämmastik ning süsinikdioksiid, aga mitte hapnik. Siis oleks hea keevitada ilma kaitsegaasita! See oli nali – siis poleks ka keevitajat. Halb nali on see rõõm ja unistus, et ilmastiku soojenedes ja Jäämere sulades on Siberi fossiilsed ained põletamiseks hõlpsamini kättesaadavad.

Millest loobuda

Aga mis on see nii tähtis ja kallis asi, millest me ei loobu siiski, kui sellest tekib ökokatastroof ehk tulevikust ilmajäämine? Sellele küsimusele pole keegi veel mulle

kostnud. Mispärast ei vasta ellujäämiseks vajalike muudatuste vastased? Kas keegi siin kohalviibijatest vastab? Ei vasta.

Siis ma katsun arvates küsitleda.

1. Kas see on autoga sõitmine? See meeldib paljudele. Kas seda lõbu ei saa asendada?
2. Kas põhjus on kartus kaotada oma positsioon muudatustes? See võib juhtuda küll, aga võib saada ka kõrgema seisu.
3. Kas kardetakse oma väärtuse langemist sissetuleku kahanedes? Kui lugupidamiseks on teisigi põhjusi, ei maksa karta, sest ka teiste sissetulek langeb, nagu peabki. Ei ole mõtet ülehinnata teiste arvamuse tähtsust enesest, vaimne iseseisvus on väärtus.
4. Kas kardetakse oma mugavuse kaotamist? Kas siis praegune kiirus, stress, võistlus, konkurss ja läbipõlemine on eriti mugav?
5. Kas majanduspoliitiline süsteem on ohus? On. Aga mille pärast praegune oleks armas ja asendamatu? Et praegune süsteem töötab ainult kasvuseisus, see ei kõlba. Aga selle saab asendada millegi teisega, mis võimaldab ebavõrdsust ning teiste inimeste riisumist. Seda just paljud tahavad. Eks ole?

Minu arvates üski neist vastustest ei kõlba, sest need on ikka väikesed asjad võrreldes ökokatastroofiga või pika tulevikuga, mis annaks inimkonnale aega areneda. Inimkonna tasandil on küsimus kiirest surmast. Aga vähemalt vananenud isiku vaatenurgast on veel tema enda jaoks aega autoga sõita ning uhkustada, teeseldes tagasihoidlikkust.

Muutused on vajalikud

Põhjuseks mitte alustada muudatusi võib olla oskuse ja julguse puudus. Muutus on pelgurile hirmus. Praegune olukord tundub turvaline, mis on osaliselt õige hoiak. Kui laudas on tulekahju, ei taha loomad välja minna. Kui siga on jõuga välja saadud, tahab ta oma hirmsas olukorras päästjate käest põgeneda ja joosta tagasi tuttavasse turvalisse lauta, mis siiski põleb. Meil, kes me peame siga rumalaks, oleks vaja suuta mõtelda targemini kui siga. Muutus on aga võimalus optimistlikule kangelasele.

Vajaliku muudatuse algatamiseks ja elluviimiseks on vaja rohkem osavust kui praeguses poliitikas osalemiseks. Turujõud ehk turumehhanismid ei tee seda muudatust, vähemalt mitte piisavalt aegsasti. Rahvas, selle määrav enamik, ei suuda seda asja selgeks arutleda ega otsustada. Rahvas ei suuda vajalikku muudatust oma esindajatelt isegi nõuda, selle teostamisest ja juhtimisest rääkimatagi. Kui oleks teisiti, olekski siin demokraatia.

Muutuse teeb raskeks ka see, et meie kultuuris on moraal ja arusaamine aust arenenud pika aja vältel ning kohanenud praeguseks palju enne tööstusrevolutsiooni. Me arvame heaks seda, millel on rahvust lisav või majandust kasvatav mõju. Me ei võta seda arvamust arutelule, see on vahest lausa DNA-s, see hindamine on aiva loomulik. Aga praeguses olukorras, kuna maailm, ka Eesti, on ülerahvustunud ja majandus ületab jätkusuutlikkuse piiri, see moraal ja instinkt juhib praegu meid ikka sügavamale ökokatastroofi ehk maailma lõppu. Vananenud moraali järgi tekitavad head inimesed heas kavatsuses halba. On raske ära unustada vanad enesestmõistetavused ja teadlikult arutleda ning otsustada uuel vajalikul moel elu ja heaolu jätkusuutlikkust võimaldava

ja ellu viiva töö ning muu tegutsemise kava üle. Raskusest hoolimata on see vältimatu. Ristiusu keeles: meil on vaja uuesti sündida. Ökokatastroofi me ei väldi, kui aksioomiks jääb majanduse ja rahvastiku kasv.

Vähe on neid, kes peavad oma sissetulekut ja varandust piisavaks. Meie kulud kasvavad kiiresti, kui on võimalus, aga me ei vaja palju, kui meil on vähe. Ka väikesest tulust kasutatakse alati osa tühja peale.

Arnold Rüütlil on õigus, netis hääletamist ei tohi võtta kasutusele. Selle üldistudes teised variandid kahanevad ja lõpuks kõrvaldatakse. Siis on hääletamiseks vaja omada Internetiühendust ning arvutit. See on sundturundus. Nii palju vabadusest.

Kindlusest. Veel praegugi võivad mõned õigustada oma muutuselaiskust või sea turvalisust, üteldes, et pole kindel, et praegune areng viibki ökokatastroofini. Minu arust on see piisavalt kindel. Ma ei saa aru, kuidas selles saab keegi veel ausalt kahelda. Õieti polegi vaja olla kindel, et tekib ökokatastroof, kindel peab olema, vastupidi, see, et seda ei teki. Maailma lõpp tuleb kunagi nagunii. Ent see ei kõlba põhjuseks mitte katsuda selleni hästi elada. Maailmalõppu pole vaja nii väga tõhusalt kiirustada, sest teisiti saab aega olla vahest miljardeid aastaid – palju rohkem kui senise elu kestus.

Tulevik on kogu tegevuse mõttekuse või tähenduslikkuse eeldus. Kogu tegevus toimub tuleviku, omaenda või järeltulijate heaks, tuleviku kindlustamiseks ja parandamiseks. Kui pikka tulevikku teil on selleks vaja? Meie eluaeg, rahandusaasta? Või aitab kvartalist?

Kes põlgab ökoloogilisi realiteete tõsiselt võtjaid maailma lõpu tulekuga hirmutajateks nimetades, eksib. **Maailma lõpp pole tulemas, see on käimas.**

Praegu pole taastuvatele energiaallikatele turgu. Muidugi pole need hästi ostetavad, sest odavaid elu rikkuvaid kütuseid tohib müüa, osta ja kasutada. See ongi paljudele mitte välja öeldud eeltingimus mitte loobuda hukatuslikkudest energiatest seni, kuni fossiilseid kütuseid ei saa alternatiividega täielikult ning kasvavalt asendada odava hinnaga. See tingimus on lihtsalt hull, öelgu selle välja kas või Georg W. Bush.

Kokkuvõte

Enam ei ole aega vaielda, kas tuumajõud või põlevkivi. Energeetika probleemiks pole ainult energia kättesaadavus ja hind, vaid lisaks keskkonnakaitsele terve maailma elutingimuste säilitamine. Lahendused nõuavad muudatusi mõtlemise alustes ning mõjutavad meie eluviisi, poliitikat ja moraali – ühe sõnaga tervikut. Õnnestunud lahenduse kiirusest sõltub inimkonna tulevik ja kahjuks ka paljude teiste liikide säilimine.

MAN'S ONLY CHANCE IS THE USAGE OF RENEWABLE RESOURCES

Taito Mikkonen

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

Abstract

Don't ask any more if we will have to use nuclear power or burn fossils. Don't worry what we will burn when all fossils will be already used, because then the game is already over. By then all oxygen will be used in burning, and there will be too much carbon dioxide and nitrogen in the air. Then there will be no more people.

Think and stop lying.

If we want to have a future, we must cease to use oil and leave it under the earth, and stop using other fossil burning materials.

You know that the end of the world is not coming, but already happening. Stop it, save the life of humans, animals and flora.

Don't think that the economy must increase and alternative (renewable) energy must constitute as much energy that is being used now. It is impossible. Production is already excessive to continue for long. Neither is nuclear power the solution for future or for majority of total energy usage.

As for the moment there are too many people for good living with regenerative energy. See fairly that there are too many people in your own country, and not only in the other countries. It is better to have less people for a long time than many people for a short time and then gone.

Without destructive energy it is possible to grow as much food as now, but then we must use the same nutrients every time of growing.

We must be ready for many big changes in our thinking, morale, policy, respect, and habits. And then human life may be possible for subsequent billions of years of evolution. It could be fine!

SUUNDUMUSI TAASTUV- JA FOSSIILKÜTUSTE KOOSGAASISTAMISEL

Rein Veski

Turbateabe OÜ, Sõpruse pst 233–48, 13420 Tallinn
e-post: rein.veski@mail.ee

Annotatsioon

Käesolevas ülevaates vaadeldakse üht tahkete taastuvkütuste koostöötlemise võimalust fossiilkütuste ja/või fossiilsest toormest pärit põlevjäätmetega – täpsemalt nende koosgaasistamist. Alates 1995. aastast on fossiilkütustega koos gaasistatud tahkeid munitsipaaljäätmeid, sh paberi- ja toidujäätmeid, kuivatatud reoveemuda, energiakultuure, sh vitshirssi, õle- ning siidpöörise pelleteid, saastatud puitu, bagassi, sorteeritud plasti jm. Fossiilkütustest on kasutatud peamiselt kivisütt, kuid põlevkivi kasutamise kohta kirjanduseviiteid ei leitud. Samas aga saab alljärgnevast võtta eeskuju ka põlevkivi koosgaasistamiseks Eestis levinumate taastuvkütustega.

GAASISTAMINE, TAASTUV- JA FOSSIILKÜTUSED, ÜLEVAADE

Sissejuhatus

Viimasel ajal on Eestis hakatud üha rohkem rääkima ja kirjutama (näiteks, Link ja Kask, 2004; Gavrilova jt, 2005) vajadusest taasarendada omamaist gaasitööstust, k.a põlevkivil põhinevat, kuid seekord sünteesgaasi tootmiseks. Põlevkivi uueks kasutus- tehnoloogiaks soovitatakse näiteks „puhta söe” (*Clean Coal*) keskkonnasõbraliku süngaasi tehnoloogiat (Gavrilova jt, 2006). Lisame siia juurde, et juba enam kui kümme aastat tagasi kavandati Euroopa Liidus koosgaasistamise alaseid uuringuid ja arendustöid, mille kohta saame teavet Euroopa Komisjoni ajaliselt dateerimata ülevaates (European ..., ~2000). Selles leiame ka viiteid teistele aruannetele, k.a ametkondlikele (Exelby ja Davison, 1994; Kelsall ja Laughlin, 1995), milles juhinduti koosgaasistamisel *Clean Coal*'i põhiideedest.

Eestis kasutati aastatel 1946–1958 kamberahjudes 55 840 000 t põlevkivi majapidamisgaasi tootmiseks. See kogus moodustas aastatel 1921–2002 kasutatud põlevkivist üle 30% (Veski, 2005). Perioodilise töötsükliga kamberahjudes toodeti sisuliselt koksigaasi, mille kütteväärtus oli märksa suurem utte generaatoritest saadavast poolkoksistamise jääkgaasist. Nende tehnoloogiate suurimaks puuduseks on jäätmed. Nii väljati vaadeldud ajavahemikus tehnoloogilistest seadmetest kokku (kuiva peale arvestatuna) väga suure jääkenergiasisaldusega jäätmeid (110,1 mln t, 435,6 PJ), sh 74,9 mln t (232,6 PJ) poolkoksi ja 35,2 mln t (204,0 PJ) koksi (Veski, 2005). Klassikalisel gaasistamisel lisatakse kütusele reagendina õhku, hapnikku või veeauru, mille toimel peaaegu kogu kütuse orgaaniline aine gaasistub. Seega ei teki klassikalisel gaasistamisel orgaanilise aine poolest rikkaid jääke, olgu siis tegu näiteks põlevkivi või puiduga.

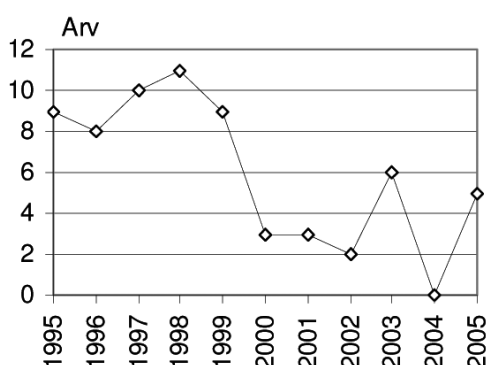
Eestis on gaasistatud nii põlevkivi, turvast kui puitu, kuid koos pole neid gaasistatud. Põlevkivi oleks soovitatav gaasistada koos taastuvkütustega, et saada nii maksusoodus-

tusi tekkiva gaasi kasutamisel, kuid, mis veelgi olulisem, vähendada fossiilkütuse kahjulikku mõju keskkonnale. Puidu lisamine põlevkivile tähendaks samas veel varustuskindluse tõusu, sest väheneks vajadus importida maagaasi.

Antud töö eesmärk oli selgitada, mis toimub koosgaasistamise valdkonnas maailmas: millal hakati kütuste koosgaasistamise võimalusi uurima ja tehnoloogiat arendama ning kuivõrd ollakse sellest huvitatud viimasel ajal, kes on selle tehnoloogia peamised arendajad ja kui kaugele ollakse jõutud juurutamisel. Töös tuntakse huvi taastuv- ja fossiilkütuste koosmõju, s.o sünergiailmingute, ennekõike selliste vastu, mis võivad anda koosgaasistamisel suurema gaasi saagise või parema koostise võrreldes aditiivsega. Samas ei vaadelda käesolevas ülevaates kütuste või jäätmete eraldi gaasistamist, et vähegi põhjalikumalt käsitleda segude gaasistamise teemat. Selline lähenemisviis võimaldas hõlmata ülevaates peaaegu kõiki seni antud teema kohta avaldatud töid. Neist suur osa on avaldatud väikese leviga publikatsioonides, kuid olid kättesaadavad referaatide või originaalartiklite kaudu, neist suur osa SciFindleri vahendusel. Otsingul kasutati märksõna „koosgaasistamine“ või sellega lähedasi teisi märksõnu. Neid otsiti nii pealkirjadest, sisukokkuvõtetest kui tekstist. Saadud tulem osutus piisavalt ülevaatlikuks järelduste tegemiseks.

Tulemused ja arutelu

Esimesed tööd vaadeldava teema kohta ilmusid kirjanduse andmebaaside järgi 1990. aastate keskel, täpsemalt 1995. aastal. Nende arv oli peaaegu ühtlaselt suur kuni sama kümnendi lõpuni (joonis 1). Hiljem esines aastaid, kus ilmus vaid üksikuid publikatsioone. Samas aga ei ole huvi kütuste eraldi gaasistamise vastu näidanud raugemise märke. Kokku ilmus aastatel 1995–2005 koosgaasistamise kohta 66 publikatsiooni. Publikatsioonide kuhjumine 1990. aastate teisele poolele oli seotud Euroopa Komisjoni DG XII soovitud APAS söe, biomassi ja jäätmete koosgaasistamise programmiga aastatest 1992–1994 (European ..., ~2000).

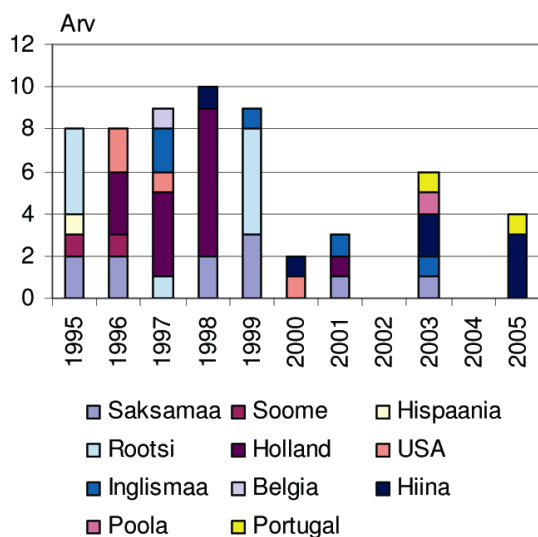


Joonis 1. Taastuvkütuste, jäätmete ja fossiilkütuste koosgaasistamise kohta ilmunud publikatsioonide arv

Figure 1. The number of publications on co-gasification of renewable fuels, wastes and fossil fuels

Enamik uurimistöid tehti Hollandis (15 publikatsiooni), Saksamaal (11) ja Rootsis (10), teised riigid järjestuksid autorite elukoha järgi järgmiselt: Hiina (7), Inglismaa (5), USA (4), Soome ja Portugal (2), Poola, Belgia ning Hispaania (1). Esitatud arvud käivad nende tööde kohta, mille puhul teostajamaa oli tuvastatav, neid oli kokku 59 (joonis 2).

Alles hiljuti avaldati arvamust, et kuigi leidub töid taastuvkütuste ja teiste tahkete põlevmaterjalide koosgaasistamise kohta, on vähe neid, kus teiseks komponendiks on protsessi enam tasakaalustav ning varumise seisukohalt sesoonsetest mõjudest vaba kivisüsi (Pinto, jt 2003). Samas aga on just valdavalt tööd, kus teiseks komponendiks on kivisüsi (35 publikatsiooni), kuid põlevkivi pole leitud publikatsioonides mainitud mitte ühtegi korda.



Joonis 2. Riigid, kus on uuritud taastuv- ja fossiilkütuste koosgaasistamist, ning ilmunud publikatsioonide arv

Figure 2. States that have investigated co-gasification of renewable and fossil fuels and number of publications

Teemat käsitlevate artiklite sisukokkuvõtete ja publikatsioonide põgusal analüüsil selgus, et koosgaasistama hakati üheaegselt nii labori- kui tööstuslikel seadmetel. Näiteks gaasistasid Kölni Ülikooli teadlased pruunsütt koos plasti, paberi ja toidu- jätmete või reoveemudaga seadmes võimsusega 700 t ööpäevas (Schiffer ja Adlhoch, 1995), või puidujätmete lisamisega (kuni 50%) kivisütt Enviropower 18 MW_s katsetehases Soomes (Kurkela jt, 1995). Algperioodi laboriuurimisest toome näiteks töö kivisöe ja männihakke koosgaasistamist vahemikus 110–900 °C. Kataloonia ülikooli teadlased leidsid algul, et lähtematerjalide koosmõju ei esine (Pan jt, 1996), hiljem aga selgus, et paremate tulemuste saavutamiseks oli vaja tõsta hakke osatähtsus 20%-ni või jätmesöe oma 40%-ni (Pan jt, 2000). Samal aastal tegid rootsi teadlased koosgaasistamise eelkatseid keevkihtseadmes (H 600 ja Ø 144 mm, lisati N₂ ning O₂ segu) rõhu all 1%-se koore lisandiga kasepuidu ja Poola kivisöega, saavutades tugeva sünergia (Chen jt, 1995). Samade lähtematerjalide gaasistamisel autoklaavis tuvastasid Londoni Kuningliku Ülikooli töötajad vaid puidu mineraalosa katalüüsivat toimet (Collot jt, 1999), Iowa Riikliku Ülikooli teadlased aga vitshirsi või tema tuhas olevate kaaliumisoolade katalüüsivat toimet: kivisöekoksi gaasistamiskiirus kasvas kuni kaheksa korda (Brown jt, 2000). Eriti palju on leelismetalle mustas leelises, mistõttu soovivad hiina teadlased seda gaasistada koos kivisöega (Liao jt, 2000). Rootsi teadlased uurisid päiderohu, siidpöörise ja paju ning bituminoosse kivisöe koosgaasistamist keevkihtseadmes rõhu all (900 °C, 0,4 MPa). Ka seekord tuvastati sünergia, mis väljendus väiksemas õli saagises, väiksem oli õlis ka raskõli osatähtsus, samas kui benseeni suhe summaarsesse õlisse suurenes (Yu jt, 1999). Õli teket

õnnestus pärssida dolomiidi kasutamisega keevkihis bagassi ja kivisöe koosgaasistamisel (Andre jt, 2005).

Mudelite koostamiseni jõuti teatava nihkega. Universaalseim neist oli Florida Ülikooli teadlaste oma, millesse on haaratud kütused alates biomassist, turbast ja ligniidist, lõpetades antratsiidiga, mis sobib koosgaasistamisel, -põletamisel ning -vedeldamisel (Green ja Sankar, 2002). Cambridge'i Ülikooli mudel näitas biomassi nagu reoveemuda gaasistamise otstarbekust madalakvaliteedilise kivisöega (Scott jt, 2003). Hiinlaste mudel hõlmas vaid saepuru ja polüetüleenini ning selle kohaselt soodustas temperatuuri tõus H_2 ja CH_4 teket. Lisaks selgus ka lähtekomponentide vastastikune toime (Dong jt, 2003).

Ühest Soome VTT töötaja ülevaateartiklist selgub Euroopa Liidu (äriotstarbelise) APAS Clean Coal Technology koosgaasistamise programmi olemasolu aastateks 1993–1994 (Kurkela, 1996). Siit ka järgnevatel aastatel publikatsioonirohkus. Programm koostati veel õle- ja siidpöörise pelletite ning söe rõhu all keevkihis koosgaasistamiseks aastatel 1996–1998, mis oli suunatud sünergia väljaselgitamisele (Andries ja Hein, 1996). Töö toimus algselt Euroopa Liidu JOULE projekti esimese järgu kohaselt 1,5 MW_s seadmes, selles osales Delfti Tehnikaülikool (De Jong jt, 1997). Groningeni Ülikoolis oli rõhuasetus JOULE ja AIR programmi töödes eriti väikeste liikumatu kihiga biomassi ning kivisöe koosgaasistamisseadmete väljatöötamisele, mis võimaldaksid toota koos elektri- ja soojusenergiat (Beenackers ja Maniatis, 1997).

Eesti otsustajatele peaks huvi pakkuma ka asjaolu, et osa koosgaasistamise artikleid on avaldanud äriühingud. Toome näiteks ülevaate kivisöe osatähtsuse vähendamisest biomassist või reoveemuda sisalduse suurendamisest abil ettevõttes *General CRE Group*, (Suurbritannia) (Minchener, 1997). Üks Saksa firma töötas välja tööstusliku meetodi sünteesgaasi saamiseks kivisöest ja reostatud puidust või reoveesetest, plastijäätmetest jm (Obermeier, 2001). Hollandi uurimisfondid toetasid töid elektrienergia tootmiseks biomassist (täpsemalt pajust) IGCC protsessi (hapniku sissepuhumine) abil. Võrreldi kolme kontseptsiooni:

- 1) eraldi toitesüsteemid kuivale biomassile ja söele,
- 2) kuivast biomassist saadud söe/kivisöe ühildatud toitesüsteem,
- 3) rööpne biomassist eeltötlus/gaasistamine, millele järgneb ühine gaasipuhastus ja elektrienergia tootmine (Van Ree jt, 1998).

Sünteesgaasi saamist söest ja taastuvkütustest uuriti 253 MW_e kombitsükliga jõujaamas (Lange jt, 2001). Winkleri (HTW) kõrgtemperatuurilisel protsessil rajaneva *Uhde-PreCon process*'i abil gaasistati (täpsemalt HTW gaasistamine õhu või O_2 /auru seguga, gaasi puhastamine ja kasutamine mootoris või turbiinis, kui lisatakse pruunsöele 25–50% jäätmeid ning reoveemuda), pilootseadmel 30 t/h ja koosgaasistamise tehases *Krupp Uhde GmbH* (Deutsch jt, 1999). Portugali firma INETI-DEECA täheldas oma artiklis plasti soodsat mõju männijäätmete gaasistamisel (Pinto jt, 2002).

Biomassi ja söe rõhu all hapnikutoitega koosgaasistamine metanooli saamiseks oli Poola Söekeemia Instituudi töötajate eesmärk (Chmielniak ja Sciazko, 2003). Kui tavaliselt gaasistatakse kas tahke- või vedelkütust, siis hiina teadlased avaldasid rea

artikleid kivisöe gaasistamisest koos loodusliku gaasiga sünteesgaasiks H₂/CO (Song ja Guo, 2005). Võib oletada, et prügilga- või muu biogaas on sobiv asendaja maa-gaasile.

Eespool lisasime vihjeid töid teostanud asutuste kohta, neid leiti ühtekokku 27 (tabel 1). Selleks, et neid käsiraamatutest või Internetist tõhusamalt leida, säilitasime, kus oli võimalik, asutuste originaalnime.

Tabel 1. Koosgaasistamisega tegelevad asutused
Table 1. Enterprises connected with co-gasification

British Coal: Coal Technology Development Division (CTDD), Cheltenham, UK
CRE Group Ltd., Cheltenham, UK
Delft University Technology: Department Mechanical Engineering Marine Technology, Laboratory for Thermal Power Engineering, Delft, Neth.
Edificio J, Estrada do Paco do Lumiar
GKT Krupp Koppiers GmbH, Essen, Germany
Groningen University: Department of Chemical Engineering, Groningen, Neth.
INETI-DEECA, Lisbon, Port.
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Forschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe, Germany
Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany
Institute for Chemical Processing of Coal, Zabrze, Pol.
Institute of Coal Chemistry: State Key Laboratory of Coal Conversion, Chinese Academy of Sciences, Taiyuan, Peop. Rep. China
Institute of Energy Process- and Chemical Engineering, Technical Mining University Academy Freiberg, Germany
Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing, Peop. Rep. China
Iowa State University: Ames Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Ames, IA, USA
Krupp Uhde G.m.b.H., Dortmund, Germany
Netherlands Energy Research Foundation ECN, Petten 1755 ZG, Neth
Rheinbraun AG, Cologne, Germany
Royal Institute of Technology: Department of Chemical Engineering and Technology, Chemical Technology, Stockholm, Sweden
Sekundärrohstoff-Verwertungszentrum Schwarze Pumpe GmbH, Germany
Southeast University: Thermal Energy Engineering Research Institute, Department of Power Engineering, Nanjing, Peop. Rep. China
Tsinghua University: Department of Thermal Engineering, Beijing, Peop. Rep. China
Universitat Politècnica de Catalunya ETSEIB: Department of Chemical Engineering, Barcelona, Spain
Universite Libre de Bruxelles: Faculte des Sciences Appliquees, Service de Chimie Generale et Carbochimie, Brussels, Belg.
University of Cambridge: Department of Chemical Engineering, Cambridge, UK
University of Florida: Clean Combustion Technology Laboratory and the Department of Mechanical Engineering, Gainesville, FL, USA
University of London: Department of Chemical Engineering and Chemical Technology, Imperial College, London, UK
VTT Energy: Gasification and Advanced Combustion Group, Espoo, Finland

Käesolev ülevaade näitab, et juurutamisraskused pole olnud kütuste koosgaasistamisel olulised. Ilmselt on koosgaasistamise tehnoloogia areng majanduslikest stiimulitest, poliitilistest otsustest ja ka sellest, kas segude gaasistamisel esineb sünergia soovitud suunas. Osa töödes väideti, et segude koosgaasistamisel sünergia puudub, enamikus, kus seda küsimust käsitleti, leiti, et see on olemas. Kahtlemata on odavam selgitada sünergia olemasolu labori- ja katseseadmetel. Kuid kui eesmärgiks on taastuvkütuste kasutamise suurendamine, mida nõuavad Euroopa Liidu direktiivid, siis on põhjust alustada töid vajadusel ka pooltööstuslikus mastaabis, kui selleks leidub sobivaid seadmeid. See aga nõuaks seni avaldatud uurimistöödega põhjalikumalt tutvumist ja tööalaste sidemete sõlmimist nende tööde autoritega. Tabeli andmete kasutamine peaks selle hõlpsamaks tegema.

Siit ülevaatest võis ehk isegi ekslikult järeldada, et põlevkivi pole õige kütus taastuvkütustele lisamiseks, sest siiani pole seda veel keegi teinud. Samas aga on selge, et see on ülemaailmset mastaapi arvestades, vaid aja küsimus. Kuni viimase ajani puudusid näiteks ka tööd põlevkivi ja tahkekütuste koosvedeldamise kohta. Käesolevas kogumikus leiate artikli kukersiitpõlevkivi ja männi saepuru koosvedeldamisest ning viiteid põlevkivi koosvedeldamise kohta teiste kütuste ja jäätmetega. Viidatud tööst selgub, et põlevkivi ja puidu koosvedeldamisel saadi nii suurem õli saagis kui erineva koostisega õli võrreldes aditiivsega.

Ühtlasi avaldan lootust, et käesolev ülevaade teeb nii teadlastele kui praktikutele hõlpsamaks otsuste tegemise antud suuna arendamise vajalikkuse/mittevajalikkuse kohta.

Kokkuvõtteks

Eestis on tõusnud taas huvi gaasi saamise vastu põlevkivist, seekord enam mitte koksigaasi, vaid sünteesgaasi tootmise vastu. Mujal maailmas töötatakse alates 1990. aastatest välja kivisöe, biomassi ja jäätmete koosgaasistamise tehnoloogiaid. Põlevkivi pole seni biomassi või jäätmetega koos gaasistatud. Kas see on otstarbekas, saab välja selgitada katsete abil. Põhjendatuks osutuks põlevkivi ja biomassi või jäätmete koosgaasistamine vaid siis, kui see annaks aditiivsega võrreldes kas suurema gaasi saagise, sünteesiks sobivama gaasi koostise või gaas sisaldaks vähem õli, mille eraldamine sünteesgaasist on vajalik, kuid keeruline. Sünergiat täheldati kivisöe ja biomassi koosgaasistamisel ning see esines põlevkivi ja puidu koosvedeldamisel (Veski jt, 2006), mis lubab eeldada, et ka põlevkivi võib osutada sobivaks koosgaasistamise komponendiks. Biomassi lisamine muudaks põlevkivitööstuse osaliselt taastuvkütusel põhinevaks, muutes selle loodussäästlikumaks ja vähendades samas ettevõtte saastetasusid.

Tänuavaldus

Autor tänab Sihtasutust Eesti Teadusfond töö toetamise eest grandiga 5360.

Kirjandus **References**

1. Andre, R. N., Pinto, F., Franco, C., Dias, M., Gulyurtlu, I., Matos, M. A. A., Cabrita, I. (2005) Fluidised bed co-gasification of coal and olive oil industry wastes, INETI-DEECA, 22, Lisbon. Port. Fuel 84(12–13): 1635–1644.

2. Andries, J., Hein, K. R. G (1996) Co-gasification of biomass and coal in a pressurized fluidized bed gasifier. Editor Chartier, P. Biomass for Energy and the Environment. Proceedings of the European Bioenergy Conference, 9th, Copenhagen, June 24–27, 2: 1306–1311.
3. Beenackers, A. A. C. M., Maniatis, K. (1997) Gasification technologies for heat and power from biomass. Editors Kaltschmitt, M., Bridgwater, A. V. Biomass Gasification and Pyrolysis: State of the Art and Future Prospects [Conference] Stuttgart, Apr. 9–11, 1997: 24–52.
4. Brown, R. C., Liu, Q., Norton, G. (2000) Catalytic effects observed during the co-gasification of coal and switchgrass. Biomass and Bioenergy 18(6): 499–506.
5. Chen, G., Sjöström, K., Bjornbom, E., Brage, C., Rosen, C., Yu, Q. (1995) Co-gasification of biomass and coal in a pressurized fluidized bed reactor. Editors Chartier, P., Beenackers, A. A. C. M., Grassi, G. (1994) Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry. Proceedings of the European Biomass Conference, 8th: Oct. 3–5, 1994. Vienna: Vol. 3: 1830–1835.
6. Chmielniak, T., Sciazko, M. (2003) Co-gasification of biomass and coal for methanol synthesis. Applied Energy 74(3–4): 393–403.
7. Collot, A.-G., Zhuo, Y., Dugwell, D. R., Kandiyoti, R. (1999) Co-pyrolysis and co-gasification of coal and biomass in bench-scale fixedbed and fluidised bed reactors. Fuel 78(6): 667–679.
8. De Jong, W., Andries, J., Hein, K. R. G. (1997) Co-gasification of biomass and biomass-coal mixtures in a bubbling pressurized fluidized bed reactor using air and steam. Editors Overend, R. P., Chornet, E. Making a Business from Biomass in Energy, Environment, Chemicals, Fibers and Materials, Proceedings of the Biomass Conference of the Americas, 3rd. Aug. 24–29, 1997. Montreal: 1: 559–570.
9. De Lange, T. J., Beeldman, M., Kiel, J. H. A., den Uil, H., Veenkamp, J. M. (2001) Co-production of fuels as an option for Demkolec. A preliminary review of opportunities for the co-production of liquid or gaseous energy carriers. ECN-C-01-004, 1–69 ECN-C [Rep.]: 69.
10. Deutsch, M., Klein, J., Luetge, C., Mittelstaedt, A., Wischnewski, R. (1999) Thermal treatment of wastes according to the high-temperature Winkler gasification. Umwelt 29(1/2): 52–55.
11. Dong, C., Jin, B., Lan, J., Huang, Y., Zhou, H., Kong, H., Xin, M., Horio, M. (2003) A study on the co-gasification of sawdust and polyethylene in a fluidized bed. Editors Xu, X., Zhao, C. Combustion Science and Technology in Asia-Pacific Area: Today and Tomorrow. Proceedings of the Asia-Pacific Conference on Combustion, 4th, Nov. 23–26, 2003. Nanjing, China: 345–348.
12. European Commission Directorate-General for Energy and Transport (~2000) Opportunities and markets for co-utilisation of biomass and waste with fossil fuels for power generation. Executive Summary. Brussels: 83.
http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/bioenergy/final_report_version_4_%20with_pi.pdf.
13. Exelby, D. R., Davison, J. E. (1994) A Technical and Economic Assessment of Co-Gasification of Straw or Sewage Sludge with Coal in Conceptual Commercial Plants. Confidential CRE Report. Assessment Report No. 94/10.

14. Gavrilova, O., Randla, T., Vallner, L., Strandberg, M., Vilu, R. (2006) Eesti põlevkivienergeetika ei ole jätkusuutlik. *Keskkonnatehnika* 3: 41–44.
15. Green, A. E. S., Sankar, M. S. (2002) Co-gasification of coals of various ranks. *Proceedings of the International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, 27th*. Vol. 2: 1121–1130.
16. Kelsall, G. J., Laughlin, K. (1995) The Development of Co-Gasification for Coal/Biomass and for other Coal/Waste Mixtures. Final Report: European Commission APAS Clean Coal Technology Programme on Co-utilisation of Coal, Biomass and Waste. APAS Contract COAL-CT92-0002. Vol. III. Final reports.
17. Kurkela, E. (1996) Recent results and plans concerning co-gasification of biomass and coal – an overview. Editor Chartier, P. *Biomass for Energy and the Environment. Proceedings of the European Bioenergy Conference, 9th*. June 24–27, 1996. Copenhagen: 164–169.
18. Kurkela, E., Laatikainen, J., Stahberg, P. (1995) Editor Bemtgen, J. M. Clean coal technology programme. Paper C9, vol. III. University of Stuttgart: 1–20.
19. Liao, H., Deng, D., Li, B., Yao, Q. (2000) Review on catalytic gasification of coal and co-gasification of coal and pulping spent liquor. *Meitan Zhuanhua* 23(3): 1–5.
20. Link, S., Kask, Ü. (2004) Biomassi gaasistamine ja saadava gaasi kasutamine. *Ehituskaar* 2: 16–18.
21. Minchener, A. J. (1997) Cogasification clean coal technology developments within Europe. *Chimica Oggi* 15(9/10): 52–57.
22. Obermeier, T. (2001) Synthesis gas from gasification of waste and coal. *Proceedings Annual International Pittsburgh Coal Conference, 18th*. Pittsburgh Coal Conference. University of Pittsburgh: 2250–2260.
23. Pan, Y. G., Velo, E., Puigjaner, L. (1996) Pyrolysis of blends of biomass with poor coals. *Fuel* 75(4): 412–418.
24. Pan, Y. G., Velo, E., Roca, X., Manya, J. J., Puigjaner, L. (2000) Fluidized-bed co-gasification of residual biomass/poor coal blends for fuel gas production. *Fuel* 79(11): 1317–1326.
25. Pinto, F., Franco, C., Andre, R. N., Miranda, M., Gulyurtlu, I., Cabrita, I. (2002) Co-gasification study of biomass mixed with plastic wastes. *Fuel* 81(3): 291–297.
26. Pinto, F., Franco, C., Andre, R. N., Tavares, C., Dias, M., Gulyurtlu, I., Cabrita, I. (2003) Effect of experimental conditions on co-gasification of coal, biomass and plastics wastes with air/steam mixtures in a fluidized bed system. *Fuel*, 82(15–17): 1967–1976.
27. Schiffer, H. P., Adlhoch, W. (1995) Co-gasification of used plastics at a demonstration plant. *Bergbautechnik* 47(3): 19–25.
28. Scott, S. A., Harris, A. T., Dennis, J. S., Hayhurst, A. N., Davidson, J. F. (2003) Gasification of biomass: the consequences of equilibrium. *Proceedings of the International Conference on Fluidized Bed Combustion, 17th*: 819–831.
29. Song, X., Guo, Z. (2005) A new process for synthesis gas by co-gasifying coal and natural gas. *Fuel* 84(5): 525–531.
30. Van Ree, R., Korbee, R., De Smidt, R. P., Jansen, D. (1998) Co-gasification of coal and biomass in entrained-flow based IGCCs (integrated gasification combined cycle power generation). Technical, economic, environmental, and experimentally

- supported assessment of three concepts. [Report] (ECN-C-98-060), 1-54: 1381–1479. <http://www.ecn.nl/library/reports/1998/rx98059.html>.
31. Veski, R. (2005) The volumes of spent oil shale from Estonian oil-shale processing units in 1921–2002. *Oil Shale* 22(3): 345–357.
 32. Veski, R., Palu, V., Kruusement, K. (2006) Õliteke puidu ja põlevkivi segude vesikonversioonil. Seitsmenda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus, Tartu: 143–152.
 33. Yu, Q., Brage, C., Chen, G., Sjostrom, K. (1999) Synergistic effect on tar formation in co-gasification of energy crops and coal. *Biomass, Proc. Biomass Conf. Am.*, 4th. Editors Overend, R. P., Chornet, E. 2: 1033–1040.

TRENDS IN CO-GASIFICATION OF RENEWABLE AND FOSSIL FUELS

Rein Veski

Peat Info Ltd
e-mail: rein.veski@mail.ee

Abstract

Recently opinion about the need to redevelop domestic oil shale based gas industry was expressed in Estonia. Keywords were: syngas, Clean Coal Technologies, and Syngas-to-Liquid Technologies enabling also to produce liquid fuels and chemicals. The old domestic gas producing technology used in Estonia to supply Leningrad and later Tallinn was not a classical gasification technology as was carried out in chamber ovens. This study reviews only technologies of co-gasification of renewable and fossil fuels. Under the auspice of the European Commissions DG XII APAS Programme (1992–1994) various biomass-derived fuels and wastes were evaluated for co-gasification with coal. During 1995–2005 on the matter of co-gasification 66 publications were found, a considerably portion of lesser distributed with the help of SciFinder. Of them authors of 59 publications were found out. Most of them originated from Netherlands (15), Germany (11) and Sweden (10), the rest of them were from China (7), UK (5), USA (4), Finland and Portugal (2), Poland, Belgium and Spain (1). In 35 publications coal as a co-processing component was mentioned, but no publications were found with oil shale. At the same time the need to produce cleaner products from oil shale is obvious. Know-how obtained with coal as a co-gasification component gives some certainty to develop analogous technology on the basis of oil shale and domestic renewable fuels.

ÕLITEKE PUIDU JA PÕLEVKIVI SEGUDE VESIKONVERSIOONIL

Rein Veski¹, Vilja Palu² ja Kristjan Kruusement²

¹Turbateabe OÜ, Sõpruse pst 233–48, 13420 Tallinn
e-post: rein.veski@mail.ee

²Tallinna Tehnikaülikooli põlevkivi instituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn

Annotatsioon

Antud uurimistöo olulisemaks tulemuseks on sünergia väljaselgitamine ühe taastuv- ja fossiilkütuse segude termokeemilisel koosvedeldamisel. Männisaepuru ja kukersiitpõlevkivi segu vesikonversioonikatsetel superkriitilises olekus veega saadigi suurem õlisaagis kui segude koostisosadest aditiivselt. Sellega avaneb võimalus tulemuslikumalt kavandada uurimusi põlevkiviõli modifitseerimiseks, kaasates taastuvkütuseid. Teiste sõnadega, saab kavandada keskkonnasõbralikumalt põlevkiviõli tootmist või suurendada põlevkivi lisamisega oluliselt õli saagist puidust.

PUIT, PÕLEVKIVI, VESIKONVERSIOON, KOOSVEDELDA MISÕLI

Sissejuhatus

Eesti on Euroopa Liidu poolt vaadatuna põlevkivienergiat kasutav riik, kus taastuvenergiaallikad pole veel teinud läbilööki. Päikese- ja geotermaalenergia arenguvõimalusi peetakse Eestile tagasihoidlikeks, kuid edu arvatakse olevat saavutatav taastuvkütuste edasise kasutuselevõtu ning tuule- ja vee-energia tõhusama rakendamisega.

Euroopa Liidus pööratakse biomassi vedeldamise kõrval suurt tähelepanu sobitatud tehnoloogiatele, mis võimaldavad soojus- ja elektrienergia koostootmist: kombitsükli kontsept (*combined cycle – CC – concept*) annab juba tõhusaid lahendusi taastuvate tahkekütuste gaasistamisele. Edu taastuvkütuste vedeldamisel on viimasel ajal saavutatud põhiliselt kiirpürolüüsiseadmete arendamise teel (Bridgwater jt, 1999). Taastuvkütuste vedeldamiseks on ehitatud demoseadmeid. Kolm taolist on rajatud Euroopa Liidu riikidesse Rootsi, Taani ja Hispaaniasse (An EU ..., 2006). 2003. aastal asus suurim töötav demoseade Kanadas – 17,5 MW_{th}, on kavandatud seadmeid Belgiasse, Madalmaadesse, Soome ja mitmesse riiki väljaspool Euroopa Liitu. Neid seadmeid ei arendata veel kui kombitsükliks ühildatuid (*LCC technology*, esitäh sõnast *liquefaction* – vedeldamine) (Bio-energy's ..., 2004).

Vähem on pööratud tähelepanu taastuvkütuste vedeldamise teiste nüüdisaegsete tehnoloogiate tööstusesse rakendamisele. Samas on teada, et Eestis ja mõnes teises riigis soovitakse arendada õli tööstuslikku tootmist just põlevkivist. Kui varem toodeti mitmes riigis tööstuslikult puidust ja turbast õli, gaasi ja poolkoksi (sütt), siis nüüd on tehnoloogia seadistatud selliselt, et puidust tekkiv gaas ja õli põletatakse söe tootmisel täielikult ära. Ka on kivisüsi jätkuvalt huviorbiidis kui vedelkütuse toore. On ilmunud töid süte vedeldamise kohta superkriitilises olekus veega, milles vett käsitletakse kui reagenti (Desphande jt, 1984). Ka on ilmunud töid kivisöe ja taastuvkütuste või

plastide koosvedeldamise kohta, vedelkütuseid on saadud põlevkivide ja plastide segust.

Puidu ja põlevkivide koosvedeldamisele, k.a superkriitilises olekus veega (vesikonversioon), pole kirjandusallikatele tuginedes seni veel tähelepanu pööratud. Küll aga on ilmunud töid, milles käsitletakse eraldi puidu või põlevkivide termokeemilist vedeldamist, sh ka superkriitilises olekus veega ($>374\text{ }^{\circ}\text{C}$, $>22,1\text{ MPa}$).

Puidu superkriitilises olekus veega mõjutamise katsete tulemused on publitseeritud peamiselt jaapani keeles. Jaapanlased valmistasid autoklaavi, mis võimaldas 12–13 s jooksul saada lagusaadusi õunapuu- (*Cryptomeria japonica* D. Don) ja pöögisaepurust vees 180–290 MPa juures temperatuuril 374–490 $^{\circ}\text{C}$. Katseks võetud puidu tselluloosist ja hemitselluloosidest tekkis näiteks oligosahhariide ja glükoosi, samuti meta-noolis lahustuvaid, peamiselt ligniini lõhustumise saadusi (Saka, 2001; Saka ja Ebara, 2002). Ligniini lagunemise superkriitilises olekus veega eetersidemete lõhestumise tulemusena (Ehara jt, 2002). Lisaks neile saadi veel pöogi puidust (*Fagus crenata* Blume) levoglükosaani, 5-hüdroksümetüülfurfuraali ja fenooli (Saka ja Konishi, 2001). Ligi-kaudu 1,5 s jooksul muudeti 90% sugisaepurust vees lahustuvateks ühenditeks, olene-mata sellest, kas reaktsioon toimus sub- ($350\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 MPa) või superkriitilises olekus veega ($375\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 MPa), sh saadi vees lahustuvaid sahhariide 35% (Matsunaga ja Matsui, 2004). Autoklaavikatsetel saadi enam pürolüüsisaadusi, sest reaktsiooni kestust ei saa lühendada, mida võimaldab aga läbivooluseade (Ehara ja Saka, 2002). On otsitud lahendusi puidust superkriitilises olekus veega immutusõli ja anorgaaniliste konservantide eraldamiseks (Catallo ja James, 2004). Teema arengu suhtes on olulised pöögisaepuru termokeemilise töötlemise katsed (Arni, 2004), millega selgitati välja puidu superkriitilises olekus veega töötlemise eelised utmise ja gaasistamise ees: lähte-materjali ei ole vaja kuivatada ning temperatuur võib jääda madalamaks. Ka ühes varem ilmunud töös lagundati puit tulemuslikult rõhu all (23 MPa) vees lahustuvateks ühenditeks. Lagunemine kiirendus temperatuuril 180, 270 ja 340 $^{\circ}\text{C}$, tingituna oletata-vasti polüsahhariidide, tselluloosi ja ligniini lagunemisest (Fengel ja Wegener, 1984).

Seega laguneb puit teatavatel tingimustel vees rõhu all lihtsateks keemilisteks ühenditeks, luues sellisel reaktsioonikeskkonna lagunemist alustavale kukersiidile, nagu selgub edasisest arutelust.

Sub- või superkriitilises olekus veega on proovitud õli saada mitme riigi põlevkividest: kukersiidist (Kogerman, 1934; Fridman ja Peresleni, 1962), Green Riveri (McKay jt, 1983; Missal ja Hedden, 1989), Maomingi (Funazukuri jt, 1988; Hu jt, 1999), Göynüki (Canel ja Missal, 1994), Rotemi (Ogunsola ja Berkowitz, 1995), Timahditi (Ogunsola ja Berkowitz, 1995; El harfi jt, 1999), Bepazari (Olukcu jt, 1999) põlevkivist, diktüoneemakildast (Nappa jt, 1982b). Algselt õlilivadest superkriitilise veega õli eraldamiseks loodud tehnoloogia arvati sobivat ka põlevkivist ja orgaanilistest jäätmetest õli saamiseks (Berkowitz ja Dunn, 1999). Türgi Göynüki põlevkiviga tehtud katsed (Yanik jt, 1995) selgitasid näiteks, et utmise või kiirpürolüüsiga võrreldes saab nii sub- kui superkriitilises olekus veega suurema õlisaagise, kuid õli sisaldab palju asfalteene ja polaarseid ühendeid. Samas sisaldas Türgi põlevkivist saadud kiirpürolüüsiõli palju aromaatsid ja utteõli alifaatsid süsivesinikke. Superkriitilistes tingimustes oleva veega saadud õli arvati sobivat näiteks kõrgemate alkoholidelähtematerjaliks (Yanik jt, 1995).

Esimesed teadaolevad katsed kukersiidi vedeldamiseks sub- ja superkriitilises olekus veega tegid Jaan Kopwillem ja Paul Kogerman (Kopwillem, 1929; Kogerman ja Kopwillem, 1932). Nii sai Kopwillem vähese vee lisamisega 380 °C juures maksimaalsel rõhul 287 atm kukersiidist 10,7% õli keemistemperatuuriga kuni 170 °C. Semjonovi ja kaasautorite 1959. aastal avaldatud käsikirjalisest tööst (viidatakse (Fomina jt, 1965) järgi) saab teada, et ligi aasta kestnud autoklaavikatsetel temperatuuril 200–205 °C avaldas vesi (lisati kuni 40% põlevkivi massist) kukersiidile väga vähest toimet, suurendades alkoholi-benseeni segus lahustuvate ainete saagist orgaanilisest ainest (OA) lähtekiviga võrreldes (0,6%) kuni 2,3%-ni (270 päeva), OA kontsentradi korral vähem. 250 ja 300 °C juures tehtud katsed, mis kestsid vastavalt 100 ja 24 tundi, andsid õli juba vastavalt 7 ja 35% ning tahkesse jääki jäi järele vastavalt 86 ja 62% lähtekukersiidi OA-st (Nappa jt, 1982a). Üllatavalt suur saagis (69,6% OA-st) saadi kukersiidi flotokontsentradi vedeldamisel autoklaavis subkriitilises olekus veega (moodul 1:2, 350 °C, 15 MPa) kuue tunni jooksul (Netšajev ja Urov, 1983). Veel kõrgemal temperatuuril, 400 °C juures (maksimaalne rõhk 400 atm), saadi superkriitilises olekus veega (moodul 1:3) 75-minutisel katsel põlevkivi OA kohta õli 82,1, gaasi 1,75% (Fridman ja Peresleni, 1962). Ka on käesoleva artikli autorid avaldanud töid põlevkivide ja taastuvkütuste eraldi vedeldamise kohta superkriitilises olekus veega (Palu jt, 2005; Veski jt, 2005). On ilmunud töid põlevkivide koosvedeldamise kohta põlevjäätmega nagu plast või rehvid (Prjadka ja Tiikma, 2004; Oja jt, 2005).

Katsetingimused ja -tulemused

Käesolevas töös kasutati lähtematerjalidena männisaepuru (W^a 9,1, A^c 0,4 ja OA^d 99,6%) ja kukersiidi ($(CO_2)_{min}^d$ 12,8, A^d 37,2 ja OA^d 50,5%). Vedeldamiskatsete tingimused superkriitilises olekus veega valiti kui optimaalsed kukersiidi jaoks (Palu jt, 2005): peenestatud lähteproovide või nende segude ja vee massisuhe 1:3, nominaaltemperatuur 380 °C, kestus nominaaltemperatuuril 4 tundi, autoklaavis algrõhk puudus. Olenevalt lähtematerjalist tõusis rõhk autoklaavis protsessi käigus kuni 400 atm-ni, jääkrõhk autoklaavis oli 6–23 atm. Vesikonversioonil saadi reaktsioonisegu, mis sisaldas lähtematerjalist olnud ja lisatud vett ning reaktsiooni käigus tekkinud pürogeneetilist vett, vees lahustunud (sh eetris lahustuvat ning lahustumatut õli, tähised vastavalt E ja W) ja lahustumatut õli (sh benseenis lahustuvat ning lahustumatut, kuid atsetoonis lahustuvat õli, tähised vastavalt B ja A) ning tahket jääki. Saaduste lahutamisskeem (Palu jt, 2004) võimaldab järjestikuse lahustamise teel määrata nii vees- ja orgaanilistes lahustites lahustuvate õliosiste kui ka summaarse õli, tahke jäägi ning gaasi ja pürogeneetilise vee summa saagise (joonised 1, 2).

Juhime tähelepanu sellele, et kõik artiklis esitatud saagised on arvutatud OA kohta. Segude koostised on antud saepuru OA osatähtsuse protsendina OA-st segus. Visualiseeritud katsetulemustest (joonised 1, 2) selgub, et kukersiidi ja vähese saepuru lisandiga segu vesikonversioonil tekkiva tahke jäägi OA saagis on väike, suurenedes saepuru osatähtsuse suurendamisel vastavalt võrrandile

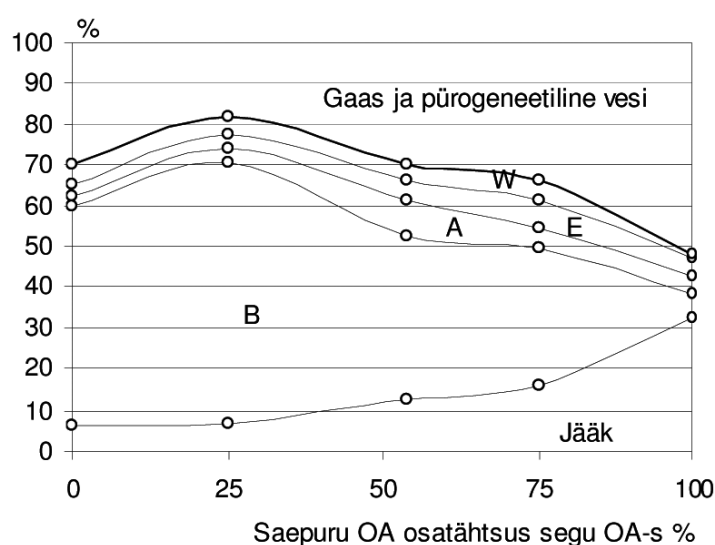
$$y = 0,0036x^2 - 0,1137x + 7,02; R^2 = 0,98 \quad (1)$$

32%-ni puhta saepuru korral.

Õliosistest olulisima benseenis lahustuva osa saagis saavutab maksimaalse väärtuse saepuru 25%-se osatähtsuse korral segu OA-s. Kõige väiksem on benseenis lahustuva õli saagis saepurust.

Saepuru osatähtsuse suurenemisega gaasi ja pürogeneetilise vee kogus alguses väheneb, hiljem hakkab tõusma, saavutades 52% puhta saepuru korral.

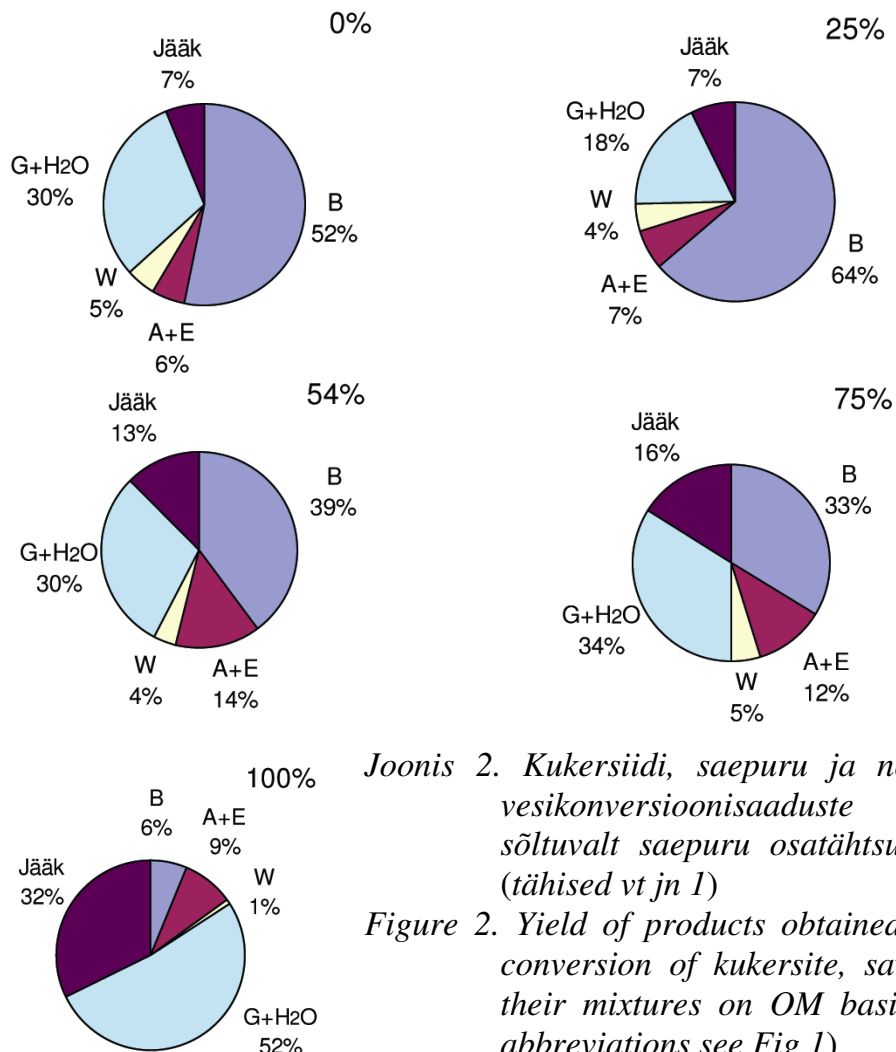
Vastandades vesikonversioonisaaduste saagised saagistele, mis on aditiivselt konstrueeritavad (joonis 3), näeme, et olenemata kukersiidi ja saepuru segu koostisest tekib tahket jääki ning gaasi koos pürogeneetilise veega vähem ja õli rohkem kui aditiivselt. Seega tekib õli rohkem nii tahke jäägi kui ka gaasi ja pürogeneetilise vee arvel.



Joonis 1. Kukersiidi, saepuru ja nende segude vesikonversioonisaaduste saagiste pindaladiagramm: tahke jääk, vee lahustumatu õli benseeni- (B) ning atsetooniekstrakt (A), vee lahustuva õli eetris lahustuv (E) ja mittelahustuv osa (W) ning gaas + pürogeneetiline vesi %

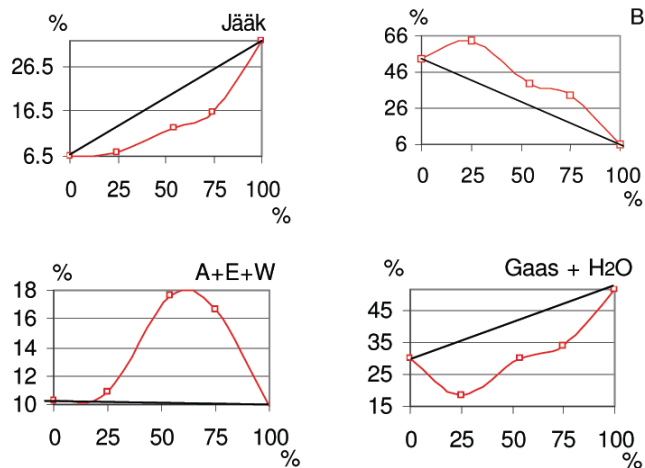
Figure. 1. Yield of products obtained by water conversion of kukersite, sawdust and their mixtures (value on X-axis: sawdust 0–100%) on OM basis (Area Chart): solid residue, benzene (B) and acetone (A) solubles of water insoluble oil, ether solubles (E) and insolubles (W) of water soluble oil, gas and pyrogenetic water, %

Absoluutselt suurim õli saagis saadi segust, mille OA-s oli 25% saepuru: 63% benseenis lahustuva õli (ehk 1,5 korda rohkem kui aditiivselt) + 7% atsetoonis ja eetris lahustuva õli, kokku 70% võetud OA-st, mis oli isegi suurem kui kukersiidi OA-st (B 52 ja A+E 6%, kokku 58%). Kui sooviksime vedeldada peamiselt puitu sisaldavat segu, siis saaksime hea tulemuse, kui tõstaksime kukersiidi OA osatähtsust segu OA-s 25%-ni (1,85 korda suurem saagis kui aditiivselt). See, et ükskõik millisel segu komponentide vahekorral saadakse suurem õli saagis kui aditiivselt, näitab, et



Joonis 2. Kukersiidi, saepuru ja nende segu vesikonversioonisaaduste saagised sõltuvalt saepuru osatähtsusest OA-s (tähised vt jn 1)

Figure 2. Yield of products obtained by water conversion of kukersite, sawdust and their mixtures on OM basis, % (For abbreviations see Fig 1)



Joonis 3. Vesikonversiooni-saaduste saagised vastandatuna aditiivsele saagisele (must sirge joon) % OA-st (tähised vt jn 1)

Figure 3. Yield of products obtained by water conversion against additive ones on OM basis, % (For abbreviations see Fig 1)

vesikonversioonil tekkivad keemiliselt aktiivsed reaktsioonisaadused reageerivad omavahel, suurendades õli, samas aga vähendades tahke jäägi ja gaasi saagist. Seejuures ei saa alahinnata superkriitilises olekus vee soodsat toimet.

Tahke jäägi (x) ning gaasi ja pürogeneetilise vee (y) saagis on arvutatav vastavalt võrrandile

$$y = 1,084x + 16,65; R^2 = 0,87. \quad (2)$$

(Saepuru vahemikus OA 50–100% on $R^2 \sim 1,0$). Kõrgpolaarset õli (A, E ja W) moodustus oluliselt enam katsetes, kus saepuru osatähtsus oli lähte OA-s 50–75% (atsetoonis lahustuva õli saagis oli suurim siis, kui saepuru osatähtsus oli 55%, vees lahustuva õli saagis aga 75% juures).

Polaarsed komponendid on ülekaalus ka benseenis lahustuvas õlis (tabel 1).

Tabel 1. Vesikonversioonil saadud benseenis lahustuva õli grupikoostis õhekihikromatograafia andmetel, fraktsioonid: 1 – happelised heteroühendid, 2 – neutraalsed heteroühendid, 3 – aromaatsed mitmetuumalised süsivesinikud, 4 – aromaatsed ühetuumalised süsivesinikud, 5 – mittearomaatsed süsivesinikud %

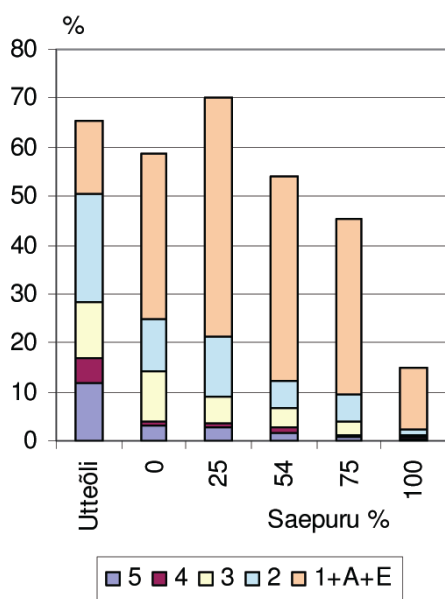
Table 1. Componental composition of benzene soluble oil obtained by water conversion by thin-layer chromatography, fractions: 1 – polar heterocompounds, 2 – neutral heterocompounds, 3 – polyaromatic hydrocarbons, 4 – monoaromatic hydrocarbons, 5 – nonaromatic hydrocarbons, %

Komponent	Utteõli (Urov ja Sumberg, 1999)	Saepuru %				
		0	25	54	75	100
1	23	52,9	66,6	69,8	71,9	63,9
2	34	20,4	18,9	13,8	16,6	17,1
3	17	19,4	8,6	9,9	7,9	8,4
4	8	1,2	1,3	2,2	1,2	2,7
5	18	6,1	4,6	4,3	2,4	8,0

Tabelist nähtub, et kütusesegudest ja saepurust saadud benseenis lahustuv õli koosneb peamiselt happelistest heteroühenditest. Erinevalt kukersiidi vesikonversioonil saadud õlist on utteõli benseenis täielikult lahustuv, erinedes vesikonversiooniõlist suurema mittearomaatsete süsivesinike ja aromaatsete ühetuumaliste süsivesinike sisalduse poolest (tabel 1, komponendid 4 ja 5). Samas aga on utteõlis happelisi heteroühendeid tunduvalt vähem kui vesikonversiooniõli benseenis lahustuvas osas.

Et paremini võrrelda saadud vesikonversiooniõlide saagist ja koostist, korrutasime benseenis lahustuva õli õhekihikromatograafia komponentide suhtelised sisaldused vastava osise saagisega ning lisasime esimeste fraktsioonide saagistele atsetoonis ja eetris lahustuva õli saagised. Tulemused on esitatud võrreldes kukersiidi utteõliga (joonis 4).

Kukersiidist utmisel ja vesikonversioonil saadud õli komponentide saagised on erinevad, vaid aromaatsete mitmetuumaliste süsivesinike saagised olid vaadeldaval



Joonis 4. Orgaanilistes lahustites lahustuva õli ja selle komponentide saagis lähtekütuste OA-st. 1+A+E – happelised heteroühendid koos atsetoonis ja eetris lahustuva õliga, 2–5 – komponendid vastavalt tabelile 1 võrdluses kukersiidi utteõliga %

Figure 4. Yield of oil and oil components of organic solvents soluble oil from initial fuels OM. 1+A+E – polar heterocompounds, acetone and ether soluble oil, 2–5 – components according to Table 1 in comparison with kukersite semi-coking oil, %

paaril võrreldavad. Segusaepurisisalduse suurenemisega enamiku õlikomponentide saagis vähenes. Tugevat lineaarset sõltuvust täheldati õhekihikromatograafia teisel, kolmandal ja viiendal komponendil, R^2 vastavalt 0,87; 0,94 ja 0,96, nõrka ülejäänud kahel, R^2 0,4. Samas aga osutus sõltuvus komponentide gruppidele 1 + A + E koos 2 + 3-ga ning 4 + 5 jällegi tugevaks, mõlemal grupil R^2 0,94, mis annab tunnistust peamiselt lihtsatest seostest õli komponentide saagise ja saepurisisalduse vahel. Olu-liseks erandiks osutus komponentide grupi 1 + A + E saagise (y) ja saepurisisalduse (x) vaheline nõrk seos (R^2 0,39), mis ruutvõrrandi

$$y = -0,0089x^2 + 0,6626x + 34,848 \quad (3)$$

rakendamise korral osutus väga tugevaks – 0,97! Ühtlasi osutab viimane seos sellele, et segudest saadi õli rohkem peamiselt polaarsete ja ülipolaarsete õliosiste arvel.

Kokkuvõtteks

Töö sellel etapil saab juba kindlalt väita, et oleme saavutanud ühe taastuvkütuse ja põlevkivi vesikonversioonil tunduvalt suurema õlisaagise segust, mille orgaanilises aines oli 25% saepuru. Selle segu orgaanilisest ainest saab 63% benseenis lahustuvat õli, s.o 1,5 korda rohkem kui aditiivselt oleks olnud võimalik.

Kui sooviksime vedeldada peamiselt puitu sisaldavat segu, siis saaksime hea tulemuse, kui tõstaksime kukersiidi orgaanilise aine osatähtsust segu orgaanilises aines 25%-ni. Siis on õli saagis 1,85 korda suurem aditiivsest.

Sünergia, mis avaldus õli saagise suurenemises ning tahke jäägi ja gaasi saagise vähenemises, annab kindlustunde saada antud segude korral suuremat õli saagist, kui muuta katsetingimusi või lisada segusse uusi sobivaid komponente õli saagise suurendamiseks ja/või koostise parandamiseks.

Tänuavaldus

Autorid tänavad Sihtasutust Eesti Teadusfond töö toetamise eest grandiga 5360.

Kirjandus ✕ References

1. An EU strategy for biofuels (2006) SEC(2006) 142. COM(2006) 34 final. Communication from the Commission of the European Communities. Brussels. http://www.europa.eu.int/comm/agriculture/biomass/biofuel/com2006_34_en.pdf.
2. Arni, S. (2004) Hydrogen-rich gas production from biomass via thermochemical pathways. *Energy, Education, Science and Technology* 13(1/2): 47–54. SciFinder.
3. Berkowitz, N., Dunn, S. R. (1999) Method for recovering and concurrently partly upgrading heavy oils, bitumens and oil shale organic matter, and for extracting certain wastes. *Can. Pat. Appl.* 6. SciFinder.
4. Bio-energy's Role in the EU Energy Market. A view of developments until 2020. Report to the European Commission. 2 April 2004. http://www.europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/bioenergy/bioenergy_role_2000_2010_2020.pdf.
5. Bridgwater, A., Czernik, S., Diebold, J., Meier, D., Oasmaa, A., Peacocke, C., Piskorz, J., Radlein, D. (1999) *Fast pyrolysis of biomass: A handbook*. CPL Scientific Publishing Services Ltd. Newbury: 188.
6. Canel, M., Missal, P. (1994) Extraction of solid fuels with sub- and supercritical water. *Fuel* 73(11): 1776–1780.
7. Catallo, W. J., James, W. (2004) Generation of a creosote-like mixture, or recovery of metals, or both from preserved wood by reaction in supercritical water. *U.S. Pat. Appl. Publ.* 2004): 13.
8. Desphande, G. V., Holder, G. D., Bishop, A. A., Gopal, J., Wender, I. (1984) Extraction of coal using supercritical water. *Fuel* 63: 956–960.
9. Ehara, K., Saka, S. (2002) A comparative study on chemical conversion of cellulose between the batch-type and flow-type systems in supercritical water. *Cellulose (Dordrecht, Netherlands)* 9(3/4): 301–311. SciFinder.
10. Ehara, K., Saka, S., Kawamoto, H. (2002) Characterization of the lignin-derived products from wood as treated in supercritical water. *Journal of Wood Science* 48(4): 320–325. SciFinder.
11. El harfi, K., Bennouna, C., Mokhlisse, A., Ben chanaa, M., Lemee, L., Joffre, J., Ambles, A. (1999) Supercritical fluid extraction of Moroccan (Timahdit) oil shale with water. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 50(2): 163–174.
12. Fengel, D., Wegener, G. (1984) *Wood (Chemistry, Ultrastructure, Reactions)*. Walter de Gruyter. Berlin, New York: 512.
13. Fomina, A. S., Pobul, L. J., Degtereva, Z. A. (1965) The nature of the Baltic oil shale kerogen and its chemical properties as raw material. Tallinn: 216. (In Russian, summary in English.)
14. Fridman, G. E., Peresleni, I. M. (1962) Thermal liquefaction of oil shales in the presence of water at pressure. *Transactions of the Institute of Combustible Formations* 17: 60–75. (In Russian.)
15. Funazukuri, T., Yokoi, S., Wasao, N. (1988) Supercritical fluid extraction of Chinese Maoming oil shale with water and toluene. *Fuel* 67(1): 10–14.
16. Hu, H., Zhang, J., Guo, S., Chen, G. (1999) Extraction of Huadian oil shale with water in sub- and supercritical states. *Fuel* 78(6): 645–651.

17. Kogerman, P. (1934) On the chemistry of the Estonian oil shale. In: P. Kogerman, K. Luts, I. Hüsse On the chemistry of the Estonian oil shale. ONTI GOSHIMTEXIZDAT, Moskva. Leningrad: 11–102. (In Russian.)
18. Kogerman, P., Kopwillem, J. (1932) Hydrogenation of Estonian oil shale and shale oil. *Journal of Petroleum Technologists* 18(108): 833–845.
19. Kopwillem, J. (1929) Über die thermale Zersetzung von estländischen Ölschiefer Kukersit. *Acta et Comentationes Universitatis Tartuensis A. XVI, Tartu-Dorpat, S.* 1–38.
20. Matsunaga, M., Matsui, H., (2004) Super-rapid chemical conversion of sugi wood by supercritical and subcritical water treatment. *Mokuzai Gakkaishi* 50(5): 325–332. SciFinder.
21. McKay, J. F., Chong, S. L., Gardner, G. W. (1983) *Liquid Fuels Technol.* 1: 259.
22. Missal, P., Hedden, K. (1989) Extraction of a Colorado oil shale by water in the sub- and supercritical phases. *Erdoel & Kohle, Erdgas, Petrochemie* 42(9): 346–52.
23. Nappa, L., Klesment, I., Vink, N., Kailas, K. (1982a) Low-temperature decomposition of organic matter of oil shales by solvent extraction. 1. Kukersite oil shales. *Proc. Acad. Sci. Estonian SSR. Chem.* 31(1): 17–24. (In Russian, summary in English.)
24. Nappa, L., Klesment, I., Vink, N., Kailas, K. (1982b) Low-temperature decomposition of organic matter of oil shales by solvent extraction. 2. Dictyonema oil shale. *Proc. Acad. Sci. Estonian SSR. Chem.* 31(2): 103–108. (In Russian, summary in English.)
25. Netšajev, I., Urov, K. (1983) Kukersiidi termiline lagundamine raske vee keskkonnas. *Eesti NSV TA Toimetised. Keemia* 2: 98–102. (In Russian, summary in Estonian and English.)
26. Ogunsola, O. M., Berkowitz, N. (1995) Extraction of oil shales with sub- and near-critical water. *Fuel Processing Technology* 45: 95–107.
27. Oja, V., Elenurm, A., Rohtla, I. (2005) Põlevkivi ja kummijäätmete termiline töötlemine tahke soojuskandjaga utteseadmes. *Eesti Põlevloodusvarad ja -jätmed / Estonian Combustible Natural Resources and Wastes*: 27–30. (Summary: Thermal processing of oil shale and rubber wastes in a solid heat carrier unit, 45.)
28. Olukcu, N., Yanik, J., Saglam, M., Yuksel, M., Karaduman, M. (1999) Solvent Effect on the Extraction of Beypazari Oil Shale. *Energy & Fuels* 13(4): 895–902.
29. Palu, V., Kruusement, K., Veski, R. (2005) Biomassi ja põlevkivide ekstraktatsioon superkriitilise veega. *XXIX Eesti keemiapäevad. Tallinn*: 77.
30. Palu, V., Veski, R., Luik, H. (2004) Taastuv- ja fossiilkütusesegude termokeemilise vedeldamise saaduste lahutamise meetod. *Viienda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu*: 124–128.
31. Prjadka, N., Tiikma, L. (2004) Plastjätmete utiliseerimine koos põlevkiviga. *Eesti Põlevloodusvarad ja -jätmed / Estonian Combustible Natural Resources and Wastes*: 31–34. (Summary: Utilization of plastic wastes with oil shale, 54.)
32. Saka, S. (2001) Post-petrochemistry with woody biomass by supercritical water. *Mokuzai Kogyo* 56(3): 105–110. SciFinder.
33. Saka, S., Ebara, K. (2002) Supercritical fluids to biomass research (II). *Cellulose Communications* 9(3): 137–143.

34. Saka, S., Konishi, R. (2001) Chemical conversion of biomass resources to useful chemicals and fuels by supercritical water treatment. Editor: Bridgwater, A. V. Progress in Thermochemical Biomass Conversion, [Conference], 5th, Tyrol, Austria, Sept. 17–22, 2000, 2. Blackwell Science Ltd., Oxford: 1338–1348. SciFinder.
35. Urov, K., Sumberg, A. (1999) Characteristics of oil shales and shale-like rocks of known deposits and outcrops. Monograph. Oil Shale 16(3): 1–64.
36. Yanik, J., Yueksel, M., Saglam, M., Olukcu, N., Bartle, K., Frere, B. (1995) Characterization of the oil fractions of shale oil obtained by pyrolysis and supercritical water extraction. Fuel 74(1): 46–50.
37. Veski, R., Palu, V., Luik, H., Kruusement, K. (2005) Thermochemical liquefaction of reed. Proc. Estonian. Acad. Sci. Chem. 54(1): 45–56.

OIL FORMATION FROM WOOD AND OIL SHALE MIXTURE BY WATER CONVERSION

Rein Veski¹, Vilja Palu² and Kristjan Kruusement²

¹Peat Info Ltd.

e-mail: rein.veski@mail.ee

²Department of Oil Shale Research at Tallinn University of Technology

Abstract

The high price of petrol has created interest in Estonia for shale oil, wood and wind energy. Estonia is rich in oil shale and also in renewable fuels such as wood and also peat. In Estonia the use of domestic fuels primarily means their direct combustion to produce heat and/or power. Shale oil is the only considerable liquid fuel in Estonia produced from local natural resources. According to “Long-term Public Fuel and Energy Sector Development Plan until 2015” the main positive sides of the large-scale use of oil shale are the security of supply for the state energy sector and the relative price independence from the world market. The negative side is considered the great environmental damage arising from the mining and use of oil shale and the low calorific value of oil shale.

This study is a part of research with an aim to obtain oil from co-liquefaction experiments of oil shales, renewable fuels and organic waste. It was expected that in co-liquefaction experiments liquid and gaseous products formed from wood before oil shale started to decompose would react with chemically active oil shale and its reaction products leading to quantitative synergistic effects. The mixtures of kukersite oil shale and pine wood sawdust gave much more oil in supercritical water than oil shale and wood separately. It is a good argument to continue investigations with the aim to involve wood or other kind of local biomass in commercial oil production in Estonia to improve the security of oil supply.

KÜTTEKULU INDIVIDUAALNE ARVESTUSSÜSTEEM EESTI KORTERELAMUTES ENERGIASÄÄSTU VAATEPUNKTIST

Indrek Sang

MESA Eesti OÜ, Juhkentali 32–5, 10132 Tallinn
e-post: mesa@hot.ee

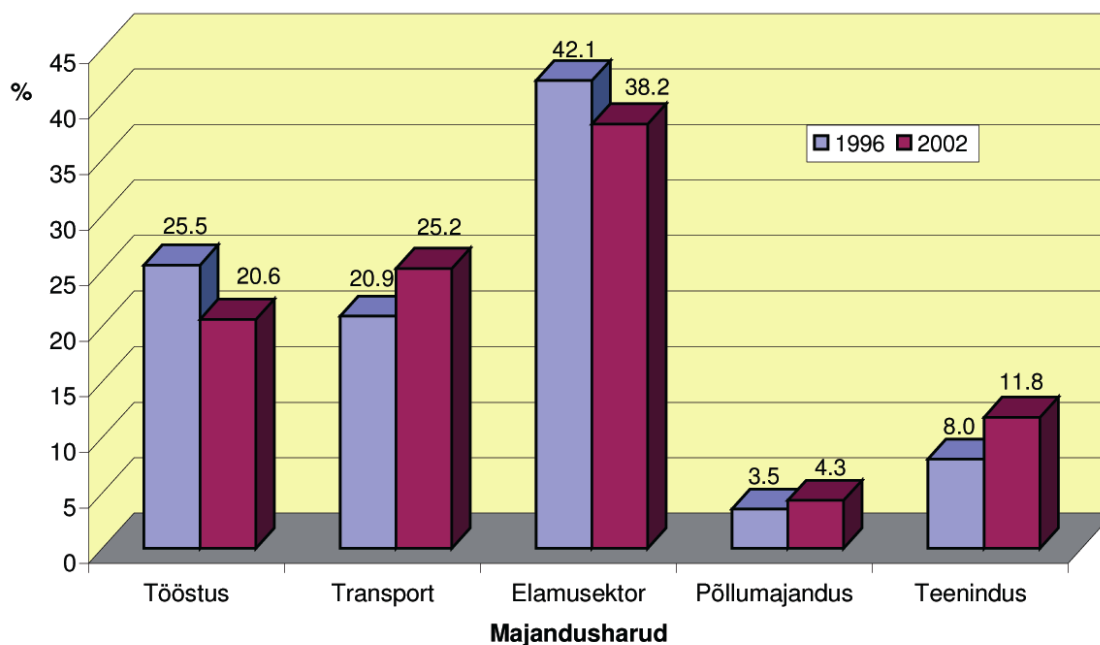
Annotatsioon

Artikkel käsitleb peamiselt fossiilsetest kütustest toodetud soojusenergia kasutamist Eesti korterelamutes ja energiasäästumeetmeid ning -võimalusi. Peamiselt käsitletakse küttekulu individuaalse arvestussüsteemi rakendamise kogemusi mitmepere elamutes.

ENERGIA TARBIMINE ELAMUMAJANDUSES, SOOJUSENERGIA SÄÄSTU-VÕIMALUSED, KÜTTEKULU INDIVIDUAALNE ARVESTAMINE, TARBIJATE KÄITUMISHARJUMUSTE MUUTUMINE

Energia tarbimine korterelamutes

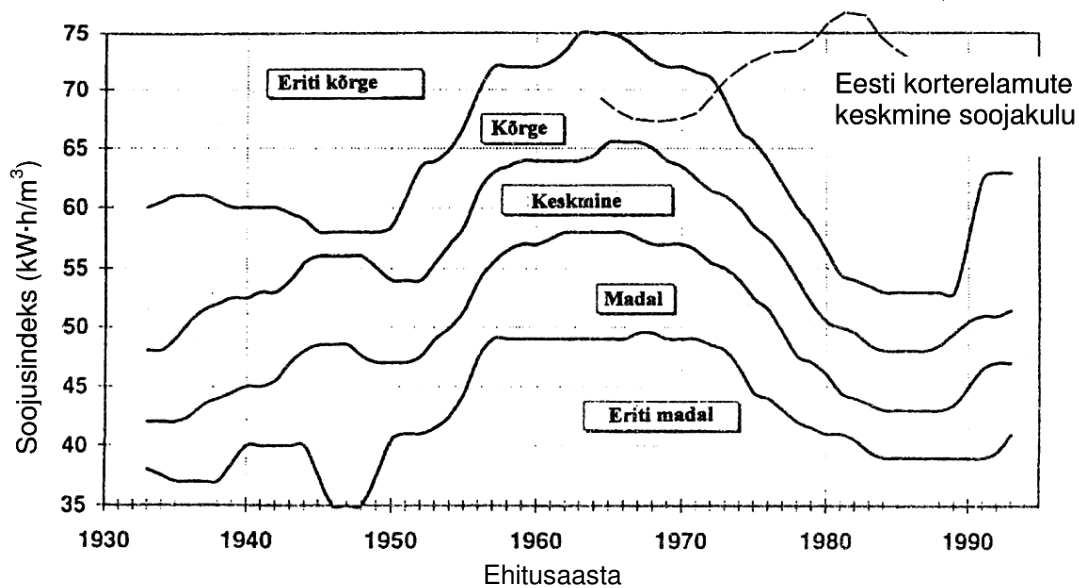
Eestis on ligi 8000 korteriühikut, kus kokku elab üle 825 000 inimese. Sulev Soosaar koostöös TTÜ soojustehnika instituudi ja EnPro Inseneribürooga on läbi viinud analüüsi, millest selgub, et just neis korterelamutes tarbitakse märkimisväärne osa kogu Eestis tarbitavast energiast, muu hulgas ka soojusenergiast (Soosaar, 2004). Andmed on küll 2002 aastast, kuid tema hinnangul püsib elamusektori osakaal samal tasemel ka käesoleva artikli koostamise ajal.



Joonis 1. Energia lõpptarbimise struktuur Eestis

Figure 1. The structure of final energy consumption in Estonia

Joonis 2 (Hääl jt, 1999), mille on koostanud Kaido Hääl Tallinna Tehnikaülikoolist koostöös Soome kolleegidega, illustreerib Eesti korteriühistute soojusenergiatarbimist võrreldes meie põhjanaabritega. Soome elamud on oluliselt energiasäästlikumad. Uuringukokkuvõtte kohaselt olid 1999. aastaks suurde osasse Eesti elamutest juba paigaldatud soojusenergiaarvestid ja täisautomaatsed soojussõlmed, mis andsid esialgse säästu. Autori hinnangul on vahepealsete väiksema mahuga uuringute kohaselt soojusenergia tarbimine praeguseks tänu mõningastele säästumeetmetele langenud vaid 4–5%.



Joonis 2. Eesti ja Soome (pidevad jooned) korterelamute soojusenergia tarbimise võrdlus olenevalt hoone ehitusaastast

Figure 2. The comparison of the consumption of heat energy in apartment buildings in Estonia and Finland (solid lines), taking into account the year of construction

MESA Eesti OÜ kogemustele toetudes on reaalne soojusenergia säästupotentsiaal 20–30%, suuremaid investeeringuid rakendades isegi 50%. Seega on Eesti korterelamutes soojusenergia säästliku kasutamise potentsiaal suures osas kasutama. Kokkuhoid korterelamutes annab kokkuvõttes märkimisväärse efekti kogu Eesti soojusenergia tarbimisele.

Mida peaks tegema, et saavutada 20–30%-ne soojusenergia kokkuhoid?

Eelkõige eeldab eesmärgi saavutamine investeeringuid amortiseerunud ja kaasaja nõuetele mitte vastavatesse elamute ehituskonstruktsioonidesse ning tehnosüsteemidesse. Kuid meie kogemused näitavad, et sellest üksi alati ei piisa. Esitatud väidet selgitatakse järgnevate konkreetsete näidete põhjal.

Tiit Masso soojusenergia säästumeetmete tasuvusanalüüs (tabel 1) 1999. aastast toob välja investeeringute järjekorra tasuvusaja järgi. Eelistatud on torustike isoleerimine, koridori- ja keldriakende vahetamine ning küttesüsteemi rekonstrueerimine.

Paraku näitab Eesti praktika seda, et investeringute planeerimisel korteriühistutes ei juhinduta ekspertide soovitustest, vaid tehakse seda, mis on moes. Käesoleva artikli autor peab siinkohal silmas esmajärjekorras otsaseinte soojustamist, mille tegelik tasuvusaeg energiasäästu seisukohalt on oluliselt pikem kui näiteks küttesüsteemi renoveerimisel. Samas tuleb märkida, et on ka korteriühistuid, kus arvestatakse spetsialistide arvamust. Milline on soojusenergia sääst nendes elamutes?

Tabel 1. Korterehamu energiasäästumeetmete analüüs lihttasuvusaja järgi (Masso, 2000)

Table 1. The analysis of energy saving measures in apartment buildings according to the time of cost-benefit (Masso, 2000)

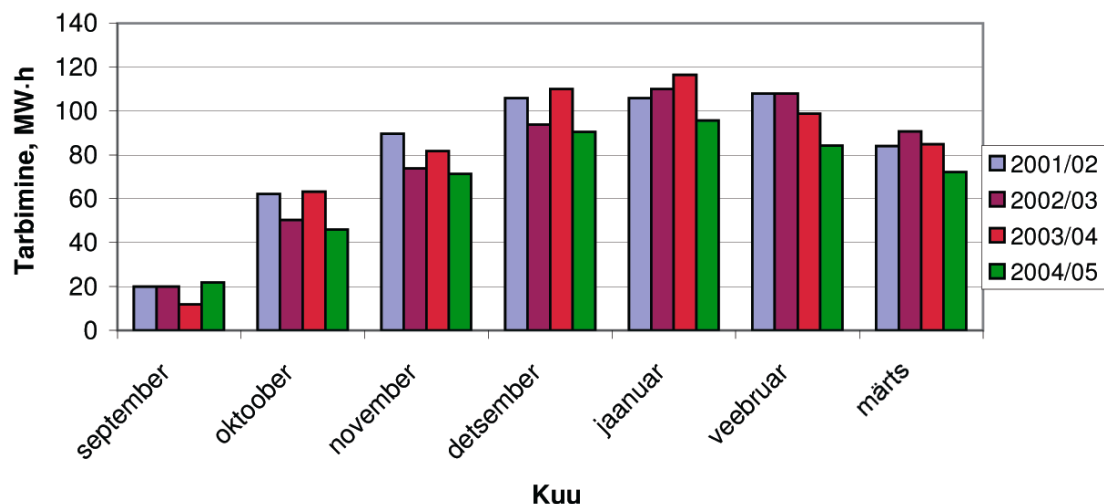
Abinõu	Sääst		Maksu- mus kr	Tasuvus- aeg a	Summeeruvalt		
	MW·h/a	kr/a			Sääst kr/a	Maksu- mus kr	Tasuvus- aeg a
Veetorustiku isoleerimine keldris	10,0	3500	8000	2,3	3500	8 000	2,3
Küttesüsteemi tasakaalustamine	30,0	10 500	45 000	4,3	14 000	53 000	3,8
Keldri küttemagistraalide soojustamine	25,0	8750	65 000	7,4	22 750	118 000	5,2
Trepikoja akende lisasoojustamine	3,8	1330	16 000	12,0	24 080	134 000	5,6
Soklikorruse akende lisasoojustamine	1,3	455	5 500	12,1	24 535	139 500	5,7
Korteriakende lisasoojustamine	53,7	18 795	228 000	12,1	43 330	367 500	8,5
Küttekehade reguleeritavaks muutmine	40,0	14 000	180 000	12,9	57 330	547 500	9,5
Soklikorruse seinte lisasoojustamine	45,6	15 960	232 800	14,6	73 290	780 300	10,6
Lodzade kinniehitamine	18,0	6300	206 000	32,7	79 590	986 300	12,4
Sundventilatsiooni ehitamine	14,0	4900	180 000	36,7	84 490	1 166 300	13,8
Katuslae lisasoojustamine	21,3	7455	311 000	41,7	91 945	1 477 300	16,1
Otsaseinte lisasoojustamine	7,9	2765	128 400	46,4	94 710	1 605 700	17,0
Veevõtuarmatuuri asendamine	10,0	3500	180 000	51,4	98 210	1 785 700	18,2
Pikiseinte lisasoojustamine	22,8	7980	513 600	64,4	106 190	2 299 300	21,7
Välisuste asendamine	2,2	770	69 000	89,6	106 960	2 368 300	22,1
Kokku	305,6	106 960	2 368 300				

Märkus. Säästumeetmed on järjestatud tasuvusaja pikkuse järgi.

Toon siinkohal näite ühest elamust, kus küttesüsteem küll renoveeriti, kuid loodetud kokkuhoidu ei saavutatud. Joonisel 4 on toodud ühe renoveeritud küttesüsteemiga elamu soojusenergia tarbimine. Kaasaegne kahe toru küttesüsteem sai selles majas valmis 2003. aasta sügisel. Vastupidiselt loodetule küttekulud kuude lõikes mitte ei vähenenud, vaid jäid samale tasemele või hoopis tõusid! Samasugust tendentsi on näha teisteski renoveeritud küttesüsteemiga elamutes Sütiste tee 39, Kuldnoka 12 Tallinnas, Aardla 120 Tartus jm.

Milles on asi? Miks kulud ei vähene, kuigi eksperdid seda kinnitavad?

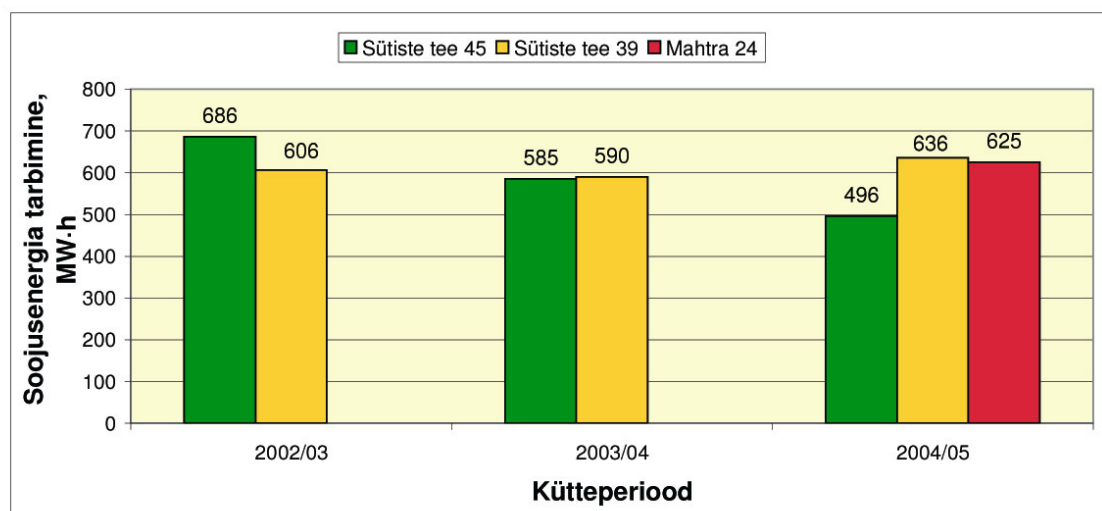
Vastus sellele küsimusele on selle teksti üks põhisõnum: kokkuhoid tekib siis, kui inimesed hakkavad uue küttesüsteemi eeliseid kasutama ja on motiveeritud soojusenergiat ratsionaalselt kasutama. Radiaatorite ventiilid iseenesest kokkuhoidu ei anna, kui neid ei keerata vastavalt tegelikele vajadustele. Elamu soojusenergia kokkuhoiule peavad kaasa aitama kõik elanikud. Muutuma peab tarbijate suhtumine soojusenergia tarbimisse.



Joonis 3. Korterelamu Sütiste tee 45 soojusenergia tarbimine 2001–2005

Figure 3. The consumption of heat energy in an apartment building Sütiste tee 45 in 2001–2005

	Sütiste tee 45	Sütiste tee 39	Mahtra 36
Katus	soojust.viilkatus	lamekatus	vana lamekatus
Otsaseinad	soojustatud	soojustus puudub	soojustus puudub
Tasakaalustamine	tehtud	tehtud	ei ole tehtud
Termost. ventiilid	olemas (10.2003)	olemas (11.2003)	ei ole
Radiaatorid	kõik vahetatud	kõik vahetatud	vanad
MESA arvestussüsteem	olemas	puudub	puudub



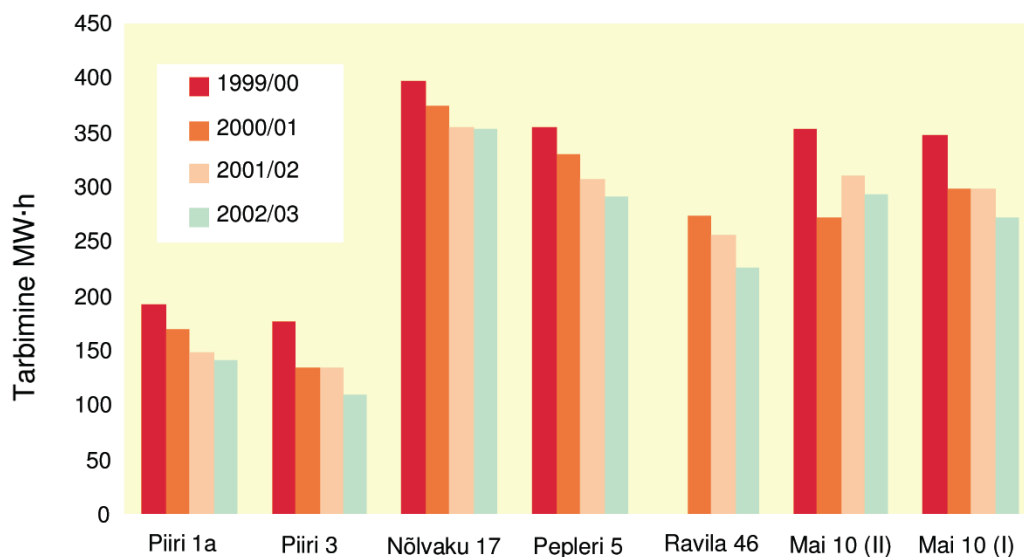
Joonis 4. Tallinna 72 korteriga elamute soojusenergia tarbimise võrdlus olenevalt nende energiasäästumeetmete rakendamisest

Figure 4. The comparison of heat consumption in 72-apartment buildings in Tallinn, taking into account the applied energy saving measures

Esitatud väidete paikapidavust kinnitab ka joonis 4, kus on toodud kahe renoveeritud küttesüsteemiga ja ühe hooletusse jäetud elamu soojusenergia tarbimise võrdlus. Mõlemal Sütiste tee elamul on uus küttesüsteem, kuid Sütiste tee 45 hoidis võrreldes naaberelamuga kokku üle 60 000 krooni. Põhjuseks see, et esimesest neist elamutest kasutatakse küttekulu individuaalse arvestamise süsteemi, mis motiveeris elanikke oma kütetarbimist jälgima ja suunama.

Lisaefektina kaasnes see, et elanikel tekkis julgus investeerida uutesse energiasäästu meetmetesse. 2005. aasta suvel soojustati kõik seinad, sest elanikud on kindlad, et nende kulud vähenevad veelgi.

Sama tendentsi on näha ka teistes elamutes, kus kasutatakse küttekulu individuaalset arvestussüsteemi. Joonisel 6 on toodud vaid mõned näited.



Joonis 5. Individuaalse arvestussüsteemiga korterelamute soojusenergia tarbimise statistika (tarbimine on taandatud aasta kraadpäevade arvuga)

Figure 5. The statistical overview of the consumption of heat energy in apartment buildings that use the measuring system with heat allocators

MESA Eesti OÜ kogemused näitavad, et ainuke võimalus motiveerida elanikke ratsionaalsemalt tarbima, on läbi igäihe rahakoti. Seega tuleks küttekulude suurust arvestada vastavalt korteri tegelikule tarbimisele.

Esitatud väidet toetab Vabariigi Valitsuse poolt heaks kiidetud energiasäästu sihtprogrammi rakenduskava aastateks 2001–2005 (Majandusministeerium, 2001), milles muuhulgas on öeldud: “Eesmärgiks on energiakulude mõõtmise viimine tarbijate grupilt (maja, hoone) lähemale individuaaltarbijatele (korteriomaniik), mis suurendaks individuaaltarbijate säästualase tegevuse aktiivsust”. Projekt on vastavuses EL direktiivi 93/76 EEC (SAVE) nõuetega, mis kohustavad liikmesriike koostama ja

rakendama programme energiakulude arvestamiseks vastavalt tegelikule energiatarbimisele.

Tarbitud soojusenergia arvestamine toimub umbes 80% ulatuses vastavalt tegelikult hoones tarbitud kogustele, kuid selle jaotamine individuaaltarbijate (korterite) vahel on lihtsustatud ja ei arvesta nende erinevat ning energiatarbimist mõjutavat käitumist. Elamutes toimub kütteks tarbitud soojusenergia koguste jagamine reeglina vastavalt korterite köetavale pinnale ja ei sõltu korteri sisetemperatuurist ning elanike poolt rakendatud energiasäästumeetmetest.

Olukorra parandamiseks on vajalik analüüsida praegust olukorda energiakulude arvestamisel ja koostada tegevuskava energiakulude individuaaltarbijakeskse süsteemi juurutamiseks, mis võtaksid arvesse üksiktarbijate tarbimisharjumusi.”

Mis muutub inimeste käitumises?

Elanike poolt saadud tagasiside põhjal saab väita, et järjest rohkem teadvustatakse tegureid ja tegevusi, mis mõjutavad korteri sisekliimat ning sellega seoses ka küttekulu suurust. Toatemperatuuri vähendamine tähendab kokkuhoidu – see on üldteada fakt. Millal ja kui palju langetada temperatuuri, et elamismugavus ei väheneks, saab kiirelt selgeks tarbijatele, kes kasutavad küttekulu individuaalset arvestussüsteemi ning on huvitatud kulude kokkuhoiust. Sarnaselt ruumist lahkudes valguse kustutamisega keeratakse ka radiaatori ventiili koomale. Küttekehasid ei ehitatud kinni ega kaeta, sest peab olema tagatud sooja õhu tsirkulatsioon ruumis. Samuti läheb õhuvahetus korteris tarbija kontrolli all. Vabanetakse halvast harjumusest, kus aknad on pikka aega väheselt avatud asendis. Tuulutatakse põhjalikult, aga lühiajaliselt. Saadakse aru, et ei ole mõtet oma raha eest välisõhku kütta.

Tegelikkuses ei ole vaja palju teha, et soojusenergiat säästlikult kasutada.

Energiakandjate hind tõuseb makromajanduslike ja/või poliitiliste tegurite tõttu pidevalt ja seda tavatarbijad mõjutada ei saa. Samas moodustavad korterelamutes kulutused soojusenergiale kommunaalkuludest suurima osa. Järjest rohkem korteriomanikke soovib tasuda individuaalselt arvestatud küttekulude eest, sest investeeringud tehnosüsteemide uuendamisse, tarbimise jälgimine ja selle vähendamise vaev tasub end rahaliselt ära.

Kokkuvõte

Individuaalse kuluarvestamise positiivset mõju ei pea kaugelt otsima: korteri veearvestite paigaldamisega on tarbimine vähenenud üle kahe korra, toast lahkudes kustutatakse tuled ja lülitatakse välja suuremad elektritarbijad, sest maksta tuleb vastavalt korteri veemõõtja ning elektriarvesti näidule.

Eesti kortermajade soojusenergia kulud moodustavad kõikidest kommunaalkuludest suurima osa, aga ikka jaotatakse enamikus elamutes neid proportsionaalselt elamispinna suurusega, arvestamata tarbijate tegelikku tarbimist. Selline lähenemine ei motiveeri inimesi kasutama soojusenergiat ratsionaalselt, sest üksikute teadlike

inimeste püüdlused seda kokku hoida ei anna elamule tervikuna märkimisväärset säästu.

Tõstes korteriomanike teadlikkust ning motiveerides investeerima majanduslikult põhjendatud energiasäästumeetmetesse ja muutma oma tavapäraseid tarbimisharjumusi, on võimalik saavutada 20–30%-ne küttekulude kokkuhoid. Kogu Eesti energiabilanssi arvesse võttes annab see märkimisväärse efekti ja vähendab sõltuvust imporditavatest energiakandjatest.

KirjandusReferences

1. Hääl, K., Aro, T., Jyrkkäranta, J., Laaksonen, A. (1999) Eesti korterelamute soojuse ja vee tarbimine. ET-INFOstikeskuse AS. Tallinn: 56.
2. Majandusministeerium (2001) Energiasäästu sihtprogrammi rakenduskava aastateks 2001–2005. <http://www.mkm.ee/index.php?id=2619>.
3. Masso, T. (2000) Korterealamute energiasäästu-alane seminar Põlva Maavalitsuses.
4. Soosaar, S. (2004) Ettekanne nõupidamisel Majandus-ja Kommunikatsiooniministeeriumis.

THE SYSTEM OF INDIVIDUAL HEAT METERING WITH HEAT ALLOCATORS IN ESTONIAN APARTMENT BUILDINGS FROM THE ENERGY SAVING PERSPECTIVE

Indrek Sang

MESA Eesti OÜ
e-mail: mesa@hot.ee

Abstract

The positive impact of measuring individual consumption is easily demonstrated by the following examples: since the mounting of water meters the consumption of water has more than halved; when leaving the room lights and bigger energy consuming devices are turned off – because one must pay according to the flat's energy meter.

The cost of consumed heat energy in apartment buildings in Estonia account for the biggest part of all expenses. And yet, the expenses are mostly allocated proportionally according to the size of the apartment, not taking into account the actual consumption of each apartment. Such a system is not motivating consumers to use energy rationally, because the efforts of some individuals to save energy do not lead to a considerable reduction of costs for the whole building.

It is possible to save 20–30% in the costs of heating by raising the awareness of consumers, by motivating them to invest into economically beneficial energy saving measures and by changing their consumer behaviour. Taking into account the total energy balance of Estonia it gives a remarkable effect and reduces our addiction to imported power sources.

RADOON LOODUSLIKUS JA TEHISKESKKONNAS

Jaan Lepa ja Andres Annuk

Eesti Maaülikooli tehnikainstituut, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu
e-post: jaan.lepa@emu.ee, andres.annuk@emu.ee

Annotatsioon

Radoon tekib uraani radioaktiivsel lagunemisel, kusjuures vaheetappideks on mitmed elemendid, nende hulgas raadium. Uraani leidub Eestis kaevandatavas põlevkivis. Sealt satub uraan keskkonda põlevkivituhaga, mida laotatakse põldudele kui happesuse regulaatorit. Samuti kasutatakse põlevkivituhka tsemendi ühe koostisosana. On ka piirkondi, kus on looduslikult kõrge radooni kontsentratsioon maalähedases õhus. Radoon kui lühikese poolestusajaga radioaktiivne gaas laguneb kiiresti edasi, andes radioaktiivseid raskmetalle, mis lõpuks võivad sattuda inimese kopsu ning tekitada kõrgeenenud radioaktiivse fooni.

RADOON, PÕLEVKIVITUHK, KESKKOND

Sissejuhatus

Radoon on keemiliste elementide perioodilisussüsteemi 86. element, millel kirjanduse (Hodgson jt, 2000) andmeil on praegu teada 34 isotoopi. Need kõik on radioaktiivsed, lühikese elueaga (poolestusajaga) ja looduses leidub neist ainult kolme. Et nad kuulu-

Tabel 1. Uraani ^{238}U radioaktiivse lagunemise rida
Table 1. Disintegration series of uranium ^{238}U

Element	Tuuma- laeng +e	Sümbol	Poolestus- aeg*	Tekkiva kiirguse energia, MeV			Lagunemise %, millega kaasneb γ -kiirgus
				α	β	γ	
Uraan	92	^{238}U	$4,5 \cdot 10^9$ a	4,2	–	0,048	23
Toorium	90	^{234}Th	24,1 p	–	0,019	0,09	4
Protaktinium	91	^{234}Pa	1,17 m	–	2,29	1,0	0,6
Uraan	92	^{234}U	$2,5 \cdot 10^5$ a	4,8	–	0,05	28
Toorium	90	^{230}Th	$7,5 \cdot 10^4$ a	4,8	–	0,068	24
Raadium	88	^{226}Ra	1620 a	4,8	–	0,186	–
Radoon	86	^{222}Rn	3,82 p	5,49	–	0,5	0,07
Poloonium	84	^{218}Po	3,05 m	6,0	–	–	–
Plii	82	^{214}Pb	26,8 m	–	0,65	0,24	–
Vismut	83	^{214}Bi	19,9 m	(5,5)	1,5	0,61	47
Poloonium	84	^{214}Po	164 μs	7,7	–	0,6	0,0014
Plii	82	^{210}Pb	22 a	–	0,016	0,046	81
Vismut	83	^{210}Bi	5,0 p	–	1,16	–	–
Poloonium	84	^{210}Po	138 p	5,3	–	0,8	0,001
Plii	82	^{206}Pb	Stabiilne	–	–	–	–

* Ajühikud: a – aasta; p – päev; m – minut; μs – mikrosekund.

vad pikaealiste radioaktiivsete elementide lagunemisritta, tekib neid pidevalt juurde. Looduslikes radioaktiivsetes ridades on radooni lähtelemendiks raadium, seepärast nimetati teda esialgu (raadiumi) emanatsiooniks (*emanation* *ld* väljavoolamine). Radoon kuulub perioodilisussüsteemi VIII rühma, seega on väärisgaas, mis veeldub temperatuuril $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja tahkub $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$ juures. Looduses kõige enam levinud ja kõige pikemaajaline (poolestusaeg 3,82 päeva) on ^{238}U lagunemisritta kuuluv isotoop massiarvuga 222 (^{222}Rn). Tabelis 1 on see rida toodud. Tooriumi (^{232}Th) lagunemisritta kuuluva radooni isotoobi ^{220}Rn poolestusaeg on 55,6 sekundit. Seda isotoopi nimetatakse mõnedes allikates ka lähtelemendi järgi torooniks.

Väga vähesel määral leidub looduses ka ^{235}U spontaanse lagunemise ritta kuuluvat ^{219}Rn isotoopi (poolestusaeg 4 sekundit), mida rea ühe eelneva elemendi (aktiiniumi) järgi ka aktinooniks nimetatakse.

Radooni lähteallikad

Kõige olulisemaks radooni lähteallikaks tuleks meie oludes lugeda siiski tabelis 1 toodud ^{238}U . Seda leidub pinnases ning arvestataval hulgal meie olulisemas maavaras põlevkivis, eriti ühes selle kütusena mittekasutatavas modifikatsioonis – diktüoneemaagrilliidis, mida omaaegses N. Liidus isegi uraani tootmiseks kasutati. Keemiadoktor Agu Aarna andmeil võib mõnede Rootsi põlevkivide uraanisisaldus ulatuda kuni 300 grammini tonni kohta (Aarna, 1989). Meie põlevkivi uraanisisaldus võib mõningat huvi pakkuda just selle tuha küllaltki laialdase sadestumise tõttu Loode-Eestis territooriumil ja seepärast, et teda kasutatakse nii lubiväetisena kui ka lisandina tsemendi tootmisel. Üksikasjalisemalt on uraani ja selle laguproduktide sisaldust Eesti maapinnas, põlevkivis ja selle tuhas uurinud TÜ teadlased Enn Realo juhtimisel (Realo jt, 1996).

Radooni probleemiga meie looduses ja hoonetes on viimasel ajal tegeldud üsna palju, kusjuures uuritud on põhiliselt selle kontsentratsiooni erinevates ruumides, pinnases ning mõju inimeste tervisele (Petersell jt, 2005; Pahapill, 2002; Radooniohutu ..., 2004). Viimased uurimused on näidanud, et kohti, kus on mõõdetud kõrgendatud radoonisisaldus, esineb kogu vabariigis, nii Põhja-Eesti klindivööndis, eriti diktüoneemaagrilliidi ja fosforiidi avamuste piires, kui ka Ida- ja Lõuna-Eestis devoni kivimite levialal (Petersell, 2005). Seejuures peetakse normaalse Rn-riskiga aladeks taolisi piirkondi, kus radooni on pinnaseõhus alla $50\ 000\ \text{Bq/m}^3$. Valitseb seisukoht, et pinnaseõhu taolise radoonisisalduse korral jääb normaalse tehnoloogia järgi ehitatud hoonete õhus Rn-sisaldus alla ohtliku piiri, milleks Eestis loetakse $200\ \text{Bq/m}^3$ (Eesti ..., 2003). Aastatel 1998–2001 tehtud laiaulatusliku uurimistöö tulemustest, mille käigus mõõdeti radoonisisaldust 343 ühepereelamu ruumides ja 172 korrusmaja esimestel korrustel (Radooniohutu ..., 2004), selgus, et uuritud ühepereelamutes oli keskmiseks radoonisisalduseks $103\ \text{Bq/m}^3$, maksimaalseks $1044\ \text{Bq/m}^3$ (Lääne-Virumaal), korrusmajades vastavalt 78 ja $538\ \text{Bq/m}^3$ (Raplamaal). Selgub, et Eestis on ainult neli maakonda (Hiiumaa, Järvamaa, Läänemaa ja Pärnumaa), kus uuritud ehitiste õhu radoonisisaldus on alla normi. Kohtades, kus pinnaseõhu radoonisisaldus on üle eeltoodud piirväärtuse, soovitakse radooni ruumidesse pääsu tõkestamiseks kasutada erimeetmeid, nagu radioaktiivsete ainete sisaldusega ehitusmaterjalide kasutamise vältimine, poorsetest materjalidest valmistatud põrandate ja seinte tihen-

damine, nendes pragude tekke vältimine jne. Üheks olulisemaks radooniallikaks elamutes võib olla ka tarbitav, pinnasest võetav olme- ja joogivesi, mistõttu soovitatakse radooniohtlikes piirkondades kasutada erimeetmeid õhu eemaldamiseks veest.

Eeltoodud arutlusest selgub, et mingis paikkonnas eksisteeriva radooni kogus on määratud põhiliselt pinnases leiduva raadiumi (eelkõige muidugi tabelis 1 toodud esimese elemendi uraani) kogusega.

Radooni tekkemehhanism

Radioaktiivsete elementide või ka mitteradioaktiivsete elementide radioaktiivsete isotoopide iseloomustamiseks kasutatakse nn poolestusaja mõistet. Poolestusaeg on aeg, mille jooksul laguneb (muutub) pool vaatluse alguses eksisteerivatest radioaktiivsetest aatomitest. See protsess toimub eksponentsiaalseaduse järgi ning on kirjeldatav valemiga

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

kus N on radionukliidi aatomite arv vastavas aine koguses (nt ühes kilogrammis, kuupmeetris vms) ajamomendil t pärast vaatluse algust, N_0 – nende aatomite arv vaatluse algul ja λ – radioaktiivse lagunemise konstant (tõenäosus).

Probleemi insenerlikul käsitlusel on otstarbekas asendada λ selle pöördväärtusega, s.o lagunemiseksponendiga $\tau = 1/\lambda$. Seega omandab eeltoodud valem kuju

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (2)$$

Ajakonstandi τ saab leida erialakirjanduses toodud poolestusajast $T_{1/2}$:

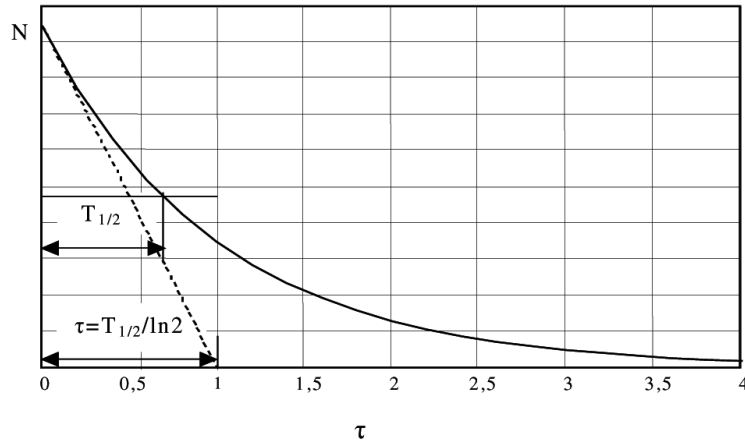
$$\tau = T_{1/2} / \ln 2. \quad (3)$$

Radionukliidi lagunemiskõver on toodud joonisel 1.

Matemaatilises mõttes kujutab ajakonstant aega, mille jooksul laguneksid kõik radioaktiivsed aatomid, kui lagunemisprotsess oleks lineaarne. Jooniselt 1 selgub, et taoline sirge kujutab endast lagunemiskõvera puutujat vaatluse algpunktis. Võttes aluseks uurimistöös (Realo jt, 1996) määratud Eesti põlevkivis sisalduva raadiumi kiirguse aktiivsuse $\Delta N = 22$ Bq/kg (st ühes kilogrammis põlevkivis laguneb sekundis 22 raadiumituuma), mida võime vaadelda kui põlevkivis sisalduvate raadiumi aatomite lagunemise kiirust (lagunemist sekundis). Kui on teada lagunemise ajakonstant ja lagunemise kiirus, saame määrata algse radioaktiivsete aatomite arvu aines (põlevkivis). Selleks on otstarbekohane avaldada ajakonstant sekundites: poolestusaeg $T_{1/2} = 1629$ aastat = $5,109 \cdot 10^{10}$ sekundit – ajakonstant $\tau = 7,372 \cdot 10^{10}$ sekundit.

Seega, arvestades, et valemis (2) on juhul $t = 1$ astendaja väga väike arv, saame raadiumi aatomite hulga leidmiseks ühes kilogrammis põlevkivis lihtsa valemi:

$$N_0 = \Delta N \cdot \tau = 1,622 \cdot 10^{12} \text{ aatomit}. \quad (4)$$



Joonis 1. Radionukliidi lagunemiskõver: N – radioaktiivsete aatomite arv, $T_{1/2}$ – poolestusaeg, τ – lagunemisprotsessi ajakonstant

Figure 1. Radionuclide decay curve: N – number of radioactive atoms, $T_{1/2}$ – half-period, τ – time constant

Lähtudes raadiumi aatomi massist (226 ühikut) ja Avogadro arvust $A = 6,022 \cdot 10^{23}$ (üks tuhandik aatommassiühiku $A_r = 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg pöörväärtusest), leiame raadiumi massi kilogrammis põlevkivis:

$$m_r = \frac{226N_0}{A} = 0,61 \text{ ng (nanogrammi)}. \quad (5)$$

Põlevkivi ladestumisest möödunud aeg (umbes 500 miljonit aastat) on üle 1000 korra suurem suurima poolestusajaga tütarisotoobi (^{234}U) poolestusajast, seetõttu on radioaktiivse lagunemise protsess põlevkivis stabiliseerunud, nii et tütarisotoopide aatomeid saab laguneda ajaühikus ainult nii palju, kui võimaldab lähteisotoobi ^{238}U lagunemine, st ka uraani aatomeid laguneb sekundis 22. Eeltoodust lähtudes on tabelis 2 toodud arvutuslikud andmed uraani tütarisotoopide kohta eeldusel, et kilogrammis põlevkivis laguneb sekundis 22 ^{238}U ja selle tütarisotoopide aatomeid.

Tabel 2. Uraani ja selle mõnede radioaktiivsete tütarelementide omadused ja kogused kilogrammis põlevkivis

Table 2. Qualities and quantities of uranium, its subsidiary elements per kg of oil shale

Element, kiirgus	$T_{1/2}$	$T_{1/2}$, s	Ajakonstant τ , s	λ , 1/s	Elemendi mass
Uraan 238 , α , γ	$4,51 \cdot 10^9$ a	$1,422 \cdot 10^{17}$	$2,052 \cdot 10^{17}$	$0,482 \cdot 10^{-17}$	1,785 mg
Toorium 234, β , γ	24,1 p	$2,082 \cdot 10^6$	$3,005 \cdot 10^6$	$3,328 \cdot 10^{-7}$	26,7 fg
Protaktiinium 234, β , γ	6,7 h	$2,412 \cdot 10^4$	$3,481 \cdot 10^4$	$2,873 \cdot 10^{-5}$	0,28 fg
Uraan 234, α , γ	$2,48 \cdot 10^5$ a	$7,821 \cdot 10^{12}$	$1,129 \cdot 10^{13}$	$8,861 \cdot 10^{-14}$	96,55 ng
Toorium 230, α , γ	$7,5 \cdot 10^4$ a	$2,365 \cdot 10^{12}$	$3,413 \cdot 10^{12}$	$2,93 \cdot 10^{-13}$	28,69 ng
Radium 226 , α , γ	1620 a	$5,109 \cdot 10^{10}$	$7,372 \cdot 10^{10}$	$1,356 \cdot 10^{-11}$	0,61 ng

Alates radoonist ei pea taoline arutelu paika, sest pole teada, milline osa sellest antud keskkonnast gaasina või vees lahustatuna lahkub.

Põlevkivituhk radooniallikana

Eeltoodud protsesse võib teatud mööndustega nimetada looduslikeks, kuigi maavarade kaevandamisel (põlevkivi, paas, fosforiit jne) seda looduslikku protsessi tunduvalt häiritakse. Eriti märgatavaid häireid looduslikele protsessidele tekitab põlevkivi põletamine koos lendtuha levikuga suurtele territooriumidele. Ilmselt ei ole ka selle küsimusega tegelnud teadlastele lõplikult selge, kui suure osa Põhja- ja eriti Loode-Eesti radoonist annavad lendtuhk ning tuhamäed. Mõningat mõju tekkivatele radoonikogustele võivad avaldada ka põlevkivituha kasutamine tsemendi lisandina (Kikas ja Laur, 1999a; 1999b) ja põldudele külvatud lubiväetisena (Turbas, 1964). Võttes põlevkivituhas sisalduva raadiumi aktiivsuseks 48 Bq/kg (Realo jt, 1996), on selle põhjal võimalik leida raadiumiaatomite keskmine arv ühes kilogrammis põlevkivituhas:

$$N_l = 48\tau = 3,539 \cdot 10^{12} \text{ aatomit.} \quad (6)$$

Sama metoodikaga saab leida ka keskmise radooniaatomite arvu:

$$N_{Rn} = 48\tau_{Rn} = 15,8 \cdot 10^6 \text{ aatomit.} \quad (7)$$

Lähtudes eriteadlaste soovitusel külvata ühele hektarile 5–10 tonni põlevkivituha, saame igale põllupinna ruutmeetrile 7,9–15,8 miljonit radooniaatomit. Milline osa sellest jääb pinnasesse, milline siirdub pinnase kohale õhku ja sellega koos ümbruskonda, on probleem, mis vajab täiendavat uurimist ning spetsiaalseid mõõteriistu. Et põlevkivituhk külvatakse rohumaa pealispinnale, võib õhku siirduv osa olla märkimisväärne. Lisades igale tonnile tsemendile 30–50 kilogrammi põlevkivituha, seisame analoogilise probleemi ees, kuigi siin on keskkonda pääsev osa ilmselt tunduvalt väiksem. Ilmselt kujutab põldudele külvatud põlevkivituhk arvestatavat tehislisandit meie looduslikult niigi suurele pinnase radoonisisaldusele.

Arvestades raadiumi ja selle lähteelementide (eelkõige uraani) pikka eluiga, on taoline olukord inimese seisukohast praktiliselt igavene. Seejuures võib aga eeldada, et gaasiline radoon võib oluliselt muuta talle lagunemisreas järgnevate elementide jaotust looduses, sest radoon võib tuulega enne lõplikku lagunemist kanduda tekkekohast küllaltki kaugemale. Lagunedes ruumides, jäävad tütarlemendid tõenäoliselt tolmuna põrandale ja seintele ning taoliste ruumide koristusjätmed võivad olla aastaid radioaktiivsed.

Kokkuvõte

Arvesse võttes Eestimaa pinnaseõhu suhteliselt suurt looduslikku radoonisisaldust, tuleks tõsiselt kaaluda selle tehniliku suurendamise otstarbekust põlevkivituha kasutamisega nii lubiväetisena kui ka tsemendilisandina.

KirjandusReferences

1. Aarna, A. (1989) Põlevkivi. Valgus. Tallinn: 144.
2. Eesti Standard (2003) EVS 839:2003 Sisekliima. Tallinn: 10.

3. Hodgson, P. E., Gadioli, E., Gadioli, Erba E. (2000) *Introductory Nuclear Physics*. Oxford. University Press. England: 724.
4. Kikas, V., Laur T. (1999a) Portland-põlevkivitsemendi sünni-ja arengulugu. *Ehitaja* 1: 86–87.
http://www.knc.ee/files/menu/Infomaterjalid/2003090103131010e_1999_01.pdf.
5. Kikas, V., Laur, T. (1999b) Portland-põlevkivitsement ja portlandtsement-betoonide omaduste eripära. *Ehitaja* 3: 86–87.
http://www.knc.ee/files/menu/Infomaterjalid/2003090103124646e_1999_03.pdf.
6. Pahapill, L. (2002) Radoonitasemest Eestimaa elamutes. *Keskkonnatehnika* 1: 14–15.
7. Petersell, V. (2005) Radoonist Eesti pinnases. *Keskkonnatehnika* 2: 36–38.
8. Petersell, V., Möttus, V., Täht, K. (2005) Nähtamatu ohullikas Eestimaa pinnases. *Eesti Loodus* 5: 46–50.
9. Radooniohutu elamu (2004) Kiirguskeskus. Tallinn: 10.
10. Realo, E., Realo, K., Jõgi, J. (1996) Releases of natural radionuclides from oil-shale fired power plants in Estonia. *J. Environ. Radioactivity* 33: 77–89.
11. Турбас, Э. (1964) Об известкований кислых почв при закладке культурных сенокосов и пастбищ. Автореферат диссертаций на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. Тарту: 36.

RADON IN NATURAL AND ARTIFICIAL ENVIRONMENT

Jaan Lepa and Andres Annuk

Institute of Technology of Estonian University of Life Sciences
e-mail: jaan.lepa@emu.ee, andres.annuk@emu.ee

Abstract

Radon is a radioactive gas, which forms by the disintegration of uranium, while one of the transition elements is radium. Uranium is naturally found in oil shale too. Formed gas radon filters out to the ground, whereby it can accumulate in buildings. Radon, as gas, has a very short half-period and radioactive metals remain from disintegration, which is a great risk to the human health. Oil shale ash is commonly used for liming fields and as a building material. Additional amount of radon is dispersed artificially into the nature. The separation of radon from mass unit of oil shale ash is nearly constant in time unit. By adding new amounts (eg to fields and buildings) of oil shale ash it raises more continuously.

TAASTUVENERGEETIKA VÕIMALUSI REGIONAALARENGUS (AUSTRIA NÄITEL)

Maria Habicht¹ ja Andres Annuk²

¹SA Archimedes, Väike-Turu 8, 51013 Tartu
e-post: mari@ise.ee

²Eesti Maaülikooli tehnikainstituut, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu
e-post: andres.annuk@emu.ee

Annotatsioon

Güssingi piirkond Austrias sattus eelmise sajandi kaheksakümnendate aastate lõpus majandusraskustesse majanduse orienteerituse tõttu ainult põllumajandusele. Olukorrast väljapääs leiti taastuvenergeetikas. Oma metsaresse ja põllumaid kasutades on jõutud praeguseks varustada oma piirkond nii soojus- kui ka elektrienergiaga. Alustatud on ka energiamüüki väljapoole. Kasutades kaasaegseid tehnoloogiaid on pandud rõhku elektri ja soojuse koostootmisele ning biomassi gaasistamisele.

ALGATUSVÕIME, BIOMASS, PUIT, BIOGAAS, GAASISTAMINE

Ajalugu

Güssingi regioon (Bezirkshauptmannschaft ..., 2006) asub Austria idaosas Ungari piiri ääres. Kuni 1950. aastani kuulus see piirkond Ungari koosseisu. Aastast 1985 on Austria Euroopa Liidu (EL) asutajaliige. Aastal 1988 oli Güssingi linnas 4000 elanikku, regioonis 27 200 ja maakonnas 400 000. Regiooni töövõimelisest elanikkonnast 75% töötas sel aastal pealinnas Viinis. Piirkond oli tuntud suure tööpuudusega. Peamiseks põhjuseks oli majanduse traditsiooniline orienteeritus ainult põllumajandusele. Piirkonna põllumajandustoodang (teravili, piim ja liha) polnud enam konkurentsivõimeline Euroopa vabaturul. Põhjusi peaks otsima jällegi minevikust. Üheks asjaoluks võivad olla väljakujunenud pärimistraditsioonid. Kui Eestis päris talu kõige vanem poeg ja teised pidid minema mujale, siis Güssingi piirkonnas jaotati maa kõigi laste vahel võrdselt. Sellest tingituna muutusid talud väikesteks, tihti 2–3 ha suurusteks. Väikesed talud ei suutnud enam võistelda suurtootmistega EL-is. Samas olid külas väga tugevalt välja kujunenud kogukondlikud suhted. Inimesed ei soovinud lahkuda oma koduküladest, kuid tööpuudus sundis seda tegema. Jõuti olukorda, kus tuli midagi radikaalset ette võtta, et pääseda täielikust laostumisest.

Arenguperspektiivid

Piirkond oli tüüpiline ääremaa. Kujunenud olukorrast väljapääsemiseks tuli leida uued tegevusvaldkonnad. Probleemaatiline oli tuua piirkonda tööstusettevõtteid. Loodi uus majanduskontseptsioon, tuginedes oma ressurssidele. Valik langes puidule, sest 45% territooriumist oli kaetud metsaga. Samas lasus talunikel kohustus oma metsa hooldada. Hüdroenergia ressurssid peaaegu puudusid. Ainult päikese- ja tuuleenergia ressurssidele kogu majandust üles ehitada oli liiga kallis.

Tegevuskava

Otsustati keskenduda biomassist energialiikide tootmisele. Kuigi puit oli põhiline, tulid hiljem juurde ka põllukultuurid. Põllumajanduskultuuride kasvatamise asemel võis viljeleda energiakultuure. Masinad ja oskused selleks olid olemas. Oma plaanide elluviimiseks kavandati järgmine strateegia:

- tuleb peatada kapitali väljavool piirkonnast, s.t raha peab jääma regiooni;
- luua uusi atraktiivseid töökohti (tänapäevaks üle 400 täiendava töökohta);
- kasutada otstarbekalt kohalikku ressursi;
- väärindada puitu ja arendada ekspordiks sobivaid tooteid (puidugraanulid, parkett);
- varustada piirkond 100% energiaga omatoodetud energiakandjatest (Austria keskmine 25%);
- luua ettevõtlust soodustav keskkond;
- installeeritavad erinevat liiki energia tootmisvõimsused peavad ületama vajadused.

Strateegia elluviimise eeldusteks ja tingimusteks oli:

- tavapõllumajanduse ebarentaablus;
- tugevad perekondlikud traditsioonid;
- toetav regionaalpoliitika, siseriiklik tähelepanu ääremaadele;
- oskuslik Euroopa Liidu, riiklike ja piirkondlike rahastamisvõimaluste kombineerimine.

Strateegia elluviimine võttis aega: 1989 töötati välja uus kontseptsioon, 1993 asutati Euroopa taastuvate energiaallikate uurimise ja kasutamise keskus (Europäisches ..., 2006), 1995 loodi esimene logistikafirma ning toodi regiooni esimesed firmad, 1997 kinnitati esimesed koostööprojektid ülikoolide ja uurimiskeskustega, 2000 hakkas tööle esimene biomassil töötav koostootmisjaam, 2001 rajati uus innovatsiooni- ja tehnoloogiakeskus, 2002 asutati rahvusvaheline instituut, 2003 sai Güssingist tunnustatud liider taastuvate energiaallikate uurimisel ja kasutamisel Euroopas.

Puit

Katlamajades kasutatakse ainult hakkpuitu või saepuru, sest see on kõige odavam. Puit ostetakse kokku kohalikele talunikele või kasutatakse puidutööstuse jäätmeid. Palgid ostetakse kokku kaaluga. Hind 40–70 € tonn sõltub niiskusest, peamiseks peetakse 25–30%. See saavutatakse aastasel kuivamisel laoplatsil. Suhteliselt suur niiskusesisaldus on tingitud tehnoloogiast, kus kütus gaasistatakse enne põletamist. Näiteks on 1996. aastal ehitatud hakkpuidul töötav katlamaja. See on lülitatud 32 km pikkusesse kaugküttevõrku. Katlamajas on 5 ja 4 MW puidukatlad ning reservis 6 MW õlikatel. Kaugküttevõrku on lülitatud ka teisi soojatootjaid koostootmisjaamade näol. Tarbijateks on aga hajali asuvad elamud ning puidukuivati. Puidukuivati on oluline soojusenergia tarbija suvel, see annab võimaluse kasutada ära koostootmisjaamade soojus.

Koostootmine

Koostootmisjaamad jagunevad kahte rühma: biogaasil ning puidugaasil töötavad. Puidugaasil töötavad jaamad omakorda jaotuvad gaasiturbiin- ja auruturbiinseadmeteks. Sisepõlemismootorit saab kasutada mõlema gaasiliigi korral. Sisepõlemismootoriga puidugaasil töötava koostootmisjaama koguvõimsus on 5 MW, sellest 2 MW on elektriline võimsus. Gaasiturbiinseadmega koostootmisjaama elektriline võimsus on 1,4 MW, sealjuures soojuslik võimsus 3,5 MW. Kui toodetakse ainult elektrit, siis on võimsuseks 1,7 MW. Auruturbiinseadmega koostootmisjaama elektriline ja soojuslik võimsus on vastavalt 2 MW ja 5 MW. Auru rõhk turbiinis on 28 bar ning temperatuur 435 °C. Huvipakkuv on biogaasi tarbiv koostootmisjaam. Biogaasi toodetakse rohtsest biomassist, mida saadakse 250 hektarilt põldudelt 10 km raadiuses. Enamikus on põllud talunike poolt välja renditud haljasmassi kasvatamiseks. Kultuuri-deks on mais, lutsern ja ristik. Haljasmass koristatakse ning seejärel sileeritakse. Iga päev lisatakse kääritud tankidesse 25 tonni haljasmassi. Protsess on mesofiilne (39 °C). Koostootmisjaama elektriline ning soojuslik võimsus on vastavalt 500 kW ja 600 kW, kasutatakse sisepõlemismootorit. Soojusenergia tarbijaid on 70 ning trassi pikkus 5,1 km. Kui võrrelda maisikasvatuse kasumlikkust teraviljana või energiakultuurina, siis teraviljana maksab mais 18 €/t ning biomassina 24 €/t.

Päikeseenergia

Päikeseenergeetika rakendusi on kahte tüüpi: soojusenergia saamiseks ning elektrienergia tootmiseks. Nende osatähtsus on veel väike. Näiteks päikesekollektor sooja vee saamiseks töötab koos katlamajaga, andes kogutoodangust ühe kolmandiku. Võrku ühendatud päikeseplatade võimsused elektrienergia saamiseks jäävad 10 kW piiresse.

Vedelad biokütused

Vedelaid biokütuseid toodetakse rapsiseemnetest ning jääkõlidest. Rapsiõli toodetakse külmpressimise teel. Seejärel läbib õli esterifikatsiooni protsessi katalüsaatori (meta-nool) manulusel ning saadakse glütserool ja biodiislikütus. Glütserooli kasutatakse farmaatsiatööstuses või põletatakse hakkpuidukateldes, kuid viimane viis pole majanduslikult otstarbekas. Jääkõlid, mis saadakse toiduainetööstusest, puhastatakse ning kasutatakse samuti biodiislikütuse tootmiseks. Koostöös Viini ülikooli teaduritega katsetatakse biobensiini tootmist puidugaasist.

Perspektiivid

Praegu suudetakse varustada oma piirkond soojus- ja elektrienergiaga. Kavas on rajada gaasitrass Viini, millesse juhitakse nii bio- kui puidugaas. Elektrienergiat müüakse juba praegu väljapoole. Biodiislikütuse tootmist kavatakse laiendada nii palju, et suudetakse oma piirkonda varustada. Suund on elektri ja soojuse koostootmisele, kusjuures elektrit müüakse väljapoole ning soojus tarbitakse kohapeal, ja kütuste gaasistamisele, mis võimaldab tõsta seadmete kasutegurit ning müüa ka gaasi väljapoole.

Kokkuvõtteks

Güssingi piirkonnas kasutavad tehnoloogiad on praegu veel väga kallid. Ilma EL-i ja riigi toetuseta poleks olnud võimalik neid rakendada. Austria riigi toetus on tõhus. Taastuvatest energiaallikatest toodetud elektrienergiale on kehtestatud fikseeritud kokkuostuhinnad 30 aastaks. Hinnad on diferentseeritud, sõltuvalt tootmisvõimsustest ning energiaallikast. Need jäävad vahemikku alates 10 eurosentit 1 kW·h kohta biomassist kuni 60 eurosendini 1 kW·h kohta päikeseenergiast toodetud elektri eest. Juba praegu on piirkond muutunud arvestatavaks tööstusregiooniks, kuhu on tulnud hulgaliselt puidu- ja kergetööstusettevõtteid. Inimesed on hakanud naasma, sest on loodud uusi töökohti.

KirjandusReferences

1. Bezirkshauptmannschaft Güssing (2006) Güssing, die Perle des Südburgenlandes. <http://www.guessing.co.at/>.
2. Europäisches Zentrum für Erneuerbare Energie Güssing (2006). http://www.eee-info.net/index_e.html.

ALTERNATIVES OF RENEWABLE ENERGETICS IN REGIONAL DEVELOPMENT (EXAMPLE OF AUSTRIA)

Maria Habicht¹ and Andres Annuk²

¹SA Archimedes, e-mail: mari@ise.ee

²Institute of Technology of Estonian University of Life Sciences
e-mail: andres.annuk@emu.ee

Abstract

It is a good example what to do when the traditional economy – agriculture becomes unprofitable. Area Güssing in Austria is a good example. There are good family traditions people live in small villages. In spite of the lack of wind and water energy the people of Güssing decided to change their branch of economy from agriculture to the production of renewable energy carriers. Now their main branch of economy is the production of heat energy and electricity from wood and field crops. They are able to fully supply their own district with energy and they intend to sell electricity and gas abroad. They produce gas from wood and biomass as biogas. Other occupations in the field of energy consumption are solar energy and biodiesel.

ELEKTRIENERGIA HAJUTATUD TOOTMINE EESTIS

Marek Muiste

Eesti Maaülikooli tehnikainstituut, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu
e-post: muiste@hot.ee

Annotatsioon

Seoses muutustega Eesti majandusruumis eelmise sajandi viimasel kümnendil on meie energiasüsteemi struktuuris lisaks suure võimsusega elektrijaamadele Ida-Virumaal loodud mitmeid väikese võimsusega tuule-, hüdro- ja soojuselektrijaamu. Analüüsid lokaalelektrijaamade poolt AS Jaotusvõrgule 2004/2005. majandusaasta jooksul müüdud elektrienergia koguseid, püütakse hinnata meie hajaenergeetikas toodetud elektrienergia mahtu ja iseloomu. Samuti vaadeldakse Rohelise Energia projekti raames tarbijatele müüdud taastuvenergia hulka. Püütakse hinnata hajaenergeetika edasisi arenguid.

HAJAENERGEETIKA, HAJUTATUD TOOTMINE, ROHELINE ENERGIA, TAASTUVENERGEETIKA

Hajaenergeetilise struktuuri kujunemine

1990. aastate alguses toimusid Eesti energiasüsteemis mitmed muutused. Energiatarbe vähenemine oli seotud ka teiste samale perioodile langevate protsessidega. Olulisimaks neist oli põllumajanduslike suurmajandite lagunemine majandusreformide käigus, mille tulemusena vähenes elektrienergia tarbimine põllumajandussektoris. Kui aastal 1991 oli see veel 1,6 TW·h (22% kogutarbimisest), siis aastal 2000 kõigest 0,22 TW·h (4% kogutarbimisest) (Majandus- ..., 2001). Tegelikult toimus tarbimise vähenemine kõikidel elualadel. Põhjuseks olid energiahinna tõus, tööstuse ümberstruktureerimine ja uue, säästlikku tarbimist propageeriva mõtteviisi levik. Praegu, enam kui kümme aastat pärast Eesti Vabariigi taasiseseisvumist pole nõudlus efektiivsema energiasüsteemi järele sugugi väiksem kui toona. Põhilised probleemid on jätkuvalt energiavarustuse ja -tarbimise efektiivsus, samuti energiatööstuse keskkonnamõjud ja nende vähendamine. Oluliseks on ka energialiikide ühikuhind ja konkurentsivõime.

Kuid sarnasus eelmise sajandi viimase kümnendi probleemidega on näiline. Muutunud on küsimuste kontekst. Kui möödunud kümnendil saime rääkida energialiikide tootmisest Eesti mastaapides ning energeetikaturu vastavusest meie siseriiklikule regulatsioonile, siis praegu räägime me energeetikast ühelt poolt Euroopa Liidu liikmesriigina ja teisalt olles oma energiamajanduses tugevalt SRÜ kui mitme olulise primaarenergeetilise ressursi tootja mõjusfääris. Meile ei pruugi see meeldida, aga mõlemad tegurid on tänane realiteet, millega meil tuleb tahes-tahtmata hakata arvestama. Seetõttu on senised energiamajanduslikud sõlmprobleemid omandanud hoopis uue värvingu ning põimunud rahvusliku julgeoleku ja konkurentsivõime küsimustega. Teiste riikide (näiteks Saksamaa) kogemus näitab, et majanduse üldine üleilmastumine avaldab mõju ka energeetikasektoris. Oluline on veel, et avatud energiaturu tingimustes on selged eelised elektrienergia tootmise ja vahendamise tegelevatel

suurkorporatsioonidel, kes, saavutanud turul liidripositsiooni, asuvad tarbijatele elektri hinda dikteerima (Vare, 2003; Vitsur, 2004).

Mitmed muutused on aset leidnud ka meie elektroenergeetikas. Kriitiline suhtumine põlevkivitoorme kasutamisse elektrienergia tootmisel on alates möödunud sajandi kaheksakümnendate aastate lõpust, nn fosforiidisõjast alates pidevalt süvenenud. Vastasseisu põhjused peituvad ühelt poolt Ida-Virumaa põlevkivibasseinis 1950. aastatel alanud intensiivse põlevkivielektri suurtootmisega kaasnevates keskkonnaprobleemides ning teiselt poolt on seotud põlevkivi kui fossiilse kütuse kasutamisega laiemalt. Samuti usutakse, et meie aktiivne põlevkivivaru oleks keemiatööstuse ressursina tänuväärne materjal ning selle põletamine majanduslikult vähe õigustatud. Teisalt tagab selline ulatuslik sisemaise primaarenergeetilise ressursi kasutamine meie elektrienergiasüsteemi sõltumatuse naabritest.

Üks olulisemaid protsesse, mis Eesti energiamajanduses viimase aastakümne jooksul toimunud, on väikeste jõujaamade levik kogu meie territooriumi ulatuses. Väikese jõudlusega elektrijaamad, milleks on hüdrojaamad jõgedel, tuulejaamad rannikul, hakketoormel või turbal põhinevad soojusjaamad, annavad meile täna võimaluse rääkida uuest energeetilisest struktuurist – hajutatud tootmisjaamadega elektrienergia tootmise süsteemist. Hajaenergeetika oponeerib meil kuni nõukogude aja lõpuni toimunud tsentraliseeritud energialiikide tootmise süsteemile, milles kogu võimsus toodetakse ühes (või mitmes geograafiliselt lähestikku paiknevas) keskses tootmisjaamas (Muiste, 2004). Tuleb märkida, et ka praegu toodetakse enam kui 90% elektrienergiast Ida-Virumaal (Riigikogu, 2004, p 1.2), meie elektritootmise mõttelises tsentris. Siiski näitavad viimaste aastate arengud, et hajaenergeetika on muutunud järjest olulisemaks ning kohalike jaamade poolt toodetud elektri järele on nõudlust.

Lokaaljaamade toodang

Statistika näitab (Rebane, 2005), et 2004/2005. majandusaastal (aprill 2004 kuni märts 2005) müüs 49 erinevat lokaaljaama oma toodangut OÜ Jaotusvõrgule. Kolm neist, Virtsu TEJ üks tuulik, Linnamäe HEJ ja Keila-Joa HEJ kuuluvad AS Eesti Energiale, ülejäänute puhul on tegemist erakapitalil põhinevate tootmisüksustega. Kokku müüdi lokaaljaamade poolt elektrivõrku 102,13 GW·h elektrienergiat. Suuremad tootjad olid soojusjaamad Kehra Paberivabrik (Horizon) aastase müügiga 41,13 GW·h ja Kunda Nordic Tsement aastase müügiga 13,24 GW·h, mille kogumüük ületas kogu ülejäänud jaamade summaarse aastase müügi. Hüdroelektrijaamadest olid produktiivsemad Eesti Energiale kuuluv Linnamäe HEJ (müük 8,42 GW·h), Joaveski HEJ Virumaal (müük 1,99 GW·h) ja Kunda-Silla HEJ (müük 1,95 GW·h). Tuuleelektrijaamadest tootsid enim elektrit Virtsu tuulepark (müük 3,56 GW·h) ja Salme TEJ Saaremaal (müük 2,37 GW·h). Eraldi tuleb välja tuua AS Tertsile kuuluvad Pääsküla biogaasi EJ ja kombijaam kui ainsad biogaasist elektrienergiat tootvad jaamad märkimisväärse 6,62 GW·h-se aastase müügiga. Tuleb lisada, et biogaasi kasutab ressursina ka Saaremaal paiknev Jööri biogaasijaam (OÜ Saare Economics), mis alustas tööd 2005. a oktoobris ja selle tegevust siinkohal lähemalt ei vaatle. Lokaaljaamade 2004/2005. majandusaasta toodangunäitajad on kantud tabelisse 1 ja graafikule joonisel 1. Joonisel 2 on kujutatud graafikuna lokaaljaamade kasutustegur, st toodetud

elektrienergia ja maksimaalse võimaliku toodangu suhe. Tabelisse 2 on kantud hajaenergeetika summeeritud näitajad (Rebane, 2005).

Tabel 1. Lokaalsete elektrijaamade aktiivenergia toodang 2004/2005. majandusaastal
Table 1. Energy production from local power stations in 2004/2005 financial year

Elektrijaam	Kasutatav energia liik (kütus)	Toodetud elektrienergia, kW·h	Võimsus kokku, kW	Kasutus
A	B	C	D	E
Virtsu TEJ	tuule-	1 777 780	600	0,34
Linnamäe HEJ	hüdro-	8 419 269	1125	0,87
Keila-Joa HEJ	"-	226 192	365	0,07
Tootsi	soojus- (turvas)	6 397 983	–	–
K.-Järve SEJ	soojus- (pk-õli)	0	0	0,00
Kiviõli EJ	"-	0	0	0,00
Leevaku + Saesaare (AS Generaator)	hüdro-	1 867 689	450	0,48
Orajõe HEJ (AS Generaator)	"-	44 552	–	–
Räpina HEJ	"-	254 315	75	0,39
Räpina Vesiveski	"-	1 146 225	–	–
Koseveski HEJ (OÜ Kaur)	"-	238 143	40	0,69
Kotka (OÜ Gener. E&K)	"-	0	200	0,00
Kehra Paberivabrik (Horizon)	soojus- (gaas)	41 126 400	–	–
Puhja Energia	soojus- (turvas)	0	–	–
Luunja (Grüne Fee)	soojus- (gaas)	0	–	–
Põlva (AS Põlva Jõujaam)	"-	0	–	–
Virtsu Tuulepark (OÜ Roheline Ring)	tuule-	3 563 346	1200	0,34
Tahkuna TEJ (Hiiumaa)	"-	175 397	150	0,14
Peenra TEJ (Sõrve)	"-	837 814	250	0,39
Salme TEJ (AS Telewind)	"-	2 365 837	2000	0,14
Tudulinna HEJ	hüdro-	985 648	150	0,76
Kamari HEJ	"-	1 395 124	200	0,81
Kunda (AS Kunda Nordic Tsement)	soojus- (gaas)	13 243 000	–	–
Kunda-Silla HEJ (OÜ IMG Energy)	hüdro-	1 952 781	330	0,68
Kunda HEJ (OÜ Gener. E&K)	"-	1 657 854	200	0,96
Hellenurme HEJ	"-	103 752	40	0,30
Joaveski HEJ (Virumaa)	"-	1 987 879	300	0,77
Ala-Rõuge HEJ (L. Ago)	"-	8068	10	0,09
Sillaoru HEJ (OÜ Koprare)	"-	604 076	300	0,23
Lauküla HEJ (OÜ Wing)	"-	0	50	0,00
Leevi HEJ (Alternatiivenergia Grupp AS)	"-	863 693	250	0,40
Saarlase HEJ (J. Vakk)	"-	10 148	30	0,04
Kakkoveski HEJ (Kaido Parv)	"-	31 186	20	0,18
Utita Vesiveski (Võrumaa)	"-	35 235	35	0,12
Naage TEJ (V. Madiberg, Harjumaa)	tuule-	26 842	–	–
Saunja HEJ (Kuusalu)	hüdro-	68 668	100	0,08
Tammiku HEJ (Jõelähtme)	"-	211 064	50	0,49

A	B	C	D	E
Vetla HEJ (Anija)	"-"	458 816	110	0,48
Kaunissaare HEJ	"-"	1 125 835	264	0,49
Tõrva HEJ (AS Veejaam)	"-"	272 224	276	0,11
Tõrve HEJ (Pedja j)	"-"	317 381	92	0,40
Tõravere Vesiveski (Kalev Oras)	"-"	20 321	20	0,12
Kaarli HEJ (RP Grupp OÜ)	"-"	5953	3	0,23
Õisu HEJ (RP Grupp OÜ)	"-"	129 131	27	0,55
Pikru HEJ (OÜ Espo), Viljandimaa	"-"	45 397	15	0,35
Tamme HEJ (Viljandimaa, Vihi)	"-"	68	–	–
Paidra Vesiveski (Võrumaa)	"-"	48 341	20	0,28
Pääsküla biogaasi EJ (AS Terts)	biogaas	6 615 778	–	–
Pääsküla biogaasi kombijaam (AS Terts)	"-"	1 460 735	–	–
Kokku		102 125 940	–	–

Märkus: taastumatul kütusel töötavate soojusjaamade võimsusi ja kasutustegureid pole antud.

Tabel 2. Hajaenergeetika summeeritud näitajad 2004/2005. majandusaastal
Table 2. Total indicators of distributed energy production in 2004/2005 financial year

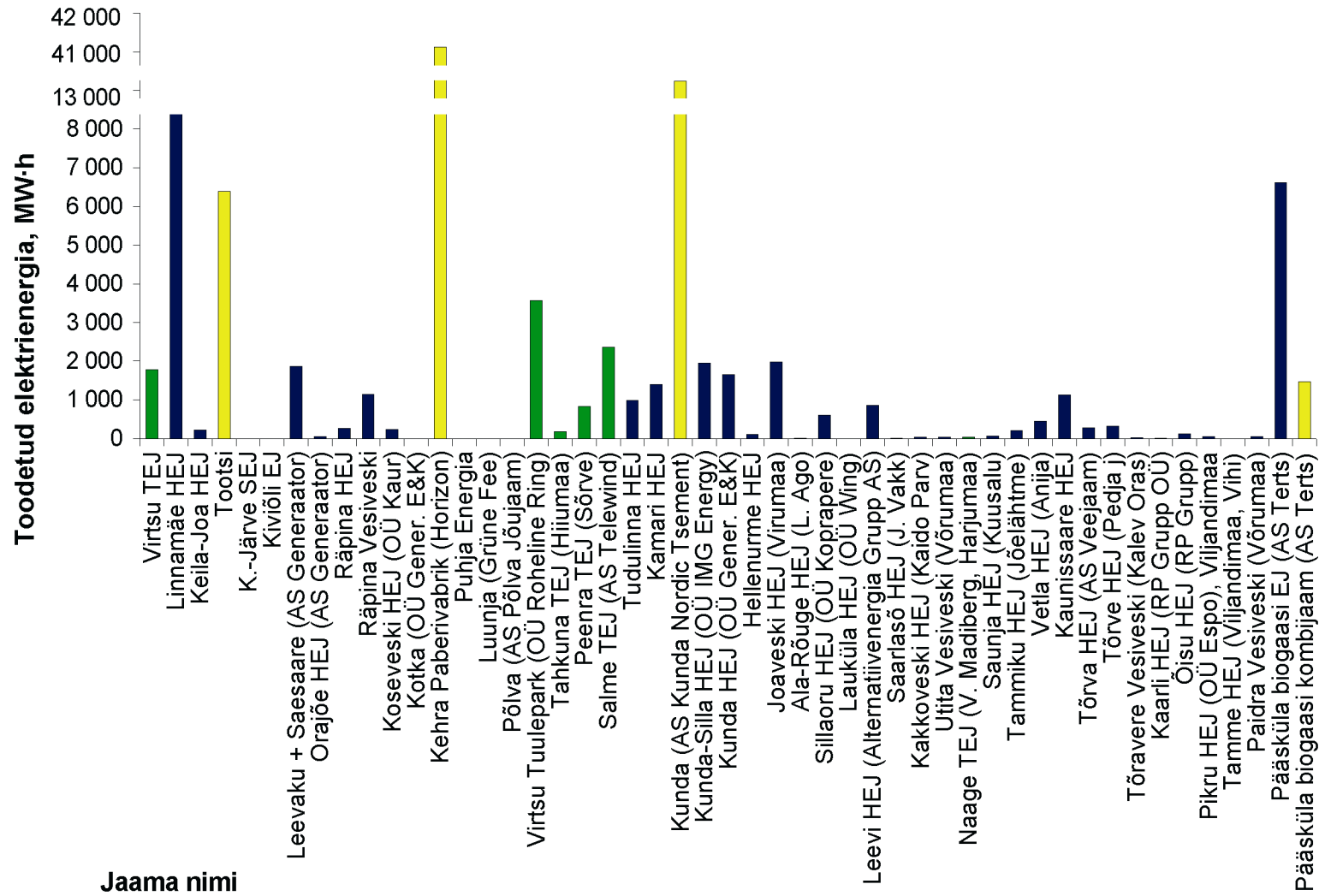
Näitaja	Elektrienergia, GW·h	Osa elektri kogutoodangust
Tuuleelektrijaamade toodang	8,75	0,09%
Hüdroelektrijaamade toodang	24,54	0,27%
Tuule- ja hüdrojaamade toodang kokku	33,28	0,36%
Biogaasijaamade toodang	8,08	0,09%
Muud SEJ-d	60,77	0,66%
Taastuvkütusel elektrijaamad kokku	41,36	0,45%
Hajutatud elektrijaamad kokku	102,13	1,11%

Hajutatud elektrijaamade kogutoodang moodustas 2004. aasta kogu elektri netotoodangust (9232 GW·h) 102,13 GW·h ehk 1,11%. Taastuvenergia on sellest 41,36 GW·h ehk 0,45% kogu netotoodangust¹⁰. Joonisel 3 on lokaalsete elektrijaamade summeeritud näitajad kujutatud graafikuna.

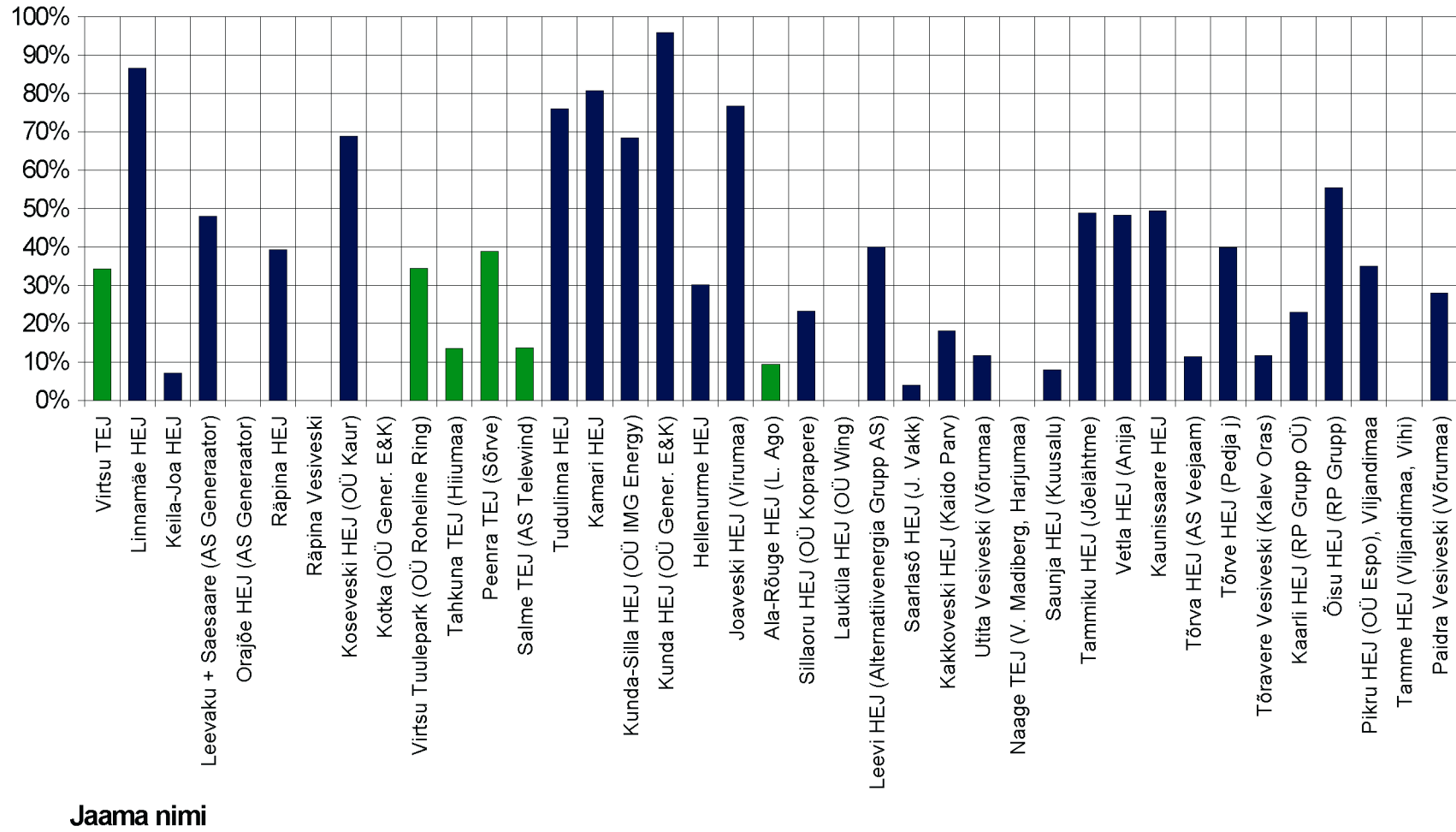
Lokaaljaamade sektorit iseloomustab loodussõbralik ressursimajandus. Kui gaasi- ja turbajaamad välja jätta, siis on hajaenergeetika puhul tegemist taastuvatest energiaallikatest toodetud elektriga. Majandusaastal 2004/2005 oli 40% (vt tabel 1) kogu lokaaljaamade poolt AS Eesti Energia võrku müüdud elektrienergiast taastuvenergia.

Väikejaamad kasutavad tavaliselt kohalikku toorainet, seetõttu on fossiilse kütuse kulu tootmisprotsessis ressursi transpordiks minimaalne. Võib öelda, et väikejaamade näol on tegemist loodussõbraliku ja kohaliku majandusruumiga hästi seotud energeetilise struktuuriga. Energiavajaduse kasv käib käsikäes uute töökohtade loomisega sektoris,

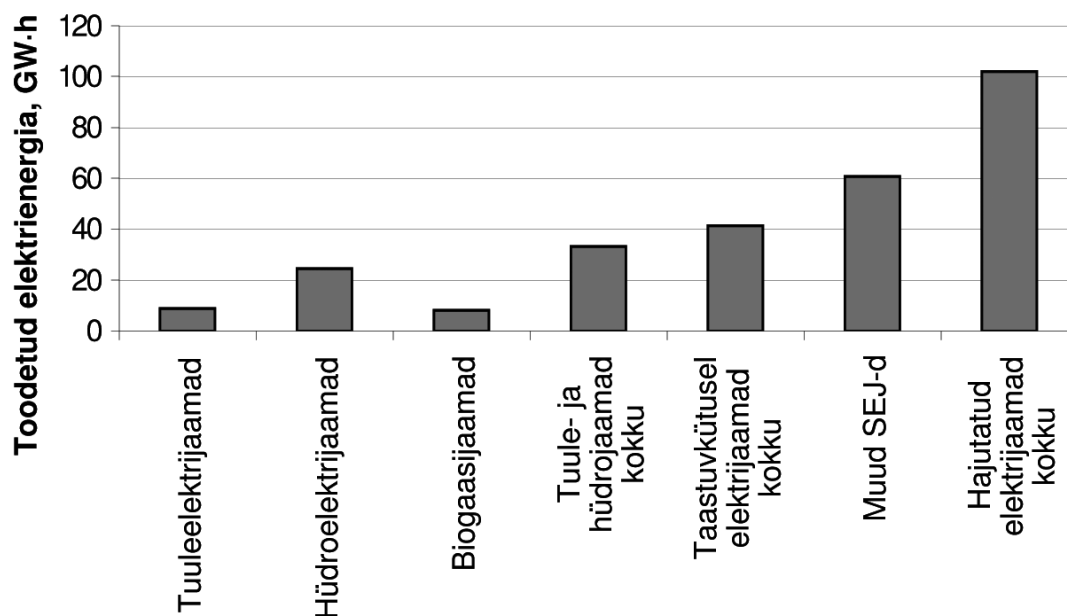
¹⁰ Eesti Energia 2004/05 aastaaruanne toob koguseks 47,9 GW·h elektrienergiat. Peatoimetaja märkus.



Joonis 1. Lokaalsete elektrijaamade aktiivenergia toodang 2004/2005. majandusaastal
 Figure 1. Energy production from local power stations in 2004/2005 financial year



Joonis 2. Lokaalsete tuule- ja hüdrojaamade tootmisvõimsuste kasutamine 2004/2005. majandusaastal
 Figure 2. The use of total capacity of local wind and hydrostations in 2004/2005 financial year



Joonis 3. Hajaenergeetika summeeritud näitajad 2004/2005. majandusaastal
Figure 3. Total indicators of distributed energy production in 2004/2005 financial year

samuti investeeringutega kohalikul tasandil ja kogu regiooni üldise arenguga (Muiste, 2004). Need protsessid on iseloomulikud väikeenergeetika senisele arengule ja süvenevad tulevikus tõenäoliselt veelgi. Peamiseks mõjuteguriks selles protsessis on keskkonnateadliku käitumise areng ühiskonnas, riigi energiapoliitika muudatused ning Euroopa Liidu keskkonnamaksude rakendamine meie põlevkivitööstuses ja -energeetikas.

Väikejõujaamade areng käib käsikäes energiaturu üldise liberaliseerimisega. Selle arengu mõju meie majandusele pole seni lähemalt uuritud, kuid ilmselt on konkurentsile positiivne mõju olemas.

Roheline Energia

Rohelise Energia projekt tegeleb taastuvenergeetika müügi ja selle energialiigi tarbimise propageerimisega. Projekti algatajateks olid AS Eesti Energia ja Eestimaa Looduse Fond. Praeguseks tegeleb projektiga peamiselt AS Eesti Energia.

2004/2005. majandusaastal müüs Eesti Energia 2 610 000 kW·h Rohelist Energiat (Oinus, 2005). Rohelise Energia müügitulemustest annab ülevaate tabel 3. Suurim tarbimine toimus III järgu sertifikaadi alusel (6000 kW·h aastas) kokku 0,94 GW·h, mis moodustas kogumüügist 36%. Kokku müüdi 2004/2005. majandusaastal 366 Rohelise Energia sertifikaati ettevõtetele ja organisatsioonidele, millest lõviosa ehk 94,81% moodustasid III ja IV (kodutarbija) järgu sertifikaadid. Rohelise Energia klientide arv on praegu märkimisväärselt väike ning sertifikaatide alusel müüdav energia jääb 6% piiridesse taastuvenergia kogutoodangust. Enamikul ettevõtetal jääb tarbitav taastuvenergia hulk alla 10% aastas kokku tarbitavast elektrienergia kogusest.

Tabel 3. Rohelise Energia kogumüük 2004/2005. majandusaastal
Table 3. Green Energy total sale in 2004/2005 financial year

	Energia, kW·h	Arv, tk	Kogumüük, kW·h	Suhtarv võimsusest	Suhtarv hulgast
RE I järgu sertifikaat	120 000	5	600 000	22,99%	1,37%
RE II järgu sertifikaat	60 000	14	840 000	32,18%	3,83%
RE III järgu sertifikaat	6000	157	942 000	36,09%	42,90%
RE IV järgu sertifikaat	1200	190	228 000	8,74%	51,91%

Hajaenergeetika tulevik

Liitumisel Euroopa Liiduga on Eesti võtnud endale mitmeid kohustusi energiaturu avatuse ja elektrienergia tootmise keskkonnamõtjude osas (Hamburg, 1999; Riigikogu, 2004, p 2). Hajutatud energiasüsteem aitab neid eesmärke ellu viia. Hajaenergeetika arengut lähiaastatel kõige enam mõjutavad tegurid on:

- eesmärk saavutada aastaks 2010 taastuvelektri osakaaluks 5,1% brutotarbimisest (Riigikogu, 2004);
- eesmärk saavutada aastaks 2020 elektri ja soojuse koostootmisjaamades toodetud elektri osakaaluks 20% brutotarbimisest (Riigikogu, 2004);
- Euroopa Liidus kehtivate saastetasude lõplik rakendamine (pärast ülemineku- perioodi) alates 2016. aastast: jäätmepõletusdirektiivi 2000/76/EÜ ja põlevkivi kasutatavate põletusseadmete direktiivi 2001/80/EÜ rakendamine (Riigikogu, 2004, p 1.3.2, 1.6).

Kindlasti mõjutavad hajaenergeetika arengut ka kütuste järjest tõusvad hinnad, mis soodustavad regionaaltasandil kohalike alternatiivide otsimist. Selleks vajalik oskusteave on olemas või võimalik suhteliselt lühikese ajaga luua.

Kokkuvõtteks

Eestis on välja kujunemas uus energeetiline struktuur, mida iseloomustab ühe suure tootmisüksuse kõrval tegutsevate lokaalsete väikese võimsusega elektrijaamade võrgustik. Lokaaljaamu iseloomustab taastuvate kütuste kasutamine ja seotus regiooni üldise arenguga. Tänapäevaks on lokaaljaamade mõju meie energiasüsteemi toimimisele veel suhteliselt väike: tootmismahud on 1,1% Eesti elektrijaamade kogutoodangust. Lokaaljaamades taastuvatest allikatest toodetud elektrienergia, mida turustatakse Rohelise Energia nime all, müük on samuti erakordselt väike, olles umbes 6% toodetud kogusest. Samal ajal on seoses fossiilsete kütuste pideva hinnatõusuga ja põlevkivienergeetikale rakendatavate keskkonnamaksudega oodata lokaaljaamades muundatava energiahulga suurenemist ning Eesti hajaenergeetilise struktuuri tugevnemist.

KirjandusReferences

1. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium (2001) Eesti Energeetika 1991–2000. Tallinn: 24. <http://www.mkm.ee/doc.php?1789>.
2. Riigikogu (2004) Kütuse- ja energiamajanduse pikaajaline riiklik arengukava aastani 2015. Tallinn. (p. 1.2., 2., 1.6.).
<https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=829062>.
3. Hamburg, A. (1999) Briifing 27.01.1999. Refereering.
http://www.vm.ee/est/kat_343/2501.html
4. Muiste, M. (2004) Detsentraliseeritud elektrienergia tootmise mudel Eestis. EPMÜ bakalaureusetöö (käsikiri). Tartu: 57.
5. Oinus, R. (2005) käsikiri.
6. Rebane, J. (2005) käsikiri.
7. Vare, R. (2003) Eesti energia hind 2015. Äripäev 25.09.2003.
8. Vitsur, H. (2004) Eesti energeetika konkureerival elektriturul. Äripäev 31.03.2004.

DISTRIBUTED PRODUCTION OF ELECTRIC ENERGY IN ESTONIA

Marek Muiste

Institute of Technology of Estonian University of Life Sciences
e-mail: muiste@hot.ee

Abstract

During the last decade of the 20th century a new structure was formed in the Estonian energy system. Distributed energy system consists of local power stations that work on oil and peat as well as on renewable sources like wind energy, hydro energy and wood. As of today the influence of local power stations on the Estonian energy system is relatively low. In the financial year 2004/2005 it was only 1.1% of the total production of Estonian power stations produced in distributed stations. About 6% from the renewable energy that was produced in local power stations was sold under the Green Energy brand. The importance of distributed energy system is growing. The strategic targets for developing of renewable energy sources are involved with the development of local power stations and distributed energy system.



Pakri tuulikute osade transport

Foto: Allan Alajaan

Riiklik eesmärk on sügava spetsialiseerumistasemega, kaasaegse ja uuendusmeelse energeetikaalase teadus- ning õppetöö kujundamine Eesti ülikoolide ja kutseõppeasutuste juurde.

Ando Leppiman

Energiakultuuride kasvatamise ja nende saaduste kasutamise hoogustumine eeldab riigipoolset arendustööd ning suunamist ja koostööd kasvataja, töötleja ning tarbija vahel.

Katrin Jürgens ja Katrin Heinsoo

Energiasektori toimimise tõhususe analüüsimiseks ja energiapoliitika rakenduste mõju hindamiseks kasutatakse järjest enam säästva arengu energiaindikaatoreid, mis rahvusvahelise metoodika kohaselt jagunevad kolme valdkonda – majanduslikud, sotsiaalsed ning keskkonnapõhised.

Anton Laur ja Koidu Tenno

Kes põlgab ökoloogilisi realiteete tõsiselt võtjaid maailma lõpu tulekuga hirmutajateks nimetades, eksib. Maailma lõpp pole tulemas, see on käimas.

Taito Mikkonen