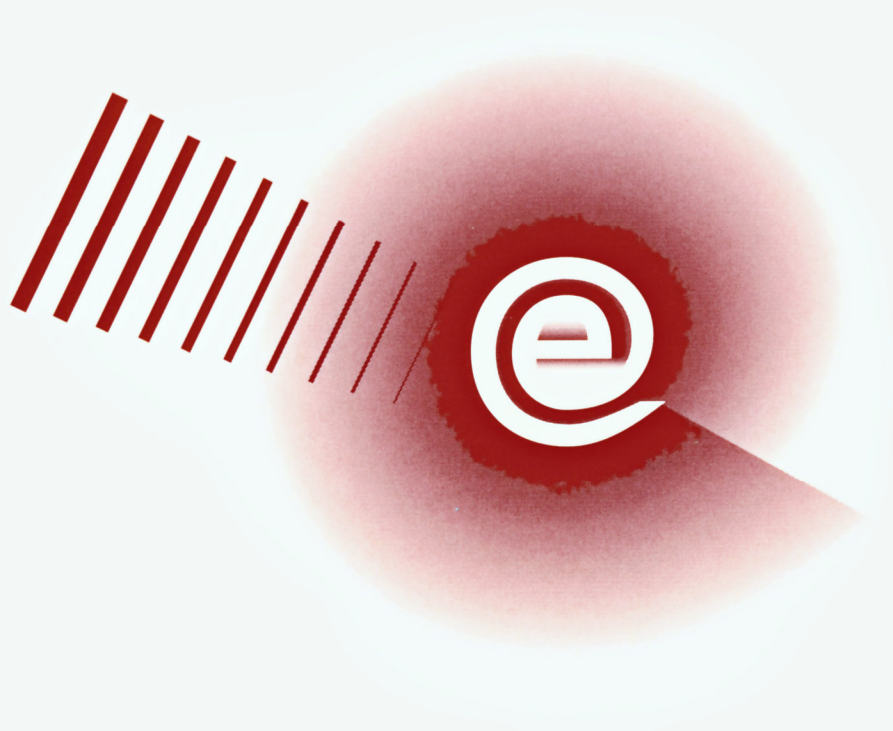


**TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE
UURIMINE JA KASUTAMINE**

———— KUUENDA ————
KONVERENTSI KOGUMIK



**INVESTIGATION AND USAGE OF
RENEWABLE ENERGY SOURCES**

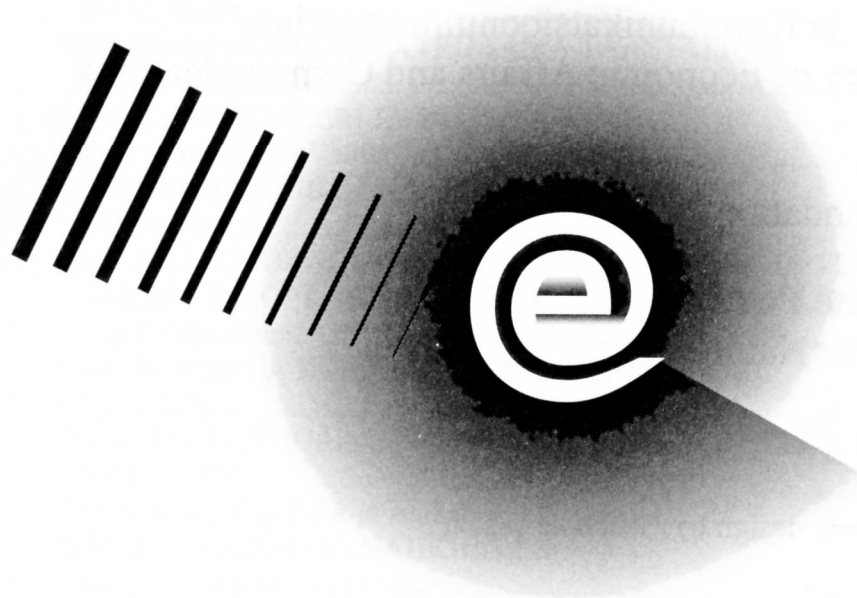
———— SIXTH ————
CONFERENCE PROCEEDINGS

TARTU, ESTONIA 2005

**TAASTUVATE ENERGIAALLIKATE
UURIMINE JA KASUTAMINE**

———— KUUENDA ————

KONVERENTSI KOGUMIK



**INVESTIGATION AND USAGE OF
RENEWABLE ENERGY SOURCES**

———— SIXTH ————

CONFERENCE PROCEEDINGS

TARTU, ESTONIA 2005

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 Kommunikatsiooniministeerium
Estonian Ministry of Economic Affairs and Communications

SA Archimedes
Archimedes Foundation

Eestimaa Looduse Fond
Estonian Fund for Nature

Kaanekujundus / Cover design by: Michael Walsh

Trükitud: OÜ Paar
Printed by: Paar Ltd

Kirjastaja: OÜ Halo Kirjastus
Publisher: Halo Kirjastus Ltd

© 2005 Eesti Põllumajandusülikool
Estonian Agricultural University

All Rights Reserved

ISBN 978-9949-426-39-3 (PDF)
ISBN 978-9985-9611-5-5 (trükis)

SISUKORD

TAASTUVENERGEETIKA AITAB HOIDA ELUKESKKONDA	
Valdur Tiit	7
ENERGEETIKAST EUROOPA LIIDUS	
Andres Tarand	9
EESTI VEEJÕU KASUTAMISEST	
Peeter Raesaar	10
LINNAMÄE HÜDROELEKTRIJAAAMA TAASTAMINE	
Kimmo Rintamäki	18
EESTI RANNIKUMERI JA JÄÄ	
Jaan Saar ja Ilona Vahter	27
PÄIKESEKIIRGUSE DÜNAAMIKA	
Teolan Tomson	34
TUULIKU TOODANGUPROGNOOSI KOOSTAMINE JA TUULIKUTE PAIGUTUSE OPTIMEERIMINE TUULEPARGIS TUULEKLIIMA ALUSEL	
Ain Kull ja Reimo Olev	42
TUULEENERGIA KOHT EESTI ENERGEETIKAS	
Vello Selg	56
ENERGIAKULTUURIDE SOBIVUSEST ENERGEETILISTE KATELDE KÜTUSEKS	
Livia Kask, Ülo Kask ja Aadu Paist	65
TUULETURBIINID JA NAHKHIRED	
Matti Masing ja Lauri Lutsar	77
BIODIISLIKÜTUSE TASUVUSEST EESTIS	
Jaan Kivistik ja Heli Laas	81
TAASTUVENERGIA KASUTAMINE RÕUGES	
Tanel Lukason	93
AVAMAA JA PÄIKESEKOLLEKTORI ENERGIABILANSI VÕRDLUS	
Veli Palge	100
AKTIIVSE JA PASSIIVSE PÄIKESEMAJA VÕIMALUSTE VÕRDLUS	
Taito Mikkonen	106
TUULEST SAADAVAST VÕIMSUSEST KAGU-EESTIS	
Andres Annuk ja Teolan Tomson	112
PUUKOOR KUI VÕIMALIK KEEMIA TÖÖSTUSE TOORE VEDELKÜTUSTE JA KEMIKAALIDE SAAMISEKS	
Rein Veski, Vilja Palu, Kelly Joa, Kristjan Kruusement ja Hans Luik	119
KULUTUSED ENERGIALE ELANIKE VÄLJAMINEKUTES	
Anton Laur ja Koidu Tenno	132

EMISSIOONIKAUBANDUS JA ENERGEETIKA	
Ülo Mets	142
MTÜ EESTI VESKIVARAMU KOKKUTULEK KUNDAS	
Mae Juske, Katrin Poell, Anto Juske, Peep Tobreluts ja Meelis Parijõgi	151
TUULEENERGIA KASUTAMISVÕIMALUSED EESTIS	
Ain Kull ja Valdur Tiit	159
ENERGEETIKA EILE, TÄNA, HOMME ...	
Andres Annuk ja Jaan Lepa	166

CONTENTS

RENEWABLE ENERGETICS CONTRIBUTES TO MAINTAINING THE ENVIRONMENT Valdur Tiit	8
ABOUT ENERGETICS IN THE EUROPEAN UNION Andres Tarand	9
ABOUT THE USE OF HYDROPOWER IN ESTONIA Peeter Raesaar	17
REHABILITATION AND CFD CALCULATION OF LINNAMÄE SMALL HYDRO POWER PLANT Kimmo Rintamäki	19
ESTONIAN COASTAL SEA AND ICE Jaan Saar and Ilona Vahter	33
DYNAMICAL BEHAVIOR OF THE SOLAR IRRADIANCE Teolan Tomson	41
WIND ENERGY YIELD ASSESSMENT AND OPTIMIZATION OF WIND TURBINES SITES IN WIND FARM BASED ON WIND CLIMATE Ain Kull and Reimo Olev	55
THE ROLE OF WIND ENERGY IN ESTONIAN ENERGETICS Vello Selg	64
THE SUITABILITY OF ENERGY PLANTS AS FUEL IN ENERGY BOILERS Livia Kask, Ülo Kask and Aadu Paist	76
WIND TURBINES AND BATS Matti Masing and Lauri Lutsar	80
EXPEDIENCY OF BIODIESEL FUEL IN ESTONIA Jaan Kivistik and Heli Laas	92
USAGE OF RENEWABLE ENERGY IN RÕUGE Tanel Lukason	99
COMPARISON OF ENERGY BALANCE OF HORIZONTAL OPEN SURFACE AND SOLAR COLLECTOR Veli Palge	105
COMPARISON OF POSSIBILITIES OF ACTIVE AND PASSIVE SOLAR HOUSE Taito Mikkonen	110
ABOUT WIND CAPACITY IN SOUTH-EASTERN ESTONIA Andres Annuk and Teolan Tomson	118
TREE BARK AS A POTENTIAL RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF LIQUID FUELS AND CHEMICALS IN CHEMICAL INDUSTRY Rein Veski, Vilja Palu, Kelly Joa, Kristjan Krusement and Hans Luik	131

ENERGY EXPENSES IN HOUSEHOLD EXPENDITURE	
Anton Laur and Koidu Tenno	141
EMISSION TRADING AND ENERGY	
Ülo Mets	150
NGO EESTI VESKIVARAMU	
Mae Juske, Katrin Poell, Anto Juske, Peep Tobreluts and Meelis Parijõgi	158
PROSPECTIVES FOR WIND ENERGY USE IN ESTONIA	
Ain Kull and Valdur Tiit	165
ENERGETICS YESTERDAY, TODAY, TOMMORROW...	
Andres Annuk and Jaan Lepa	172

TAASTUVENERGEETIKA AITAB HOIDA ELUKESKKONDA

Valdur Tiit

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

Kuues taastuvate energiaallikate uurimisele ja kasutamisele pühendatud konverents TEUK–VI toimus 11. novembril 2004. a Tartus Eesti Põllumajandusülikooli aulas, nagu ka kõik eelmised. Osavõtjaid oli üle 160 paljudest Eesti piirkondadest. Seetõttu jõudis värske informatsioon tänuliku arvuka kuulajaskonnani ja realiseerus ilusasti ka nõupidamiste teine oluline eesmärk – võimaldada isiklikke kontakte ja silmast silma arutleda huvipakkuvate probleemide üle. TEUK-konverentside temaatika on välja kujunenud nende tööde alusel, mis tehakse Eestis. Samas on esinejad teavitanud kuulajaid ka arengutest teistes riikides toimuvast, sest taastuvenergeetika arendamine on ülemaailmne vajadus.

Konverentsil TEUK-VI esitati 26 ettekannet, millest enamik on trükitud käesolevas kogumikus. Ettekanded käsitlesid päikesekiirguse uuringuid, tuule- ja veejõu kasutamist, looduskaitset, puukoore tarbimise uusi võimalusi, elanikkonna informeerimist, biomassi põletamise seadmeid, soojuspumpade tööd, taastuvate energiaallikate rakendamist Rõuges ja mõningaid majandusküsimusi. Seda tehti Eesti energeetika kui terviku kavandamise ja ühiskonna säästva, jätkusuutliku arengu vajadusi silmas pidades.

Seni toimunud TEUK-konverentsid on järjest selgemini teadvustanud, et Eesti taastuvate energiaressursside (tuuleenergia, päikesekiirgus, biomass, veejõud) varud on suured ja põhimõtteliselt võivad katta kogu meie energiatarbe. Seda teades on võimalik alustada jätkusuutliku keskkonnasõbraliku energeetika kavandamist ja ehitamist, et järk-järgult minna taastumatute varude (põlevkivi, naftatooted) kasutamisele üle loodusesõbralikele meetoditele ning taastuvate allikate ulatuslikule rakendamisele. See on pikk ja keeruline tee, kuid juba praeguste teadmiste ning tehnika arengutaseme tõttu võimalik. Elukeskkonna säilitamise seisukohalt on taoline arengutee praeguste laialdaselt levinud arusaamade kohaselt äärmiselt vajalik või isegi ainuvõimalik.

Majandusliku otstarbekuse selgitamise juures peab ka Eestis arvestama fossiilsete energiakandjate (eriti põlevkivi) tegelikku hinda ja nende varude ammendumist. Samuti on oluline hinnata energeetikaseadmete kodumaise tootmise mõju nende abil ehitatud komplekside maksumusele ja ühiskonnale üldisemalt. See probleem puudutab tööhõivet ja rahavoogude liikumise kaudu ühiskonna üldist majanduslikku edenemist.

Et võita ühiskonna toetus taastuvate energiaallikate ulatuslikuks kasutamiseks, tuleb kaasata seadmete omanikeringi kohalikud elanikud ja valida sobiv finantseerimiskeem. Valdkonna arendamiseks tuleb arvukamalt ette valmistada selle profiiliga spetsialiste, avardada uuringuid, elavdada rahvusvahelist koostööd, teostada pilootprojekte ja levitada õiget informatsiooni. Selleks on esmajoonel vajalik riiklik poliitiline tahe, senisest suurem materiaalne toetus õppe- ja teadusasutustele, informatsioonivahetus ning koostöö.

RENEWABLE ENERGETICS CONTRIBUTES TO MAINTAINING THE ENVIRONMENT

Valdur Tiit

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

The 6th conference devoted to the investigation and usage of renewable energy sources (TEUK–VI) took place on 11th of November 2004 in Tartu in the hall of the Estonian Agricultural University. There were about 160 participants from all over Estonia. Thus fresh information reached the numerous grateful audience and the second important aim was also realised – to enable personal contacts and face-to-face discussions. The range of topics of the TEUK conferences is based on the work and research conducted in Estonia. At the same time, speakers also touched upon the developments in other countries, as the development of renewable energetics is a worldwide need.

Most of the 26 papers presented at the conference have been printed in this conference proceeding. The reports analysed sun radiation, the usage of wind and hydro power, nature protection, the possibilities to use tree bark, informing the public, the biomass burning equipment, the work of heat pumps, the implementation of renewable energy resources in Rõuge and some issues of economy. It was done with planning Estonian comprehensive energetics and sustainable development of the society in mind.

The TEUK conferences so far have made it increasingly clear that Estonian resources of renewable energy (wind energy, sun radiation, biomass, hydro power) are extensive and in principle could cover the entire energy consumption in Estonia. With this knowledge it is possible to start the planning and building of sustainable environmentally friendly energetics, to progressively move from the use of non-renewable resources (oil shale, crude oil) to nature-friendly methods and extensive use of renewable energy resources. It is a long and complex path, but it is already possible thanks to the level of knowledge and technology. From the perspective of maintaining the human environment, according to widespread belief this is extremely necessary if not the only way of development.

In calculating the economic purposefulness, the real price of fossil fuels (oil shale in particular) and their reserves has to be taken into account. It is also important to assess the impact of producing the energetics equipment domestically on the cost of building complexes and the society in general. This issue concerns employment and through cash-flow general improvement of economy.

In order to win the public support to the extensive usage of renewable energy resources, local people would have to be included among the owners and the appropriate financing scheme would have to be selected. To further develop the area, it is necessary to significantly improve professional training, broaden research, liven up international co-operation, conduct pilot projects and spread correct information. For this we primarily need political will on the state level, increasing material support for the educational and scientific institutions, exchange of information and co-operation.

ENERGEETIKAST EUROOPA LIIDUS

Andres Tarand

Euroopa Parlament, e-post: atarand@europarl.eu.int

Eestis on viimase 15 aasta jooksul liiga vähe tähelepanu pööratud taastuvate energiaallikate kasutamisele. Peamisteks tegutsejateks selles valdkonnas on seni olnud entusiastid. Seadusandlikul tasemel tehti esimene märkimisväärne samm 1998. aastal, kui võeti vastu kütuse- ja energiamajanduse pikaajaline riiklik arengukava, mis oli tolle aja kohta positiivne sündmus.

Eesti astumise järel 2004. aastal Euroopa Liitu on muutunud olukord Eesti energeetika kaasajastamisel ja paremaks muutmisel soodsamaks. Teistele järele teha on lihtsam. Seni pole Eestis riiklikul tasandil tõsiselt tegeldud uuringutega taastuvenergeetika alal, aga loodame, et Euroopa Liidu eeskujul ja toetusel võetakse seda probleemi tõsiselt. Euroopa Liit on meile taastuvenergeetika arendamisel väga hea eeskuju. Euroopa Liit on taastuvate energiaallikate kasutamisel maailmas selgelt liider ja nende rakendamine pole EL-is mitte ainult võimalik, soovitatav ning vajalik, vaid see on lausa imperatiiv.

Kahjuks on Eesti praegu kõrvuti Maltaga taastuvenergeetika arendamisel Euroopas viimastel kohtadel. See on tähelepanuvääriv seik meie metsastuse, turba jms varude juures. Eestil on vaja edaspidi mitte piirduda deklaratsioonidega, vaid valitsuse ja Riigikogu tasandil hoolega kaaluda taastuvenergeetika arendamise võimalusi. Uue pikaajalise energeetika arengukava väljatöötamine ja vastuvõtmine on hea samm sel teel.

Kuivõrd seni toodavad Narva põlevkivijaamad umbes 90% Eesti elektrienergiast, siis nende edasise tegevuse kavandamisel (sh katelde renoveerimise tulemuste hindamisel) on vaja teostada rahvusvaheline ekspertiis. Seda tuleks teha enne kaalukaid energeetika arendamise otsuseid.

ABOUT ENERGETICS IN THE EUROPEAN UNION

Andres Tarand

European Parliament, e-mail: atarand@europarl.eu.int

During the last 15 years too little attention has been paid to use of renewable energy sources in Estonia. This sphere has so far been driven mostly by enthusiasts. After joining the EU in 2004 the situation has become more favourable in Estonia. The EU is a good example for us in developing renewable energetics. The EU is a clear leader in this field in the whole world and use of renewable energy sources is here not only possible, recommendable and needed, but it is an imperative. Estonia does have rather good renewable energy resources and let's hope that there is a good will to use it functionally. This is also supported by good cooperation possibilities in the EU.

EESTI VEEJÕU KASUTAMISEST

Peeter Raesaar

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

Annotatsioon

Artiklis on toodud ülevaade Eesti hüdroenergia ressursist ja selle kasutamise hetkeseisust ning tulevikuperspektiividest. Antakse lühiülevaade väikehüdroenergeetikaga seonduvatest eelistest ja probleemidest. Lühidalt käsitletakse ka mõningaid tehnoloogilisi aspekte.

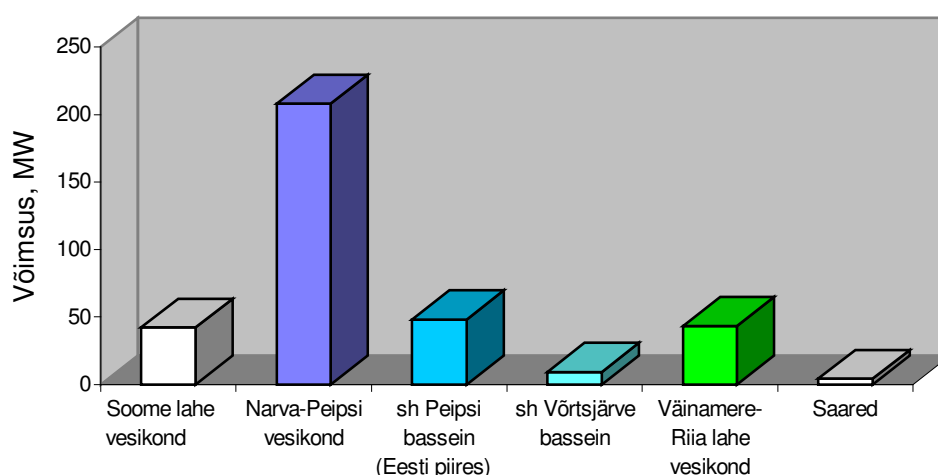
HÜDRORESSURSS, HÜDROELEKTRIJAAAM, EELISED, PUUDUSED

Hüdroressurss

Eesti üsna suurest jõgede ja ojade hulgast (üle 7000) on enamik lühikesed ja veevaesed: umbes 400 jõge on pikemad kui 10 km, ainult üheksa (Pärnu, Põltsamaa, Pedja, Kasari, Keila, Jägala, Navesti, Emajõgi, Pedetsi) pikkus ületab 100 km; ainult umbes 50 jõe vooluhulk ületab $2 \text{ m}^3/\text{sek}$ ja 14 jõel üle $10 \text{ m}^3/\text{sek}$. Veerikkamateks jõgedeks on Narva (keskmine vooluhulk suudmes ligi $400 \text{ m}^3/\text{sek}$), Emajõgi (72), Pärnu (64), Kasari (27,6), Navesti (27,2), Pedja (25,4).

Arvestades ka jõgede keskmiselt väikest kallet tasase pinnamoe tõttu on meie veejõu ressurss tagasihoidlik. Siiski on küllalt palju veenergia kasutamiseks sobivad väikesi jõuastmeid (st suurema koondatud langusega jõeosi).

Eesti Entsüklopeedia andmeil on Eesti vooluveekogude teoreetiliseks energeetiliseks kogupotentsiaaliks 300 MW. Teoreetilise potentsiaali jagunemist vesikondade kaupa esitab joonis 1.



Joonis 1. Eesti vooluveekogude teoreetilise ressursi jagunemine vesikondade kaupa
Figure 1. Distribution of the theoretical hydropower resource of Estonian watercourses by catchment's basins

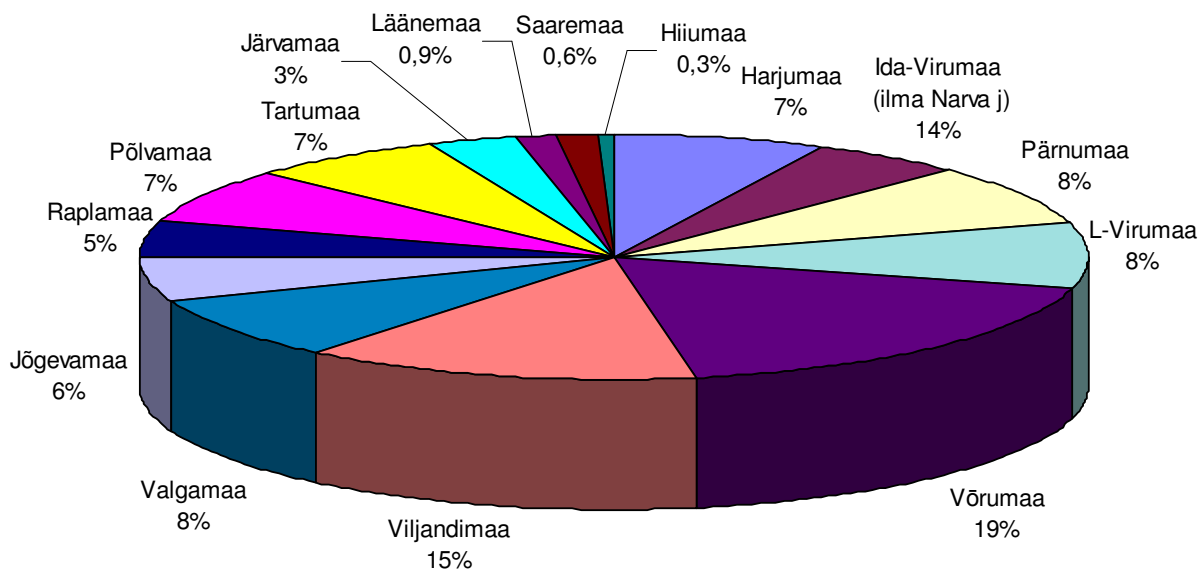
Teoreetilisest koguessursist moodustab tehniliselt rakendatav potentsiaal erinevatel hinnangutel 30–60 MW (Raesaar, 1997). Selline ressurss võimaldaks:

- toota 150–400 GW·h elektrienergiat aastas;
- katta 2–5% tarbimisest;
- säästa 0,2–0,5 mln tonni põlevkivi aastas;
- vähendada saastekoormust keskmiselt järgmiselt: lendtuhka 1500 t, SO₂ 1300 t, NO_x 150 t ja CO₂ 75 000 t võrra aastas.

Otstarbekas on eraldi vaadelda Narva jõe ressursi, kuna:

- see on võrreldav ülejäänud jõgede koguessursiga ja selle kasutamine pakub huvi ka suureenergeetika seisukohalt;
- see on suures osas ära kasutatud Venemaa halduses oleva Narva hüdroelektrijaama (HEJ) poolt, mille võimsus on 125 MW. Vastavalt rahvusvahelistele tavadele jagatakse piirijõgede HEJ-de toodang riikide vahel võrdeliselt nende territooriumil asuva valgala pindala osaga, seega peaks Eesti riigil olema õigus umbes ühele kolmandikule Narva HEJ toodangust;
- jõel leidub oluline kasutamata ressurss – Omuti jõuaste – võimsusega erinevatel hinnangutel 15–30 MW;
- Narva kui praeguse piirijõe ressursi kasutamine on seotud pigem poliitiliste kui tehniliste ja majanduslike aspektidega.

Joonisel 2 on toodud tehnilise potentsiaali hinnanguline jagunemine maakonniti (Raesaar, 1997).



Pilk minevikku

Esimesed kirjalikud andmed vesiveskite kohta Eestis pärinevad juba 13. sajandist. Esimesed hüdroelektrijaamad rajati 19. saj lõpul. Teise maailmasõja eel oli vee-energia osakaal Eesti energiabilansis suur. Nimelt moodustas 1936. a veejõumasinate võimsus 18,2% koguvõimsusest, nende toodang – 28,2% summaarsest energiatarbimisest. 1940. a oli töös 921 turbiini ja vesiratast koguvõimsusega 27,5 MW (Leppik, 1937). Hüdroelektrijaamade koguvõimsus oli 9343 kW, nende toodang – 28 770 MW·h – moodustas 28,6% elektrijaamade kogutoodangust (Veerus, 1937).

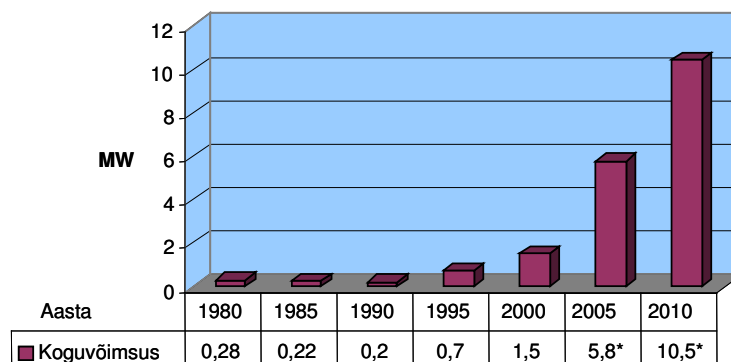
Teise maailmasõja ajal purustati enamik veejõuseadmeid. Aastail 1945–1950 paljud taastati ja käiku lasti ka uusi. 1949. a oli hüdrojaamade koguvõimsuseks 1140 kW. Edaspidi, seoses põlevkivienergeetika arenguga, tunnistati vee-energia ebaperspektiivseks ja hüdrojaamad olid määratud väljasuremisele.

Tänane seis

Veejõu kasutamise uus tõus algas pärast taasiseseisvumist: 1991. a taastati Saesaare HEJ Ahja jõel, 1993. a Leevaku ja Kotka jaamad vastavalt Võhandu ja Valgejõel. Edaspidi on praeguseni jätkunud endiste jaamade taastamine, samuti endiste vesiveskite rekonstrueerimine elektrijaamadeks.

Praegu on elektrivõrkudesse ühendatud üle 20 minihüdroelektrijaama koguvõimsusega 5,4 MW ja ligikaudse keskmise aastase kogutoodanguga 30 000 MW·h, samuti rida mikrojaamu võimsusega alla 10 kW. Suurim ja moodsaim on aastal 2002 taas käiku lastud Linnamäe HEJ Jägala jõel. Jaama on paigaldatud kolm Soome firma Waterpumps turbiini koguvõimsusega 1,1 MW, mille toodang moodustab keskmiselt 6–7 GW·h/a. Jaama taastamise erimaksumuseks kujunes ligikaudu 30 000 kr/kW.

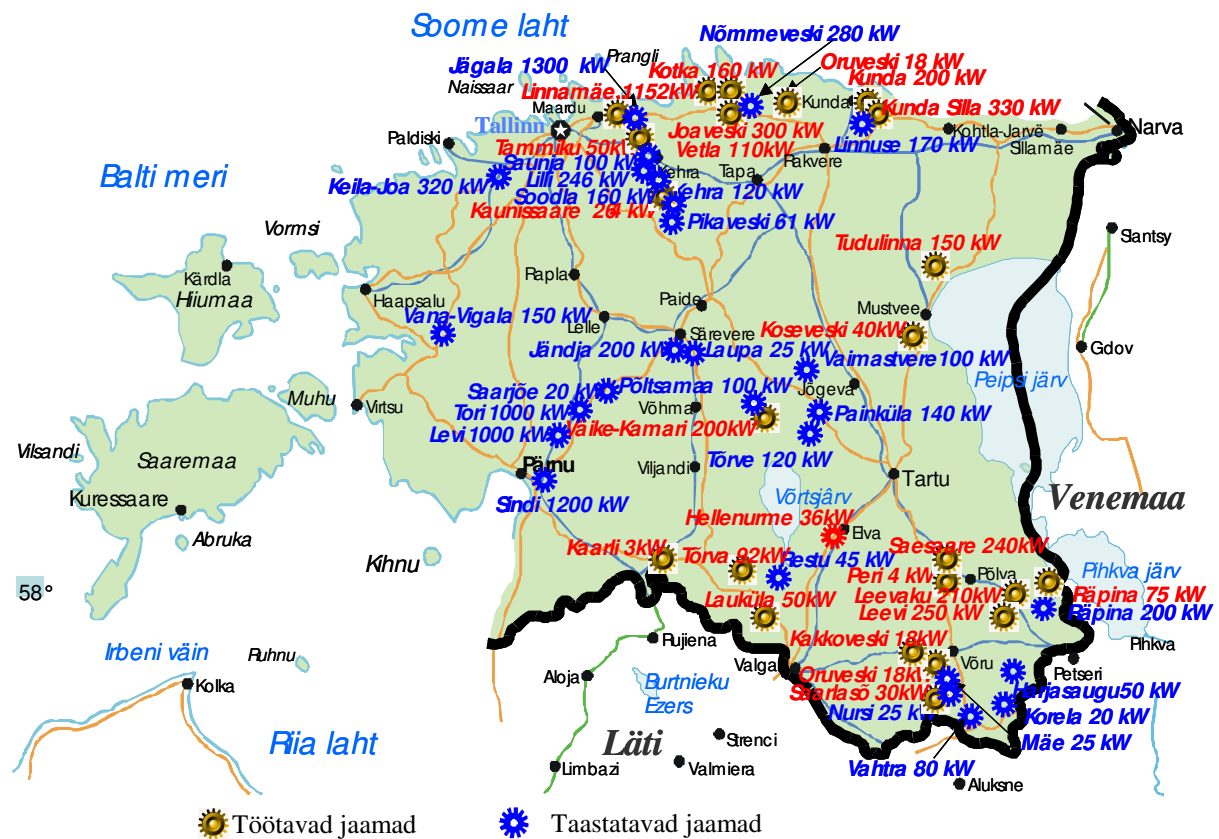
Tänaseks tegutseb mitu hüdroenergeetika ettevõtet, nagu näiteks AS Generaator, AS Eesti Veejõud jt. Huvi vee-energia kasutamise vastu on üles näidanud Eesti Energia, mitmed kohalikud omavalitsused ja eraisikud. Ilmunud on soovitusi väikehüdrojaamade projekteerimiseks (Raesar, 1995). Hüdroelektrijaama rajaja saab kasulikku teavet ka Tanel Lukasoni raamatust (Lukason, 2004). Veejõu viimase aja kasutuselevõtu tempo on keskmiselt 0,4–0,5 MW aastas. Eesti hüdroelektrijaamade koguvõimuse dünaamikat viimastel aastakümnetel illustreerib joonis 3.



Joonis 3. Eesti hüdroelektrijaamade koguvõimuse dünaamika (* – prognoos)
Figure 3. Change of the total capacity of Estonian hydropower plants (* – forecast)

Perspektiivid

Elseisvatel aastatel kavandatakse taastada 28 endist hüdrojaama ning vesiveskit koguvõimsusega 5,6 MW ja aastase kogutoodanguga orienteerivalt 34 000 MW·h. Lähitulevikus on taastamisväärilised veel 5 endist suuremat jaama võimsusega ligi 0,5 MW ja aastase kogutoodanguga 3000 MW·h. Säilinud on paarsada elektrienergia tootmiseks sobivat veskikohta. Töötavate ja lähiajal taastada kavandatavate veejõujaamade paiknemine on kujutatud joonisel 4.



Joonis 4. Töötavad ja lähiajaks taastada kavandatud veejõujaamad

Figure 4. Hydropower plants operating at present and planned to be restored in the short term

Firma FFT Technologies OÜ katsetab Puurmanis mobiilset nn vabavoolu turbiini, mille idee pärineb Priit Jagomägil ja Mati Kokkalt ning mis võimaldab vett paisutamata elektrienergiat toota. Rakendatud on tööpõhimõtet, mis on kasutusel tõusu-mõõna jaamades, kuid vaadeldav turbiin on maailmas uudne, kuna võimaldab töötada ka kahe meetri sügavuses jões. Firma kavandab paigaldada Narva jõele Omuti kärestikku kuus kuni kümme sellist turbiini võimsusega á 50 kW. Perspektiivseid kohti vabavoolu tehnoloogia rakendamiseks leidub ka Pärnu jõel (Laasik, 2004).

Väikehüdroenergeetika eelised

Väikehüdroenergeetikal on rida eeliseid, millest peamised on järgmised.

- Hästi väljaarendatud tehnoloogia: lihtsad, väga töökindlad ja pika tööeaga seadmed (tavaliselt üle 50 a).
- Energia omahind ei allu oluliselt inflatsioonile.
- Väikesed käidukulud, peaaegu täielik automatiseeritus.
- Väikesed investeerimiskulud ja suhteliselt lihtne ehitus, mis võimaldab rajada MHEJ kiiresti, väheste vahenditega, lihtsate tehnoloogiliste seadmetega ning väikeste ehitusettevõtete poolt.
- Hajapaiknemine võimaldab vähendada võrgukadusid ja parandada pingekvaliteeti.
- On väga hea manööverdamisvõimega.
- Võrguga liitumine ei tekita olulisi probleeme.
- Pikaajaline traditsioon, palju säilinud rajatise, huviliste olemasolu.
- Ei raiska ressursse – jaama läbinud vesi jääb kasutuskõlblikuks.
- Regionaalarengulised eelised: endiste hüdrorajatiste taastamisega tehakse korda sillad ja paisjärved, avarduvad puhke-, turismi- ning kalastamisvõimalused ja suureneb tööhõive maapiirkondades.
- Väike kahjulik toime keskkonnale. Vastupidi, MHEJ-d ühtlustavad jõe vooluhulka ja parandavad vee sanitaarset seisundit (veevahetus, aeratsioon); väikesed paisjärvekesed mitmekesistavad maastikku ning suurendavad jõgede vastupanuvõimet põua- ja külmaperioodidel – nad ei jää suvel kuivaks ega külmu talvel läbi, tagades kaladele ning põhjaloomastikule elupaigad ka ekstreemtingimustel ja vältides ümbruskonna kaevude tühjaks jäämist põuaperioodidel.

Väikehüdroenergeetika puudused

Siiski on väikehüdroenergeetikal ka oma puudused, millest eelkõige tuleks nimetada järgmisi.

- Ressursside killustatus ja piiratus.
- Teatud sesoonsus ja sõltuvus ilmastikust – siiski tunduvalt väiksem kui nt tuulevõi päikeseenergia kasutamisel.
- Suured erinvesteeringud (investeerimiskulud 1000–5000 eurot/kW).
- Suhteliselt kõrged tootmiskulud. Siiski uute korrosioonikindlate materjalide kasutamine, hüdroagregaatide lihtsustamine ja standardimine (eriti asünkroon-generaatoritega sukelagregaatide kasutamine), elektroonsete juhtimissüsteemide rakendamine, uute konstruktsioonelementide (täispuhutavad paisud, plastiksurrvetorud) kasutamine ning orgaaniliste kütuste jätkuv kallinemine muudavad MHEJ-d igati konkurentsivõimelisteks. Eriti head näitajad saadakse endiste jaamade taastamisel.
- Nõrga võrguga liitumisel võib teatud probleemiks olla reaktiivvõimsuse vajadus – selle leevendamiseks tuleb paigaldada kondensaatorpatareid.
- Veehoidlate mõju pole alati ühetähenduslik – nende keskmiselt soojem ja hapnikuvaesem vesi võib vähendada hinnaliste külmaveelembeste kalaliikide (harjus, forell) arvukust. Kahjuliku mõju leevendamiseks tuleb ehitada kalateid või -treppe. Selleks on vaja head projekti ja ehituskuludeks üsna palju raha. Samuti võib veetaseme tõstmine põhjustada raskusi maaparanduses. Üleujutustega seotud maakadu saab vähendada kaitsetammide rajamisega.

- Omaette probleeme võib üles kerkida, kui jõel paikneb muuotstarbelisi veehaardeid või jaamade kaskaad.
- Looduslikult kaunite jugade võimalik kadumine – nende säilitamiseks võib rakendada nt Soome või Rootsi kogemusi, kus turismihooajaks jaamad suletakse.
- Võimalik sobimatus loodusega – selle vältimiseks on vajalik hüdrorajatiste hoolikas kujundus, et need harmoneeruksid ümbruskonnaga: betoonpaisudele eelistada muld- või kivipaise, kasutada varjatud juurdevoolukanaleid ja survetorusid, ülevoolupaisudele anda looduslike karestike väljanägemine jne. Head kogemused selles osas on olemas nii Lääne-Euroopas kui sõjaeelses Eestiski.
- Müra – helibarjääride ja kaasaegsete seadmete kasutamine võimaldab siiski müranivood maksimaalselt alandada.

Probleeme

Endiste jaamade renoveerimine ja uute rajamine tänases Eestis on seotud rea täiendavate probleemidega, nagu:

- suhteliselt suured erinvesteeringud – elektri omahind tuleb suhteliselt kõrge (taastatavates jaamades 60–130 s/kW·h, uutes 85–170 s/kW·h);
- rahastamisraskused – rajatiste suhtelise väiksuse tõttu on raske saada pikaajalisi sooduslaene;
- kogemuste ja oskuste piiratus, konsultatsiooni saamise raskused;
- lüngad seadusandluses – eelkõige veeressursside kasutamist reguleerivates sätetes (sh vee kasutus samale jõele rajatud jaamade kaskaadi korral), elektrivõrguga liitumise tingimused tuleb muuta läbipaistvaks ja üheselt tõlgendatavaks;
- raskused omandiküsimuste lahendamisel;
- piirijõega seotud poliitilised takistused Narva jõe ressursi realiseerimisel.

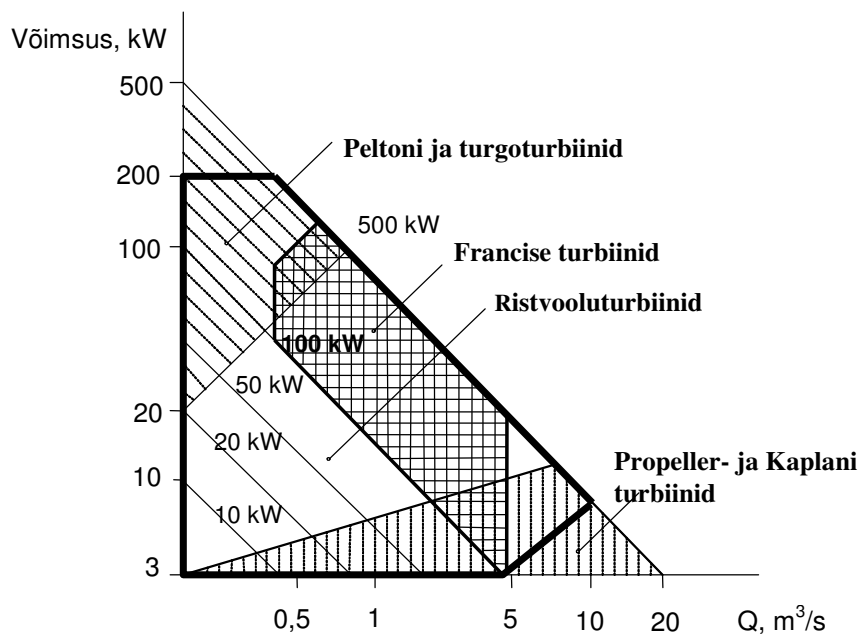
Tehnoloogiast

Lamedast pinnamoest tulenevalt on Eestis tegemist madalrõhujaamadega. Nendes kasutamiseks on lihtsaimad ja odavaimad propellerturbiinid, efektiivsemad on aga pöördlaba- (e Kaplani) turbiinid – vt joonis 5.

Võimsustel üle 50–100 kW ja rõhkudel 5–10 m on kasutatavad ka keerukamad Francise turbiinid. Suhteliselt madala kasuteguriga, kuid samas väga lihtsa konstruktsiooniga on ristvooluturbiinid. Tänapäevastes moodsates jaamades on laialt kasutusel Kaplani tüüpi toruturbiinid, samuti kompaktsed sukelagregaadid. Väga väikese võimsusega (kuni 10 kW) mikrojaamades on üheks odavaks lahenduseks reversiivsete pumpturbiinide kasutamine.

Generaatoritest on sobivaimad **asünkroongeneraatorid** – need on lihtsad, töökindlad ja odavad; ei vaja pinget ja sageduse reguleerimisseadmeid. Võimsustel alla 50 kW on lihtsaimaks ja odavaimaks lahenduseks lühisrootoriga mootori kasutamine generaatorina.

Veehoidlate puudumise tõttu on Eesti minihüdrojaamad ilma reguleerimisvõimaluseta **otsevoolujaamad** (v.a Linnamäe ja Omuti).



Joonis 5. Eri tüüpi turbiinide kasutuspiirkonnad rõhu ja vooluhulga järgi
Figure 5. Head-flow ranges for different turbine types

Kokkuvõte

Vaatamata Eesti jõgede suhteliselt väikesele (v.a Narva jõgi) energeetilisele ressursile on siiski otstarbekas võtta see kasutusele peamiselt elektrienergia tootmiseks. Jõgede veevool on taastuv ressurss, mille rakendamine suurendab energiavarustuse stabiilsust. Üldjuhul ühtlustab paisude loomine ja veejõu mõistlikult reguleeritud kasutamine jõgede vooluhulka. Lisaks kaunistavad paisjärved loodust. Hüdroenergeetika stabiliseerib energiavarustust ja lisab töökohti maapiirkondades. Selline tegevus on heas kooskõlas säästva jätkusuutliku arengu põhimõtetega.

KirjandusReferences

1. Laasik, H. (2004) Hüdroenergia saamiseks katsetatakse Puurmanis uut tehnoloogiat. Vooremaa, 31. oktoober.
2. Leppik, E. (1937) Veejõud. Eesti tootmisreservide rakendusvõimalusi. Tallinn: 103–106.
3. Lukason, T. (koostaja) (2004) Hüdroelektrijaama rajaja käsiraamat. Rõuge Vallavalitsus. Tartu: 51 +lisad 3.
4. Raesaar, P. (1995) Vee-energia Eestis. Energiakeskus TAASEN. Tallinn: 34.
5. Raesaar, P. (1997) Eesti taastava energia ja energiasäästu ressursi hinnang. Energiakeskus TAASEN. Tallinn: 57.
6. Veerus, J. (1937) Elektrimajandus. Eesti tootmisreservide rakendusvõimalusi. Tallinn: 106–120.

ABOUT THE USE OF HYDROPOWER IN ESTONIA

Peeter Raesaar

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

Abstract

An overview of the Estonian hydropower resource and its utilization at present as well as prospective for the future are presented in this paper. A short overview of advantages of small hydropower and related problems is given. Some technological aspects are touched upon.

LINNAMÄE HÜDROELEKTRIJAAMA TAASTAMINE

Kimmo Rintamäki

Waterpumps WP Oy, Karhusuontie 39, FIN-00780 Helsinki
e-post: kimmo@wpoy.com

Kokkuvõte

Linnamäe hüdroelektrijaam (HEJ) ehitati Jägala jõe suudmest 1,5 km kaugusele. HEJ kompleksi kuulusid peale paisu, jaamahoone ja teiste hüdrotehniliste rajatiste ka kalatrepp. Jaama paigaldati kolm Francise turbiini, mis käitasid igäüks ühte 435 kW võimsusega generaatorit. Linnamäe HEJ alustas tööd 17. aprillil 1924. aastal. Jaama toodanguks oli tavaliste veeolude juures kavandatud 5 mln kW·h aastas, kuid heades tingimustes 1925. aastal tootis ta ligi 6,5 mln kW·h elektrienergiat. HEJ toodang saadeti 33 kV liini kaudu Tallinna Põhja Paberi- ja Puupapivabrikusse.

Linnamäe HEJ projekteeris Helsingi Ülikooli professor Axel Verner Juselius. Kompleksi valmimise järel tunnustati ta arhitektuuriliselt kauneimaks tööstusehitiseks Eestis.

Sõjakeerises 1941. aastal Linnamäe HEJ purustati ja ta jäi varemetesse kuni 1990. aastani (vt joonis 2).

Linnamäe HEJ ehitati AS Eesti Energia eestvõttel aastail 2001–2002 uuesti üles ligilähedaselt tema endisel kujul (arhitekt Raine Karp projekteeris uutest seadmetest tingitud täiendused) ja jaam lasti käiku 10. detsembril 2002. Nüüd töötavad selles täielikult automatiseeritud hüdroelektrijaamas firma Waterpumps Oy kolm kompaktselt mittereguleeritavate labadega propellerturbiini koguvõimsusega 1,1 MW. Jaama elektritoodanguks on kavandatud ligikaudu 7000 MW·h aastas.

Taastatud Linnamäe hüdroelektrijaama vaade on toodud joonisel 5. Linnamäe HEJ on praegu Eestis kõige võimsam veejõu abil elektrienergiat tootev jaam.

REHABILITATION AND CFD CALCULATION OF LINNAMÄE SMALL HYDRO POWER PLANT

Kimmo Rintamäki

Waterpumps WP Oy, Karhusuontie 39, FIN-00780 Helsinki
e-mail: kimmo@wpoy.com

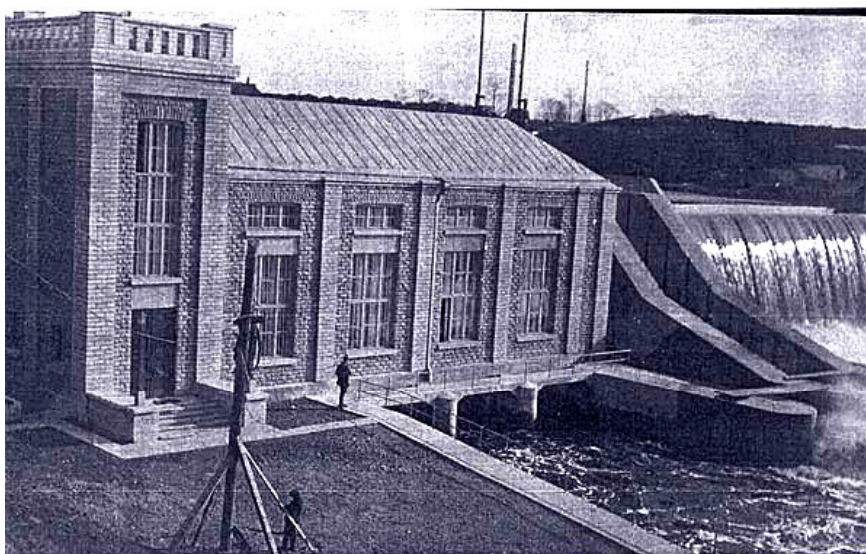
Abstract

The original plant consists of three Francis turbines. After 17 years of operation it was blown up in 1941. In late 1990 the owner, EESTI ENERGIA AS started the rehabilitation process and chose Waterpumps WP Oy to design and deliver the technological equipment to Linnamäe plant. The target was to build as simple and reliable a plant as possible, while still reaching a high level of efficiency. The first aim of the CFD calculation is to reduce the uncertainty of the boundary condition assumptions relating to the hydrodynamic components of the turbine. The second aim is to make simulation a quick and simple task. This is accomplished by means of a parametric grid-generator and a CFD solver integrated with data post-processing.

REHABILITATION, CALCULATION, SMALL HYDRO POWER PLANT

Background of old plant

Linnamäe plant is located in northern Estonia on the River Jägala, about 1.5 km from the coast of the Baltic Sea and 30 km east of Tallinn. The original plant was designed by Finnish professor Axel Verner Juselius, commissioned by the Northern Paper and Pulp Factories Company in 1917. On account of the wars at that time the building of the plant was postponed for years, and it was only in 1922 that construction started. The plant consisted of a spill over dam, fish ladders, a dam sluice, three turbine



*Figure 1. Overall view of the old plant in 1920's
Joonis 1. Jaama üldvaade 1920. aastal*

chambers and a generator house behind the chambers. The planned rated power output of the plant was 1500 hp and annual output, five GW·h/a. The rated flow was 16.5 m³/s divided between three Francis-Zwillings Turbines, each of 480 hp at a pressure of 10 m, with three generators installed in the building complex. The electricity was transmitted by a 33 kV line to the Northern Paper and Pulp mill in Tallinn. The Linnamäe plant started operation on April 17th, 1924. In the first year of operation energy production was 3.8 GW·h and in the next year production was at record level reaching about 6.5 GW·h. Linnamäe was considered a most beautiful building in those days. The plant was been blown up during the Second World War in 1941.

Refurbishment

General

After the international bidding process, the state owned EESTI ENERGIA AS chose FKSM and its subsidiary company AS Keskkonnaehitus as the main constructor for rebuilding the Linnamäe plant. The turbine-generators and control panels were manufactured by Waterpumps WP Oy, Finland. The costs of the project were 33.8 million EEK (2.161 million EUR).



Figure 2. Linnamäe, a year before the rehabilitation

Joonis 2. Linnamäe HEJ varemed aasta enne taastamist

Civil works

The construction part of the project started in March 2002 after the detailed design phases had been completed. The schedule was tight and the main contractor put a lot of manpower and other resources into the construction. At the first stage all the turbine

intakes and the old dam sluice were shut off by temporary “sluices”, and the water was channelled to the spill over dam. During this stage the intake cones of the penstocks and the support bars for the dam sluice were installed and cast, Figure 3. After installing the new hydraulically operated dam sluice, it was possible to lower the water level by passing water through the sluice.



Figure 3. Linnamäe at summer 2002

Joonis 3. Vaade Linnamäe HEJ ehitusele 2002. a suvel

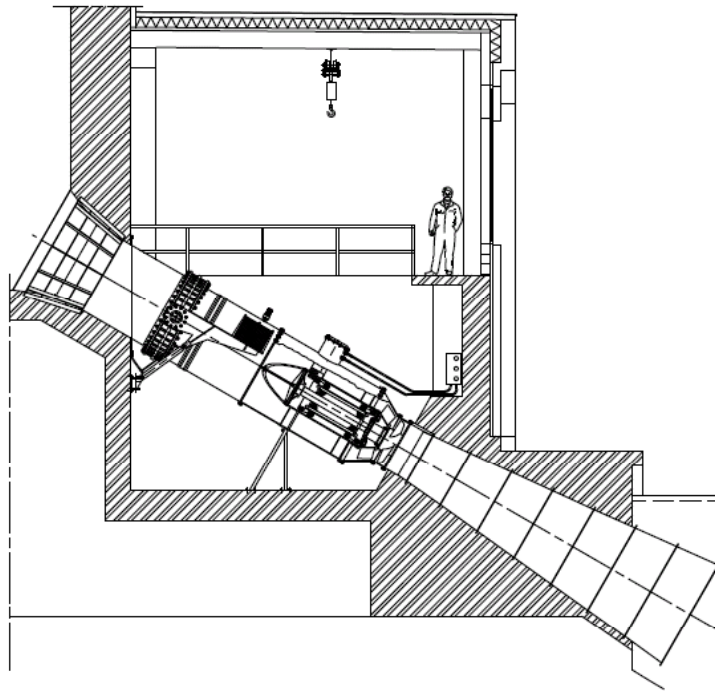
The second stage of the rebuilding began by assembling and casting three draft tubes in concrete, which was the most critical work phase. In order to keep to schedule, the installation of the technological equipment was executed while still finalising the construction works. During November all the site tests were carried out and the opening ceremony was held on December 10th, 2002.

The plant was rebuilt preserving the old architectural style. Architect Raine Karp was been responsible for integrating the new technology into the old structures. Linnamäe, now being one of the biggest hydro power plant in Estonia, doubled its hydroenergy production.

Equipment

The turbines are of the submersible tube type, manufactured entirely of stainless steel. An asynchronous generator (ABB, HXR 400XJ8) is coupled to the common shaft and bearings. Each turbine-generator unit has its own 400 V control panel. Station automation controls the units, and in case of automation block failures, it is possible to operate the units separately. AS Siemens supplied the remote control system. The signal is transferred via an optic cable, and the plant can be operated from EESTI

ENERGIA's operating centre, in Tallinn. The 1600 kVA transformer and grid connection to the 20 kV distribution network was also delivered by AS Siemens.



*Figure 4. Longitudinal section of the turbine-generator, 3*400 kW*
*Joonis 4. Turbiini ja generaatori (3*400 kW) pikilõige*



Figure 5. Rehabilitated plant seen from downstream
Joonis 5. Vaade taastatud jõuamale

The layout design resulted in simplified construction, since no beds were required for the equipment nor were massive amounts of concrete needed to stabilize the powerhouse. Only the draft tubes are cast in the concrete to absorb the forces caused by the turbine-generators. Between the butterfly valve and the turbine-generator unit there is a flexible joint to allow for temperature fluctuation, and dismantling of the generator unit when necessary. Because the turbine and the generator form a combined unit, the shaft linings on site are not needed. The only auxiliary device is a hydraulic unit to open the butterfly valve, which is closed by counter weight.

CFD calculation for Linnamäe plant

NOVA 3D program

As part of the rehabilitation project, the performance of the Linnamäe plant has been later calculated by newly developed NOVA 3D calculation program. Similar simulations have been applied to several types of hydropower plants in Europe. The results are found to be accurate enough for performance prediction and for solving the design problem.

The flow through a complete hydropower plant was simulated. This can reduce the uncertainty of boundary condition assumptions in flow simulations for components such as turbines or for draft tubes etc. The second aim is to make simulation a quick and simple task. This is accomplished by means of a parametric grid-generator and a CFD solver integrated with data post-processing.

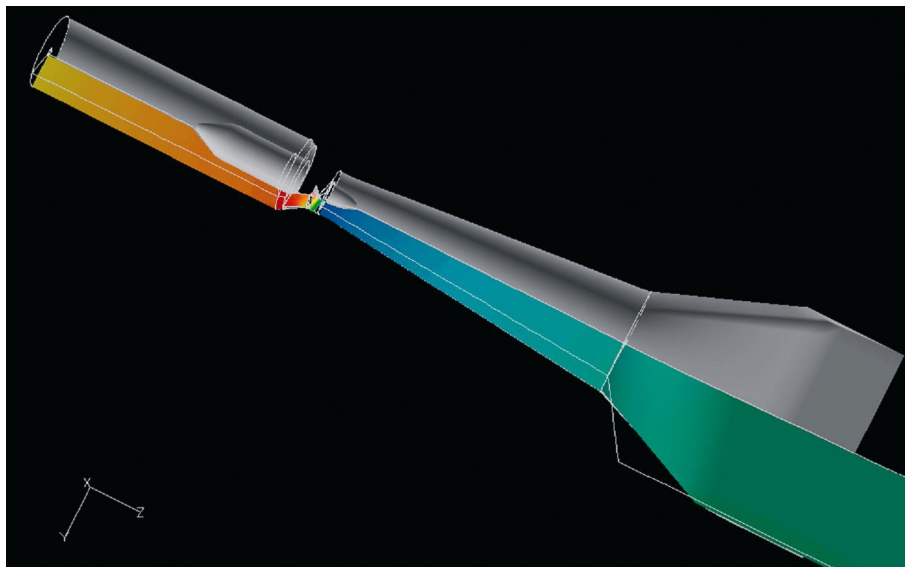


Figure 6. Pressure distribution over the calculated grid

Joonis 6. Arvutatud rõhu jaotus voolutorus

There are two motivations behind this development project. The first is that the flows in plant structure and turbine components are dependent on each other's performance. For example, the runner's flow conditions are related to the flow conditions of the draft tube and guide vanes. If simulations can be made for the complete hydropower

plant, several artificial assumptions used for boundary conditions in the component flow simulations can be avoided.

The second motivation of this project is to provide a convenient tool for hydro designers to pre-study, verify and optimise their designs. General-purposed CFD software is difficult and time-consuming for hydro designers to use. Therefore tailor-made CFD software was developed at CFD-Finland Oy for hydropower cases. The grid-generation and flow solver setup are fully parametric. The only thing the users have to do is to give the design parameters, run the software and obtain the key output parameters such as turbine power, flow discharge, draft tube pressure recovery and total plant efficiency. The commercial visualisation software is used to view the flow details.

Example Results

The simulations have been applied to several types of hydropower plants with vertical, horizontal and inclined turbine installations located in Estonia, Finland, Switzerland and UK.

One example is the Linnamäe case in Estonia. The calculation result deviates by a few percent from the measured result. We found that the grid around the draft tube exit should be dense enough to achieve accurate results. Therefore the density of the grid has been increased at certain places such as the draft tube outlet in order to prevent unrealistic flow phenomena.

One runner design idea is to minimise the friction losses of the runner by shortening the blades compared to the similar ($nsf = 612$) full-Kaplan configuration, while still keeping an appropriate safety margin against cavitation and the capability to convert the available pressure to momentum. CFD simulations show that this idea works. Figure 6 shows the velocity distribution inside the runner. The calculated velocity distribution over the runner is as expected in the design. The distribution through out the radius (r) from hub to tip clearly shows the correctness of the design.

The lowest pressure level occurs in the predicted places near tip of the runner at the suction side. The pressure distribution after the runner and at the beginning of the draft tube verifies the assumption of properly operating runner blades and also the correct guide vane configuration. The fixed guide vanes have the different outlet angles at the tip and the hub. Near the hub the guide vanes have more curvature than at the tip. This design method has been proven in many site tests, but is now also verified by the CFD result.

The velocity distribution at the beginning of the draft tube is important for achieving high efficiency at the draft tube. The flow field develops smoothly, but a small separation region can be noticed after the half distance ($0.6 \cdot L$) from the beginning. The pressure distribution and the streamline analysis with animation illustrates a gently flowing stream, which creates an excellent pressure recovery of over 90%. The CFD calculation and field tests at the Linnamäe site have verified that the plant performance meets the designed and guaranteed characteristics. The specified and guaranteed efficiency of the turbine generator is 87%.

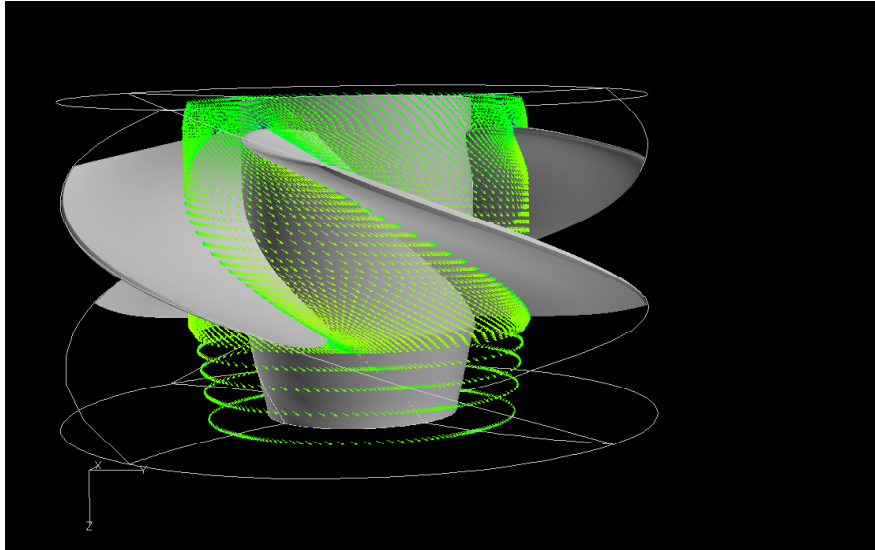


Figure 7. Velocity distribution near hub of the runner
Joonis 7. Kiiruste jaotus tiiviku rummu juures

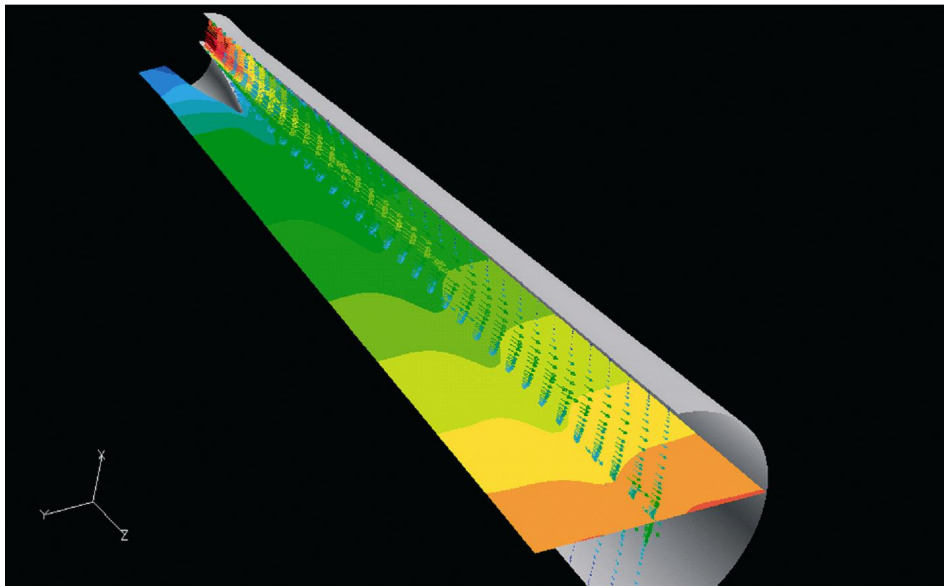


Figure 8. Pressure and velocity distributions of the conical draft tube, Linnamäe case
Joonis 8. Rõhu ja kiiruste jaotus koonulises torus (Linnamäe näide)

Conclusions and comments of CFD calculation

A CFD program has been developed to simulate the flows in complete hydropower plants. The flow simulations of complete hydropower plants can reduce the uncertainty of boundary condition assumptions in flow simulations for individual components such as turbines or for draft tubes etc.

The program is tailor-made for several types of plant layout. The grid-generation and CFD settings are fully parametric. The data post-processing is integrated in the CFD solver. Therefore hydropower designers who have limited CFD experiences can run the program easily.

CFD modelling has a significant role in small hydropower plant designs, because for customers of power plants less than 2 MW, model tests are too expensive compared to the total investment. On the other hand, the cost for CFD simulations should also be reduced to make it affordable for small hydropower designs.

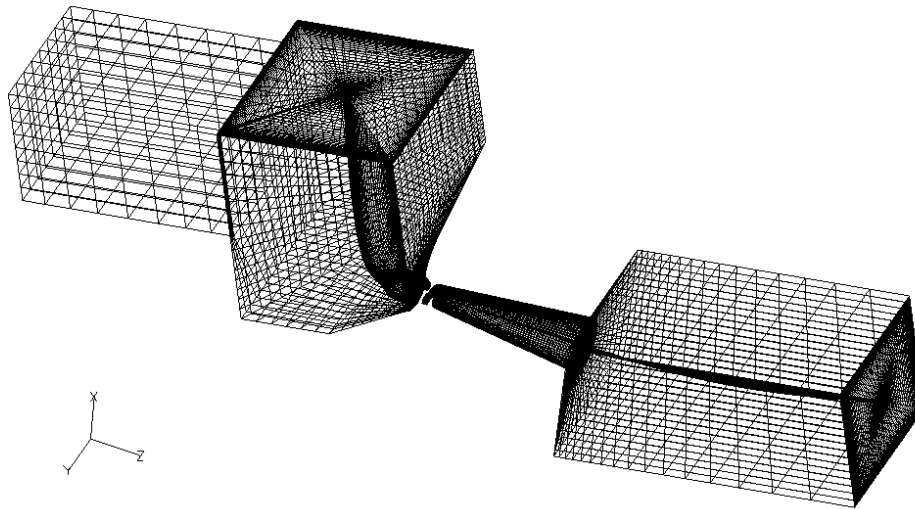


Figure 9. Computational grid of the open chamber
Joonis 9. Avatud kambri arvutimodelleering

There are still many minor details that can be developed to improve the CFD prediction of the flow in hydropower plants. One example is compact turbine plants with an open chamber, where the flow distribution at the intake is far more complex. The intake swirls with air suction seems to be a problem in low head (1.5–3.0 m) cases. This is one area we may work on to improve our CFD tool in the future.

KirjandusReferences

1. Juske, A. (2002) Linnamäe Hüdroelektrijaam Jägala jõel. Tallinn: 39.
2. Pan, H. (1997) Flow simulations for turbomachineries. Proceedings of 4th Asian CFD conference: 290–295.

EESTI RANNIKUMERI JA JÄÄ

Jaan Saar ja Ilona Vahter

Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut, Räväla 8, 10143 Tallinn
e-post: jaan.saar@emhi.ee, ilona@emhi.ee

Annotatsioon

Tänapäeval püstitatakse suuri tuulikuid ka merre. Seoses tuuleenergeetika arenguga Eestis pakub huvi selgitada, kas siin on võimalik tuulikuid rannikumerre ehitada. Võimalikuks ohuks tuulikute vundamentidele ja tornidele on merejää liikumine, seepärast on vajalik selgitada jää tekkimise iseloomu ning ulatust.

Artiklis vaadeldakse võimalust klassifitseerida jäätumise ulatust talvede külmasummade järgi ja seda, millised talved on Tallinna vaatlusandmete alusel esinenud viimase 84 aasta vältel. Neist andmeist selgub, et kõige sagedamini esinevad meil mõõdukad talved, kuid ka siis kattub praktiliselt kogu Eesti rannikumeri jääga.

Talvede iseloomustamine ja mere jäätumine

Jää võib olla ühtaegu nii sõber kui ka vaenlane. Kui minna õhukesele ja rabedale jääle, on asi naljast kaugel. Viimase 15 aasta jooksul on Eesti siseveekogudes ning merelahtedes nii hukkunud 76 inimest, kõige enam kalamehi.

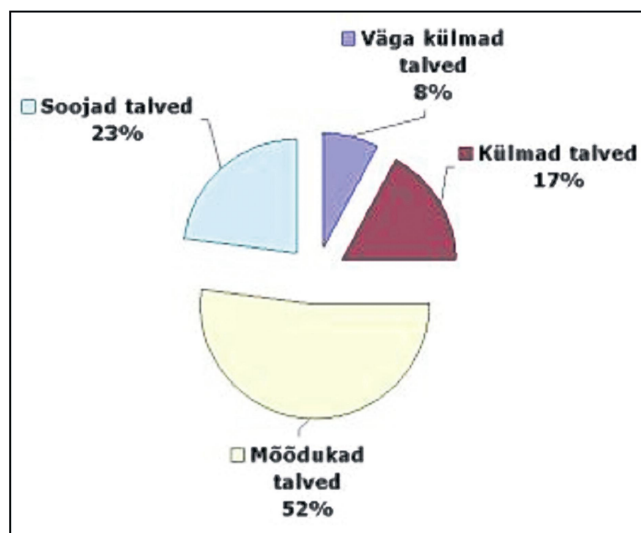
Jää režiimi uurimisel on otstarbekaks osutunud talvede tüpiseerimine nende karmuse järgi. Igale talve tüübile on iseloomulik oma hüdro meteoroloogiliste protsesside kulg, mis omakorda avaldub mere jääoludes. Kriteeriumiks on ööpäeva keskmiste negatiivsete temperatuuride summa (nn *külmasumma*) alates õhutemperatuuri langemisest alla 0° sügisel. Nimetatud näitaja järgi liigitatakse talved järgmiselt (tabel 1).

Tabel 1. Talvede klassifitseerimine külmasummade järgi
Table 1. Winter classification on sum of frosts

Talve tüüp	Külmasumma
Soe	$<-270^{\circ}$
Mõõdukas	$-270^{\circ} \dots -700^{\circ}$
Külm	$-700^{\circ} \dots -900^{\circ}$
Väga külm	$>-900^{\circ}$

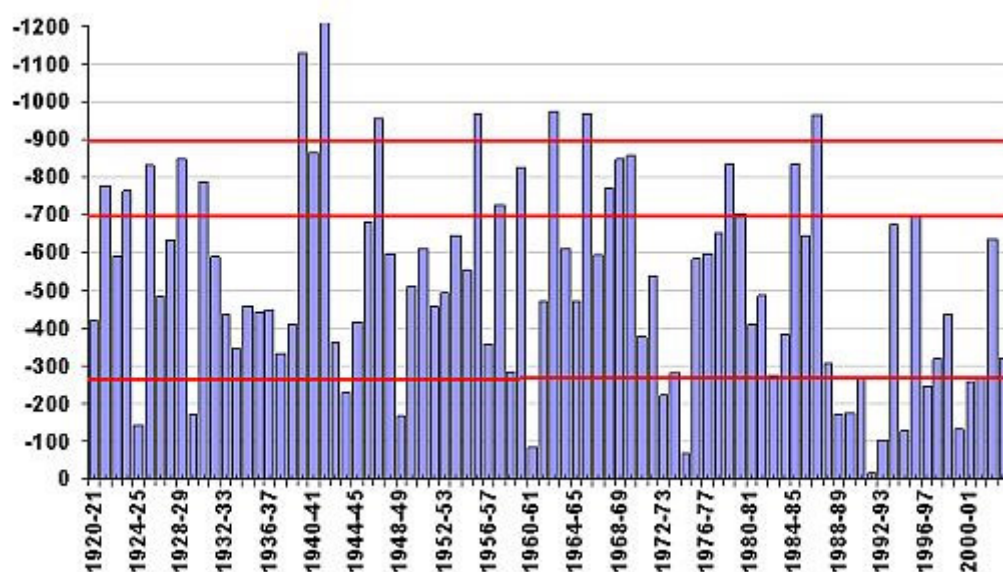
Selle tüpiseerimise järgi on Eesti viimased 84 talve olnud järgmised (Tallinna andmetel) (joonis 1).

Talvede klassifitseerimisel on tähtis näitaja ka jääkate – selle suurim pindala ehk jää maksimaalse leviku piir. Läänemeres kulgeb see soojadel talvedel Tallinna meridiaanil, mõõdukatel talvedel võib jää ulatuda kuni Ristna paralleelini ja seal lõuna poole 10 miili laiuse ribana Hiiu- ja Saaremaast lääne pool, külmadel talvedel on jää piir Irbe väina paralleeli lähedal.



Joonis 1. Erinevate talve tüüpide esinemissagedus perioodil 1920–2004

Figure 1. Frequency of occurrence of different winter types during the period 1920–2004



Joonis 2. Tallinna talvede külmasummad 1920–2004

Figure 2. Sum. of frosts for Tallinn's winters 1920–2004

Talve suhteliselt soojale algusele võib järgneda külm või väga külm teine pool, sel juhul võib talv jääkatte parameetrite poolest osutada karmimaks, kui seda näitab negatiivsete õhutemperatuuride summa.

Väga külmi talvi on viimase 84 aasta jooksul olnud ainult seitse. Enamik talvedest on olnud mõõdukad. 1990. aastatel olid ülekaalus soojad ja isegi väga soojad talved, mis andis põhjust mõelda kliima soojenemisest ja loota, et karmid talved jäid minevikku. Seepärast tuli 2002/2003 aasta karm talv paljudele üllatusena ning riik sattus suurtesse

raskustesse, kuna navigatsiooni alguseks polnud Eestil ühtegi jäämurdjat. Sel aastal kulutas riik jäämurdjate rentimisele üle 200 mln krooni.



Joonis 3. Jää maksimaalse leviku piir soojal talvel
Figure 3. The edge of maximum ice extent in warm winter



Joonis 4. Jää maksimaalse leviku piir mõõdukal talvel
Figure 4. The edge of maximum ice extent in moderate winter

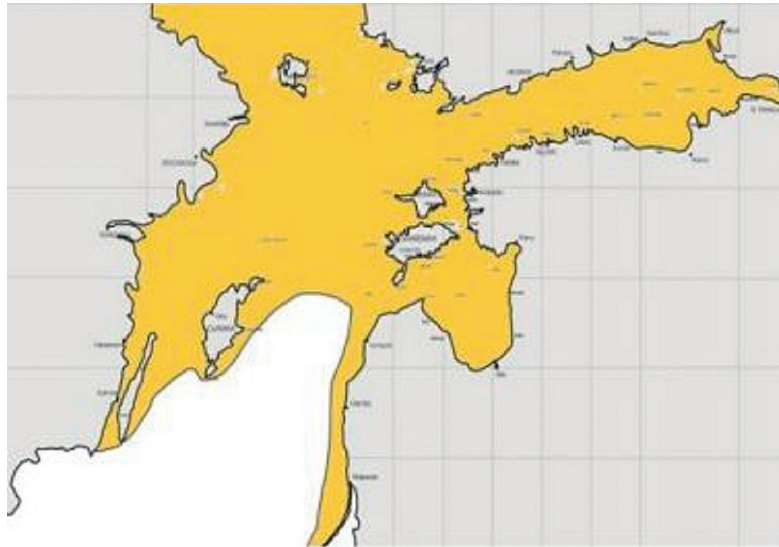
Läänemeri külmub enam-vähem täiesti kinni vaid väga külmal talvel. Nii juhtus 1939/40, 1941/42, 1947/48. Rekordjää oli talvel 1941/42, kui kinni külmus terve meri ja Taani jääteenistuse andmetel oli jää all 500 000 km².

Et Läänemere pindala on umbes 420 000 km², võib oletada, et tol aastal oli jääga kaetud isegi Skagerraki väin, mis Läänemerd Põhjameriga ühendab.

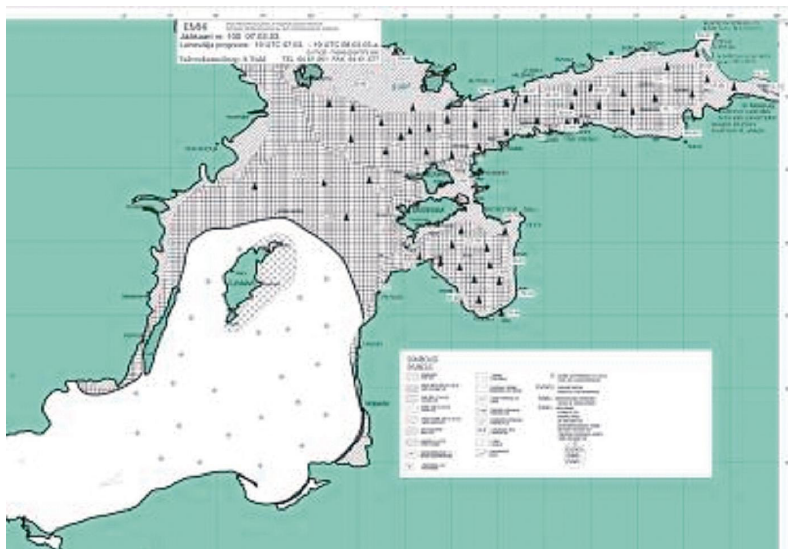
Karmil talvel aasta tagasi kulges jää maksimaalse leviku piir Sørve paralleelil.

Lõppenud talvel oli jää paksus Väinameres 20–30 cm ja Pärnu lahes 30–40 cm. Külmadel talvedel on see 60–70 cm. Talvel 2002/2003 Eesti rannikualadel olnud 50–70 cm paksune jää lubas ka jääteed avada ning saarlased said end mõnda aega

mandrielanikena tunda. Eeskirjade järgi on jäätrasside avamiseks vaja vähemalt 25 cm paksust jääd.



Joonis 5. Jää maksimaalse leviku piir külmal talvel
Figure 5. The edge of maximum ice extent in cold winter



Joonis 6. Jää maksimaalse leviku piir talvel 2002/2003
Figure 6. The edge of maximum ice extent in 2002/2003 winter

Väga külmadel talvedel 1939/40 ja 1941/42 küündis jää paksus Liivi lahe idaosas 90 sentimeetrini. Kõige paksem jää on mõõdetud Kihnus – 105 cm, Narva-Jõesuu maksimum on 103 cm, Virtsus 74 cm, Pärnus 77.

Sügisel mõjutavad merevee jäätumist enim õhutemperatuur ning tuule suund ja kiirus. Tavaliselt hakkab jää Eesti rannikualadel tekkima novembri lõpul, detsembri algul. Sisemere lahtede rannikualadel moodustub see kuu aega varem kui avamere ääres.

Mida järsemini õhutemperatuur alla 0° langeb ja kauem seal püsib, seda kiiremini tekib ka esimene jää. Tekke kuupäev ning jää tulevane paksus sõltub ka vee soojusest.

Lõppenud talvel tekkis jää mitu päeva normist varem ja jõudis vaid Osmussaare meridiaanini, mis on iseloomulik soojale talvele.

Tabel 2. Jää tekkimise kuupäevade statistika XX sajandil

Table 2. Statistics of ice occurrence in the XX century

Talve tüüp	Pärnu	Kihnu	Narva-Jõesuu	Ristna	Vilsandi
Keskmine	27. nov	04. dets	15. dets	03. jaan	29. dets
Varaseim	28. okt	25. okt	27. okt	11. dets	09. nov
Hiliseim	21. jaan	22. veebr	01. veebr	03. märts	09. märts

Pikaajalised vaatlused näitavad, et jääkate lagunemine Eestis on nihkunud umbes nädala jagu varasemaks, ka jääperioodi pikkus on kahanenud 5–10 päeva võrra.

Merejää laguneb keskmiselt aprillis. Pikemat aega kestnud püsiva sooja ilma tõttu algas 2004. aastal jääminek paljuaastasest normist varem. Ka siseveekogud vabanesid kaanest tavalisest enne.

Arvata võiks, et talvejääst sõltub ka hilisem kevade kulg. Ent tegelikult oleneb jääminek kevadisest õhutemperatuurist ning tuultest. Isegi kõige paksem jää kaob püsiva sooja ilmaga kiiresti.

Tabel 3. Jää lagunemise kuupäevade statistika XX sajandil

Table 3. Statistics of ice disappearance in the XX century

Talve tüüp	Pärnu	Kihnu	Narva-Jõesuu	Ristna	Vilsandi
Keskmine	24. apr	23. apr	20. apr	25. märts	27. märts
Varaseim	15. märts	13. veebr	16. veebr	15. jaan	11. jaan
Hiliseim	22. mai	24. mai	26. mai	25. apr	11. mai

Talve karmust iseloomustavaks näitajaks on ka jääperioodi pikkus ehk jääga päevade arv. Eestis on jääpäevi rohkem Soome lahe idaosas ning Väinamerel ja Pärnu lahel. Maksimaalne jääpäevade arv võib jõuda 180-ni, keskmine jääperioodi pikkus on 120–140 päeva, soojadel talvedel on aga jääperioodi pikkus 60–70 päeva. Lühim jääperiood esineb Hiiu- ja Saaremaa läänerannikul, näiteks Vilsandil.

Tuule mõju jääoludele võiks seletada Pärnu lahe näitel. Kevadel aitavad seal lahe jääst vabanemisele kaasa kirdetuuled, mis suunavad jää Liivi lahte. Lõuna- ja edelatuuled soodustavad aga Pärnu lahe jääga täitumist, sest Liivi lahes tekkinud jää koguneb Pärnu lahte. Seepärast ongi üks Pärnu sadama vaenlasi edelatuul, mis soodustab rüsi jää teket ja raskendab navigatsiooni.

Viimased kõige jäävaesemad talved olid 1989/90 ja 1994/95. Jääkate muutused XX sajandil ei anna siiski otsest alust mõelda kliima globaalsest soojenemisest. Soojad olid ka 1930. aastate talved, järgmisel aastakümnel aga olid ülekaalus külmad talved.

Järeldused

Jääolude uurimine näitab, et ka mõõdukatel talvedel, mida Eestis esineb kõige sagedamini, külmub rannikumeri siiski peaaegu täies ulatuses. Mida külmem talv, seda rohkem lõuna poole liigub Läänemerel jää piir ja kasvab tema paksus, ulatudes karmides oludes kohati isegi üle meetri.

Suurte tormidega ja kevadel sulamisel esinevad suured jäämasside liikumised. Seepärast on enne tuulikute ehitamist merre vaja selgitada konkreetse piirkonna jääolud ja püüda leida sinna sobiv vundamendi konstruktsioon.

Kirjandus ✕ **References**

1. Marmor, T (1993) Läänemere jäärežiimist. EMHI. Tallinn: 63.

ESTONIAN COASTAL SEA AND ICE

Jaan Saar and Ilona Vahter

Estonian Meteorological and Hydrological Institute
e-mail: jaan.saar@emhi.ee, ilona@emhi.ee

Abstract

Estonian ice winters can be classified as: mild, moderate, cold and very cold. The basic criterias for classification of winters are: the edge of maximum ice cover extent and the sum of frosts (sum. cold), which is the sum of negative air temperatures.

In mild winters the edge of maximum ice cover extent runs in the Baltic Sea by the longitude of Tallinn, in moderate winters the edge of maximum ice extent runs by the latitude of Ristna, in cold winters the edge of maximum ice extent can reach the latitude of Irben Strait. The Baltic Sea is covered by ice only during the very cold winters, and it happens seldom. Only 7 winters out of the past 84 years happened to be very cold. The majority of our winters (52%) have been moderate.

Despite the fact that for the last 10–15 years mild and very mild winters have prevailed it would be rather wrong to make a conclusion that this warm period will continue. It's known that similar warm periods have happened earlier, e.g. in the 30s there was a period of very mild winters but it was followed by a period of very cold winters.

Usually, first ice on Estonian coast appears at the end of November – beginning of December. In the coastal shallow areas of Moonsund and Pärnu Bay and in the eastern part of the Gulf of Finland new ice can appear a little earlier.

Sea ice starts to disappear in April. Long-term observations show that in the last century ice has started to disappear almost a week earlier in Estonia. The length of ice period has also decreased by 5–10 days. Moderate length of ice period in Estonia lasts for 120–140 days.

The ice thickness in mild winters on Estonian coast is 20–40 cm, during the cold winters ice is 60–70 cm thick. The thickest ice was observed in Kihnu – 105 cm, and in Narva-Jõesuu – 103 cm. When ice becomes thicker than 25 centimeters, ice roads to islands can be opened.

PÄIKESEKIIRGUSE DÜNAAMIKA

Teolan Tomson

TTÜ Materjaliteaduse instituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn
e-post: teolan@staff.ttu.ee

Annotatsioon

Eesti kliimat iseloomustab vahelduv päikesekiirgus, millega kaasneb tehniliste seadmete termiline väsimine ja mis põhimõtteliselt kutsuks esile PV-elektrijaamade koostööprobleeme elektrivõrguga. Artiklis vaadeldakse päikesekiirguse dünaamilisi omadusi nii perioodilise, statsionaarse kui ka mittestatsionaarse juhusliku protsessina. Kiirguse juhusliku osise uurimine nõuab kiirgusandmete eelnevat filtreerimist perioodilisest osisest, mille periood on lähedane eeldatavale korrelatsiooniajale.

KIIRITUSTIHEDUS, KIIRITUSTIHEDUSE MUUT, AUTOKORRELATSIOONI-FUNKTSIOON

Sissejuhatus

Prognooside kohaselt kaetakse 21. sajandi lõpuks veerand Euroopa elektrivajadusest päikese-, peamiselt PV-elektriga. Päikese-elektrijaamade arendamise ainus võimalus on nende hajutamine, kusjuures installeeritud koguvõimsus on väga suur ja üksiku ühiku oma pisike (10^1 – 10^2 kW). Kõik need hakkavad tööle koos traditsioonilise elektrivõrguga dünaamilises režiimis, just nii nagu igas paigas kiirgust parajasti jätkub. Seega kordub päikese- ehk helioenergeetikas tuuleenergeetika olukord, kus elektrisüsteemide spetsialistid selle peale viltu vaatavad. Peale selle – kiirguse dünaamikat on vaja teada energiasalvestite põhjendatud valikuks, prognooside tegemiseks põllumajanduses ja heliotehnikas kasutatavate materjalide termilise väsimuse uurimiseks. Seetõttu osutub päikesekiirguse dünaamiliste omaduste uurimine vajalikuks ja TTÜ-s on sellega algust tehtud.

Käesolev üldistav ettekanne kirjeldab ainevallas seni tehtut. Pööratakse tähelepanu päikesekiirguse dünaamika duaalsele iseloomule – see on nii perioodiline kui juhuslik, kusjuures mõlema komponendi väärtused on praktiliselt võrdsed (erinevalt tuulest, millel prevaleerib juhuslik komponent). Kui tegemist on päikesekiirguse keskmistatud näitudega milleks on tunni, päeva, nädala jne vastavad keskvärtused, siis eraldatud juhuslik komponent on kirjeldatav statsionaarse juhusliku protsessina. Juhuslik komponent kujuneb naturaalse kiirguse andmestiku jäägina, kui (arvutuslik) perioodiline komponent on eelnevalt välja filtreeritud. Kui on tegemist lühiaegselt mõõdetud näitudega, näiteks ühe minuti keskvärtustega, siis tuleb neid käsitada mittestatsionaarse protsessina, mille kirjeldamiseks sobib sageduslik meetod. Seejuures ei ole juhusliku komponendi väljafiltreerimisel mõtet, sama edukalt võib kasutada naturaalseid mõõtmisandmeid. Järgnevalt toodud analüüs ja näited tuginevad ainult tehniliselt kasutatava suvesesooni vältel tehtud mõõtmistele, kui seda teisiti ei märgita.

Päikesekiirguse aastane perioodiline osis

Nii tehnilistes seadmetes kui ka füsioloogilistes protsessides on oluline kiirgust vastu võtvale pinnale risti langeva kiiritustiheduse I väärtus Wm^{-2} . Selle aastase perioodiga osis on põhjustatud järgmistest asjaoludest.

1. Maa elliptilisest orbiidist, mistõttu kiiritustihedus väljaspool atmosfääri – solaarkonstant

$$I_{0n} = 1353 \cdot (1 + 0.033 \cdot \cos(360n/365)) \quad (1)$$

on päeva “järjekorranumbri” n funktsioon¹.

2. Sellest, et maa telg ei ole risti orbiidi tasapinnaga. Päikese kulminatsiooninurga osis “kääne”

$$\delta = 23,45 \cdot \sin(0,9863 \cdot (284+n)) \quad (2)$$

on samuti päeva “järjekorranumbri” funktsioon.

Neil põhjusil on päikese trajektoor maapealse objekti suhtes iga päev erinev ja see põhjustab erineva kohtumisnurga kiirgust vastu võtva pinnaga ka päikese kulminatsioonihetkel. Oluline on see, et kiiritustiheduse võimalik väärtus on determineeritud ja arvutuslikult määratav iga päeva jaoks.

Päikesekiirguse ööpäevane perioodiline osis

Ööpäevane perioodiline osis on määratud kahe tõsiasjaga.

1. Päikese asendiga taevavõlvil, mida kulminatsioonihetke suhtes määrab kellanurk ω . Teisiti: päikest ja kiirguse vastuvõtjat läbiva joone horisontaalprojektsiooni asimuut

$$\gamma_s = \omega \quad (3)$$

See määrab päikese kõrgusnurga α_s (või teisiti – seniidinurga)

$$\Theta_z = 90^\circ - \alpha_s, \quad (4)$$

mis omakorda määrab kiirgust vastu võtva pinnaga risti oleva komponendi.

2. Päikese erinev kõrgus määrab kiirguse poolt läbitava õhu massi m ja seega kiirguse sumbumise, sest ka ideaalne atmosfäär sisaldab kiirgust sumbutavaid osiseid nagu aerosool, küllastumata veeaur jne.

Sumbumine on arusaadavalt suurem madala päikese juures, $\alpha_s \rightarrow 0$. Need osised on põhjuseks ka kiirguse hajumisel, mistõttu ka selge taeva tingimustes ei jõua kogu kiirgus maapinnani otsekiirgusena s , vaid selle arvel tekib hajukiirgus (teisiti: hajus kiirgus) D . Selge taeva puhul (joonis 1) $s \gg D$ ja viimane on koondunud kitsasse ruuminurka päikese asendi ümber. Maapinnaga risti olev otsekiirgus s' ja kogukiirgus

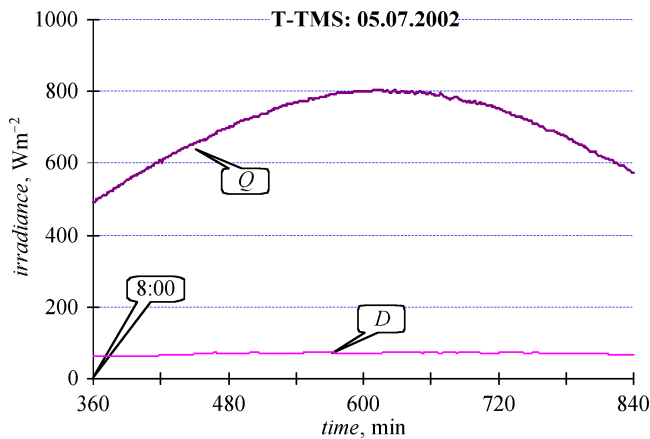
$$Q = s' + D \quad (5)$$

¹ Loetuna 1. jaanuarist. Autor märkus.

(teisiti: summaarne kiirgus) on seniidinurga koosinusele lähedane funktsioon. Kogukiirgus on praktiliselt null öösiti, kuid Eesti oludes võib selgetel päevadel kiiritustihedus saavutada väärtuse

$$I_{\max} \approx 900 - 1000 \text{ Wm}^{-2}. \quad (6)$$

Korrelatiivne seos otsekiirguse ja hajukiirguse vahel on tugev.



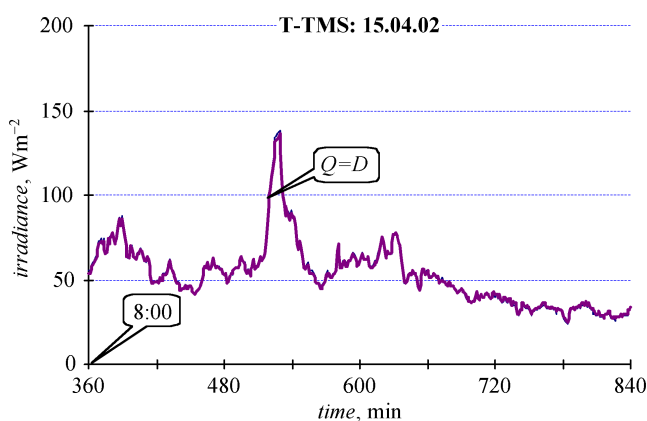
Joonis 1. Tartu-Tõravere meteoroloogiajaamas (T-TMS) mõõdetud kiiritustihedus selgel juulipäeval

Figure 1. Example of a day in July 2002 with clear-sky conditions, the diagram of irradiance

Päikesekiirguse juhuslik ois

Juhuslikkuse määrab atmosfääri läbipaistvus, mis on määratud valdavalt küllastunud veeauruga (udu, pilved). Nende esinemine on pigem juhuslik. Eestis, mis asub Põhja-Euroopas, Atlandil tekkivate tsüklonite teekonnal, on ilm peamiselt pilvine või kiirelt vahelduva pilvitusega Seetõttu on ka päikesekiirgus juhuslik.

Kui on tegemist mitmekordse pideva pilvkattega, on see juhuslikkus väike, sellises olukorras $D \gg s$ ja kogukiirgus on määratud hajukiirguse (madala) väärtusega (joonis 2).



Joonis 2. Päikesekiirguse näide mitmekordse pideva pilvkatte tingimustes aprillis 2002

Figure 2. Example of a day in April 2002 with darkness conditions, the diagram of irradiance

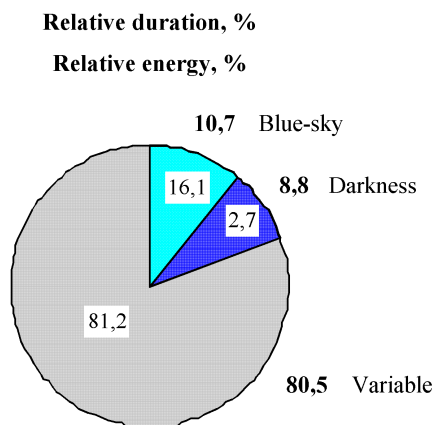
Sellises olukorras muutub korrelatiivne seos otsekiirguse ja hajukiirguse vahel funktsionaalseks seoseks

$$Q = D. \quad (7)$$

Jooniselt 3 näeme, et kumbki kiirgusrežiim Eestis ei ole valdav ei oma kestuselt ega energiaresursilt.

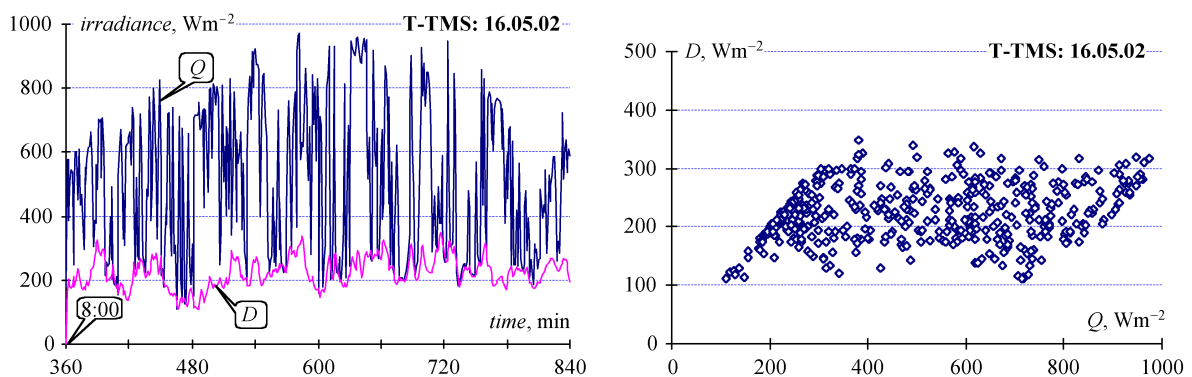
Põhiliselt on Eestis valdav vahelduv pilvitus ja sellised päevad omavad suurimat energeetilist ressursi. Järelikult vajab vahelduva pilvkattega kiirgusrežiim peatahelepanu. Joonisel 4 on kujutatud eriti vahelduva pilvitusega päeva kiiritustiheduse diagramm.

Lisaks on toodud kogu- ja hajukiirguse vahelist korrelatiivset seost kirjeldav diagramm. Korrelatsioon kehtib ainult kiiritustiheduse diagrammi mähiskõverate (piki maksimume ja miinumume) jaoks, muutuva kiirguse suhtes korrelatsioon puudub.



Joonis 3. Kiirgusolukordade tinglik jaotus Eestis. Väljaspool diagrammi (ringi) on kujutatud kiirgusrežiimi suhteline kestus, diagrammil suhteline energia

Figure 3. Distribution of the insolation conditions in Estonia. The numbers outside of the diagram mean relative duration of the regime, inside – the relative energy



Joonis 4. Eriti vahelduva kiiritustihedusega päeva näidis koos kogu- ja hajukiirguse vahelise korrelatsiooni diagrammiga

Figure 4. Example of a day with highly variable conditions: diagram of irradiance and the correlation between global and diffuse fractions

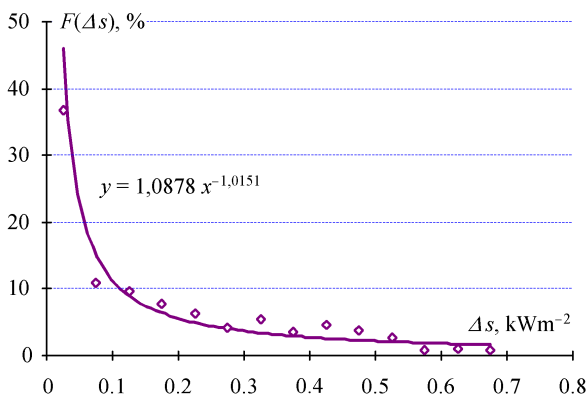
Näeme, et kiiritustiheduse muutude ulatus kohtmaksimumist kohtmiinumini ja vastupidi ulatub $\sim 600 \text{ Wm}^{-2}$ -ni. Igale kiirgustiheduse muudule vastab kiiritatava pinna temperatuuri muut, sellest johtuv soojuspaisumine jne. Kiiresti vahelduv kiiritustihedus seab tehnilise seadme materjali olukorda, kus see hakkab töötama termilisele väsimusele. Samuti suurenevad seadme kaod ja, kui on tegemist võrku elektrit genereeriva PV-seadmega, võivad tekkida ühilduvusprobleemid sarnaselt elektrituulikutele. Seepärast on päikesekiirguse dünaamika vallas tehtavad uurimused vajalikud ja TTÜ materjaliteaduse instituudis on selle tööga alustatud.

Päikesekiirguse muudu ulatus

Definierime kiiritustiheduse muuduna kiiritustiheduste vahe väärtust kahel järgneval sampimishetkel (registreerimishetkel):

$$\Delta I = I(i) - I(i - 1) \quad (8)$$

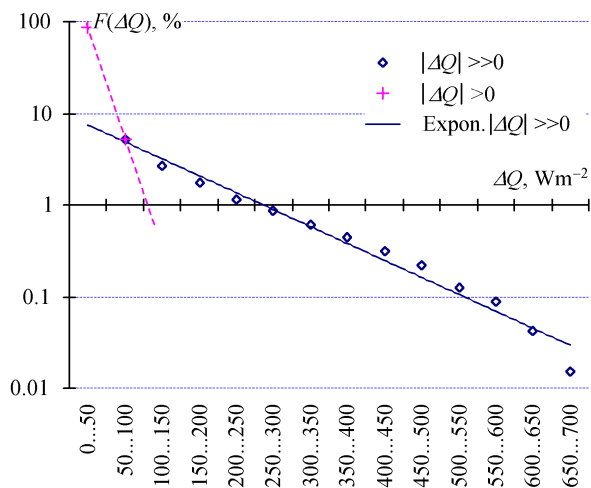
ja see on kas positiivne, null või negatiivne. Mõõtmiste analüüs näitas, et positiivsete ja negatiivsete muutude jaotusseadus on eksponentsiaalne ega erine kummagi märgi puhul. Seepärast kasutame edaspidi muudu absoluutväärtust, pööramata tähelepanu tema märgile. Joonis 5 kujutab otsekiirguse muutude $\Delta s \in \{\Delta I\}$ sageduse sõltuvust muudu ulatusest ja see osutus pöördvõrdeliseks.



Joonis 5. Otsekiirguse muutude esinemissagedus ja muudu väärtus on pöördvõrdelised

Figure 5. Frequency of increments of beam irradiance is inversely proportional to their magnitude

Muutude käsitlemisel tuleb pöörata tähelepanu ka ajaskaalale, s.o sellele, kui suur on sampimisintervall $[i - (i - 1)] \in \{\text{sek, min, 10 min vm}\}$. Kui peame silmas koostööprobleeme elektrivõrguga, mis on inertne, piisab nähtavasti 10 minuti pikkusest sampimisintervallist (joonis 5). Kui on tegemist (soojuslike) heliokollektorite kadude uurimisega, peaks kasutama 1 minuti pikkust või lühemat sampimisintervalli. PV-paneelide ajakonstant on mikrosekundite piirkonnas ning standardsete päikesemõõtmistega PV-paneeli ja järgneva muunduri koostööprobleeme päikesekiirguse dünaamilistes režiimides lahendada ei saa. Kui me uurime kiirgustiheduse muute ilma ööpäevast perioodilist komponenti eelnevalt välja filtreerimata, siis saame väikeste muutude kõrgendatud esinemissageduse, sest kirjeldatud meetodika ei eralda perioodi-



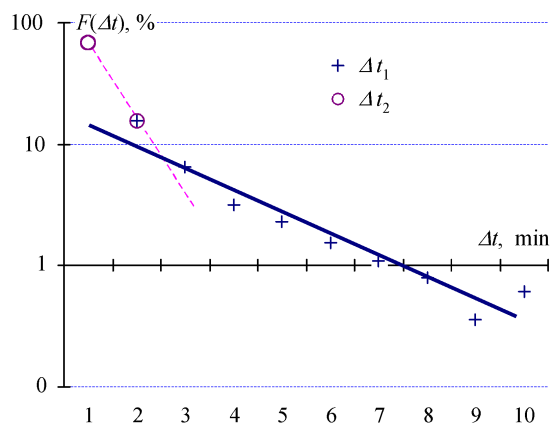
Joonis 6. Päikese kogukiirguse muutude jaotusseadus nende laias esinemispiirkonnas 1999–2002

Figure 6. Distribution of solar irradiance in the full range in 1999–2002

lise komponendi poolt põhjustatud kiirgustiheduse aeglast muutumist väikestest juhuslikest muutudest (joonis 6, kus seda nähtust kirjeldab punktiirjoon). Joonisel 6 on kaks eksponentsiaalset jaotusseadust eksponendi erineva astendajaga.

Päikesekiirguse muudu „periood“

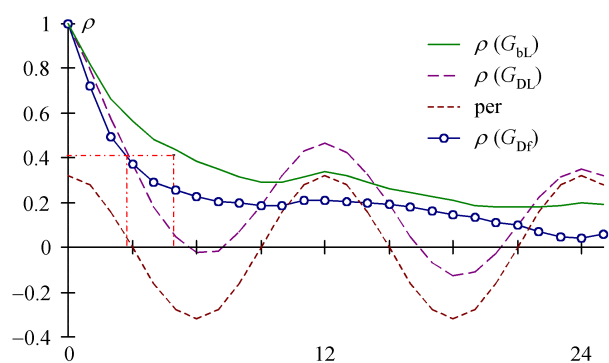
Sõna „periood“ on kasutusel samamärgiliste muutude vahelise juhusliku ajaintervalli Δt kirjeldamiseks ja jutumärgid on omal kohal, sest nimetatud intervall ei ole regulaarne.



Joonis 7. Ka muutude vahelise aja-intervalli „perioodi“ jaotusseadus on kahe eksponentiga kirjeldatav

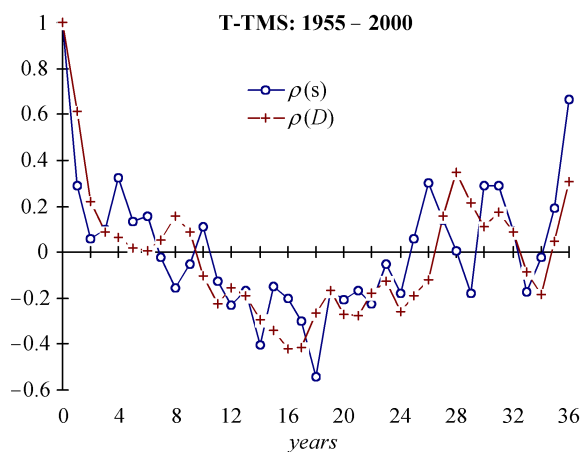
Figure 7. Intervals between increments of the solar irradiance can be described as superposition of two exponents

Seletust, miks väikese intervalliga muutude jaotusseadus on erineva kaldega, seni ei ole, aga oletatavasti peitub vastus pilvede erinevas struktuuris ja erineva struktuuriga pilvede esinemissageduses.



Joonis 8. Päikese otse- ja hajukiirguse autokorrelatsioonifunktsioonid ööpäeva mastaabis

Figure 8. Autocorrelation functions of the daily beam and diffuse irradiances



Joonis 9. Päikese otse- ja hajukiirguse autokorrelatsioonifunktsioonid aasta mastaabis

Figure 9. Autocorrelation functions of yearly beams and diffuse D irradiances in the Tartu-Tõravere Meteorological Station

Päikesekiirguse autokorrelatsioonifunktsioon ja stabiilsus

Autokorrelatsioonifunktsioonid on üles ehitatud erinevas ajaskaalas. Et iseloomustada suhteliselt kiireid protsesse, kasutatakse 10-minutilise sampimisintervalliga salvestatud andmeid ja viidet, mida mõõdetakse tundidega. Aastane perioodiline komponent on nii pika perioodiga, et selle väljafiltreerimisel ei ole mõtet, küll aga tuleb kindlasti välja filtreerida ööpäevane perioodiline komponent. Teiselt poolt pakuvad huvi ka üliaeglased protsessid, milles kasutatakse aasta (sesooni) kiirguse keskväärtusi ja viidet, mida mõõdetakse aastatega. Siin ei ole esialgu midagi välja filtreerida, sest T-TMS vaatlusaeg 1955–2000 (Handbook ..., 2003) on veel lühike.

Joonisel 8 kasutatud sümbolite tähendus on järgmine: G_{BL} on otsekiirgus s , millest on lahutatud tema arvutuslik väärtus selge taeva tingimustes. Jäägi (ööpäevane) perioodiline osis on vaevumärgatav. Sellele osutab vähene „küür“ viite 12 tundi juures. G_{DL} on hajukiirgus D , millest on lahutatud tema väärtus selge taeva tingimustes. Jääk on juhusliku pilvituse poolt moduleeritud hajukiirgus, aga see sisaldab märkimisväärselt suure ööpäevase perioodilise komponendi „per“. Kui seda kompenseerida, jääb järele „puhta“ hajukiirguse autokorrelatsioonifunktsioon $\rho(G_{Df})$. Selle korrelatsiooniaeg on ~3 tundi (mil ρ väärtus on vähenenud 2,3 korda) ja see on väiksem kui otsekiirguse korrelatsiooniaeg ~5 tundi. Seega on hajukiirgus oma kestuselt vähem stabiilne ja ennustatav kui otsekiirgus. Mõlemad korrelatsiooniajad on siiski üksikute tundide piirkonnas, mis tähendab seda, et ühe päeva kiirgusolukorrast ei tohi Eesti oludes teha mingeid prognoose järgmiseks päevaks. Analüüs kinnitab varasemate uurijate (Handbook ..., 2003) tähelepanekut selles, et hajukiirguse väärtus sõltub päikese kõrgusest. Joonisel 9 pälvi tähelepanu see, et kummagi komponendi autokorrelatsioonifunktsioonid läbivad kiiresti nulli ja tõusevad tagasi positiivsetele väärtustele kohtmaksimumiga 17–18-aastase viite juures. Näib, et päikesekiirgusel on peale vähenemise trendi (Russak, 1998) ka pikaaegse (34–35 aastat) perioodiga komponent. Liialt lühikese (45 aastat) vaatlusaja tõttu seda siiski täie kindlusega väita ei saa.

Kokkuvõte

Päikesekiirguse dünaamika uurimusest järeldub kiiritustiheduse jaoks järgmist.

1. Valdaval osal Eesti päikeseenergiast on juhuslikult vahelduva protsessi iseloom.
2. Juhuslik osis on kõige paremini iseloomustatud protsessina, mis avaldub tegeliku päikesekiirguse ja tema arvutusliku väärtuse vahena (selge taeva tingimustes).
3. Selliselt töödeldud otsekiirguse andmestik kirjeldab „puhast“ juhuslikku protsessi, aga hajukiirgus sisaldab jäägina ikkagi perioodilist osist.
4. Kiiritustiheduse muutude (mis kiirgust muundavat materjali deformeerivad ja koostööd elektrivõrguga raskendavad) väärtuste sageduslik jaotus on eksponentsiaalse iseloomuga.
5. Kiiritustiheduse muutude juhuslike intervallide („perioodide“) sageduslik jaotus on samuti eksponentsiaalse iseloomuga.

Tänuavaldus

Autor tänab sihtasutust Eesti Teadusfond, mis oma grantidega 4493 ja 5671 uurimisvaldkonda toetas.

Kirjandus ~~References~~

1. Handbook of Estonian Solar Radiation Climate (2003) Ed by Heino Tooming. EMHI. Tallinn: 384.
2. Russak, V. (1998) Seasonal peculiarities of long-term changes in radiation regime in Estonia. Climate change studies in Estonia. Stockholm Environment Institute Tallinn Centre (SEI-Tallinn). Tallinn: 13–20.

DYNAMICAL BEHAVIOR OF THE SOLAR IRRADIANCE

Teolan Tomson

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

Abstract

Estonian climate has changeable insolation, which involves thermal fatigue of materials used as absorbers and may involve matching problems with the grid for *PV*-generators. In the paper the dynamical behaviour of solar irradiance is analysed from the point of view of periodical, stationary and unstationary random processes. To study the random data series, they have been preliminarily filtered from the periodical component which has period comparable to the delay of the autocorrelation function.

TUULIKU TOODANGUPROGNOOSI KOOSTAMINE JA TUULIKUTE PAIGUTUSE OPTIMEERIMINE TUULEPARGIS TUULEKLIIMA ALUSEL

Ain Kull ja Reimo Olev

Tartu Ülikool, geograafia instituut, Vanemuise 45, 51014 Tartu
e-post: ain.kull@ut.ee

Annotatsioon

Tuulepargi rajamine on suurt investeringut nõudev ettevõtmine. Tuulikute optimaalse tootlikkuse tagamiseks ning sobivaima paigutuse leidmiseks on oluline tunda piirkonna tuuledünaamikat ja otstarbekas koostada toodanguprognos erinevate tuulikute kohta, et leida antud kohale sobivaim tuulik, torni kõrgus ja paigutus. Hoolikalt planeeritud tuulepark suurendab poolehoidu taastuvenergia kasutamisel, säästab efektiivse maakasutuse kaudu loodust ja toob majanduslikku kasu.

TUULEKLIIMA, TOODANGUPROGNOOS, PLANEERING, PAIGUTUSE
OPTIMEERIMINE TUULEPARGIS

Sissejuhatus

Tuulikute ja tuuleparkidega seonduv temaatika on Eestis uudne nii tuulikute püstitajatele kui ka planeeringute koostajatele. Majanduslikult tasuva ja samas ka keskkonnasõbraliku tuulepargi rajamine on mitmetahuline keerukas ülesanne. Parima tulemuse saavutamiseks ei piisa ainuüksi kaasaegse tehnoloogilise lahendusega tuulikust, sest korraliku toodangu tagamiseks peab tuulik sobima just valitud piirkonna tuuledünaamikaga ning vähimal määral mõjutama looduskeskkonda ja visuaalselt haaratavat maastikupilti. 15–20 km laiuses Eesti rannikuvööndis, kus lagedatel aladel aasta keskmine tuulekiirus 10 m kõrgusel maapinnast ületab 4,5 m/s, on uuringute põhjal tuulikute püstitamiseks sobivaid alasid 114 000 hektarit (Kull ja Laas, 2003). Viimastel aastatel toimunud tehnoloogiline areng tuuleenergeetika sektoris on parandanud tuulikute tootetava elektri kvaliteeti ja suurendanud tootlikkust, seda eriti nõrgema tuulega tingimustes, mis võimaldab oskuslikul tuuleparkide planeerimisel kasutusele võtta uusi asukohtasid rannikust kaugemal, kus keskkonnamõjud on väikseimad.

Kuna tuulepargi rajamine on väga suurt alginvesteeringut nõudev ettevõtmine, siis on oluline võimalikult täpselt tunda piirkonna tuulekliimat, selle alusel teha õige tuuliku valik ning kavandada tuule suuna ja kiiruse sagedusjaotuse alusel tuulikute paigutus tuulepargis nii, et see tagaks tuulepargis minimaalse varjutuse ja maksimaalse tootlikkuse.

Käesoleva artikli eesmärgiks on anda ülevaade tuuliku toodanguprognosi koostamisest ja selle koostamisel valitsevatest ohtudest Pakri näitel ning mõõduka tuule kiirusega Audru poldri alusel näidatakse tuulepargi planeeringu optimeerimise võimalusi lähtuvalt tuulerežiimist, tuulikute paigutusest, kõrgusest ja maakasutus-intensiivsusest tuulepargis.

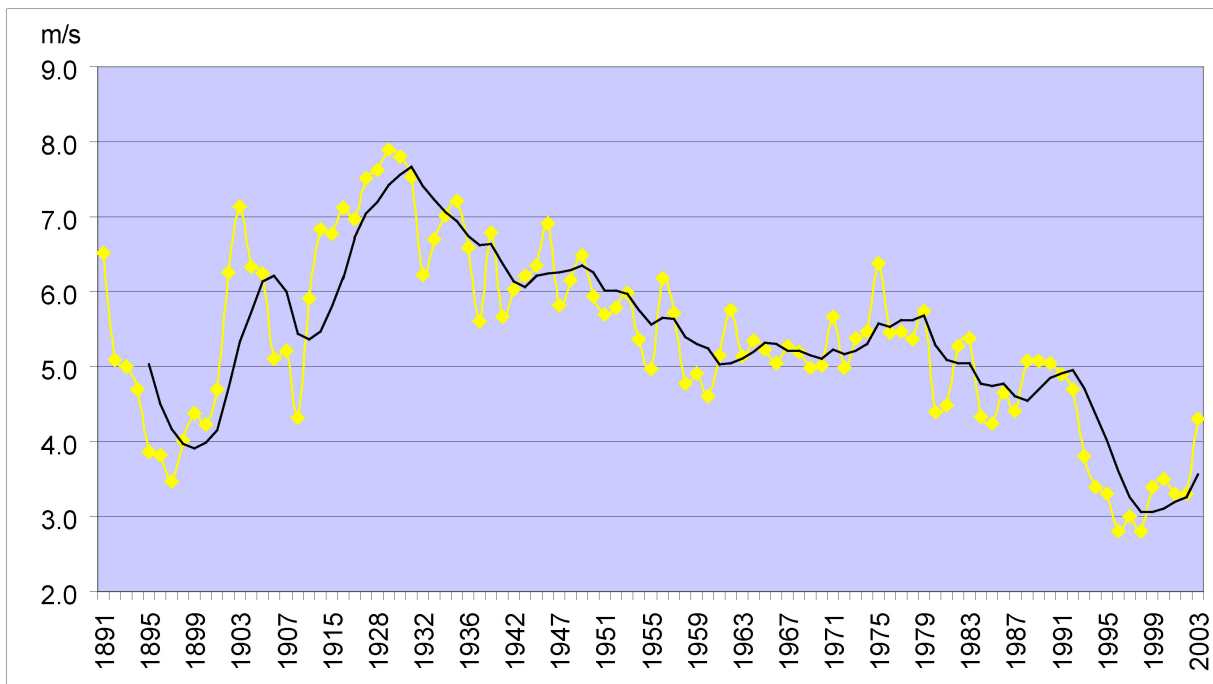
Tuulepargi kavandamine

Tuulepargi planeerimine on aeganõudev ja keerukas protsess, kus lõpptulemuse edukus, ajakulu ja maksumus sõltub ka tehtud otsuste järjekorrast. Alustades detailplaneeringu koostamist ning tuulikute paigutamist krundi piiride järgi enne tuuledünaamika uurimist, võib hiljem selguda, et tuulikud varjutavad üksteist või ei ole valitud tuulikud antud piirkonna jaoks sobilikud. Selliste probleemide vältimiseks on otstarbekas alustada eeluuringuga, mille käigus lähimate ilmajaamade pikaajaliste vaatlusandmete põhjal modelleeritakse kavandatava tuulepargi tuulekliima ja valitakse sobivad tuuliku tüübid. Eelhinnangu koostamise käigus saab anda $\pm 15\%$ täpsusega toodanguprognosi ning soovitusel tuulikute paigutuse osas tuulepargis, mis võimaldab alustada planeeringuga ja keskkonnamõjuhindamisega juba enne kohapeal sooritatud tuulemõõtmise (kestus 1 aasta) lõppu. Eelhinnangu koostamisel kasutatud andmed ja kaardimaterjal on edaspidi kasutatavad tuulepargis kõrge mõõtemastiga sooritatud tuuleandmete analüüsimisel ning aegrea pikendamisel, lühendades seega lõpliku prognoosi koostamiseks kuluvat aega.

Tuuliku toodanguprognosi koostamine

Tuulikute toodanguprognosi koostamisel on määrava tähtsusega tuulekiiruse ja suuna andmestiku täpsus. Vaatamata ilmajaamade suhteliselt suurele tihedusele Eesti rannikualadel ei ole ilmajaamas mõõdetud tuulekiiruse ja suuna andmed tuuliku toodanguprognosi koostamisel tavaliselt vahetult kasutatavad, sest vaatlusandmeid saab käsitleda vaid vastava vaatluskohaga seostatuna, kus tuulekarakteristikud iseloomustavad eeskätt tegelikku anemomeetri asukohta, mitte mõne kilomeetri kaugusele kavandatava tuuliku asukohta. Sellest tulenevalt on kavandatava tuulepargi kohal vaja täiendavalt püstitada mõõtemast, mis mõõdaks tuult mitmel kõrgusel (tuule vertikaalse profiili hindamiseks) vähemalt ühe aasta vältel, sest tuulele on omane selge aastaajaline käik nõrgema tuulega suvel ning tugevama tuulega sügisel-talvel.

Ilmajaamades mõõdetud tuuleandmete vahetut kasutamist piirab tihti mõõteväljaku asukoha muutus (koos sellega muutuvad lähiümbruse tuuletõkked), mõõteseadmete kõrguse muutus (mõõtekõrguse suurenemisel suureneb tuulekiirus), mõõteseadmete täpsuse muutus (tuulelipp, anemorumbomeeter) ja vaatlusprogrammi muutus (vaatluste ajaline samm, öiste vaatluste esinemine jne), mis kõik nõuavad vastavate meetodite abil aegrea korrigeerimist. Pika, kuid olulist korrigeerimist vajava ilmajaama aegrea äärmusliku näitena on joonisel 1 esitatud aasta keskmise tuulekiiruse andmed Pakri ilmajaamast. Mõõtmisi alustati tuulelipuga 14 m kõrgusel tuletorni lähistel, kuid ümbritseva taimestiku kasvades tõsteti tuulelipp 26 m kõrgusele. Selle tulemusena kajastuvad Pakri aegreas 1930-ndad aastad väga tuulistena, kuid tegelikult oli see periood pigem nõrga tuulega. Tuulelipu standardsele, 13 m kõrgusele paigaldamisega ja 1980-ndatel anemorumbomeetri (kõrgus 10 m) kasutuselevõtuga taastus aegreas ka normaalne tsüklilisus, kuni 1990-ndatel koliti vaatlusväljak Paldiski linna. Kuna vaatlusväljak oli seal ümbritsetud suurtest majadest (kuni 5 korrust), kõrgetest puudest ning bastionist, siis see tegelikkuses suhteliselt tuuline periood avaldub Pakri aegreas äärmiselt tuulevaiksena (tuulekiirus oli mõnedes sektorites häiritud enam kui 75% võrra). Alates 2003. a septembrist on Pakri ilmajaam taas asukohta muutnud ja mõõtmisi sooritatakse nüüd automaatilmajaamaga avatumal alal.



Joonis 1. Aasta keskmise tuule kiiruse varieerumine ja 5-aastane libisev keskmine (must pidev joon) Pakri ilmajaama andmetel 1891–2003

Figure 1. Long-term variation of mean annual wind speed (1891–2003) and 5-year moving average (black line) of mean annual wind speed at Pakri

Enamasti pole ilmajaamades toimunud muutused siiski olnud nii drastilised kui Pakril ja mõõteseadmete tüübi/kõrguse muutused on korralikult dokumenteeritud. Sellele vaatamata jäetakse tuulekiiruse analüüsimisel sageli esineva veana arvestamata, et sõltuvalt ilmajaamast mõõdeti tuule kiirust kohati kuni 1981. a tuulelipuga (kõrgus reeglina 13 m) ning seejärel kuni 2003. a augustini anemorumbomeetriga (standardne kõrgus 10 m), mistõttu varasemate aastate tuulekiiruse andmed vajavad korrigeerimist. Ka 2003. a augustis toimunud automaatilmajaamade kasutamisele üleminek on muutnud andmeridade homogeensust, eriti maksimaalse tuulekiiruse ja puhangute osas, kuid samas on suurem täpsus ja tihedam vaatlusprogramm (intervall 1 tund) oluliselt parandanud andmete võrreldavust spetsiaalsete tuuleenergeetika rakendusteks vajalike tuulemõõtmistega (intervall 10 minutit).

Täiendavalt välitööde käigus tahhümeetriliselt ilmajaamade lähikümbruse tuuletõkete kaardistamisel on tuuleandmete töötlemisel võimalik elimineerida tuuletõkete mõju ja saada lokaalsetest mõjutustest vaba tuulekiiruse ja suuna aegrida. Ilmajaamades mõõdetud tuule kiiruse ja suuna andmestiku suurimaks väärtuseks on aegridade pikkus. Selle põhjal on võimalik hinnata ekstreemsete ilmastikutingimuste (nt tormid) ning nõrga või tugeva tuulega aastate esinemissagedust ja nende vaheldumise seaduspära. Vaatamata pikale aegreale, ei asenda täielikult ka kõige kvaliteetsemad ilmajaama vaatlusandmed kavandatava tuuliku asukohta püstitavat kõrget mõõtemasti. Madalal (10 m kõrgusel maapinnast ja hõreda 3-tunnise ajalise sammuga) sooritatud mõõtmiste tulemused ilmajaamades võivad tuuleenergia modelleerimisel põhjustada kuni $\pm 16\%$ ulatuses viga, samas kõrge mastiga ja 10-minutilise mõõteintervalliga sooritatud mõõtmiste korral jääb prognoositavas energiatoodangus viga $\pm 6\%$ piiresse

(Strack ja Winkler, 2003). Ilmajaama andmetel koostatava prognoosi täpsust võimaldab parandada kahe kuni kolme omavahel valideeritud lähiümbruse (enamasti kuni 20–30 km) ilmajaama aegrea kasutamine.

Kavandatava tuulepargi asukohas püstitatav kõrge mõõtemast peaks olema sama kõrge kui kavandatav tuuliku torn, kuid mitte madalam kui 40 meetrit. Vertikaalse tuuleprofiili täpsemaks arvutamiseks peaks mõõtemast olema varustatud 3 anemomeetri ja 2 tuulelipuga (või vähemalt 2 anemomeetri ja 1 tuulelipuga), hügromeetri, baromeetri ja termomeetriga. Võimalusel tuleks vältida anemomeetrite kinnitamist sõrestikmastide (sidemastid) külge, mis tekitavad õhu keeriselist liikumist, kuid kindlasti ei saa tekkivast varjutusest ja keeristest tulenevalt korrektseid andmeid anemomeetri kinnitamisel tuletornide, korstnate jmt suure läbimõõduga kõrgete objektide külge. Kõrge mõõtemastiga vahetult kavandatava tuulepargi alal lühiajaliselt, (vähemalt aasta ulatuses) kuid suure täpsusega mõõdetud tuuleandmed tuleb omakorda siduda pika aegreaga, sest aastatevaheline tuule kiiruse varieeruvus on väga suur ning ühe aasta tulemuste põhjal koostatud prognoos võib pikaajalisest keskmisest erineda üle 30%.

Kui lähiümbruses ei ole kvaliteetse (homogeense) aegreaga ilmajaama nagu Pakri poolsaare näitel, siis on mõõtemasti aegrea pikendamiseks (pikaajalisele keskmisele vastavuse leidmisel) vajalik kasutada mitut ilmajaama, nende aegread vabastada kohalikest tuuletõketest tingitud mõjutustest ning jagada omakorda homogeenseteks lõikudeks. Kohalikest mõjutustest vabastatud tuuleandmed sõltuvad eeskätt regionaalsest atmosfääri tsirkulatsioonist ning seetõttu esineb lähemate ilmajaamade vahel tugevam statistiline seos kui kaugemate ilmajaamade vahel (kohalikest mõjudest vabastamata tuuleandmete puhul ei pruugi see nii olla!). Kaugusega kaalutud homogeensete aegridade alusel pikendati Pakri poolsaarel 40 m kõrgusel maapinnast mõõdetud tuule kiiruse ja suuna andmete aegrida 30° laiuste sektorite kaupa (kokku 12 sektorit). Mõõtemastis 40 m kõrgusel mõõdetud aegrida on esitatud tabelites 1 ja 2 veerus “Pakri mõõtemast, 40 m” sulgudes ning samas rasvases kirjas esitatud väärtus kajastab ümbritsevate ilmajaamade andmete alusel leitud pikaajalist tuulekiirust. Juhul kui mõõtemasti andmete pikendamiseks on kasutada samaväärsed aegread (nt lähedal paiknevas tuulikus mõõdetud kiirus), siis on täpsema prognoosi huvides otstarbekas arvutused sooritada 10° laiuste sektorite kaupa (kokku 36 sektorit).

Tabel 1. Keskmise tuulekiirus (m/s) 40 m mõõtemastiga vaatluste sooritamise perioodil (Pakri mõõtemast, sulgudes) ja Pakri, Lääne-Nigula, Harku ning Kuusiku ilmajaamade andmete põhjal leitud pikaajaline keskmine Pakri masti asukohas (rasvases kirjas).

Table 1. Mean wind speed (m/s) at 40 m a.g.l measured at Pakri mast (in brackets) and long-term corrected wind speed (column “Pakri mõõtemast, 40 m”, in bold) based on inverse distance-weighted sector-wise linear regression of Pakri, Lääne-Nigula, Harku and Kuusiku time series.

Pakri mõõtemast		Pakri 10 m		Lääne-Nigula 10 m		Harku 10 m		Kuusiku 10 m	
Sektor	40 m	2000–2002	1980–1991	2000–2002	1980–2003	2000–2002	1981–2002	2000–2002	1981–2002
0	6,0 (5,3)	3,1	4,3	3,6	3,3	2,9	3,1	2,6	2,9
30	6,0 (6,3)	3,0	4,1	3,0	3,2	3,8	3,7	3,1	2,8
60	5,8 (5,6)	2,5	4,1	3,5	3,3	4,1	4,1	1,8	2,1
90	5,4 (5,3)	2,5	3,1	3,2	3,3	3,3	3,4	2,3	2,3
120	5,6 (5,9)	2,8	3,4	3,5	3,3	3,7	3,6	2,6	2,5
150	5,9 (5,9)	3,0	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8	2,5	2,4
180	6,3 (5,8)	3,1	5,1	3,9	4,3	3,4	3,7	2,3	2,4
210	6,5 (5,8)	4,0	5,5	4,5	4,7	3,2	3,4	2,5	2,7
240	7,3 (6,8)	5,2	6,4	4,1	4,6	3,8	3,9	2,5	2,8
270	7,0 (6,2)	4,9	6,3	3,7	4,1	3,6	4,0	2,5	3,0
300	6,4 (5,8)	4,0	5,3	3,9	4,0	3,2	3,6	2,9	3,1
330	6,2 (6,1)	3,8	4,6	3,6	3,6	3,1	3,3	3,1	3,1
Kokku	6,2 (5,9)	3,4	4,8	3,8	3,9	3,5	3,6	2,6	2,7

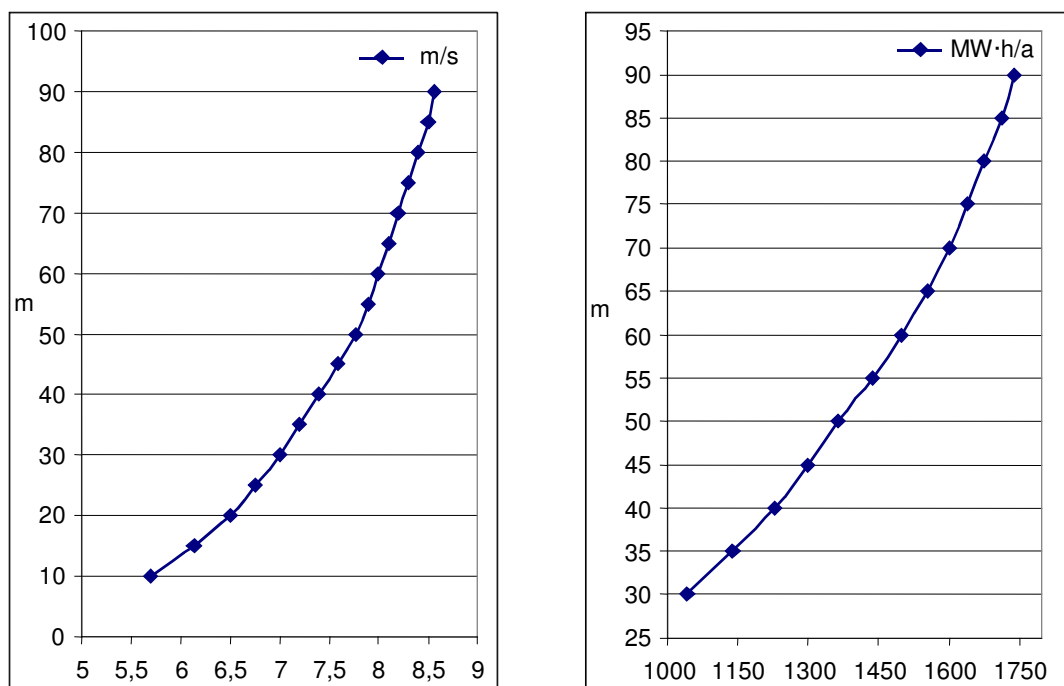
Tabel 2. Tuule suuna korduvus (%) 40 m mõõtemastiga vaatluste sooritamise perioodil (veerg “Pakri mõõtemast, 40 m”, sulgudes) ja Pakri, Lääne-Nigula, Harku ning Kuusiku ilmajaamade andmete põhjal leitud pikaajaline keskmine Pakri masti asukohas (rasvases kirjas), ümardatuna täisnumbrini

Table 2. Occurrence of wind (%) at 40 m a.g.l measured at Pakri mast (in brackets) and long-term corrected wind speed (column “Pakri mõõtemast, 40 m”, in bold)

Pakri mõõtemast		Paldiski		Lääne-Nigula		Harku		Kuusiku	
Sektor	40 m	2000–2002	1980–1991	2000–2002	1980–2003	2000–2002	1981–2002	2000–2002	1981–2002
0	7 (7)	5	6	5	5	5	6	5	6
30	8 (7)	8	8	5	6	6	8	6	6
60	5 (4)	4	7	5	6	5	5	3	5
90	6 (6)	5	4	5	7	5	5	7	7
120	8 (10)	15	6	9	7	7	6	14	10
150	10 (14)	13	10	14	11	13	10	11	9
180	14 (14)	11	13	10	11	14	13	12	10
210	10 (9)	9	12	13	13	14	15	13	15
240	8 (8)	8	8	11	10	13	13	11	11
270	9 (8)	8	8	8	9	8	9	7	9
300	7 (6)	7	8	7	8	5	6	6	6
330	8 (7)	6	9	7	8	5	6	6	7

Mõõtemastis mõõdetud tuulekiiruse aegrea pikendamisel saadud pikaajalise keskmise tuule kiiruse alusel on võimalik leida piirkonnale vastav regionaalne tuulekliima ehk Euroopa tuuleatlase mõistes “tuuleatlas” (Troen ja Petersen, 1988), kus tuuleandmed on vabastatud nii lähiümbruse tuuletõkete mõjust kui ka ümbritseva maakasutuse (pinnakareduse) ja reljeefi mõjutustest. Standardtingimustele (kõrgus, karedus) taandatud Weibulli jaotuse A ja k parameetrist ning igast sektorist tuule korduvuse väärtusest koosnev regionaalne tuulekliima andmestik on aluseks edasiseks tuuliku toodanguprognoozi koostamiseks, tuulevälja modelleerimisel, tuulikute paigutuse optimeerimiseks ning tuulikute omavahelise varjutuse arvutamisel.

Tuuleandmete vabastamiseks pinnakareduse ja reljeefi mõjutustest tuleb arvestada igas analüüsitavas sektoris vähemalt 15–20 km kaugusel paiknevate objektidega. Lähiümbruses (kuni 5 km) on vajalik vähemalt 1:10 000, kaugemal 1:20 000 mõõtkavaline täpsus. Eestis on sobilikuks lähtematerjaliks põhikaart, ortofoto ja välitöödel täpsustamisel katastrialuskaart. Täiesti sobimatud on juba baaskaardi täpsus ning maakasutuse osas ka NL topograafilised kaardid. Vertikaalne tuuleprofiil on äärmiselt tundlik pinnakareduse muutuste suhtes, seega on maakasutuse ja reljeefi mõju elimineerimisel oluline katta piisavalt suure raadiusega ning väga täpselt määratud karedusklassidega ala.



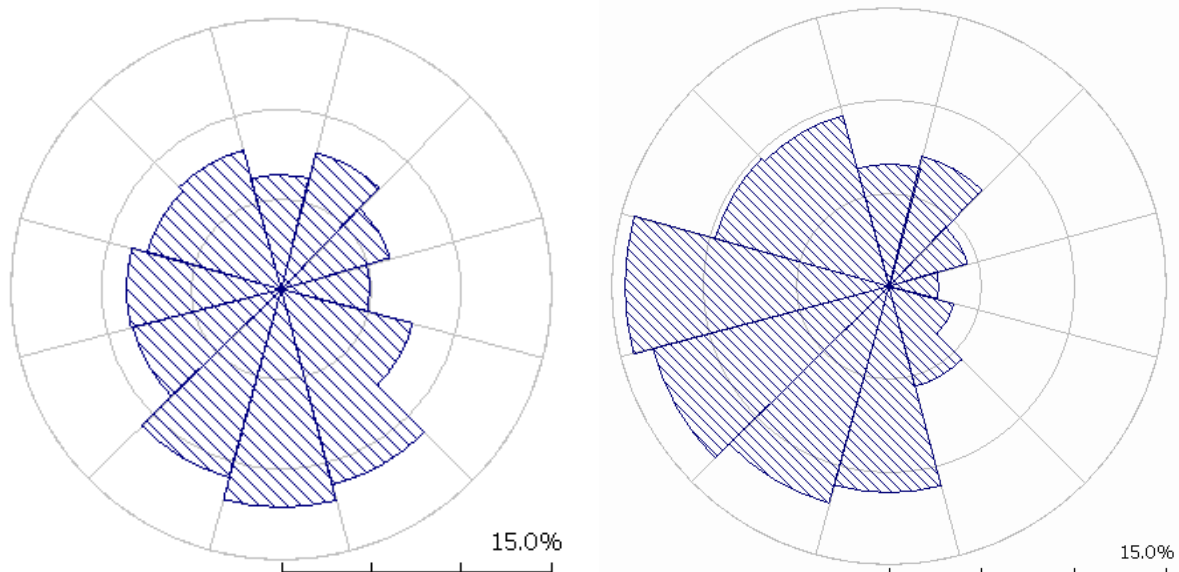
Joonis 2. Tuulekiiruse ja potentsiaalse energiatoodangu (Enercon E-40, 600 kW) vertikaalne profiil

Figure 2. Vertical profile of wind speed and estimated annual energy yield (Enercon E-40, 600 kW)

Joonisel 2 on näha, et suhteliselt suure aluspinna kareduse tõttu toimub maapinna lähedases paarikümnemeetrises kihis intensiivne tuule kiiruse kasv, mis kavandatava tuuliku läheduses paikneva metsatuka mõjul aeglustub 30–40 m kõrgusel ning seejärel pärast mõningast kasvu tuule kiiruse kasv ühtlaselt aeglustub. Sarnane käik kajastub ka

energiatoodangu prognoosis. Ebatäpse pinnakareduse muutuse asukoha või väärtuse kasutamisel leitakse väär tuulekiiruse vertikaalne profiil ning selle tulemuseks võib olla ekslikult valitud tuuliku kõrgus ja oluline kaotus toodangu mahus.

Tuuliku paigutamisel tuuletõketega (hekid, metsatukad, hooned) alale või tuulepargi planeerimisel on äärmiselt oluline silmas pidada, et tuuliku toodangu optimeerimise seisukohast pole alati oluline säilitada avatuna sektor, kust kõige sagedamini tuul puhub, vaid suurimat energeetilist potentsiaali omav sektor (joonis 3, võrdle tuulteroosi ja energiaroosi). Seega võiks tuulteroosi järgi ekslikult tuulepargis minimaalse tuulikute omavahelise kauguse kavandada ida-lääne suunas, kuid energiaroos näitab, et tegelikult tagatakse minimaalne tuulikute omavaheline varjutatus hoopis juhul, kui tuulikutevaheline vahemaa on väikseim kagu-loode sihis.



Joonis 3. Tuuleroos (parempoolne; tuule korduvus vastavast ilmakaarest/sectorist) ja energiaroos (vasakpoolne; potentsiaalselt tuulikuga toodetav energia vastavast ilmakaarest/sectorist) Pakri poolsaare keskosa kohal

Figure 3. Wind rose (right) and energy rose (left) at inner part of Pakri peninsula

Tuulikute paigutuse optimeerimine tuulepargis

Audru polder on viimastel aastatel korduvalt pakkunud ajakirjanduses kõneainet kui potentsiaalne tuulepargi asukoht. Siiski näitab keskkonnamõjuhindamise põhimõtteid hõlmav GIS analüüs (Kull ja Laas, 2003), et looduskaitsest seisukohast (eeskätt linnukaitse) lähtuvalt ei ole suurema tuulepargi rajamine seal soovitatav. Samuti muudab selle piirkonna tuulekliima sobivate tuulikute valimise keerukaks. Pärnu lahe piirkonna tuulekliimat iseloomustab suur ajaline muutlikus. Pärnu ja Liivi lahelt puhuvate lõunakaarte tuulte korral võib esineda tugevaid torme, mis eeldab vähemalt IEC II klassi tingimustele vastavate tuulikute kasutamist. Samas suurema osa aastast puhuvad seal aga mõõduka tugevusega edelatuuled, mis suurema kasutusteguri saavutamiseks eeldaks pigem IEC III klassile sobivaid tuulikuid.

Keerukas tuulekliima ning selgelt piiritletud ala poldri piires muudavad Audru sobivaks uurimisalaks, et analüüsida tuulepargis tuulikute omavahelist paigutust ja

maakasutuse efektiivsust. Arvutused on tehtud NEG-Miconi 1500/82 (1500 kW) tuulikuga standardsel tornikõrgusel (70 m) nelja erineva paigutuse jaoks. Kõigis versioonides on tuulikud paigutatud korrapärase mustri järgi ning on orienteeritud, järgides rannajoone kulgemist.

Tuulepargis tuulikute paigutuse sobilikkuse hindamise kriteeriumitena on kasutatud üksiktuuliku ja kogu tuulepargi aasta keskmist toodangut, tuulikute omavahelise varjutamise osakaalu, tuulikute keskmist kasutustegurit, efektiivsust tuuliku installeeritud võimsuse järgi ning efektiivsust kasutatava tuulepargi pindala järgi.

Kasutustegur näitab arvuliselt tuuliku aastase tegeliku energiatoodangu prognoosi suhet maksimaalsesse teoreetilisse toodangusse, mis saadakse tingimusel, et tuulik töötab pidevalt nimivõimsusel. Näiteks kui 2 MW nimivõimsusega tuuliku aastane energiatoodangu prognoos on 6000 MW·h, siis kasutustegur avaldub järgmiselt:

$$6000/(24 \cdot 365,25 \cdot 2) = 0,34 \quad (1)$$

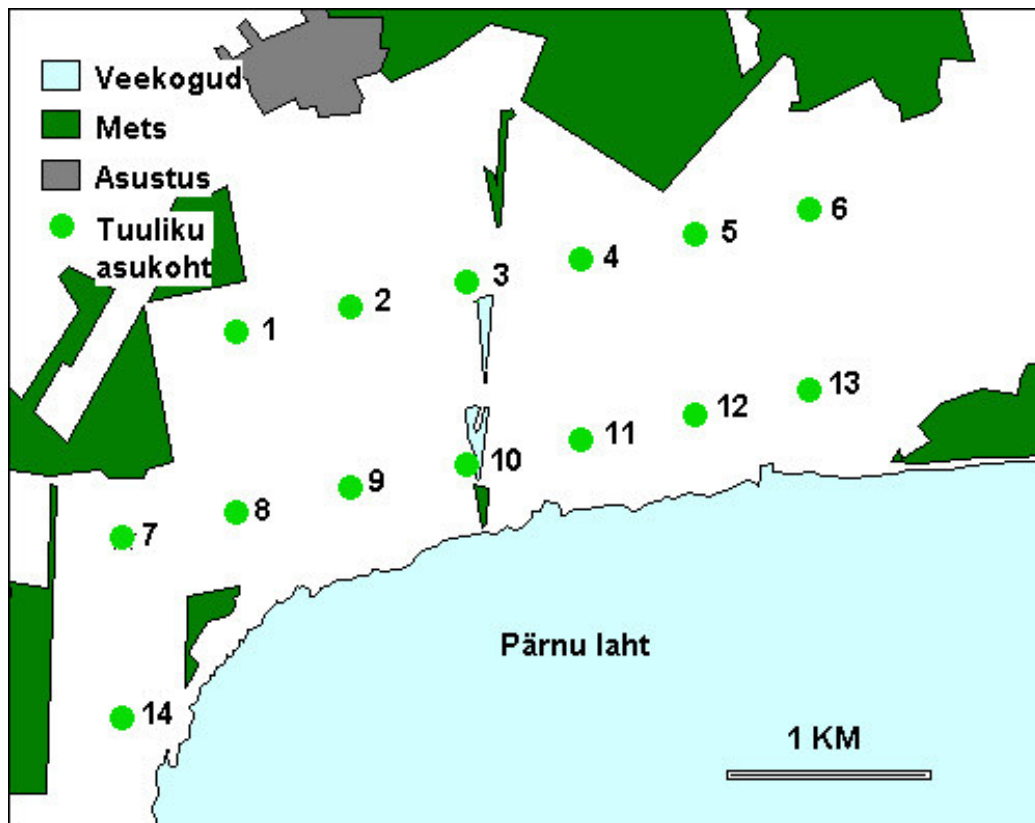
Efektiivsus installeeritud võimsuse järgi näitab tuuliku tootlikkust nimivõimsuse ühiku kohta. Näiteks kui 2,3 megavattise nimivõimsusega tuuliku aastane energiatoodangu prognoos on 6000 MW·h, siis efektiivsus installeeritud võimsuse järgi avaldub:

$$6000/2,3 = 2609 \text{ MW} \cdot \text{h}/\text{M} \quad (2)$$

Efektiivsus kasutatava pindala järgi. Kuna tuulikute paigutamiseks kasutada olev maa on piiratud ressurss, on oluline selle efektiivne kasutamine. Antud näitaja saadakse tuulepargi kogutoodangu jagamisel tuulepargi alla jääva pindalaga. Näiteks kui tuulepargi aastane kogutoodang on 100 000 MW·h ja pargi pindala on 300 ha, siis efektiivsus kasutatava pindala järgi saadakse järgnevalt:

$$100\,000/300 = 333 \text{ MW} \cdot \text{h}/\text{ha} \quad (3)$$

Eelnevalt modelleeritud tuulevälja alusel tuulikutele sobiva paigutuse leidmiseks tuulepargis on mitmeid võimalusi, sh matemaatilise algoritmi järgi maksimaalse toodanguga tuulepargi konfiguratsiooni loomine, kuid sel juhul on tulemus ebakorrapärane ja võib osutada visuaalselt vastuvõetamatuks. Samuti on sel juhul keerukas ning kulukas kommunikatsioonide rajamine, mis nullib ära saavutatud võidu toodangu mahus. Seetõttu on laiemalt kasutusel interaktiivsed meetodid, kus nt GIS vahenditega luuakse modelleeritud tuulevälja arvestades tuulepargi variandid, mis rahuldavad ka kommunikatsioonide rajamise, vaatelisuse jmt seisukohast ning korduvate arvutuste teel leitakse sobivaim lahendus.



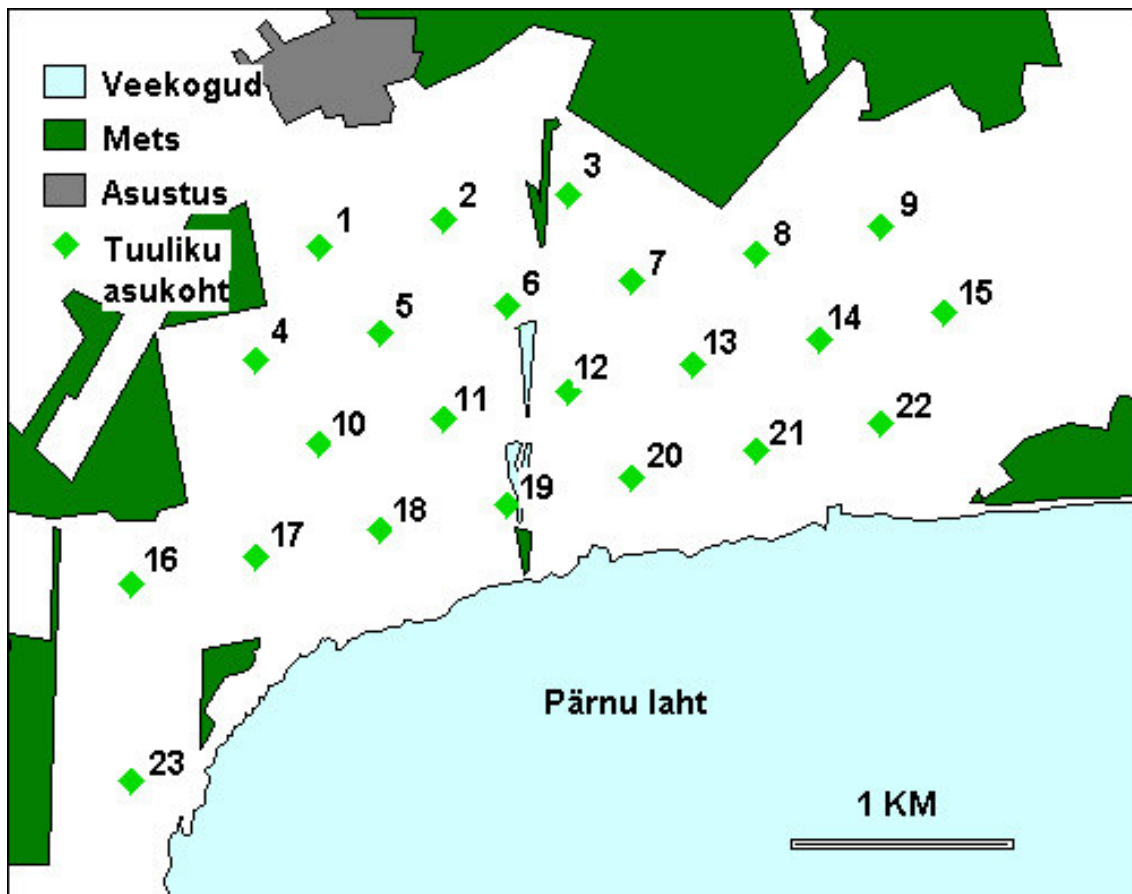
Joonis 4. Audru uurimisala tuulepargi paigutusvariant 14 asukohaga
 Figure 4. Layout of Audru wind farm with 14 wind turbines

Tuulikute paigutusvariantide kaalumisel on levinumateks lähenemisteks järgnevad:

- sobiva maa olemasolul paigutatakse tuulikuid hõredalt, et kahandada tuulikute omavahelist varjutust ja tagada iga tuuliku puhul suurim võimalik toodang;
- kasutada olemasolevat maad võimalikult kokkuhoidlikult, püstitades sinna võimalikult tihedalt tuulikuid, sest sellega kahanevad kulutused maale ja infrastruktuuri rajamisele;
- kompromiss kahe eelneva lahenduse vahel.

Nendest seisukohtadest lähtuvalt on välja töötatud ka järgnevalt esitatud tuulepargi paigutusvariandid Audru poldril.

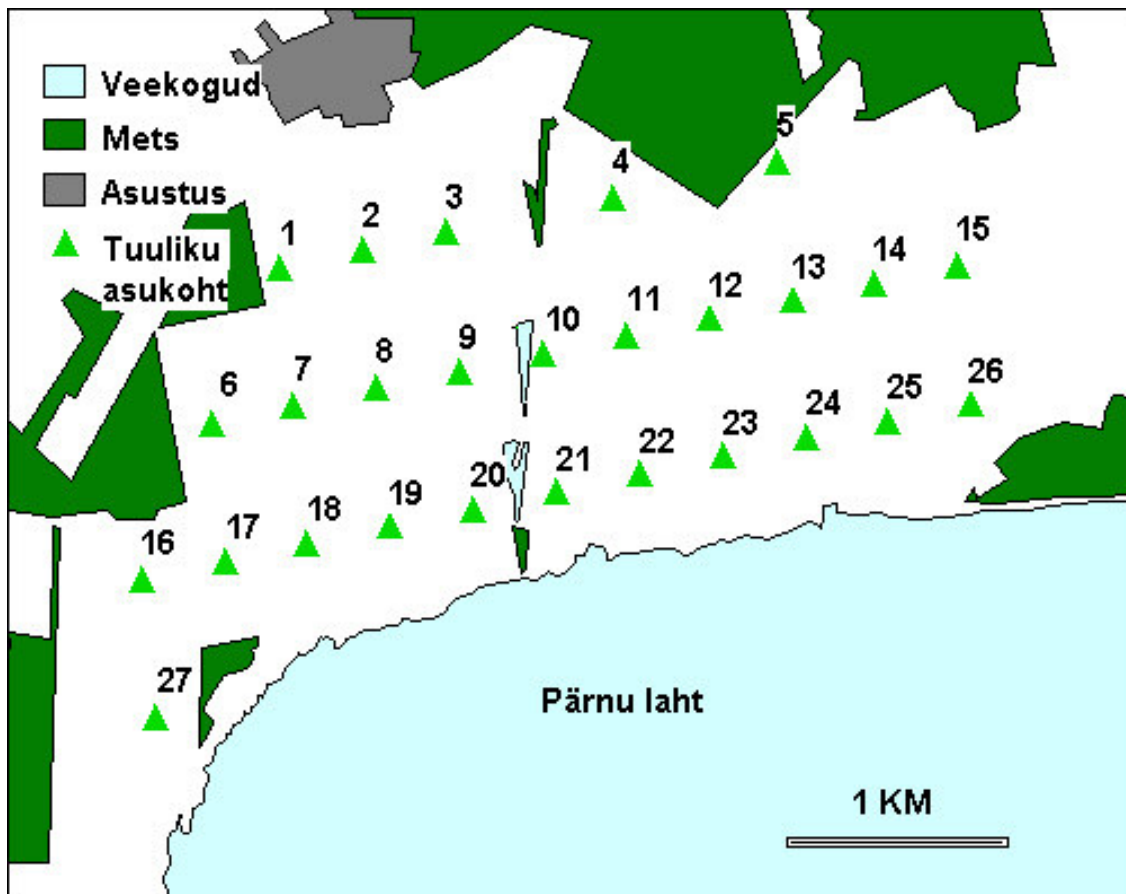
Hõredaim paigutusvariant on 14 tuulikuga (joonis 4). Selle variandi puhul on tuulikute omavaheliseks kauguseks allatuult 1210 m (asimuut 210°, näiteks tuulikud 6 ja 12) ning 1660 m (asimuut 225°, näiteks tuulikud 6 ja 11). Väikseim on tuulikute vahekaugus asimuudiga 258° (600 m, näiteks tuulikud 6 ja 5). Modelleerimisel selgus, et sellise paigutuse korral on varjutus küllaltki väike ka suurema võimsuse ja tiiviku diameetriga tuulikute puhul. Tuulikute tootlikkuse seisukohast on antud paigutuse puhul selges ülekaalus lõuna-edela sektorist puhuvad tuuled, samas kui tuulte esinemise sagedus lõuna-edela- ja lääne-edela sektorist on võrdne. Selline erinevus on tingitud läänekaarte tuulte kiiruse langemisest Tõstamaa poolsaare suurte metsaste alade tõttu.



Joonis 5. Audru uurimisala tuulepargi paigutusvariant 23 asukohaga
Figure 5. Layout of Audru wind farm with 23 wind turbines

Keskmise tihedusega tuulepargi variandi puhul on poldrile paigutatud 23 tuulikut (joonis 5). Tuulikute omavaheliseks kauguseks on 600 m (asimuut 209°, näiteks tuulikud 9 ja 14) ning 1100 m (asimuut 216°, näiteks tuulikud 9 ja 13). Asimuudiga 258° on tuulikute omavaheline vahekaugus 600 m (näiteks tuulikud 9 ja 8).

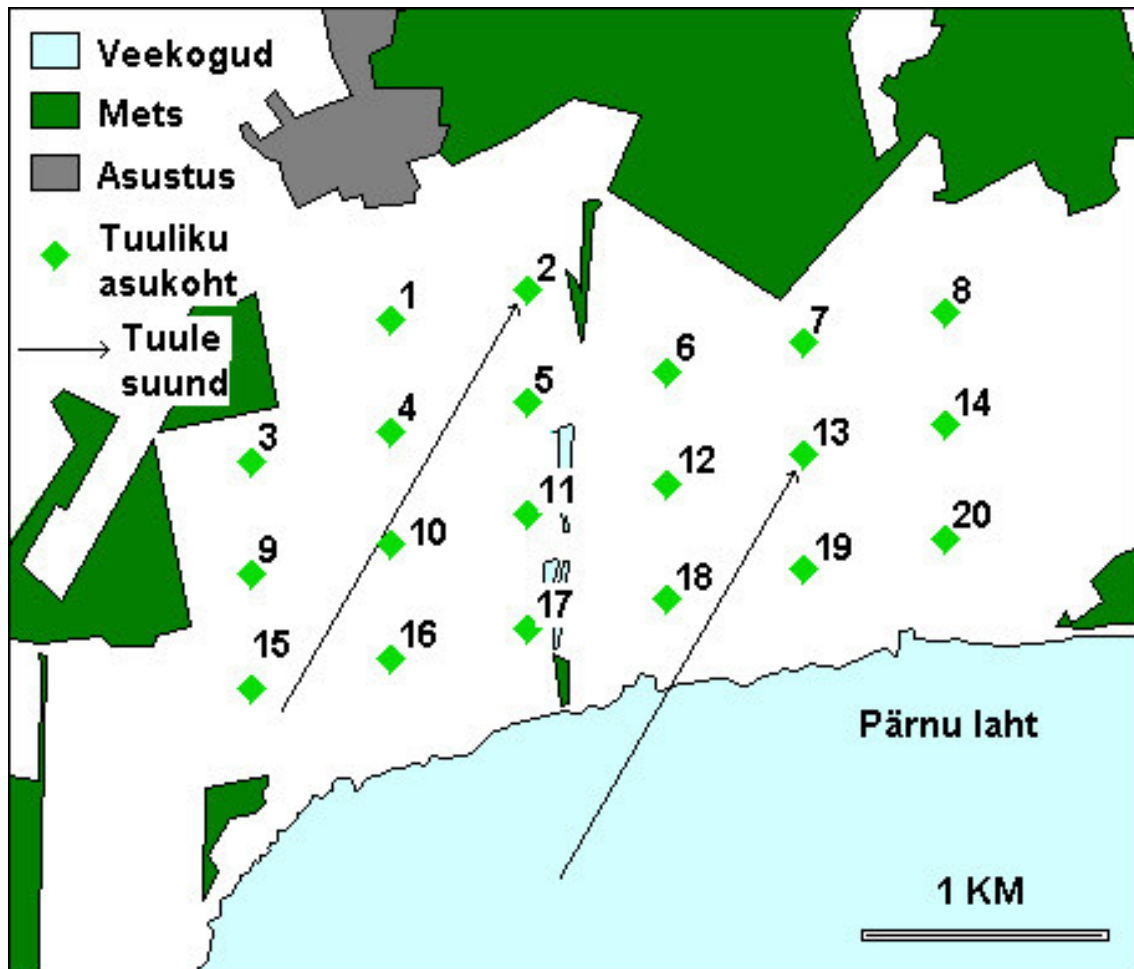
Tuulepargi tootlikkuse modelleerimisel tuleb selle paigutuse puhul juba selgelt esile varjutuse osakaalu tõus tuuliku nimivõimsuse ja tiiviku diameetri suurendamisel. Tuuliku torni kõrguse suurendamisel aga kasvab tuulekiirus ning see omakorda leevendab vähesel määral tuulikute omavahelist varjutust, sest suurema tuulekiiruse korral tuuliku tiiviku taga tekkiv tuulevari hääbub kiiremini.



Joonis 6. Audru uurimisala tuulepargi paigutusvariant 27 asukohaga
 Figure 6. Layout of Audru wind farm with 27 wind turbines

27 tuulikuga tihedaima paigutusmustriga variandi puhul (joonis 6) on tuulikute omavaheliseks kauguseks 800 m (asimuut 204°, näiteks tuulikud 15 ja 25) ning 1090 m (asimuut 221°, näiteks tuulikud 15 ja 24). Asimuudiga 258° on tuulikute vahekaugus 400 m (näiteks tuulikud 15 ja 14). Toodanguprognosis näitab taas tuulikute nimivõimsuse ja tiivikudiameetri vahel tulenevat progresseeruvat erinevust varjutuse osakaalus. 23 ja 27 tuulikuga paigutusvariantide energiatoodangu sektorite kaupa võrdlemisel selgub, et 27 tuulikuga variant on parem lahendus 210° sektorist puhuvate tuulte väiksema varjutuse tõttu.

Tabelist 3 on näha, et nii tuuliku keskmine toodang, kasutustegur kui ka efektiivsus installeeritud võimsuse järgi on 23 ja 27 tuulikuga paigutuse korral peaaegu samad. Efektiivsus pindala järgi on aga 27 tuulikuga paigutuse puhul suurem, samuti on paremad varjutuse näitajad. Enamiku eeltoodud näitajate järgi on parimad tulemused 14 tuulikuga pargis, kuid arvestada tuleb ka kogutoodanguga, mis on selle variandi puhul tunduvalt väiksem. Toodanguprognosis analüüs sektorite kaupa näitab, et tuulepargi efektiivsust on võimalik suurendada 23 tuulikuga pargis esimese rea (tuulikute 1–3) nihutamisega paremale (asimuut 78°) ning kolmanda rea (tuulikute 10–15) nihutamisega vasakule (asimuut 258°), mis vähendaks varjutust 210° sektoris. Seega võib antud kohale parimaks lugeda joonisel 7 esitatud paigutust.



Joonis 7. Audru uurimisala 20 tuulikuga variant. Nooled tähistavad energaetiliselt suurima osakaaluga tuule suunda

Figure 7. Layout of Audru wind farm with 20 wind turbines. Arrows mark the sector of wind which has the highest energy potential

Joonisel 7 kujutatud paigutus arvestab eelmistest (joonised 4–6) paremini avatusega suurima energiatihedusega tuulte suunas. Võrreldes 23 tuulikuga pargi paigutusega on lõplikus versioonis kolm tuulikut vähem. Kõrvale on jäetud selle versiooni tuulikud nr 1, 16 ja 23 ühest küljest vähese tootlikkusega asukoha tõttu, teisalt pargi kompaktsuse ja esteetilise korrapära huvides.

Tabelist 3 on näha, et võrreldes 23 tuulikuga paigutusvariandiga on 20 tuulikuga tuulepargi keskmine varjutus vähenenud, kuigi paigutustihedus pole muutunud ning kaks väikese varjutusega turbiini on ära jäetud, mistõttu keskmine varjutuse näitaja veidi kasvab.

Tabel 3. Audru tuulepargi erinevate versioonide efektiivsust iseloomustavad näitajad
Table 3. Efficiency characteristics of wind turbines in Audru wind farm

Paigutus-variant	Tuuliku keskmine toodang (MW·h/a) <i>NEG-Micon 1500/82</i>	Varjutus %	Kasutus-tegur	Efektiivsus installeeritud võimsuse järgi (MW·h/a/MW)	Efektiivsus pindala järgi (MW·h/ha)
14 tuulikut	4187	4,54	0,23	2264	155
20 tuulikut	4038	8,69	0,22	2175	228
23 tuulikut	3950	9,46	0,21	1869	201
27 tuulikut	3937	10,16	0,21	1863	223

Efektiivsus kasutatud pindala kohta on 20 tuulikuga variandi puhul isegi suurem kui 27 tuulikuga variandis, mis näitab, et suure tootlikkuse juures hõivab park suhteliselt vähe maad. Samas on varjutus suurenenud lõunasektorist (joonis 8), kuna tuulikute vahe selles suunas on võrreldes eelmiste variantidega (14, 24 ja 27 tuulikut) tunduvalt vähenenud.



Joonis 8. NEG-Micon 1500/82 (1500 kW, 70 m torn) tuulikute energiatoodangu (beež sektori osa) ja varjutuse (punane sektori osa) osakaal sõltuvalt ilmakaarest Audru poldril 20 tuulikuga paigutusvariandi korral. Energiaroosi ja sektori suurus väljendab tuuliku energiatoodangut (suurem diagramm tähendab suuremat toodangut)

Figure 8. Sector-wise distribution of energy yield with NEG-Micon 1500/82 (1500 kW). Beige part of the sector shows net production while brick red part of the sector shows wake losses. The bigger are sector and the diagram than higher is the energy yield of the turbine

Samas pole võimalik ilma tuulikute arvu tugeva vähendamiseta või 195–225° sektorit varjutamata põhja-lõunasuunalist varjutust kahandada. Tuulikute arvu vähendamise kahjuks räägib aga asjaolu, et tuulegeneraatorite paigutamiseks sobiva maa kättesaadavus on piiratud, mistõttu tuleb tuulepargi rajamisel pind võimalikult efektiivselt ära kasutada. Samuti kahandab see elektriliinide ja juurdepääsuteede rajamiseks tehtavaid kulutusi. Eeltoodut arvestades võib kolme esialgse variandi põhjal loodud 20 tuulikuga tuuleparki lugeda Audru poldri jaoks eelistatumaks.

Tänuavaldus

Uurimistöö on valminud Eesti Teadusfondi grandide nr 5464 toetusel.

KirjandusReferences

1. Kull, A., Laas, A. (2003) Sustainable management of wind resources in coastal areas in Estonia. In: Beriatos, E., Brebbia, C. A., Coccossis, H., Kungolos, A. (Eds). Sustainable Planning and Development I. The Sustainable World. WIT Press: 169–178.
2. Strack, M., Winkler, W. (2003) Analyse der Unsicherheiten bei der Ertragsberechnung von Windparks. DEWI Magazin 22: 52–62.
3. Troen, I., Petersen, E. L. 1989. European Wind Atlas. Risø National Laboratory, Denmark: 600.

WIND ENERGY YIELD ASSESSMENT AND OPTIMIZATION OF WIND TURBINES SITES IN WIND FARM BASED ON WIND CLIMATE

Ain Kull and Reimo Olev

Institute of Geography of University of Tartu, e-mail: ain.kull@ut.ee

Abstract

To ensure high efficiency of land use, utilization of wind resources and public acceptance of wind farms, the siting process of wind turbines must be carried out according to good practice. It is important to consider all different aspects of siting, from estimates of annual energy production (AEP) to indirect social effects as landscape aesthetics, alternative land use, etc. which are highly dependent on public opinion and are subject of change according to positive or negative feedback of construction of first wind farms. To achieve high efficiency of wind turbine or wind farm each site requires careful selection of wind turbine with suitable parameters. Thereby it is extremely important to analyse local wind dynamics and assess different wind turbine types, hub height and siting patterns.

TUULEENERGIA KOHT EESTI ENERGEETIKAS

Vello Selg

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

Annotatsioon

Tuuleenergeetika kiire areng maailmas nõuab meie energeetikutelt ajaga kaasaskäimist ning oma senist kõrvaltvaataja rolli muutmist. Tuule kasutamise võimalusi elektri tootmisel ei saa vaadelda lahus üldisest elektrienergia tootmisest, kuna tuul oma juhusliku iseloomu tõttu vajab täiendavat tuge teiste elektritootjate poolt. Samas võimaldab tuulejõuseade energia-tootmist hajutada, toota elektrit ja soojust ka autonoomses režiimis. On vaja jõuda selgusele, kuidas sobivad tuuleelektrijaamad kokku põlevkivi ja teisi kütuseid kasutavate soojus-elektrijaamadega ning üldise elektrivõrguga. Eesti elektrivõrkude tööd ei tohiks häirida elektrituulikud koguvõimsusega kuni 240 MW.

ELEKTRITUULIKUD, TUULEPARGID

Kasutatud lühendid

EE – AS Eesti Energia; STI – TTÜ soojustehnika instituut

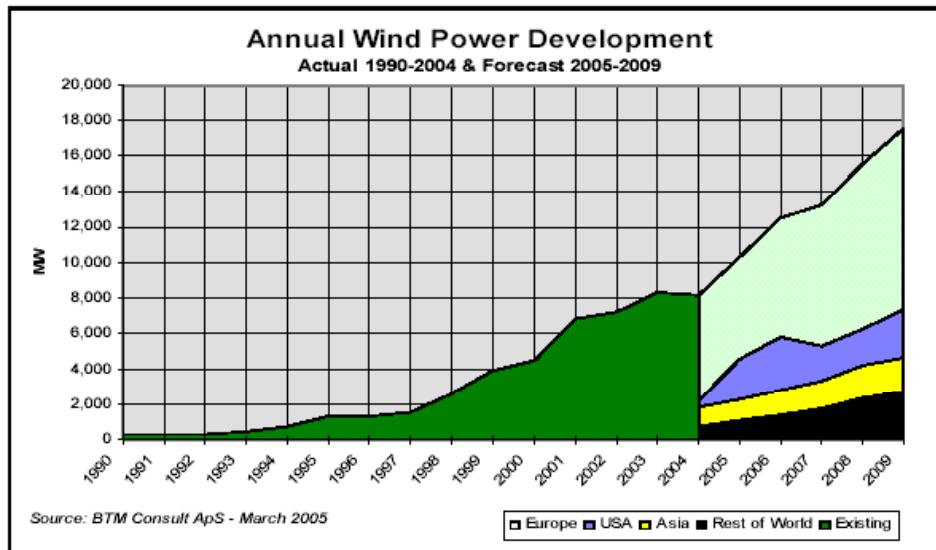
Mis ootab Eesti energeetikat lähitulevikus?

On see hea või halb küsimus, on praegu teisejärguline. Kuid vastust sellele tuleb meil kõigil otsida ja leida, kui vähegi valutame südant oma kodumaa tuleviku pärast.

Uute energialiikide kasutusele võtmine on pikaajaline protsess, mida tuleb alustada varem kui meie põlevkivivarud on ammendatud või nende kasutamine osutub liiga kalliks (Kaasik, 2004). Põlevkivil on lisaks energeetilisele toormeale täita ka tähtis osa Eesti majanduses keemiatööstuse toorainena. Seepärast on viimane aeg otsida lahendusi üleminekuks teiste energiaallikate kasutamisele, energialiikide tootmise hajutamisele ja põlevkivi säästmisele järeltulevatele põlvedele.

Teine oluline küsimus on, kui kaua me saame veel üldse kasutada fossiilseid kütuseid? Maa eluea mastaabis on fossiilsete kütuste ja tuumaenergia kasutamine lühiajaline ettevõtmine.

Igal pool maailmas rajatakse uusi elektrituulikute tuuleparke. Taani statistikute (BMT Consult ApS, 2005) poolt kogutud andmed tuulejõuseadmete koguvõimsuse aastase juurdekasv kohta 1990–2004 koos prognoosiga aastani 2009 (joonis 1) tõestavad pidevat huvi tuulest elektrienergia tootmise vastu. Kõigi maailmas paigaldatud tuuleelektrijaamade koguvõimsus 2003. aastal oli 39 500 MW ja vastas prognoositule. Prognoos 2004. aasta kohta on 48 000 MW, aastane juurdekasv 8500 MW. Tuuleenergeetika liidriteks on Saksa LV, Hispaania, USA ja Taani. Eesti tuuleelektrijaamade võimsus 2003. aasta lõpuks oli ainult 3,25 MW. Kas oleme rongilt maha jäänud?



Joonis 1. Elektri tuulikute installeeritud võimsuse aastased juurdekasvud maailmas
 Figure 1. World-wide annual wind power development

Eesti taastuvad energiaallikad

Eesti tingimustes saab elektri- ja soojusenergia tööstuslikuks tootmiseks kasutada biomassi-, hüdro- ja tuuleenergiat, ka fotoelektrilist päikeseenergiat, kui seadmete hinnad masstootmisel alanevad. Perspektiivseimaks eeltooduist on suurimat pidevalt ja kiiresti taastuvat ressursi omav tuuleenergia ja koostootejaamades kasutatav biomass. Valikut tehes tuleb arvestada vastava energialiigi kasutamise majanduslikkust, ökoloogilisust ja ka sotsiaal-poliitilist aspekti, kaasa arvatud energialiikide tootmise hajutamise vajadust.

Hüdroenergia arvutuslikuks ressursiks Eestis pakutakse 20–25 MW (Ots jt, 1990) kuni 200 MW (Raesaar, 1994). Suurem osa sellest potentsiaalist asub Narva piirijõel ning tema kasutuselevõtmine on seotud poliitiliste lahendustega.

Biomassi kasutamist võib hakata piirama ressurs, kui sellele õigeaegselt ei pöörata tähelepanu. Biomassist elektri tootmine on majanduslikult põhjendatud ainult soojuse ja elektri koostootmisel. Probleemiks on soojuse kasutamine suveperioodil. Tulevikus võiks huvi pakkuda kombinatsioon: tuuleelektrijaam ja biomassi kasutatav gaasijaam Stirlingmootori ja elektrigeneraatoriga. Biomassi gaasistamisel saaks kasutada keevkiht tehnoloogiat koos gaasimootoriga, mis võimaldaks suhteliselt lahja biogaasi rikastamist tuuleelektrijaamas elektrolüüsi abil toodetava vesinikuga. Võib-olla on bio-diiselkütus õige lahendus biomassist elektri tootmisel?

Tuule kasutamise potentsiaali hinnates võib väita, et Eestis on ~140 km² ranna-piirkondi, kus aasta keskmine tuulekiirus 10 m kõrgusel on üle 6 m/s – tuulisus on eduka tuuleenergeetika stardi jaoks väga oluline. Sõltuvalt maastikust ja muudest piirangutest mahub ühele ruutkilomeetrile keskmiselt 4 tuulikut koguvõimsusega ~6 MW, mis teoreetiliselt toodavad rannikul 14–18 GW·h/km². Arvestades lindude-rohkust ja muid piiranguid, tuleb tuulepargid rajada rannikust veidi kaugemale,

110 või 20 kV ülekandeliini läheduses asuvatele metsavabadele aladele. Reaalselt saame arvestada 140 km² toodanguks 25–30% eeltoodust ehk $27,5\% \cdot 16 \cdot 140 = 620 \text{ GW} \cdot \text{h/a}$, mis moodustab ~ 6% Eesti elektritoodangust. Installeerida tuleks ~240 MW tuulikuid, investeeringu suurus oleks ~300 miljonit eurot. See oleks esimese etapi ülesanne, mille täitmise järel saab otsustada edaspidise arenduse suundade üle.

Energia salvestamise võimaluste oskuslik kasutamine on taastuvate energiaallikate puhul väga oluline. Lähemate aastate uuringute objektiks peaksid olema tuulest soojuse ja elektri koostootmine (Jegorov ja Selg, 2001), erinevate energiasalvestamise viiside võrdlemine ja nende kombineeritud kasutamine. Kuna hüdroenergia kasutamist Eestis piirab veehoidlate vähesus ja Narva jõe asumine riigipiiril, siis saab arvestatavas ulatuses tuule- ja hüdroenergia kombineeritud kasutamist rakendada ainult koostöös Läti (ja võib-olla ka põhjamaade) energiasüsteemiga. Väiksemas mahus saaks tuuleelektrit kasutada suruõhu salvestamiseks maa-alustes hoidlates ning suruõhu-mootori või -turbiini abil elektrigeneraatorite käivitamiseks, toetades elektrituulikute tööd nõrkade tuulte või tuulevaikuste ajal.

Vesinikuenergeetika arengut ei tohi ka unustada. Tuuleelektrijaama võib koormata surve all töötava elektrolüüseriga, milles toodetud vesinikuga saab rikastada gaasi-juhtmes voolavat maagaasi. Elektrolüüdiks võiks olla merevesi. Ka hapnikku saaks kasutada mitmeks otstarbeks, näiteks reovee puhastamisel. Kõik need võimalused ootavad uuringuid, et välja selgitada Eestile tehniliselt ja majanduslikult kõige sobivamad taastuvenergia kasutamise variandid.

Reservvõimsuse vajaduse probleemid

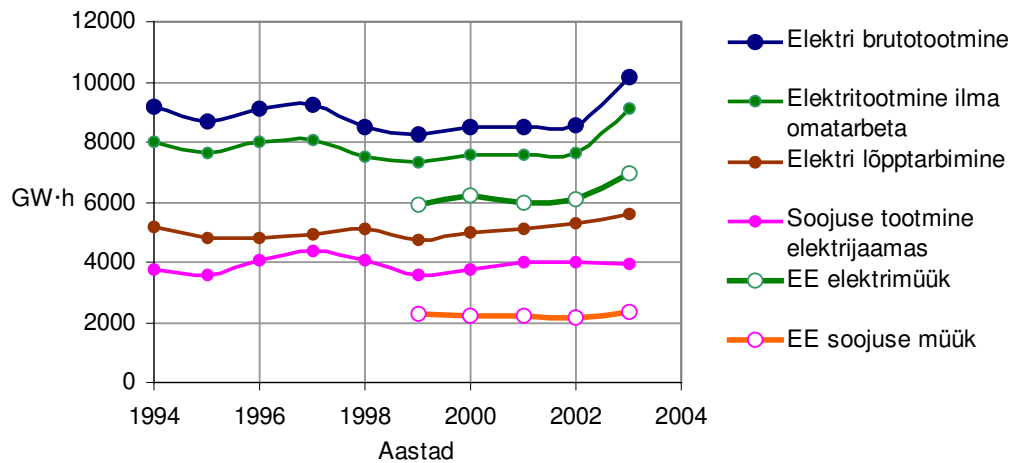
Arvestades tuulevoogude muutlikku iseloomu, vajavad elektrituulikud teiste elektritootmisviiside tuge reservvõimsuste näol. Sellest rääkides unustatakse tihti öelda, et reservvõimsusi vajavad kõik energiatootmise viisid, sest muutlik ei ole mitte ainult tuul, vaid ka elektri tarbimine ööpäevaringselt. Ka tuumaelektrijaamadel ja teistel suurte ühikvõimsustega elektrijaamadel on vajadus omada reservi. See on diskussioo- niteema, kui suur see reserv peab olema. Soomes aastaid tagasi toimunud analoogse diskussiooni käigus selgus, et näiteks tuumajaama 1000 MW plokkide jaoks on Soomes reservis kiire käivitamisega 750 MW gaasiturbiine. Eestis on olukord lihtsam, kuna põlevkivijaama plokid on ~200 MW. Mis puutub tuuleelektrijaamade reservi- vajadusse Eestis, siis on see probleem ilmselt ülepaisutatud. Kuni tuuleelektrijaamade osakaal EE süsteemis on alla 5%, ei tohiks isegi ootamatu tuulevaikus tuuleparkide piirkonnas mõjutada Narva elektrijaamade tööd. Kui tuuleelektrijaamade osakaal suureneb, siis kaasneb sellega elektritootmise hajutamine. Harva esineb tuulevaikust kogu meie üle 1000 km pikkuse rannajoone ulatuses. Seepärast on mõistlik tuuleparke ehitada esmajärjekorras Eesti lääne- ja põhjarannikule, kus tuuletingimused on paremad ja ka elektri ülekandeliinid olemas. Muret tekitab aga EE vähene huvi tuule- energeetika arendamise vastu, eriti Saaremaa ja Eesti lääneranniku ülekandevõrkude ning alajaamade aeglane kaasajastamine.

Et saada mõningat ülevaadet elektritootmise üldisest seisust, viime allpool läbi arvutusliku eksperimendi, asetades end energiasüsteemi dispetšeri rolli. Mõtteliselt tuleb otsustada, milliseid olemasolevatest energiablokkidest kasutada sõltuvalt koor- musest. Teisiti öeldes, vaatame, kuidas toimub Eestis elektritootmine-jaotamine ja kui

suurt reservvõimsust vajaks olemasolevas EE süsteemis elektrituulikute kasutamine ilma märkimisväärseid komplikatsioone tekitamata.

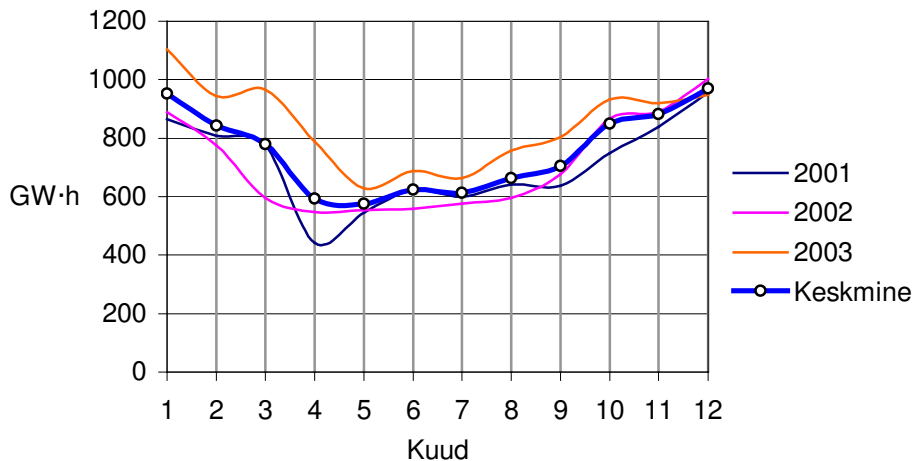
Elektrijaamades toodetava elektri ja soojuse bilanss

Lähtudes aastate jooksul avaldatud EE ametlikest andmetest on elektritootmine Eestis arenenud järgmiselt:



Joonis 2. Elektri ja soojuse tootmine Eestis
Figure 2. Production of heat and power in Estonia

Kuude lõikes iseloomustab elektritoodangut sarnasus tuulte jaotusega (joonis 3).



Joonis 3. Elektrienergia brutotoodang kuude lõikes
Figure 3. Gross production of electricity by months

Taastuenergia võimalusi arvestav Eesti elektrienergia tootmise jaotus

Eesti vajab energeetika arengukava, mis võimaldaks teatud perioodi jooksul rajada bio-, hüdro- ja tuuleenergiat kasutavate näidiselektrijaamade võrgu. Selle võrgu töötlemuste analüüsi põhjal võime edaspidiste arenguplaanide koostamisel tugineda omaenda kogemustele. Tulemused peavad näitama, milliste energiaallikate kasutamine on otstarbekam Eesti sotsiaal-majanduslikes tingimustes, palju tegelikult maksab uute energiaallikate kasutuselevõtt võrreldes olemasolevate renoveerimisega ja kui palju ning milliseid elektrijaamu me tulevikus vajame. Loogiline oleks põlevkivielektrijaamu kasutada baasjaamana, optimaalselt väljareguleeritud töörežiimiga, jättes koormuse reguleerimise ülesanded väiksematele, näiteks gaasil töötavatele koostootmisjaamadale. Elektrivõrgu kaugemates piirkondades võivad ka tuuleelektrijaamad olukorda parandada, kui neid sinna piisavalt palju on paigaldatud.

Arvutuslik eksperiment

Järgnevalt viime läbi mõned EE elektrisüsteemi brutoenergiatoodangu võrdlevad bilansiarvutused, kus ühel juhul süsteemis puuduvad elektrituulikud ja teisel juhul on süsteemi juurde lülitatud tuuleparke koguvõimsusega 240 MW.

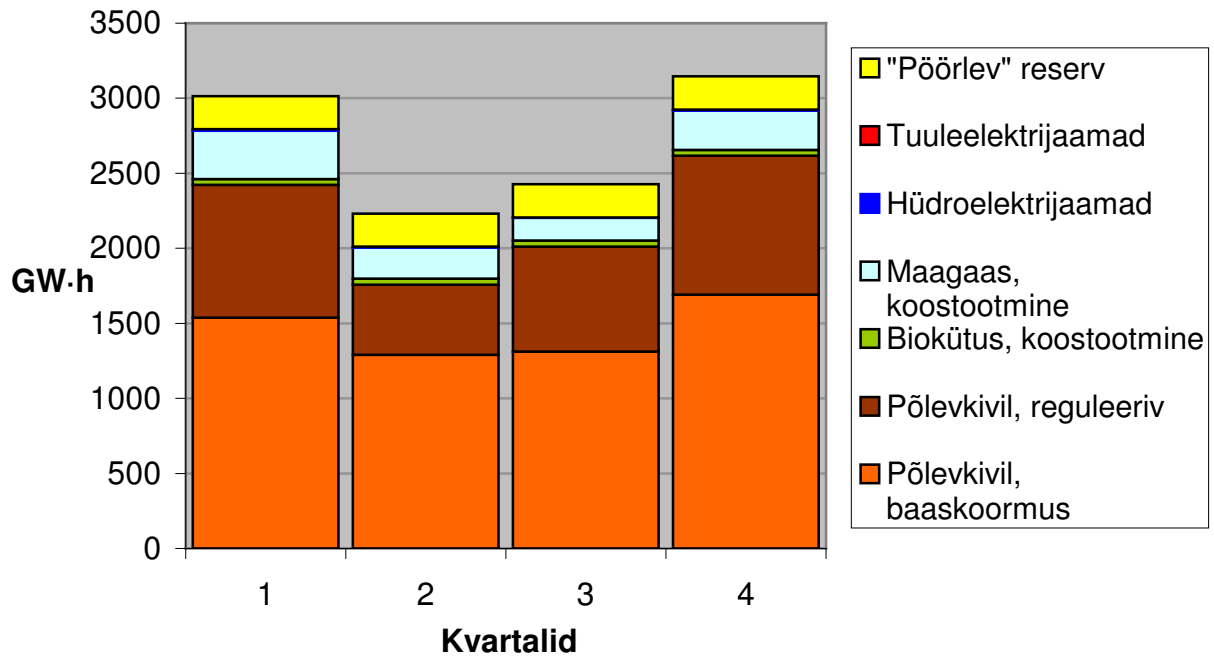
Eksperimendi aluseks on järgmised eeldused:

- lähiaastate brutoenergiatoodang jääb praegustesse piiridesse ja omab kuude lõikes samasugust jaotust;
- süsteemi energiakindluse tagamiseks kasutatakse 100 MW suurust "pöörlevat reservi" sõltumata sellest, kas süsteemis esinevad ka elektrituulikud või mitte;
- tuuleelektrijaamade ühendamisel ühtsesse EE süsteemi täiendavat reservi ei lisata.

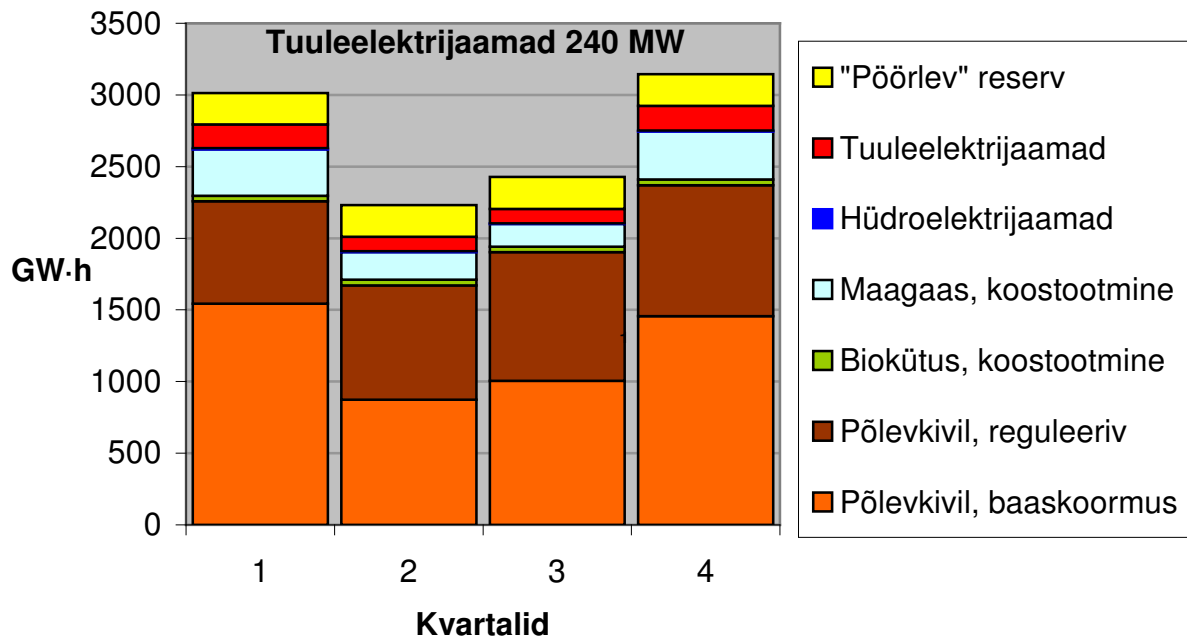
Lähtume eeldusest, et lähematel aastatel genereeritakse Eestis ligikaudu 8,0 TW·h elektrienergiat aastas. Põlevkivielektrijaamadest väljastatakse lisaks elektrile koostöörežiimis töötavalt kateldelt ~3 TW·h soojust. Võtame ka arvesse, et suvine elektrikoormus on ~600 MW.

Renoveeritud uued keevkihtkoldega katelseadmed põlevkivielektrijaamades on olemasolevaid turbiine ja generaatoreid arvestades nimivõimsusega 215 MW ploki kohta. Kui võtame kasutusele neli ploki (kaks või kolm töötavad pidevalt baaskoormusel, neljas on reservis, võimaldades teostada suvel vajalikke remonttöid ja talvel vajaduse korral suurendada baaskoormust), siis võime arvestada ploki nimikoormuse kasutusaja 0,93 puhul keskmise garanteeritud baasvõimsusega suvel 400 MW_e ja talvel 600 MW_e. Teostatud arvutused näitasid, et aastas saame põlevkivijaamadest töötavalt baaskoormuse plokkidelt kokku 5,830 TW·h elektritoodangut – kevadest sügiseni 6 kuu jooksul 2,603 TW·h ja talvel 3,227 TW·h. Põlevkivil töötavate koostööjaamade võimsuseks suvel oli eeldatavalt ~150 MW_e ja talvel ~550 MW_e, mis nimivõimsuse kasutusaja 0,882–0,932 puhul andis nende aastatoodanguks 2978 GW·h_e. Nendele koos maagaasil töötavate koostööjaamadega langes ka reguleerimise ülesanne. Arvutustes arvestati maagaasil töötavate seadmete nimivõimsusega 80–163 MW ja kasutusaja piiridega 0,857–0,928. Kokku andsid maagaasi seadmed arvutustes 942 GW·h elektrit. Lisaks nimetatutele võeti arvesse veel biokütusel töötavate koostööjaamade poolt eeldatud toodang 158 GW·h ja hüdrojaamade poolt

eeldatud 26 GW·h. Ilma tuuleparkideta arvutusliku eksperimendi tulemusi kirjeldab joonis 4.



Joonis 4. Eesti elektrienergia tootmise jaotus ilma elektrituulikuid rakendamata
Figure 4. Distribution of electricity production in Estonia without wind turbines



Joonis 5. Eesti elektrienergia tootmise jaotus koos 240 MW elektrituulikutega
Figure 5. Distribution of electricity production in Estonia with 240 MW wind turbines

Lisame nüüd eespool kirjeldatud arvutuslikus eksperimendis juba arvestatud taastuvate energiaallikate (biokütuse ja hüdroenergia) baasil toodetud elektrile EE süsteemi lülitatud 240 MW tuuleelektrijaamade toodangu ja vaatame, mida tuleb muuta reguleerivate seadmete eksploatatsioonis, et brutoenergiatoodangu bilanss jääks eelkir-

Tabel 1. Eeldatav võimsuse ja toodangu jaotus 240 MW elektrituulikute puhul
Table 1. Expected distribution of the capacity and production by 240 MW wind turbines

Elektrienergia bilanss	Ühik	I kv	II kv	III kv	IV kv	Aasta
Eeldatav keskm koguvõimsus	MW _e	1193	821	899	1224	1034
Eeldatav brutotoodang	GW·h	2573	1792	1983	2703	9051
Eeldatav võimsuste jaotus						
Põlevkivil, baaskoormus	MW _e	765	430	490	705	598
Põlevkivil, koostootmine	MW _e	360	400	440	440	410
Biokütusel, koostootmine	MW _e	20	20	20	20	20
Maagaasil, koostootmine	MW _e	163	100	90	163	129
Hüdroelektrijaamad	MW _e	5	5	5	5	5
Tuuleelektrijaamad	MW _e	240	240	240	240	240
Arvestuslikud kasutusajad						
Põlevkivil, baaskoormus	–	0,935	0,930	0,935	0,930	0,932
Põlevkivil, koostootmine	–	0,918	0,914	0,941	0,938	0,928
Biokütus, koostootmine	–	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
Maagaas, koostootmine	–	0,920	0,880	0,932	0,925	0,914
Hüdroelektrijaamad	–	0,817	0,667	0,617	0,333	0,608
Tuuleelektrijaamad	–	0,318	0,193	0,323	0,240	0,269
Kasutatava võimsuse jaotus						
Põlevkivil, baaskoormus	MW _e	715	400	456	660	557
Põlevkivil, koostootmine	MW _e	330	365	406	414	379
Biokütus, koostootmine	MW _e	18	18	18	18	18
Maagaas, koostootmine	MW _e	150	88	72	152	115
Hüdroelektrijaamad	MW _e	4	3	1	3	3
Tuuleelektrijaamad	MW _e	76	46	46	78	62
Kokku	MW _e	1293	921	999	1324	1134
Sellest “pöörlev reserv”	MW _e	100	100	100	100	100
Toodangu jaotus arendusperioodil, arvestades kõiki ülaltoodud näitajaid						
Põlevkivil, baaskoormus	GW·h	1544	873	1006	1456	4879
Põlevkivil, reguleeriv	GW·h	714	798	896	913	3320
Biokütus, koostootmine	GW·h	39	39	40	40	158
Maagaas, koostootmine	GW·h	323	192	159	336	1010
Hüdroelektrijaamad	GW·h	9	7	3	7	26
Tuuleelektrijaamad	GW·h	165	101	102	171	540
Sellest “pöörlev reserv”	GW·h	220	219	223	221	883

jeldatud eeldustega kooskõlla. Parema ülevaate saamiseks on tulemused esitatud lisaks joonisele 5 ka arvutustabeli kujul (tabel 1).

Arvutusliku eksperimendi tulemusi analüüsides võib väita, et 240 MW elektrituulikute lisamine EE elektrivõrkude süsteemi ei tohiks küll midagi olulist süsteemis muuta.

Elektrituulikute poolt toodetud 540 GW·h elektrit vähendaks põlevkivi baaskoormuse aastatoodangut 951 GW·h võrra, suurendaks põlevkivil töötavate reguleerivate plokkide toodangut 342 GW·h võrra ja maagaasil töötavate koostööjaamade elektritoodangut 68 GW·h võrra. Et arvutuslikud nimivõimsuse kasutusajad jäid endistesse piiridesse, selles võib veenduda tabel 1 vastavaid lahtreid jälgides. Kuigi tegemist oli ainult arvutusliku eksperimendiga, peaks olema selge – 240 MW elektrituulikute lisamiseks EE elektrivõrkude süsteemi pole erilisi tehnilisi takistusi.

Kokkuvõte

Käesolevas töös on näidatud, et Eesti jaoks on kõige perspektiivsemad taastuvenergia allikad suurimat energiaressurssi omav tuul ja biomass, mida saab kasutada koostootmisjaamades. Tulevikku silmas pidades tuleks arendada ühtse juhtimisega elektrienergia tootmise kompleksi, mille koosseisu kuuluksid EE ülekandevõrku ühendatud, kuid piki Eesti rannikut (mandril ja saartel) hajutatult asuvad tuulepargid ning biomassi kasutavad gaasturbiinide või gaasimootoritega varustatud elektrijaamad, kus biogaasi rikastatakse tuuleelektrijaamas elektrolüüsi abil toodetava vesinikuga. Esimesel etapil tuleks kasutusele võtta ~240 MW koguvõimsusega elektrituulikuid ja nende töö analüüsi põhjal otsustada järgmiste arendussuundade üle. Eespool toodust ilmneb, et nimetatud koguvõimsusega elektrituulikud võivad töötada koos EE ülekandevõrkudega ilma nimetamisväärseid probleeme tekitamata.

Kirjandus ▫ References

1. Eesti energeetika arengu üldpõhimõtted aastani 2030 (1990) Töögrupi juht Ots, A. Tallinna Tehnikaülikool. Tallinn: 63.
2. Jegorov, A., Selg, V. (2001) Soojust ja elektrit koostootva väiketuuliku kontseptsioon. Teise konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 154–159.
3. Kaasik, M. (2004) Kas põlevkivi annab teed taastuvatele energiaallikatele? Viienda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 44–48.
4. BMT Consult ApS (2005) International Wind Energy Development. World Market Update 2004. Forecast 2005–2009.
<http://www.google.com/url?sa=t&ct=res&cd=2&url=http%3A//www.btm.dk/Documents/Pressemeddelelse.pdf&ei=qpEdQ8e8Fr3iRZmZ8P0M>
5. Raesaar, P. (1994) Eesti hüdroenergeetika arenguprobleemidest. Riigi Energiaameti Infoleht nr 8. Tallinn: 30–33.

THE ROLE OF WIND ENERGY IN ESTONIAN ENERGETICS

Vello Selg

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

Abstract

The energy production of the world's most industrialized states moves towards the comprehensive use of sustainable sources of energy. It is caused by the rapid decrease of fossil fuel resources and in particular the uneven distribution of resources. In present time the wind energy and biomass used in co-generation with heat and power plants are the most perspective sources of sustainable energy for Estonia. Looking into the future, a complex system of energy production connected into the central transmission networks containing wind turbine parks scattered along Estonian sea coast and islands and biomass fired power plants with gas turbines should be developed. The biomass will be enriched with hydrogen produced by electrolyse from electricity from wind turbines. At first the 240 MW capacity of wind turbines should be erected and further developments should be decided on the basis of experience. Wind turbines can operate with EE power transmission networks without problems as is presented in this paper.

ENERGIAKULTUURIDE SOBIVUSEST ENERGEETILISTE KATELDE KÜTUSEKS

Livia Kask, Ülo Kask ja Aadu Paist

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

Annotatsioon

Energiakultuuride (taimkütuste) sobivuse hindamine nende kasutamisel kütusena kateldes, kuivatite kolletes jt põletusseadmetes eeldab nende taimede põlemistehniliste omaduste piisavalt täpset tundmist, mis võimaldab teha soojustehnilisi arvutusi ja projekteerida seadmeid, arvestades nende kütuste eripära. Nimetatud kütuste sageli ebahühtlane, sesoonne ja prognoosimatu kvaliteet eeldab ka neid põletavate seadmete efektiivsuse, tööea pikkuse ja kütuste kasutamise seonduvate keskkonnamõjude põhjalikku väljaselgitamist. Olulisemad põlemistehnilised omadused, millega põletusseadmete projekteerimisel ja käitamisel peab arvestama, on niiskus, tuhasus, kütteväärtus, tuha sulamiskarakteristikad, tuha keemiline koostis, tihedus jne. Artiklis tutvustatakse ka energiakultuuride põletamiseks kasutatavaid seadmeid ja nende käiduga seotud küsimusi.

ENERGIAKULTUURID, NIISKUS, KÜTTEVÄÄRTUS, VÄÄVLISISALDUS,
LÄMMASTIKUSISALDUS

Siin kasutatud lühendid

W^t – niiskus tarbimisaines,
 Q_a^t – tarbimisaine alumine kütteväärtus,
 $Q_{\text{ü}}^t$ – tarbimisaine ülemine kütteväärtus,
 Q_a^k – kuivaine alumine kütteväärtus,
 Q_a^p – põlevaine alumine kütteväärtus,
 E^t – tarbimisaine energiasisaldus,
 A^k – tuhasus kuivaines,
 S^k – kuivaine väävlisisaldus,
 N^k – kuivaine lämmastikusisaldus,
 Cl^k – kuivaine kloorisisaldus.

Energiakultuuride (taimkütuste) põlemistehnilised omadused

Põlemistehniliste omaduste määramist alustatakse harilikult niiskusest ja kütteväärtusest kui kahest kõige olulisemast parameetrist.

Pilliroo proove niiskuse määramiseks võeti iga kuu lõpus Kopli lahe sopis, Rocca al Mares mereäärselt kaldapiirilt. Proove koguti oktoobrist kuni aprillini (tabel 1). Hundinuiad koguti tehismärgaladelt ja looduslikest kasvukohtadest samal ajavahemikul. Kuivanud linavarred saadi Mooste valla talunikult.

Tabelist näeme, et pilliroo ja hundinuiad niiskus on märtsis ja aprillis kõige väiksem, samas kütteväärtus ning energiasisaldus kõige suurem (tabel 1, joonis 1). Seega sobivaim aeg nende varumiseks katlakütuseks oleks hilistalvel-varakevadel, et vältida

täiendavat energiakulu kuivatamisele. Hundinua niiskus (tabel 1, joonis 2) on pilliroo omast märksa suurem, kuna tema vars on seest käsnjas, mis aitab säilitada niiskust ka varakevadel.

Tabel 1. Pilliroo ja hundinua põlemistehniliste omaduste muutumine sõltuvalt koristusajast

Table 1. Variation of burning characteristics of reed and cattail depending on harvesting date

Jrk nr	Taim	Kuupäev	Niiskus, Wt %	Kütteväärtus, MJ/kg		Energiasisaldus, MW·h/t	
				Q_a^t	Q_{ii}^t	E_a^t	E_{ii}^t
1	Pilliroog	23.10.2003	49,6	7,59	9,51	2,11	2,64
2	Pilliroog	28.11.2003	33,7	10,76	12,5	2,99	3,47
3	Pilliroog	28.12.2003	25,5	12,39	14,05	3,44	3,9
4	Pilliroog	25.01.2004	18,7	13,74	15,33	3,82	4,26
5	Pilliroog	28.02.2004	21,8	13,12	14,75	3,65	4,1
6	Pilliroog	28.03.2004	15,9	14,3	15,86	3,97	4,41
7	Pilliroog	28.04.2004	8,9	15,69	17,18	4,36	4,77
8	Hundinui*	28.10.2003	48,4	7,65	9,47	2,12	2,63
9	Hundinui**	16.11.2003	55,9	6,18	8,09	1,72	2,25
10	Hundinui**	04.01.2004	45,7	8,18	9,97	2,27	2,77
11	Hundinui**	25.01.2004	39,4	9,41	11,12	2,61	3,09
12	Hundinui**	01.03.2004	43,9	8,53	10,3	2,37	2,86
13	Hundinui***	28.03.2004	32,6	10,74	12,37	2,98	3,44
14	Hundinui****	07.04.2004	56,6	6,05	7,97	1,68	2,21
15	Hundinui****	28.04.2004	25	12,23	13,77	3,4	3,82

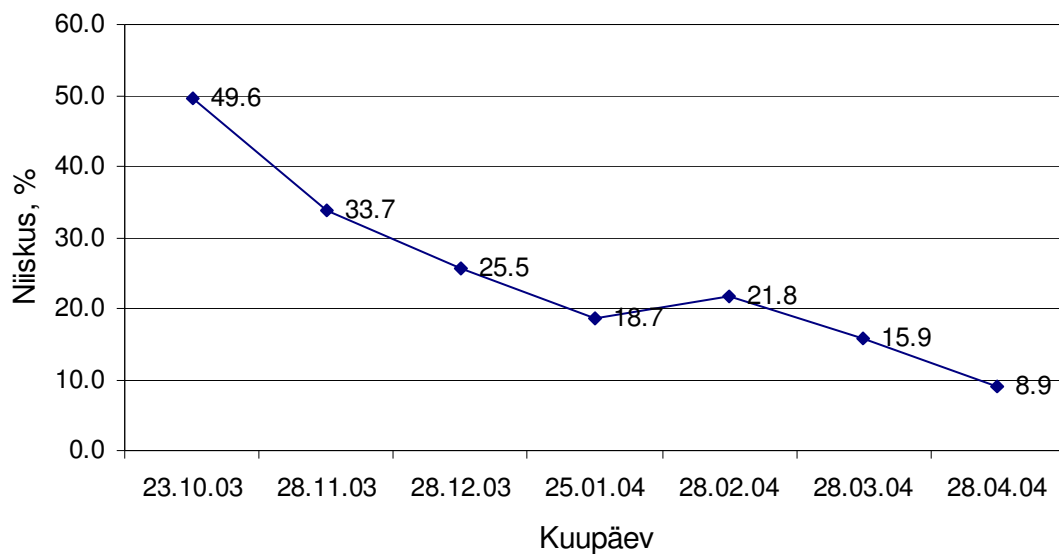
Märkused: pilliroog – Rocca al Mare; hundinui* - Virtsu; hundinui** - Kuressaare, hundinui*** - Jägala; hundinui**** - Harku järv (enamasti varred, lehed ära varisenud).

Erinevate taimkütuste elemendikoostise (C, H, N, S, O) tuha sulamiskarakteristikute ja keemilise koostise andmed on toodud tabelites 2, 3 ja 4. Pilliroo, hundinua ja lina põlemistehnilised näitajad määrati TTÜ soojustehnika instituudi akrediteeritud keemialaboris.

Pilliroog on põlemistehniliste omaduste poolest, struktuurilt ja väljanägemiselt küllaltki sarnane teraviljapõhuga, mida paljudes riikides kasutatakse kütuseks soojuse tootmisel. Analüüsid näitavad, et pilliroog on kütusena isegi kvaliteetsem kui teraviljapõhk (õled), sest tema tuha sulamistemperatuur on üle 1400 °C, kusjuures näiteks kaerapõhu tuha sulamistemperatuur on 900 °C piires (suur K₂O-sisaldus). Talvel on madala niiskusesisalduse tõttu (kuni 15%) pilliroo kütteväärtus suhteliselt kõrge, umbes 15 MJ/kg (4,2 kW·h/kg) (tabelid 1, 2). Tuhasus on samuti sarnane viljapõhuga, 4%.

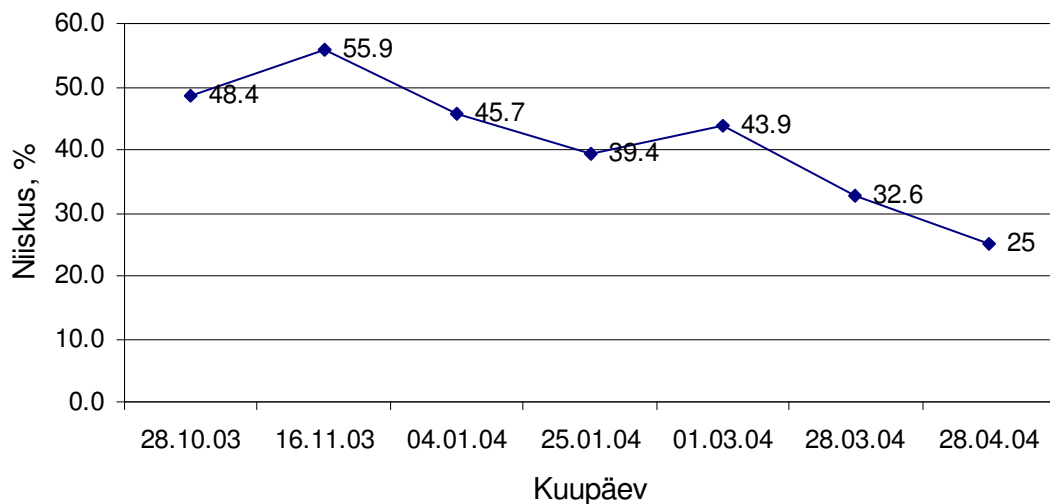


Joonis 1. Hundinuia kütus: $W^t = 30\text{--}40\%$, $Q_a^t = 9\text{--}10 \text{ MJ/kg}$, $E^t = 2,5\text{--}3,0 \text{ MW}\cdot\text{h/t}$, $A^k = 5\text{--}6\%$
Figure 1. Cattail fuel: $W^r = 30\text{--}40\%$, $Q_i^r = 9\text{--}10 \text{ MJ/kg}$, $E^r = 2.5\text{--}3.0 \text{ MW}\cdot\text{h/t}$, $A^d = 5\text{--}6\%$



Joonis 2. Pilliroo niiskuse muutus ajavahemikul 10.2003–04.2004
Figure 2. Variation of moisture content of reed between 10.2003–04.2004

Hundinuia kasutamisel kütusena tuleks teda täiendavalt kuivatada või segada mõne teise kuiva tahke biokütusega. Kevadel on pilliroo ja hundinuia niiskus kõige väiksem ja taimed seega kõige sobilikumad otse kütusena kasutamiseks või granuleerimiseks.



Joonis 3. Hundinuia niiskuse muutus ajavahemikul 10.2003–04.2004

Figure 3. Variation of moisture content of cattail between 10.2003–04.2004

Tabel 2. Pilliroo, hundinuia ja lina põlemistehnilised parameetrid

Table 2. Burning characteristics of reed, cattail and flax

Taim	Proovivõtu koht, aeg	Niiskus, W^t %	Kuivaine alumine kütteväärtus, Q_a^k MJ/kg	Tuhasus, A^k %	Tuha sulamistemperatuur, °C
Pilliroog	Rocca al Mare, 03.03	16,5	18,9	3,7	> 1440
Hundinui	Kuressaare, 11.03	55,9	18,4	5,7	> 1440
Lina	Mooste, 04.04	10,3	18,8	4,62	–

Tabel 3. Pilliroo, hundinuia ja lina elemendikoostis ja kloorisisaldus

Table 3. Elementary composition and Cl content of reed cattail and flax

Taim	Kuivaine elemendikoostis					
	C^k , %	H^k , %	N^k , %	S^k , %	O^k , %	Cl^k , %
Pilliroog	48,8	6,4	0,44	0,12	44,24	–
Hundinui	46,7	5,68	0,76	0,2	46,66	–
Lina	46,5	6,08	0,4	0,25	52,23	0,27

Tabel 4. Pilliroo, hundinuia ja lina tuha keemiline koostis (800 °C juures)
 Table 4. Chemical composition of reed, cattail and flax ash (at 800 °C)

Tuha komponent, %	Pilliroog, Vörtsjärv	Pilliroog, Rocca al Mare	Hundinui, Kuressaare	Lina, Mooste
SiO ₂	89,21	82,26	3,31	–
S _{üld}	0,4	0,63	1,82	–
R ₂ O ₃	0,63	2,82	5,65	–
Fe ₂ O ₃	0,29	0,61	0,51	–
Al ₂ O ₃	0,34	2,21	5,14	–
CaO	5,25	5,49	56,4	–
MgO	1,62	1,44	10,26	–
K ₂ O	1,61	0,83	4,49	1,75
Na ₂ O	0,32	0,66	5,7	<0,01
P ₂ O ₅	–	1,75	–	–

Märkused: pilliroog, Vörtsjärv – mage vesi, pilliroog Rocca al Mare – merevesi, tühik - ei määratud.

Tabel 5. Pilliroo, hundinuia ja lina tuha keemiline koostis (550 °C juures)
 Table 5. Chemical composition of reed cattail and flax ash (at 550 °C)

Tuha komponent, %	Hundinui	Pilliroog	Päideroog
SiO ₂	0,24	86	72,5
S _{üld}	0,12	–	–
CO ₂	–	–	1,1
SO ₃	–	–	2,1
P ₂ O ₅	–	–	2,5
Fe ₂ O ₃	0,24	–	0,7
Al ₂ O ₃	1,66	–	1,3
CaO	39,14	–	5,6
MgO	1,62	–	1,2
Na ₂ O	3,38	–	0,9
K ₂ O	10,94	–	3,4

Andmed: (Phyllis ..., 2005).

Taimkütuste kasutamise keskkonnamõju

Pilliroo lõikus võib avaldada negatiivset mõju lindudele ja loomadele, kuid positiivne on mõju toitainete ringlusele keskkonnas, sest roog toimib kui “ökoloogiline reha,” võideldes veekogude eutrofeerumisega. Pilliroo niitmine on oluline ka rannaniitude säilimise seisukohalt. See, kas pilliroo tööstuslik kasutamine on lõpptulemusena loodusele kahjulik või kasulik, on rohkem paikkondlik küsimus ja vajab igal juhtumil eri käsitlust.

Tabel 6. Pilliroo ja hundinuia tuha sulamiskarakteristikud (määratud TTÜ STI keemialaboris)

Table 6. Fusibility characteristics of reed and cattail ash (determined at laboratory of TED of TUT)

Parameeter	Mullutu pilliroog	Väikese väina pilliroog	Võrtsjärve pilliroog	Hundinui	Rocca al Mare pilliroog
Tuha 10%-lise vesilahuse pH	9,3	9,4	9,8	12,7	9,5
Tuha sulamis-karakteristikud	temperatuur tõusis kuni 1430 °C,	–	temperatuur tõusis kuni 1445 °C,	temperatuur tõusis kuni 1440 °C,	–
t ₁ , °C	proovikeha	1380	proovikeha	proovikeha	1285
t ₂ , °C	kuju ei muutunud	1440	kuju ei muutunud	kuju ei muutunud	1420
t ₃ , °C		1445			1435
t ₄ , °C		>1445			1445, peaaegu vedel

Uuringud on näidanud, et kõik mitmeaastased risoomtaimed (MRTd) kasvavad liigile sobilikes kasvukohtades hästi. Mitmel pool Euroopas leiavad energeetilist kasutust valdavalt neli taimeliiki: siidpööris (*Miscanthus spp.*) – *miscanthus*, vitshirss (*Panicum virgatum*) – *switchgrass*, päideroog (*Phalaris arundinacea*) – *reed canary grass* ja harilik hiidroog (*Arundo donax*) – *giant reed*. Nende nn energiataimede kasutuse valdavateks põhjusteks on suur ja stabiilne saagikus, kasvukohtade püsivus, efektiivne ressursi kasutamine, väikesed tootmiskulud, risoomsüsteemi kasulikkus ökosüsteemile ning võimalus saaki koristada üks kord aastas pika perioodi vältel (Lewandowski jt, 2002).

Sobilike omaduste poolest leiavad Euroopas valdavalt kasutust vitshirss ja päideroog ning vähem ka lutsern (*Alfalfa*) (tabelid 5 ja 6).

Soojusenergia tootmiseks sobivad põletusseadmed

Valik taimkütuseid põletavatest seadmetest on üsna lai ja sobiva leidmine sõltub suuresti sellest, millisel kujul kütust soovitakse kasutada, kas:

- granuleeritult,
- pakitult (pallitatult),
- purustatult (peenestatult).

Granuleeritud kütuse põletamiseks kasutatakse traditsioonilisi graanuli- ehk pelleti-põleteid ja neile sobivaid koldeid (joonised 4 ja 5). Tavaliselt on nende seadmete võimsus vahemikus, mis sobib kasutamiseks ühepereelamutes või üksikhoonete kütmiseks (10–100 kW, kuid on ehitatud ja Eestiski paigaldatud suuremaidki seadmeid (300–500 kW).

Tabel 7. Vitshirsi, siidpöörise, päideroo, hariliku hiidroo ja lutserni elemendi-koostis, %

Table 7. Elementary composition of Miscanthus, switch grass, reed canary grass, giant reed and Alfalfa ash, %

Taim	Elemendikoostis					
	C ^k	H ^k	O ^k	N ^k	S	Cl
Siidpööris	47,9	5,5	41	0,54	0,11	0,18
Vitshirss	47,8	5,76	35,1	1,17	0,1	–
Päideroog	46,5	5,7	41,6	0,4	0,05	–
Harilik hiidroog	47,1	5,84	42,8	0,6	0,12	0,2
Alfalfa	45,1	4,97	35,6	3,3	0,16	0,59

Andmed: (Phyllis ..., 2005).

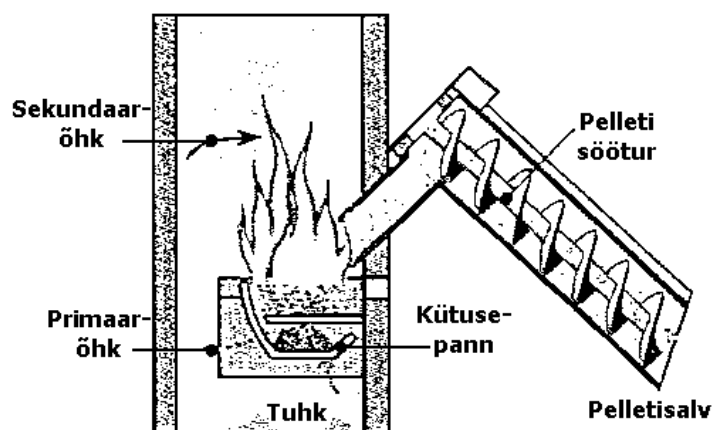
Tabel 8. Vitshirsi, siidpöörise, päideroo, hariliku hiidroo ja lutserni tuha keemiline koostis, %

Table 8. Chemical composition of Miscanthus, switch grass, reed canary grass, giant reed and Alfalfa ash, %

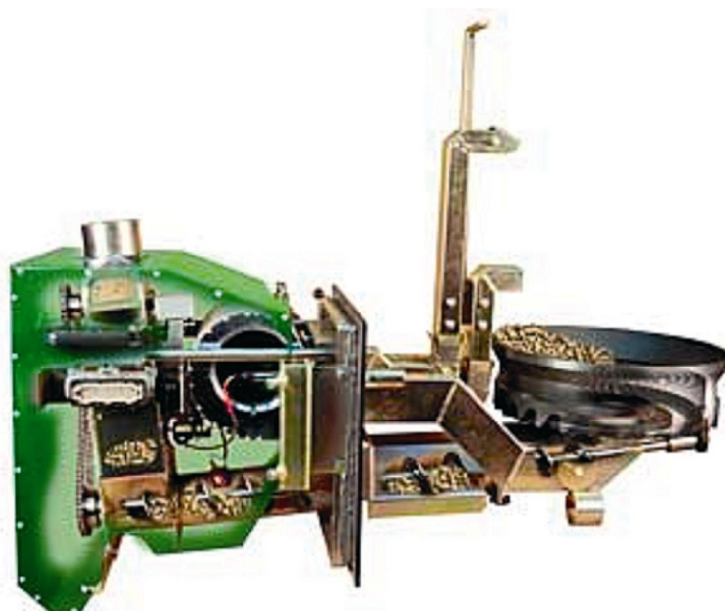
Tuha komponent, %	Siidpööris	Vitshirss	Päideroog	H. hiidroog	Lutsern
CO ₂	1,5	–	1,1	–	17,2
SO ₃	3,7	1,9	2,1	4,8	3,6
Cl	1,5	–	–	–	4,8
P ₂ O ₅	1,8	2,6	2,5	6,2	8,8
SiO ₂	63	69,9	72,5	44,2	6,2
Fe ₂ O ₃	0,4	0,4	0,7	0,9	0,4
Al ₂ O ₃	0,4	0,4	1,3	0,8	0,4
CaO	7,1	4,8	5,6	2,8	14
MgO	2,8	2,6	1,2	3,1	2,2
Na ₂ O	0,2	0,1	0,9	0,5	0,2
K ₂ O	14,8	15	3,4	30	44,2
TiO ₂	–	0,1	–	0,1	–

Andmed: (Phyllis ..., 2005).

Põhupallide (-pakkide) põletamise seadmed sobivad ka samasse vormi viidud muude taimkütuste põletamiseks (joonis 6). Nende seadmete võimsus ei ületa tavaliselt 0,5 MW ja aasta keskmine kasutegur ei ole üle 70%. Seadmed on suhteliselt odavad, töötavad tsükliliselt ja vajavad käsitsi teenindamist või traktori kasutamist kütuse laadimiseks. Eestis on teadaolevalt töötanud kolm seda tüüpi katelt.

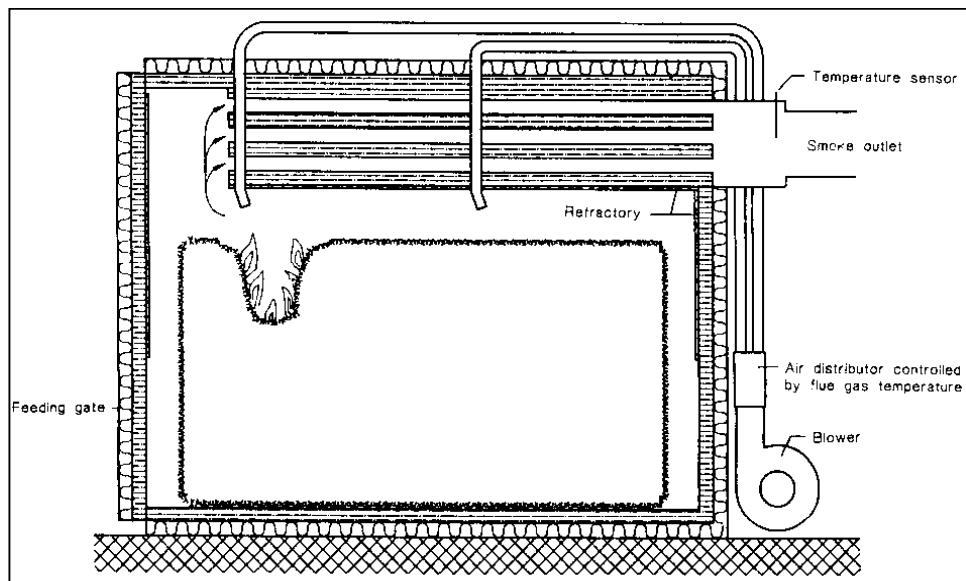


Joonis 4. Pelleti- ehk graanulipõletiga katel
 Figure 4. Stocker burner with boiler

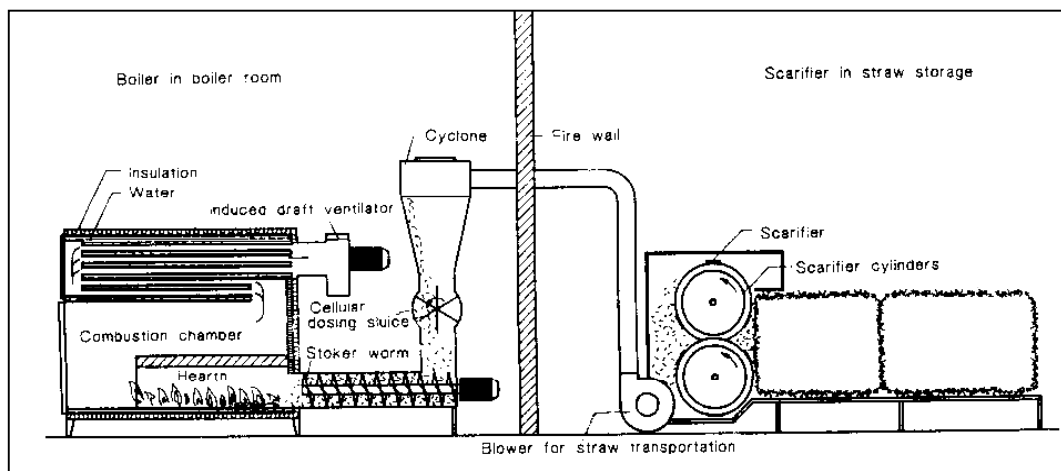


Joonis 5. Pelleti- ehk graanulipõleti (Pelletipolttimen ..., 2001)
 Figure 5. The stocker burner (Pelletipolttimen ..., 2001)

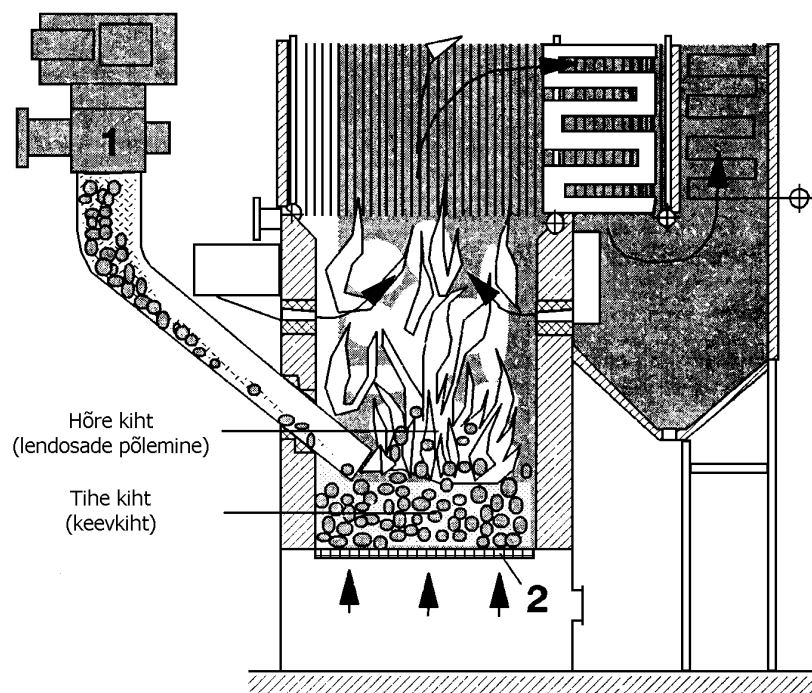
Taimkütuste palle (pakke) saab kasutada ka suuremates katlamajades (soojuse ja elektri koostootmisjaamades), kus need tõugatakse vastavate etteandeseadmete abil perioodiliselt koldesse ja restil allapoole liikudes või nn sigarpõletis ära põlevad. Selliste seadmete võimsus küünib 4–6 MW-ni. Teisel juhul pallid peenestatakse enne ja suunatakse koldesse kas tigutransportööridega (joonis 7) või puhutakse sinna õhuvoolusega. Viimasel juhul kasutatakse kas restkoldega või keevkihtkatlaid, mille võimsus võib olla kümneid megavatte (joonis 8). Peenestatud taimkütuseid saab põletada ka segus fossiilkütuste või puitkütuste ja turbaga. Vastavaid katseid on tehtud TTÜ STI-s ja AS-is Kuressaare Soojus (Paist jt, 2004).



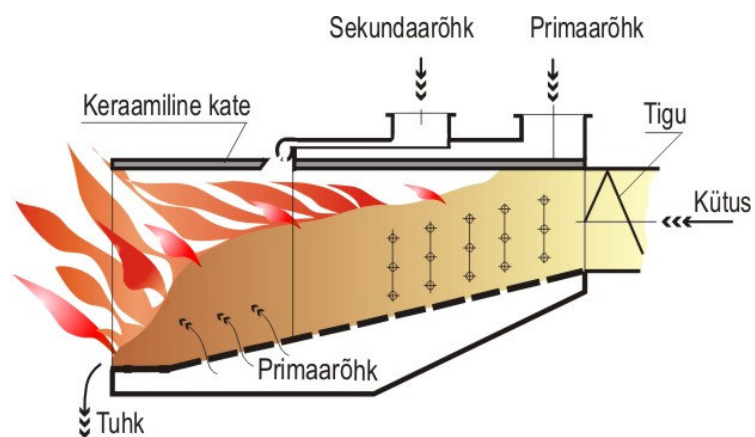
Joonis 6. Katelseade suurte põhupallide põletamiseks, kus põlemisõhu reguleerimine toimub suitsugaaside temperatuuri järgi (Straw ..., 1992)
Figure 6. Boiler for burning paled straw, where the air controls performed by temperature of flue gases (Straw ..., 1992)



Joonis 7. Peenestatud põhu põletamise seadme üldskeem (Pelletipolttimen ..., 2001)
Figure 7. Scheme of the facility for burning crushed (scarified) straw (Pelletipolttimen ..., 2001)



Joonis 8. Keevkihtkoldega katel peenestatud taimkütuse põletamiseks
Figure 8. Boiler with fluidized bed furnace for burning crushed plant fuel



Joonis 9. TTÜ STI-s välja töötatud stokerpõleti
Figure 9. Stoker burner elaborated in TED of TUT

Tabel 9. Õhu heitmed põhu põletamisel
Table 9. Emission factors on burning of straw

Parameeter	mg/Nm ³ 10%O ₂	mg/MJ
Tahked osakesed	80 (5–200)	40 (3–100)
CO	1200 (240–2300)	600 (120–1150)
NO _x (NO ₂)	180 (80–300)	90 (40–150)
SO ₂ (arvutuslik väävli siduvusaste ca 40%)	260 (200–340)	130 (100–170)
HCl	80 (30–150)	40 (15–80)
PAH	0,35 (0,20–0,60)	0,18 (0,10–0,30)

Andmed: (Straw ..., 1992).

Kokkuvõte

Pilliroo sobivus kasutamiseks energeetilise kütusena on end esimeste labori- ja pooltööstuslike katsete tulemuste alusel õigustanud. Järgnevalt tuleks proovida pilliroopelletite ja -brikkide valmistamist ning nende põletamist. Kogemuste saamiseks oleks vaja teha katsetusi eri liiki pillirookütusele sobivate ettevalmistus-tehnoloogiate ja põletusseadmete leidmiseks ning põlemisrežiimide väljatöötamiseks. Tuleb arvestada asjaolu, et neid kütuseid saab lisada teistele biomassipõhistele kütustele.

Hundinuia kütuseks ettevalmistamise ja põletuskatsete kogemused veel puuduvad, kuid tema põlemistehnilistest omadustest lähtuvalt on hundinui „raskem“ kütus (tuhas on väävli- ning leelismetallide sisaldus suurem, samuti on kogumisperioodil tema taimede niiskus suurem kui pillirool samadel tingimustel ja samal ajal).

Kui ligikaudu 1000 Eesti külas ja väikelinnas rajada kunstlikud märgalad reovete puhastamiseks, arvestusega 10 m² märgalapuhasti pinda ühe elaniku kohta, siis vajatavalt 400 hektarilt saaks koguda kuni 16 000 tonni biomassi aastas primaar-energiasisaldusega 67 GW·h.

Eesti kümnes maakonnas asuvatelt looduslikelt märgaladelt saaks pilliroogu niita ligikaudu 11 000 hektarilt primaarenergiasisaldusega 474 GW·h aastas. Pilliroo-pelletite hind kujuneks mitte väiksem kui puitpelletite oma, vähemalt 1800 kr/t. Muud liiki pillirookütuste hinnad kujuneksid kogumise tehnoloogiast, peenendamise astmest, transpordiviisidest ja kaugusest ning mitmetest muudest teguritest sõltuvalt tõenäoliselt väiksemaks pelletite hinnast, kuid konkreetseid kalkulatsioone ei ole veel koostatud.

Pilliroo lõikus võib avaldada negatiivset mõju lindudele ja loomadele ning viia välja roostikest toitained, kuid positiivne on mõju keskkonna aineringlusele, sest roog toimib kui “ökoloogiline reha,” võideldes veekogude atrofierumisega. Pilliroo niitmine on oluline ka maastike hoolduse ja rannaniitude liigirikikuse säilimise seisukohalt.

Kirjandus ▫ References

1. Phyllis is a database, containing information on the composition of biomass and waste (2005) <http://www.ecn.nl/phyllis>.
2. Lewandowski, I., Scurlock, J. M. O, Christou, M. (2002) The development and current status quo of production of perennial rhizomatous grasses as energy crops in Europe and the United States. Twelfth European Biomass Conference, Biomass for energy, industry and climate protection. Vol I. Amsterdam: 111–114.
3. Paist, A., Kask, Ü., Kask, L. (2004) Pilliroo põletuskatsete tulemusi. Viienda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 53–59.
4. Pelletipolttimen toiminta ja huolto (2001) EcoTec. Ohjelmakirje mallille A3 tehoilla 15–20–25 kW, Finland: 21.
5. Straw for Energy Production (1992) Technology-Environment-Economy. The Centre for Biomass Technology. Soeborg, Denmark: 46.

THE SUITABILITY OF ENERGY PLANTS AS FUEL IN ENERGY BOILERS

Livia Kask, Ülo Kask and Aadu Paist

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

Abstract

To estimate the suitability of using short rotation energy plants as fuel in boilers, furnaces of the dryers and in other combustion equipments assumes that we have sufficient knowledge of the characteristics of these fuels

Knowing these properties we can do the combustion calculations and design the combustion equipment, taking into consideration the peculiarities of these fuels. Heterogeneous, non-prognosticated and seasonally different quality of the above-mentioned fuels presumes that before we start to use energy plants we thoroughly analyse the environmental aspects, efficiency and lifetime of the combustion equipment. Essential characteristics, which we must take into consideration in the design and operation of combustion equipment, are: moisture, ash content, ash-fusibility temperatures, ash composition, density etc. The paper gives an overview of the energy plants, combustion equipment and problems, which are related with equipment operation.

TUULETURBIINID JA NAHKHIRED

Matti Masing¹ ja Lauri Lutsar²

¹Sicista Arenduskeskus, pk 111, 50002 Tartu
e-post: sicista@hot.ee

²Eestimaa Looduse Fond, pk 245, 50002 Tartu
e-post: lauri@elfond.ee

Annotatsioon

Välismaal läbi viidud uuringud näitavad, et rannikule ja mujale paigaldatavad tuuleturbiinid kujutavad ohtu nahkhiirtele. Nahkhiired koonduvad rannikul rändeperioodil. Mõned paigad rannikul, veekogude kallastel ja puistutes on nahkhiirte toitumiskohtadeks öösel. Kui neis kohtades töötavad tuuleturbiinid, siis võivad nahkhiired saada löögi pöörlevalt tiivikult ja hukkuda. Mõnes piirkonnas koonduvad turbiinipostide juurde lendavad ööputukad. Seegi on üks põhjus, miks nahkhiired turbiinide juurde tulevad ja seal hukuvad. Seniste uuringute peamised soovitusel on järgmised: 1) enne tuuleturbiinide püstitamist rannikule vm nahkhiirte potentsiaalse koondumise paikadesse tuleb tellida nahkhiirte eksperdilt detektoruuring ühe soojaperioodi vältel (aprillist oktoobrini), see võimaldab valida tuulikute püstitamiseks ohutumaid paiku; 2) tuulikud tuleks valmistada selliselt, et nad võimalikult vähe koondaksid enda ümber öösel lendavaid putukaid, seegi abinõu võimaldab kaitsta nahkhiiri.

TUULETURBIINID, NAHKHIRED, TUULEPARKIDE ASUKOHAD

Tuuleturbiinid ja nahkhiired – aktuaalne teema

Viimasel ajal on tuuleturbiinidest koosnevate nn tuuleparkide rajamine Eestimaal hoogu võtnud – Euroopa Liit soovib kasutada tuuleenergiat, mille evitamist ta ka rahaliselt toetab. Nõnda ongi Eestimaa rannikupiirkondadesse kerkinud tuuleturbiinid, aja jooksul on kavas neid püstitada kokku väga palju.

Rannikupiirkond on tuntud kui lindude ja nahkhiirte koondumispaike (Kumari, 1975; Keppart jt, 1984; Masing jt, 1987). Siin kulgevad nende loomade rändeteed ja asuvad toitumispaike. Seega kerkib küsimus: kas arvukad tuuleturbiinid kujutavad ohtu lindudele ja nahkhiirtele? Viimaste aastate uuringud Ameerika Ühendriikides, Hispaanias, Saksamaal ja Rootsis on näidanud, et selline oht on olemas. Järgnevas on antud kokkuvõtte Rootsis teostatud uuringust, peamiselt seoses nahkhiirtega.

11. detsembril 2004 ühines Eesti Vabariik Bonni konventsioonist lähtuva **Euroopa nahkhiirte kaitse lepinguga** (*Agreement on the Conservation of Populations of European Bats*, UNEP/EUROBATS). 1991. aastal käivitatud lepinguga on enne Eestit liitunud 29 Euroopa riiki, sh meie lähisriigid Rootsi, Soome, Leedu ja Läti. Niisiis on nüüd meilgi vaja rohkem kõnelda nahkhiirtest ja neid ohustavatest inimõjudest. Muide, Eestimaal nahkhiirte looduskaitse uuringuid teostav **Nahkhiirte Uurimise Töörühm** (NUT) moodustati detsembris 1992. Ettepaneku Eesti ühinemiseks EUROBATS-iga tegid meie teadlased 1994. a kevadel. Nagu näha, võttis selle ettepaneku elluviimine aega 10,5 aastat. Novembris 2004 kinnitati **nahkhiirte kaitsekorralduskava** (Masing jt, 2004) eelolevaks 5 aastaks.

Tuulikud (vt joonis 1) võivad olla nahkhiirtele ja lindudele ohtlikud (vt joonis 2).



Joonis 1. Metsa kohal kõrguvad tiivikud on suureks ohuks lendavatele lindudele ja nahkhiirtele (Foto: Yrjö Siivonen)

Figure 1. Wind power turbines propelling above forest are serious threat to flying birds and bats (Photo by Yrjö Siivonen)



Joonis 2. Maapind tuuleturbiini all kattub ohvrite surnukehadega, kuid otsija leiab neid harva, sest kohalikud röövloomad tassivad saagi ruttu minema (Foto: Yrjö Siivonen)

Figure 2. Birds and bats hit by propellers fall down on the ground and die. But they are not found there very often because local predators carry them away. (Photo by Yrjö Siivonen)

“Tuuleturbiinid ja nahkhiired” – Rootsimaal teostatud uuring

Aastail 2002–2003 uurisid **nahkhiireteadlased** (hiropteroloogid) tuuleturbiinide mõju nahkhiirtele Rootsimaa lõunapoolses osas, sh Gotlandil ja Ölandil (Ahlén, 2002; Ahlén, 2003). Selleks uuringuks eraldati 150 000 Rootsi krooni. Uuringu kirjalik kokkuvõtte esitati Rootsi Energeetikatööstuse juhtkonnale detsembris 2003. Uuringust ilmnas, et mõnes piirkonnas saab kokkupõrkel tuuleturbiinidega nahkhiiri hukka üsna palju. Vahemikus 24. august kuni 10. oktoober 2002 koguti 160 turbiini alt (ühekordse otsingu tulemusena) kokku 17 hukkunud nahkhiirt 6 liigist ja 33 lindu 17 liigist. Hukkunud lindude seas domineerisid räästapääsukesed, rästad ja kajakad. Leitud nahkhiired paiknesid 3–25 m kaugusel turbiinipostidest; umbes pooled neist kuulusid rändliikide rühma, ülejäänud paiksete liikide hulka.

Nahkhiirte kokkupõrked tuuleturbiinidega on tingitud peamiselt sellest, et nad (nii paiksed kui ka rändavad liigid) tulevad aeg-ajalt turbiinide juurde putukaid püüdma. Mõne turbiini juures nahkhiirte saakputukad koonduvad – kas turbiinist ja turbiinipostist kiirgava soojuse, või putukate “tipukoondumise” (*hilltopping*) tõttu – ning nende turbiinide alt on leitud hukkunud nahkhiiri.

Asurkondi silmas pidades ilmnas, et **tuuleturbiinid ohustavad nahkhiiri rohkem kui linde**, sest esimeste sigivus on palju madalam (täiskasvanud emasnahkhiirel on harilikult vaid üks järglane aastas).

Uuringust tulenevad soovitused (Rootsi andmetel)

- Esimene soovitus: vältida tuuleturbiinide paigaldamist kohtadesse, kus nahkhiired koonduvad (rändeteed ja putukate öise lennu koondumiskohad).
- Teine soovitus: täiustada tuuleturbiine, et nad ei koondaks enda juurde öösel lendavaid putukaid.

Uute tuuleturbiiniparkide kavandamisel ning enne turbiinide paigaldamisloa andmist on alati vajalik hinnata kohapeal nende ohtlikkust nahkhiirtele. Nahkhiirtele kõige ohtlikumad piirkonnad näivad paiknevat teatavates kohtades rannikul; samuti seal, kuhu koonduvad öösel lendavad saakputukad.

Praegu on olemas mõningane teave nahkhiirte lennuradadest ja sellest, millistes kohtades maastikul võivad asuda “**kriitilised elupaigad**”, kus nahkhiired oma öisel lennul koonduvad kevadel ning suve lõpul (maikuus ja augustist oktoobri alguseni). Selle teabe kohaselt ei tohiks tuuleturbiine paigaldada piki nahkhiirte teadaolevaid liikumisteid merel või maismaal. Samuti ei tohiks neid paigaldada piki mererannikut ja suuremate järvede kaldaid; samuti piki metsaribasid, puisteid, jõgesid, kanaleid jm veekogude kaldaid. “Kriitiliste elupaikade” kindlakstegemine on võimalik ainult nahkhiirte detektoruuringuga.

Seal, kus nahkhiirte koondumispaiku ja lennu iseloomu pole uuritud, on praegu võimatu täpselt ette näha, kus ja millal nahkhiired kogunevad. Nendes kohtades on vajalik **nahkhiirte detektoruuring vähemalt ühe aktiivsuseperioodi vältel** (aprillist oktoobrini), enne kui tuuleturbiinide täpsed asukohad maastikus määratakse. Selle uurimistöo vajadus tuleneb lisaks looduskaitse põhimõtetele ja kehtivatele seadustele selgelt ka Euroopa nahkhiirte kaitse lepingust ning nahkhiirte kaitsekorralduskavast.

Kirjandus ✕ References

1. 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.
2. 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.
3. Keppart, V., Keppart, P. ja Masing, M. (1984) Haruldased nahkhiired Kablis. Eesti Loodus 9: 603–605.
4. Kumari, E. (1975) Lindude ränne. Valgus. Tallinn: 328.
5. Masing, M., Keppart, V., Keppart, P., Leivits, A. ja Vilbaste, H. (1987) Nahkhiirte rände uurimisest Kablis 1984. aasta sügisel. Loodusevaatlusi 1985, 1: 75–86.
6. Masing, M., Keppart, V. ja Lutsar, L. (2004) Tegevuskava nahkhiirte kaitse korraldamiseks aastaks 2005–2009. Bat Conservation Management Plan for 2005–2009. Sicista Arenduskeskus. Tartu: 33. (keskkonnaministri käskkiri nr 1082, 12.11.2004). http://www.envir.ee/looduskaitse/NAHKHIRED_tegevuskava.pdf.

WIND TURBINES AND BATS

Matti Masing¹ and Lauri Lutsar²

¹Sicista Development Centre
e-mail: sicista@hotmail.ee

²Estonian Fund for Nature
e-mail: lauri@elfond.ee

Abstract

Observations of bats carried out in some countries reveal that wind power turbines (WPTs) are serious threat to bats. During migration period bats concentrate on the coast, along shores of inland water-bodies and along tree-rows. In some places bats concentrate to feed. If WPTs are erected in such places, many bats are killed by their propellers. The main results of studies carried out abroad are the following:

1. before erecting WPTs the area should be investigated by bat observers using bat-detectors, this would enable to avoid erecting the turbines in places where bats concentrate;
2. WPTs should be improved in a way, which reduces the concentration of night-active insects around them; in this case the bats can be protected as well.

BIODIISLIKÜTUSE TASUVUSEST EESTIS

Jaan Kivistik ja Heli Laas

Eesti Põllumajandusülikool, Kreutzwaldi 64, 51014 Tartu
e-post: jaank@eau.ee, heli.laas@mail.ee

Annotatsioon

Maailmamajanduse areng on väga suures ulatuses põhinenud naftal. Lisaks mootorikütusele ja kütteõlile toodetakse naftast kõikvõimalikke plasttooteid, mis meid aasta-aastalt märkamatult üha rohkem ümbritsevad. Siit ka põhjus, et nõudlus nafta järele ei vähene ega ole stabiilne, vaid isegi suureneb, seda lisaks väljakujunenud riikidele-suurtarbijatele ka põhjatu turuga Hiinas.

Nafta kui taastumatu energiaallika kasutamisega on seotud kaks üliolulist probleemi. Üheks neist on nn kasvuhoonegaaside heitkoguste suurenemine atmosfääris, millele vastuseisuks on Kyoto konverentsi protokollis välja töötatud põhimõtted. Protokollis kohaselt on Eestil ette nähtud aastateks 2008–2012 alandada CO₂ summaarne emissioon tasemele 34 494 000 tonni. See ülemaailmse tähtsusega probleem pole Eestile praegu määrav, sest tegelik emissiooni tase on olnud taotletavast pikka aega ligi poole madalam. Oluline on meile aga see, et naftavarud ei ole lõpmatud. Seetõttu on paljudes Euroopa riikides alanud intensiivsed otsingud ja leitud ka lahendusi fossiilsete energiaallikate asendamiseks taastuvatega. Kuigi Eestil on põlevkivi näol teatud reserv, on ülim aeg rohkem tähelepanu pöörata taastuvate energiaallikate otsimisele ja kasutusele võtmisele. Seetõttu tuleb pidada konverentsi TEUK-VI taastuvate energiaallikate uurimisest ja kasutamisest väga aktuaalseks ja oluliseks.

Käesolevas artiklis on püütud anda lühiülevaade Eestis biodiislikütusega tehtud katsetest ning hinnata rapsist biodiislikütuse tootmise perspektiivi. Käesolev töö on teatud jätkuks TEUK-V konverentsi kogumikus avaldatud Margot Mäesaare ning Jaan Kivistiku artiklile “Bioenergia ressursidest Eesti metsa- ja põllumajanduses” (Mäesaar ja Kivistik, 2004) ning Mailis Merdikese ja Jaan Kivistiku kirjutisele “Taastuenergia kasutamise vajadustest ja -võimalustest Eestis” (Merdikes ja Kivistik, 2002).

BIOKÜTUS, BIODIISLIKÜTUS, RAPS ÕLIKULTUURINA, PÕLLUMAA KASUTAMINE

Nafta lõppemise ootel

Vedelkütuste tavatarbija märkab tanklates bensiini ja diislikütuse pidevat hinnatõusu, kui välja arvata Eesti sisemisest konkurentsist tingitud lühiajalisi hinnalangusi. Meediaväljaannetes vihjatakse seejuures nafta hinna tõusule maailmaturul. Samal ajal nafta tootmine ja tarbimine suureneb, ulatudes maailmas üle 80 miljoni barreli päevas (barrel vastab 42 gallonile või 159 liitrile). Toomas Trapido kirjutab sellest artiklis “Nafta lõppemise seadus” 2004. aasta 14. oktoobri internetiportaali Roheline Värav 7. leheküljel. Naftatootmise tipu (*“peak oil”*) kohta lisab ta: “Nii et küsimuseks ei ole, kas tootmistipp tuleb, vaid millal ta tuleb või kas ta on juba käes?” (Trapido, 2004).

Naftatootmise tipule järgnev paratamatu langus võib viia maailmamajanduse languspöörisesse ja siis tulevad paremini toime need riigid, kes on suutnud rohkem üle minna taastuenergia kasutamisele. Järelikult on kütuse- ja energiamajanduse jätkusuutlik

toimimine riigi julgeoleku üheks alustalaks. Eestis kiitis Riigikogu 1998. aastal heaks kütuse- ja energiamajanduse pikaajalise riikliku arengukava (RT I 1998, 19, 295), mis määratles energeetika arenguid aastani 2005 (visiooniga 2018). Kava peamiseks ülesandeks oli Eesti energiamajanduse viimine EL-iga liitumiseks vajalikule tasemele. Nimetatud kava ei andnud piisavalt konkreetseid suuniseid taastuvenergia, elektri ning soojuse koostootmise ja energiasäästu eesmärkidele ja oli energiaturu arengu suunamisel liiga üldsõnaline.

Praegu on võimalik tutvuda eelnõu vormis esitatud materjaliga “Kütuse- ja energiamajanduse pikaajaline riiklik arengukava aastani 2015”¹. Kavas on toodud **Eesti kütuse- ja energiamajanduse strateegilised eesmärgid**, millistest märgime kahte teemaga otsesemalt seotut:

- tagada nõuetekohase kvaliteediga ning optimaalsete hindadega kütuse- ja energiavarustus;
- töötada välja meetmed, mis võimaldaks taastuvate vedelkütuste, eeskätt biodiislikütuse, kasutamist transpordisektoris (Kütuse- ..., 2004a).

Kütuse- ja energiasektori strateegiliste eesmärkide ning põhimõtete elluviimiseks on riigil kasutada järgmised hoovad:

- regulatiivsed e seadusandlikud meetodid (kaasa arvatud hinnakujundusmehhanismid),
- maksusüsteem,
- investeeringutoetused,
- riiklikud programmid (sh hariduse, teaduse ning tehnoloogiaarenduse suunal).

Biokütus ja biodiislikütus

Primaarenergia ressursid moodustasid Eestis 2003. aastal 254 716 teradžauli, millest põlevkivi osa oli 148 144 TJ e 58,2% ning puidul ja turbal kokku 31 296 TJ e 12,3% (Energiabilanss ..., 2004, lk 7). Taastuvate energiaallikate põhiosa moodustasid puitkütused, ülejäänute osa jäi väheseks. Seega on taastuvenergeetika arengus tähtis osa biokütusel.

Biokütuseks loetakse biomassist toodetud vedelat või gaasilist peamiselt transpordis kasutatavat kütust. Biomass on põllumajandussaaduste (nii loomset kui taimset päritolu) ja metsanduse ning nendega seotud töötleva tööstuse saaduste, kõrvalsaaduste ja jääkide orgaaniline osa, samuti tööstus- ning munitsipaaljätmete orgaaniline osa. Kaasajal kasutatakse suur osa raiutava küttepuidu ja puidutöötlemisjääkide primaarenergiast energia muundamise protsessides (peamiselt soojuse tootmiseks). Arvestatavaks lisanduvaks allikaks võib pidada raiejäätmeid. Biomassil põhineva elektri ja soojuse koostootmise arengut pidurdab soojuskoormuse vähesus ning asjaolu, et soodsa soojuskoormusega piirkondadesse on juba paigaldatud uued, ainult soojust tootvad seadmed. Samuti piirab arengut biokütuste mahukas eksport, mistõttu kohalikel energiatootjatel esineb ressursipuudus (Kütuse- ..., 2004a).

Biokütuseid on 10 liiki:

¹ Vastu võetud Riigikogu otsusega 15.12.2005. Vt (Kütuse- ..., 2004b) Toim märkus.

- **bioetanool** – biomassist ja/või jäätmete orgaanilisest osast toodetud etanool;
- **biodiislikütus** – taimsest või loomsest õlist toodetud diislikütuse kvaliteediga metüülester;
- **biogaas** – puugaas või biomassist (ka jäätmete orgaanilisest osast) toodetud vedelgaas, mille koostis vastab maagaasi kvaliteedile;
- **biometanool** – biomassist toodetud metanool;
- **biodimetüüleeter** – biomassist toodetud dimetüüleeter;
- **bio-ETBE** – bioetanooli baasil toodetud etüültertsiaarbutüüleeter. Biokütuse sisalduse määraks ETBE-s loetakse 47%;
- **bio-MTBE** – biometanooli baasil toodetud metüültertsiaarbutüüleeter. Biokütuse sisalduse määraks MTBE-s loetakse 36%;
- **sünteetiline biokütus** – biomassist toodetud sünteetilised süsivesinikud või nende segud;
- **biovesinik** – biomassist ja/või jäätmete orgaanilisest osast toodetud vesinik;
- **puhas taimeõli** – õlikultuuridest pressitud, ekstraheeritud või muul viisil saadud keemiliselt modifitseerimata toor- või rafineeritud õli (Kikkas, 2003).

Seoses prognoositava mootorsõidukite arvu tõusuga Eestis kasvab ka autokütuste tarbimine. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi prognoosi kohaselt kasvab autobensiini ja diislikütuse tarbimine 1–3% aastas, kusjuures kasv on pikaajalises perspektiivis aeglustuv. Autobensiini tarbimine suureneb 2010. aastaks 328 000 tonnini ja diislikütuse tarbimine 208 000 tonnini aastas. Nimetatud kütusekulu kohta on vaja teha täpsustavaid uuringuid, kuna mitmetes kirjandusallikates eeldatakse suuremat kütusevajadust.

EL-i direktiivile 2003/30/EÜ tuginedes peab Eesti tagama transpordi tarbeks turul olevatest diisli- ja bensiinikütustest bio- ja muude taastuvate kütuste indikatiivse osakaalu 2% aastaks 2006 ning 5,75% aastaks 2011, arvatuna kütuste energiasisalduse järgi. Et biodiislikütus saastab vähem keskkonda kui naftast toodetud diislikütus, nähakse ette biodiislikütuse eeliskasutust tiheasustuse korral, eeskätt linnades.

Biodiislikütuse poolt ja vastu

Biodiislikütuse tootmine ning taimeõli kasutamine autode ja traktorite kütusena ei ole mingi uudis. Et taimeõli sobib diiselmootori kütuseks, tõestas üle 100 aasta tagasi Pariisi maailmanäitusel Rudolf Diesel, pannes oma taimeõli-automootori maapähkliõliga töötama.

Saksamaal töötav Hans-Dieter Pilz väidab oma kogemustele toetudes: “Teatud seadistusega saab muuta tavalise diiselmootori sobivaks taimeõlile, ilma et see kaotaks võimet töötada diislikütusega. ... Meie CAR WASH PALACE autopesula taimeõli-auto on loodusliku kütusega sõitnud juba enam kui 300 000 km ilma tehniliste probleemideta, olles seejuures loodussõbralikum” (Pilz jt, 2002). Siinkohal sobib lisada, et Saksamaal on üks veoauto sõitnud biodiislikütusega 1,25 mln km. See tulemus on kantud “Guinnessi rekordite raamatusse”, mistõttu on hakatud biodiislikütust kutsuma “tšempioniks mootorite jaoks” (Kallas, 2001).

Argumentideks biodiislikütuse poolt võime lugeda tema suuremahulist tootmist Saksamaal, Prantsusmaal, Itaalias ja Taanis. Osa biodiislikütuse tehaseid on rajatud 10 aastat või isegi rohkem tagasi, palju tehaseid on hakanud biodiislikütust tootma sajandivahetusel. Tehaseid on erinevas suurusjärgus: 20 000–30 000- ja 40 000–50 000-tonnise aga ka 100 000-tonnise ning suurema aastatoodanguga.

Biodiislikütuse positiivne pool on toodud AGENDA 2000 materjalides loaga kasutada käibest väljas olevaid põlde *non-food*-toodete, sealhulgas biodiislikütuse tootmiseks.

Eestis on toodetud rapsiseemnest biodiislikütust. Oru Taimeõlitööstuses on tegeldud rapsi- ja rüpsi kuumpressimisega üle 10 aasta. Alates aastast 1996 tehti koostööd EPMÜ põllumajandustehnika instituudiga. Mootorkatsetes kasutati kombineeritud kütust, mille naftakütuses oli rapsiõli osakaal 40–60% (Pangsep ja Olak, 2001). Koostöös EPMÜ endise professori Rein Muoniga on talunik Jüri Rõõmusaar tootnud ja kasutanud biodiislikütust. Alates aastast 2000 on ta teinud omatoodetud kütusega põllutööd traktoriga Belarus. Traktor on töötanud häireteta, kuid perioodiliselt tuleb pesta kütusefiltrit. Biodiislikütuse kvaliteeti on analüüsitud Tallinna Tehnikaülikooli keemia instituudi laborites. Professor Leevi Mölder (Mölder, 2003) hindab rasvhapete metüülestritel biodiislikütusena kasutamisel miinusteks suurt viskoossust, halvemaid omadusi madalatel temperatuuridel ja umbes 12% väiksemat energiasisaldust.

Biodiislikütust on autodel katsetanud Kalev Lindali ja tema partneri Andres Otti firma WBT ning Eestimaa Looduse Fond. Rapsiõlist saaks toota katsetehases kuni 100 tonni rapsimetüülestrit kuus. Biodiislikütusega sõitnud auto heitgaasiandmed olid head (Niitra, 2003).

Biodiislikütuse poolt toome EMVI direktori ja mehhaniseerimise osakonna juhataja Arvi Kallase poolt pakutud ja artiklis täiendatud argumente.

- Biodiislikütust saab toota kohalikust toorainest, rapsiseemnetest või mõne muu õlikultuuri seemnetest, aga ka toitlustus- ning toiduainetööstuse ettevõtete rasvjäätmest.
- Võimaldab võtta söötijäänud põldusid taaskasutusse.
- Nii rapsiseemnete kui ka sellest biodiislikütuse tootmine aitab suurendada tööhõivet maal.
- Biodiislikütuse kasutamine ei mõjuta kliimat, kuna tekib CO₂ suletud ringkäik looduses. Erinevalt fossiilsetest kütustest vabaneb biodiislikütuse põletamisel ainult see CO₂, mida taimed olid varem atmosfäärist võtnud.
- Väga väike mootori heitgaaside emissioon, sest põlemisgaasid on praktiliselt väävlivabad ega põhjusta seega nn happelihmasid.
- Biodiislikütus ei ole ohtlik mullale ja pinnavetele.
- Positiivne energiabilanss – põllumajandus muutub osaliselt energiatarbijast energiakandja tootjaks.
- Tekib võimalus vähendada Eesti väliskaubanduspuudujääki jne.

Vastukaaluks rapsist biodiislikütuse tootmise pooltargumentidele on esitatud ka vastuargumente ja kahtlusi. Siinkohal ei analüüsi neid andmeid, mis on seotud vajadusega mootorite kütusesüsteemi täiustada või muuta või muude tehniliste nõuetega, millega lääneriikides on biodiislikütuse kasutamisel edukalt toime tulnud. Tõsi, mõningad

negatiivsed ilmingud küttesüsteemis võivad meil erinevalt läänepoolsetest riikidest esineda, seda põhjustavad näiteks tugevamad talvekülmad.

Rapsist biodiislikütuse tootmise kohta on avaldatud kõhklevaid arvamusi, kui pressis ilmus teade kohapeal toodetud biodiisli vabastamisest aktsiisimaksust (Karnau, 2004). Nii on biodiislikütuse tootmise kohta avaldanud 9. septembri 2004 internetiportaalis Roheline Värav artikli “Biodiisli kasutuselevõtt võib muutuda rohepesuks” Sander Silm. Ta toob Eestimaa Talupidajate Keskliidu peadirektori Kaul Nurme arvamuse, et EL-i kvoot on meil 360 000-le põllumaa hektarile, mistõttu rapsi kasvupinna suurendamisel tekivad probleemid teravilja pindalatoetustega. Tuleb tõdeda, et nii väikese põllumaa kvoodi on põhjustanud meil rakendatud üliliberaalne majanduspoliitika, mille hapusid vilju ei peaks sööma mitte ainult põllumehed. Samas artiklis on vihje keskkonnatehnoloog Marek Strandbergi arvamusele, et aktsiisimaksust saab vabastada ainult selle osa kütuse hinnast, mis pole nõ kaetud fossiilse kütusega (Silm, 2004).

Tiit Tammsaar leiab artiklis “Biodiislist roheliste emotsioonideta”, et Strandbergi väite kohaselt pidavat biodiislikütuse tootmiseks kuluma rohkem kütust kui protsessist tagasi saadakse e energeetiline kasutegur on alla 1. EMVI teadlaste uuringu tulemuse-na on biodiislikütuse tootmise energeetiline kasutegur tegelikult 1,3–1,6. Tammsaar lisab, et tooraine kasvatamise seisukohalt on meil 300 000 ha võsastunud põllumaa näol päris korralik reserv olemas, mistõttu ”Eestis tuleb kiiresti käivitada biodiisli omamaine tootmine” (Tammsaar, 2004). Toiduainete kasvatamisest vabaks jäänud põllumaa kasutamisele nn energiataimede kasvatamiseks on rea teiste autorite hulgas viidanud ka Henn Elmet ja Valdur Tiit (Elmet ja Tiit, 2000).

Eelnimetatud internetiportaalis Roheline Värav on trükitud “Pöördumine biokütuste osas”, mille koostajatena on näidatud Eestimaa Looduse Fond, Eestimaa Talupidajate Keskliit, Säästva Eesti Instituut, Eesti Roheline Liikumine, Eesti Ornitoloogiaühing ja Nõmme Tee Selts. Pöördumises tervitatakse valitsuse kava vabastada kohalikust toorainest bioloogiline diislikütus kütuseaktsiisist, mis ”on oluline samm, et välja astuda nafta- ja põlevkivikeskse majanduse suletud ringist”. Pöördumise koostajad kardavad kontrollimatu energiapõllunduse teket, geenmuundatud põllukultuuride kasutamist, mulla ökosüsteemi ja põhjavee kahjustumist jms, mistõttu ”võib plaanitu muutuda hoopis taastuvenergeetika ideed kompromiteerivaks” (Pöördumine ..., 2004).

Rapsi õlikultuurina

Rapsi õlikultuurina kasvatamiseks tehtavad kulutused on küllaltki suured, mistõttu tuleks silmas pidada mitmeid rapsi saaki mõjutavaid tegureid. Rapsi võib soovitude kohaselt külvikorras ühel ja samal väljal kasvatada iga 5 aasta järel. Haiguste leviku vähendamiseks ei soovitata külvata rapsi eelmise aasta rapsipõllu kõrvale või vahetuse lähedusse. Kui veel arvestada, et põuakartlikele ja liigniisketele maadele ei tasu rapsi külvata, siis on alust väita, et sobivaid maid jääb väheseks. Parim lahendus on hektarisaagi suurendamine ja see peakski olema järgmiste aastate peamine eesmärk (Ilumäe jt, 2004).

Kõige paremini sobivad rapsile keskmised liivsavi- ja saviliivmullad, mille pH on üle 6,5. Kui pH tase on 6,0 või alla selle, tuleb põldu lubjata. Üldiselt on suvirapsile

kohased kõik soodsa niiskusrežiimiga mullaerimid peale turvasmulla. Raps ei talu põuda ega liigniiskust. Sobivad mullad hõlmavad Põhja- ja Loode-Eestit, Eesti lõunaosa, välja arvatud Otepää ja Haanja kõrgustik, ning Pandivere kõrgustikku ja Vooremaad (Kask, 1996). Eestis on parimad saagid saadud leostunud kamar-karbonaatmuldadel, kamar-leetmuldadel ja kamar-gleimuldadel (Õlikultuuride ..., 2004). Kasvukoha valikul tuleb silmas pidada mulla head seisundit ja seda, et neli-viis aastat ei ole seal kasvatatud ristõielisi kultuure. See on tähtis mulla kaudu edasi kanduva mitme haiguse, eriti valgemädaniku ja ristõieliste kuivlaiksuse leviku vähendamiseks. Kõige sobivamad eelviljad rapsile on teraviljad. Peab jälgima ka eelkultuuride sobivust umbrohutõrjeks (teraviljapõllul on võimalik hävitada ristõielised umbrohud). Tähtis on ka rapsi enda mõju järgnevatele kultuuridele. Oma ülesannet täidavad nad kõige paremini sanitarina teraviljarohkes külvikorras ning sellisena sobivad teraviljade vahele (Ilumäe jt, 2004).

Rapsi vajadus taime põhitoitainete järele on kasvuperioodil suur. Kahetonnise hektarisaagi saamiseks on hektari kohta vaja 118 kg lämmastikku, 22 kg fosforit ja 77 kg kaaliumi. Rapsi väetistarbe arvutamisel tuleb lähtuda mullaanalüüsi andmetest. Mingil juhul ei tohiks piirduda ainult põhiväetiste andmisega. Arvestada tuleb ka teiste toitelementidega. Rapsi väävlivajadus on poole suurem kui teraviljadel (Ilumäe jt, 2004).

Suuresti mõjutab rapsi saaki ilm. Jahe ja sademeterikas ilm võib takistada rapsi piisavat tolmlenemist. Tolmeldajatest on eriti puudus väga suurte põldude keskosas. Mesilaste toomine põllule täiendavaks tolmeldamiseks on suurendanud saaki isegi kuiva ilma korral 5–9%.

Rapsitaimikut tuleb kindlasti pidevalt jälgida – haigused on tõrjutavad, kui tõrje teha õigel ajal. Esmane haiguste tõrjeabinõu on seemnete külveelne puhtimine. Siiani on rapsiseemnete saagile kõige rohkem kahju tekitanud haigus olnud ristõieliste kuivlaiksus. On täheldatud ka valgemädaniku järjest suuremat levikut. Kuivlaiksus võib sõltuvalt ilmast väga kiiresti levida, seda soodustab ka tihe taimik. Et seda ei juhtuks, tuleb kinni pidada viljavaheldusest, vajalik on nii ruumiline kui ka ajaline isolatsioon. Liiga tiheda taimiku ja liigniiske mulla puhul võib levida tõusmepõletik, happelise ja liigniiske mulla puhul ka nuuter.

Rapsiseemne tootmiskulude ja omahinna arvutamiseks on vaja teada saagikust erineva mullastikuga põldudel ning selle sõltuvust väetistest, taimekaitsevahenditest, masinakuludest jms.

Arvi Kallase artiklist „Rapsiseemne tootmiskulud ja omahind“ raamatust „Õlikultuuride kasvataja käsiraamat“ (Õlikultuuride ..., 2004) võib tuua järgmisel järeldused.

1. Rapsiseemne tootmine ei ole praegu tasuv saagikusel alla 1,25 t/ha, kui masinakulusid arvutatakse põllumajandusmasinate taastushindade juures ja kui rapsiseemne kokkuostuhind on isegi üle 3500 kr/t.
2. Kuni 2000. a kehtinud rapsiseemne keskmise kokkuostuhinna 3000 kr/t puhul peaks rapsiseemne saagikus Eestis olema üle 1,75 t/ha.
3. Kui suudaksime rapsiseemne saagikuse tõsta 3 t/ha, saaks rapsiseemet toota omahinnaga isegi alla 2000 kr/t.

4. Kui rapsiseemne saagikus on üle 2 t/ha ja kokkuostuhind üle 3500 kr/t, saab rapsiseemne tootmisest suhteliselt suurt kasumit – kuni 1700 kr/ha.
5. Kui näiteks rapsiseemne saagikus on 2 t/ha ja kokkuostuhind 3750 kr/t, siis on hektari kasum 1148 krooni. Teravilja saagikuse juures 3,5–4 t/ha peaks vilja kokkuostuhind olema 2200 kr/t, et saada niisama suurt kasumit hektarilt.
6. Rapsiseemet tasub Eestis kasvatada, kui seda tehakse ettenähtud agrotehnika nõudeid täites, mispuhul ei tohiks saagikuse saamine üle 1,75 t/ha olla probleemiks. See saaginumber peaks olema kõigi rapsikasvatajate miinimumeesmärgiks (Õlikultuuride ..., 2004).

Rapsist biodiislikütuse tootmise tasuvusest

Eesti teadlased ja praktikud on uurinud energiaallikana või kütusena pajuistandusi, heina ja põhku (Heinsoo jt, 2001; Hovi jt, 2001). Kütuse- ja energiamajanduse pikaajalises riiklikus arengukavas aastani 2015 on öeldud: "Nii energiametsa kui energiaheina istanduste rajamine ei ole praegu majanduslikult tasuv, kuigi energiaheina kultiveerimiseks ja koristamiseks vajaminev tehnika oleks olemasoleva põllumajandustehnika näol kasutada. Tehniliselt on võimalik ka põhu kasutamine energiatootmiseks, mis on majanduslikult piiratud veokaugusega" (Kütuse- ..., 2004b, lõik 1.3.2. Taastuvad energiaallikad, alalõik Biokütused).

Lähtudes saadavast energiahulgast ja transpordi mahukusest või keerukusest ei oma põhk ja hein kütusena laiemat perspektiivi, kuid võib leida edukat kasutamist kohaliku tähtsusega katlamajades. Nendega võrreldes võime eeldada rapsi head perspektiivi biodiislikütuse tootmisel, kuid selle suuremahulisel tootmisel tuleb eelnevalt lahendada mitmeid majanduslikke, sotsiaalseid, ökoloogilisi jm küsimusi. Kõigepealt tuleb selgitada omamaise rapsiseemne tootmise võimalik reaalne kogus, võttes arvesse rapsi agrotehnilisi iseärasusi, mullaviljakust, rapsi saagikust, väetistarvet, keskkonnakaitse nõudmisi, investeeringute vajadust, põllumaa kasutamise kvoote jms. Lähtekohaks tuleb võtta rapsikasvatuse senine areng Eestis, mille kohta toome andmed tabelis 1.

Tabel 1. Tali- ja suvirapsi kasvupind, saak ja saagikus aastatel 1994–2003

Table 1. Sown area of winter and spring rape, production and yield in 1994–2003

Aasta	Taliraps			Suviraps		
	Hektar	Tonn	Kg/ha	Hektar	Tonn	Kg/ha
1994	172	118	686	2474	2049	828
1995	48	8	167	5982	7017	1173
1996	6	2	333	8546	10 005	1171
1997	480	713	1485	7425	8901	1199
1998	–	–	–	17 492	17 918	1024
1999	–	–	–	24 147	290 758	1232
2000	19	20	1053	28 802	38 578	1339
2001	229	166	725	27 308	41 118	1506
2002	1263	2438	1930	31 592	61 427	1944
2003	867	1431	1651	45 461	67 804	1491

Andmete allikas: (Põllumaj ..., 1998, lk 40–41; Põllumaj ..., 2001, lk 24–25; Põllumaj ..., 2004, lk 34)

Lähtekohad rapsist biodiislikütuse tootmise tasuvuse kohta saame Arvi Kallase poolt 2001. aastal tehtud uuringust "Biodiislikütuse tootmistehnoloogiad ja omahind" (Kallas, 2001).

Biodiislikütuse tootmiseks saadakse 100 kilogrammist 6–8% niiskusesisalduse ja 38–43% õlisisaldusega rapsiseemnetest 28–35 kg rapsiõli ja 62–74 kilogrammi rapsikooki. Ühest tonnist külmpressitud rapsiseemnetest saab keskmiselt 360 liitrit ja kuumpressitud seemnetest 415 liitrit biodiislikütust. Tootmise kõrvalsaadusena tekib rapsikook, mida saab kasutada loomasöödana, ja toorglütserool, mis tuleb suunata puhastamiseks eritöötlusesse, ning metanool. Need kõrvalsaadused on suurema või väiksema väärtusega ja nende müügihind mõjutab omakorda rapsist toodetava biodiislikütuse tootmis-hinda. Arvi Kallas on biodiislikütuse omahinna arvutamisel võtnud metanooli hinnaks 5 kr/l, rapsikoogi hinnaks 2,6 kr/kg ja glütserooli hinnaks variantidena 4,0; 7,5 ja 10,0 kr/l. Püsikuludeks, mis sõltuvad peamiselt tehase amortisatsiooni- ja intressikuludest, on kõikides variantides võetud konstantselt 0,70 kr/l. Biodiislikütuse arvutuslik omahind on toodud tabelis 2 ja tootmise energiabilanss tabelis 3.

Tabel 2. Biodiislikütuse omahind sõltuvalt rapsiseemne, glütserooli ja rapsikoogi hinnast (Kallas, 2001)

Table 2. Dependence of biodiesel price on rape seed, glyserol and rape cake (Kallas, 2001)

Rapsiseemne hind, kr/kg	2,0	2,5	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8
Glütserooli hind, kr/kg	4,0						
Biodiislikütuse omahind, kr/l	4,58	6,08	7,59	8,19	8,79	9,39	9,99
Glütserooli hind, kr/kg	7,5						
Biodiislikütuse omahind, kr/l	4,15	5,66	7,16	7,76	8,36	8,96	9,56
Glütserooli hind, kr/kg	10,0						
Biodiislikütuse omahind, kr/l	3,85	5,35	6,85	7,45	8,06	8,66	9,26

Järeldused ja ettepanekud

1. Iga katse üleminekuks omamaisele taastuenergia allika kasutamisele on praegu teretulnud ja võimaldab vähendada Eesti sõltumatust välismaistest energiakandjatest. Seega idee toota rapsiseemnetest biodiislikütust väärib toetamist.
2. Senised uurimused põllumajandusest teiste võimalike energiakandjate leidmiseks (hein, põhk, energiavõsa põllumaal vms) jätavad rapsile vaieldamatud eelised põllumajandusliku energiakultuurina.
3. Rapsi kasvupinna suurendamisel ja saagikuse tõstmisel tuleb rangelt järgida keskkonna säästva arengu nõudeid. Täielikult tuleb vältida geenmuundatud rapsiseemne kasutuselevõttu, kuna just geenmuundatud rapsiga on USA-s ja Kanadas tekkinud umbrohtumist ja lisaks majanduslikele ka juriidilisi probleeme.
4. Rapsiõlist biodiislikütuse tootmise majanduslikuks toetamiseks on vaieldamatult vajalik vabastada omamaisest toorainest valmistatud kütus aktsiisimaksust, säilitades samaks otstarbeks sisseveetavast taimeõlist toodetud biodiislikütuse ning tootmiseks kulutatud fossiilse diislikütuse aktsiisimaksu.
5. Peale rapsiõlist biodiislikütuse tootmise tuleb uurida rapsiõli vahetut kasutamist

Tabel 3. Energiabilanss rapsiseemnest biodiislikütuse tootmiseks Eestis (kõik energiakulud on ümber arvestatud diislikütusele liitrites)

Table 3. Energy balance in the production of biodiesel from rape in Estonia (all energy expenses have been calculated into litres of diesel)

Rapsi- seemne saagikus, kg/ha	BDK* saagikus, l/ha	Vedelkütuse kulu rapsiseem- ne tootmiseks		Muud vedelkütuse kulud**				Esterifitseerimine + masinatöö		Vedelkütuse** kulu kokku	
		l/ha	Koef-1	Esterifits, l/ha	Väetised, l/ha	Taimekait- sevah, l/ha	Kokku, l/ha	Kokku, l/ha	Koef-2	l/ha	Koef-3
1300	468	145	3,23	84,2	130	2,5	216,7	229,2	2,04	361,7	1,29
1500	540	150	3,60	97,2	150	2,5	249,7	247,2	2,18	399,7	1,35
1750	630	155	4,06	113,4	175	2,5	290,9	268,4	2,35	445,9	1,41
2000	720	160	4,50	129,6	200	2,5	332,0	289,6	2,49	492,1	1,46
2200	792	165	4,80	142,6	220	2,5	365,1	307,6	2,58	530,1	1,49
2500	900	170	5,29	162,0	250	2,5	414,5	332,0	2,71	584,5	1,54
2750	990	175	5,67	178,2	275	2,5	455,7	353,2	2,80	630,7	1,57
3000	1080	180	6,00	194,4	300	2,5	466,9	374,4	2,88	676,9	1,60
3500	1260	190	6,63	226,8	300	2,5	529,3	416,8	3,02	719,3	1,75

*BDK – biodiislikütus

**Energiakulud väetiste tootmiseks:

N-väetis: 77,33 MJ/kg.N = 2,14 liitrit diislikütust/kg N

P-väetis: 13,79 MJ/kg.P = 0,38 liitrit diislikütust/kg P

K-väetis: 9,61 MJ/kg.K = 0,27 liitrit diislikütust/kg K

Allikas: (Kallas, 2001).

diiselmootorites, mille kohta välisriikides on saadud positiivseid tulemusi.

6. Biodiislikütuse tootmiskulude ja omahinna arvutus algoritmi on välja töötanud Eesti Maaviljeluse Instituudi direktor ja mehhaniseerimise osakonna juhataja Arvi Kallas. Algoritmi saab kasutada, kaasajastades rapsiõli omahinda mõjutavate tegurite hindu.
7. Rapsi tootmise laiendamine viljavaheldust ja keskkonnanõudeid arvestades võimaldab taaskasutusse võtta seni käibest väljalangenud ja muidu võsastuvat põllumaad.
8. Rapsi külvipinna suurenemine võimaldab tõsta tööhõivet maal, olles üheks abinõuks kavandatava 30 000 uue töökoha loomisele.
9. Rapsiõli tootmisel kõrvalsaadusena tekkiv rapsikook on väärtuslik omamaine loomasööt.
10. Biodiislikütuse suuremahuline tootmine vajab kooskõlastust mitmete ministriumidega ja nõuab energiamajanduse seaduste järgimist.

Kirjandus ✕ **References**

1. Elmet, H. ja Tiit, V. (2000) Taastuveneergetika arendamiseks on vaja teadmisi, oskusi ja koostöötahet. Esimese konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 7–9.
2. Energiabilanss 2003 (2004) Statistikaamet. Tallinn: 35.
3. Heinsoo, K., Sild, E. ja Koppel, A. (2000) Pajuistandused energiaallikana ja vegetatsioonifiltrina. Teise konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 32–38.
4. Hovi, M., Hovi, K., Jürjenson, K. (2001) Hein kütusena. Teise konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 127–128.
5. Ilumäe, E., Kaarli, K. ja Hansson, A. (2004) Raps on nõudlik kultuur. Maamajandus 6: 20–23.
6. Kaarli, K (koostaja) (2004) Õlikultuuride kasvataja käsiraamat. Eesti Vabariigi Põllumajandusministeerium: Eesti Maaviljeluse Instituut. Saku: 131.
7. Kallas, A. (2001) Biodiislikütuse tootmistehnoloogiad ja omahind (2001. a uuring). http://www.eria.ee/link.php3?id=328&filename=teema_17.pdf.
8. Karnau, A. (2004) Riik annab kohalikule biodiislile aktsiisvabastusega rohelise tee. Postimees, 7. august. <http://www.postimees.ee/070804/esileht/141189.php>.
9. Kask, R. (1996) Eesti mullad. Kirjastus Mats. Tallinn: 240.
10. Kikkas, E. (2003) Biokütused on tulekul. Maamajandus 10: 30–32.
11. Kütuse- ja energiamajanduse pikaajaline riiklik arengukava aastani 2015 (2004a) Eelnõu. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. Tallinn: 25.
12. Kütuse- ja energiamajanduse pikaajaline riiklik arengukava aastani 2015 (2004b) <http://www.mkm.ee/doc.php?7622>.
13. Merdikes, M, Kivistik, J. (2002) Taastuveneergetia kasutamise vajadustest ja võimalustest Eestis. Kolmanda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 84–90.

14. 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.
15. Mölder, L. (2003) Biodiislikütus – kas lootus või tülikas kohustus? Maamajandus 11: 25–27.
16. Niitra, N. (2003) Väikefirma tahab diisela autod panna biokütusega sõitma. Postimees 12. detsember.
http://www.postimees.ee/121203/tartu_postimees/121563.php.
17. Pangsep, T. ja Olak, H. (2001) Rapsiõli baasil biodiislikütuse valmistamise ja kasutamise kogemusi. Teise konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 65–70.
18. Pilz, H.-D., Thomas, S. ja Zeilinger, J. (2002) Koostootmiseseadme abil rapsiõlist soojuse ja elektrienergia saamine autopesulas. Kolmanda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 63–64.
19. Põllumajandus arvudes 2003 (2004) Statistikaamet. Tallinn: 32.
20. Põllumajandus 1997 (1998) Statistikaamet. Tallinn: 140.
21. Põllumajandus 2000 (2001) Statistikaamet. Tallinn: 91.
22. Põllumajandus 2003 (2004) Statistikaamet. Tallinn: 79.
23. Pöördumine biokütuste osas (2004) Roheline Värav 34/9: 10.
http://www.greengate.ee/pdf/rv_paberva_2004-09-09_nr0034.pdf.
24. Silm, S. (2004) Biodiisli kasutuselevõtt võib muutuda rohepesuks. Roheline Värav 34/9: 1 ja 10.
http://www.greengate.ee/pdf/rv_paberva_2004-09-09_nr0034.pdf.
25. Tammsaar, T. (2004) Biodiislist rohelist emotsioonideta. Maaleht nr 40 (886)
<http://www.maaleht.ee/?page=&grupp=artikkel&artikkel=1153>
26. Trapido, T. (2004) Nafta lõppemise seadus. Roheline Värav 35/14: 7.
www.greengate.ee/pdf/rv_paberva_2004-10-14_nr0035.pdf.

EXPEDIENCY OF BIODIESEL FUEL IN ESTONIA

Jaan Kivistik and Heli Laas

Estonian Agricultural University
e-mail: jaank@eau.ee, heli.laas@mail.ee

Abstract

In the world where oil resources are constantly decreasing, much more attention is being given to the use of renewable energy sources. One potential renewable energy source in Estonia could be the production of biodiesel fuel from rape seeds. AGENDA 2000 documents permit the production of non-food products on arable land withdrawn from agricultural use, including production of biodiesel fuel. In Estonia the set-aside area covers about 400,000 hectares.

An argument in favour of the production of biodiesel fuel is high production volume of such fuel in Germany, France, Italy and Denmark. A number of biodiesel fuel plants were established 10 years or even longer ago.

Based on the research conducted in 2001 by Arvi Kallas, the director and head of the Department of Mechanisation of Estonian Research Institute of Agriculture, we can rate the production of biodiesel fuel from rape seeds efficient. Expanding the area of arable land under rape helps to take set-aside arable land into agricultural use and increase employment opportunities in rural areas.

This article is an overview of experiments carried out in the field of biodiesel fuel in Estonia and opinions that have been formed about the production of biodiesel fuel. An assessment of the perspective of production of biodiesel fuel from rape is also given. Every attempt to switch to domestic renewable energy sources is welcome and enables to reduce Estonia's dependence on foreign energy resources. The idea to produce biodiesel fuel from rape seeds is worth supporting. To produce bioenergy from rape seeds requires the government to solve economic, ecological, energy, agricultural and regional-political problems.

TAASTUVENERGIA KASUTAMINE RÕUGES

Tanel Lukason

SA Rõuge Energiakeskus, Ööbikuoru 1, 66201 Rõuge
e-post: tanlux@ut.ee

Annotatsioon

Rõuge vallas on traditsiooniliselt lugu peetud energiasäästlikust mõtteviisist ning kaunist loodusest saadud energiat on jõudsalt kasutatud igapäevaelus. Aegade jooksul on Rõuge vallas töötanud 22 vesiveskit ja veejõujaama. Praegu töötab neist 5: Kaku, Saarlase, Raudsepa, Rõuge Alaveski ning väike Johanson'i hüdroelektrijaam Tindioru talus. Vee jõudu on vallas kasutatud nii jahu jahvatamiseks, elektri tootmiseks kui ka masinate käitamiseks.

Ka praegu püüdleb Rõuge vald taastuvenergia maksimaalse kasutamise poole. Vallas on lõpetatud fossiilkütuste kasutamine. Kui taludes ja eramutes on puitu pidevalt põletatud, siis ka valla avalikes hoonetes ning kahes valla kaugkütte katlamajas (Rõuges ja Viitinas) kasutatakse kütusena just puitu. Vaid Rõuge Põhikooli soojusenergia vajadus rahuldatakse peamiselt soojuspumpadega. Rõuge vallavalitsus on ka rohelse energia sertifikaadi omanik ning taastuvenergia kasutaja.

Käesolevas artiklis piirdume taastuvenergia kasutamise kirjeldusega Rõuge asulas turistidele mõeldud energiaraja objektidel. Rõuge energiarada on matkarada, mis ühendab nelja taastuvaid energiaallikaid kasutatavat objekti – Tindioru talu, Ööbikuoru vesitöökoda, Rõuge Põhikooli ning Ala-Rõuge hüdroelektrijaama. Nimetatud objektide juurde on paigaldatud ka neid tutvustavad infotahvlid.



Joonis 1. Rõuge energiaraja kaart
Figure 1. Map of energy track in Rõuge

VEEJÕUSEADMED, SOOJUSPUMBAD, PÄIKESEKOLLEKTORID

Sissejuhatus

Loodussõbraliku eluviisi üks olulisi tunnuseid on taastuvate energiaallikate kasutamise määr. Järgnevalt kirjeldame omapärase matkaraja – energiaraja näitel, kuidas Rõuge asulas töötavad kohalike taastuvaid ressursse hästi kasutavad majapidamised. Nüüd on need objektid kui turismimagnetid kohalikele inimestele ka lisatulu toomas.

Tindioru talu

Tindioru talu rajas Friedrich Johanson 1939. aastal, ostes isalt 1,086 ha maad. Pärast seda alustas ta kiiresti elektriijaama ehitamist. Tammi tegi ta mullast, tehes selle alla niisuguse aluse, et tulevikus saaks rajada betoonist tammi, mis jäi aga sõja tõttu ehitamata. Tammi kindlustuseks taoti maasse kuuemeetrised vaiad. Turbiini tööratas telliti Tallinnast, kus insenerid projekteerisid ja ehtasid kohalikele loodusoludele sobivaima. Kõrguste vaheks veehoidla ja äravooluoja vahel saadi 7,15 m. Turbiin aga paigutati 3,5 m peale arvestusega, et saaks ära kasutada nii pealevoolu kui ka langeva vee tõmbevoolu. Elektriijaama turbiini tööratas valati pronksist. Sõja ajal sai jaam küll kannatada, kuid taastati 1944. aastal.

Praegu kasutatakse jaama oma pere tarbeks – peamiselt maja valgustuseks. Elektri tootmiseks kasutatakse rippurbiini, mis käitab alalisvoolugeneraatori maksimumvõimsusega 3,5 kW. Maksimumvõimsust kasutatakse puidutöökoja käitamiseks, sel juhul saab jaam töötada vaid 2 tundi, mille järel tuleb veehoidla uuesti täis koguda. Pideval režiimil töötades on võimalik kasutada vaid 1,5 kW võimsust.



Joonis 2. Alalisvoolugeneraator Tindioru talus
Figure 2. Direct current generator in Tindioru farm

Tindioru talus paiknevad lisaks väikesele hüdroelektrijaamale teisedki huvitavad Johansonide leiutised. 1939. aastal mõtles Friedrich Johanson välja oma talu veega varustamiseks vee jõul töötava pumba – vesioina, pannes sellega vee ülesmäge voolama. Leiutis oli talule hädavajalik, sest oru põhjas on puhta veega allikad ja mäe otsa oli tülikas kaevu teha. Üheklapiline vesioinas pumpab ööpäevas kuni 4800 liitrit allikavett 25 m kõrgusele mäe otsa talu veevarustuse vahepaaki, ülejääk toidab purskkaevu orunõlval. 63 aastat hiljem täiendas vesioina konstruktsiooni ja tõstis pumba efektiivsust Friedrichi poeg, kes ehitas juba kaheklapilise vesioina. See pumpab kuni 12 000 liitrit vett ööpäevas 23 meetri kõrgusele oru kaldale rajatud tiiki. Vesioinad töötavad tõrgeteta ka talvel, siis aga tekib nende ümber kuni 5-meetrine jäätunud veepritsmetest “korsten”, mis sülitab oma kestast vett välja ning on siis tõeline vaatamisväärsus.



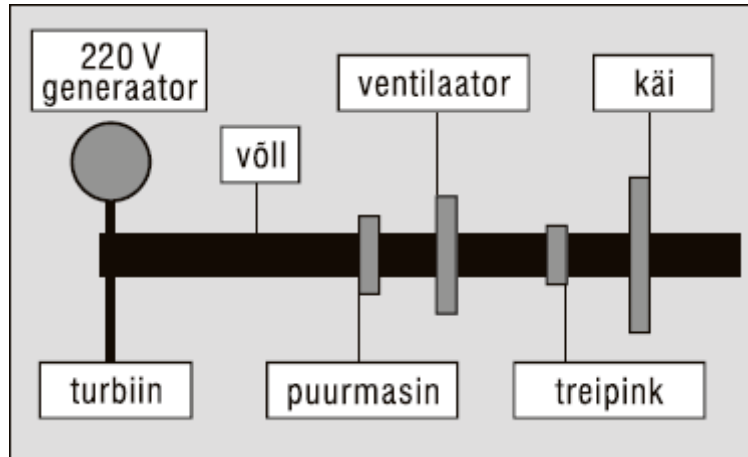
Joonis 3. Töötav vesioinas Tindioru talus

Figure 3. Hydraulic ram pump in work in Tindioru farm

Ööbikuoru vesitöökoda

Ööbikuoru hüdroenergeetilise potentsiaali kasutuselevõtt sai alguse kohaliku mehe Peeter Saarse algatusel. Saarse ehitas oma maja 1919. aastal otse 300 m pikkuse ja 12–15 m sügavuse Ööbikuoru otsa ning rajas sinna 1921. aastal elektrijaama, mille tarbeks ehitas peaaegu 30 m pikkuse tammi. Selle taha tekkis 4 m sügavune veehoidla ning veepindade vaheks saavutati 5 m ja vooluhulk küündis 60 l/s. Tugeva tammi saamiseks rammiti 1,8 m palgid maasse ja kaeti punnlaudadega. Ehitatud tammist hakkas vesi kolmeastmelist treppi mööda alla langema. Saarse plaan oli rajada nii väike hüdroelektrijaam kui ka kasutada osa vee-energiast mehaaniliste tööriistade käitamiseks. Vee jõul pandi tööle turbiin, mis käivitas lisaks generaatorile ka ventilaatori, käia, puurmasina ning treipingi. Valminud töökojas hakkas ta tegema raudteele vajalikke polte ning suutis konstrueerida isegi aurukatlaga isesõitja. Toodetud alalisvoolu edastati liinide kaudu ka teistele tarbijatele – elektriga varustati

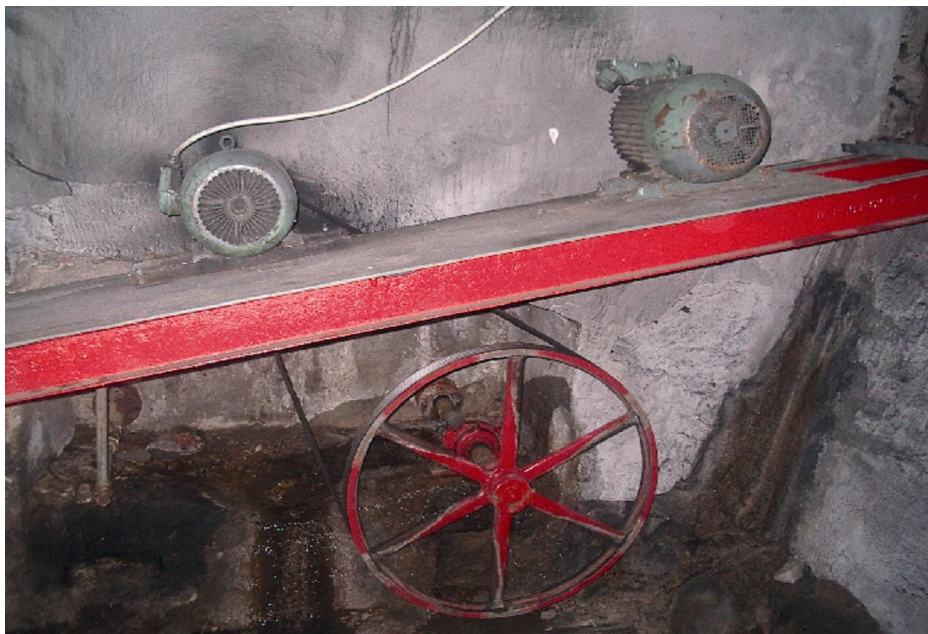
kirikut, rahvamaja ja koolimaja. 1960-ndatel aastatel, kui kolhoosi toodi nn riigielekter, lammutati tookordne ülevool ning asendati praegu käigusoleva pika metallplaatidest kokkukeevitatud kanaliga. Sellest ajast alates seisab töökoda kasutuskõlbmatuna.



Joonis 4. Ööbikuoru vesitöökoja seadmete skeem
Figure 4. Scheme of water workshop equipment in Ööbikuorg

Ala-Rõuge hüdroelektrijaam

Kolmandaks vee-energia kasutamise kohaks Rõuge asulas on Ala-Rõuge hüdroelektrijaam. Vesiveski rajati Rõuge jõe juba 1798. aastal ning seal asus villaveski. Algselt kasutati energia saamiseks pealtvoolu vesiratast, 1920-ndatel asen-



Joonis 5. Ala-Rõuge hüdroelektrijaama elektrienergia tootmise seadmed
Figure 5. Electricity production equipment in Ala-Rõuge hydroelectric power station

dati see aga turbiiniga. Vee-energia kasutamiseks on see hea koht, sest veepindade vahe ulatub üle 5 meetri. ENSV ajal töötas veskis tekstiilivabrik, kus töödeldi villa, hiljem tegeldi ka kudumise ja villa värvimisega. Pärast asutuse pankrotistumist 1990-ndatel müüdi hoonete kompleks praegustele omanikele, kes rajasid sinna külalistemaja ning väikese hüdroelektrijaama.

Jaama taastamisel leiti 2 turbiini koguvõimsusega ligikaudu 40 kW. Turbiini käivitamiseks puhastati turbiinikamber mudast, paigaldati võll ning hangiti elektriseadmestik. Praegu kasutatakse ühte turbiini. Elektri tootmiseks on paigaldatud aga 2 asünkroonmootorit võimsustega 7,5 kW ja 10 kW. Praegu töötab neist väiksem. Veski hoonekompleks tarbib ise ära suure osa toodetud elektrist, ülejääk müüakse võrku. Elektrit tarbivad külalistemaja pörandaküte, külmikud ja valgustus.

Rõuge Põhikool

Kui eelnevalt kirjeldatud kohtades on kasutatud ning kasutatakse praegu vaid vee-energiat, siis Rõuge Põhikool erineb nendest nii kasutatavate energiaallikate kui ka seadmete ja tehnoloogia uudsuse poolest.

Rõuge Põhikool koosneb kolmest eri ajal ehitatud osast – 1884. aastal valminud kahekorruselisest telliskivimajast, 1967. aastal valminud koolimaja klasside osa juurdeehitusest ning 2003. aastal valminud spordihoonest. Koolimaja soojusenergiaga varustamine toimub praegu põhiliselt soojuspumpadega, vaid osa 19. sajandil valminud telliskivihoonest on ikka veel ahiküttel. Kooli maasoojuspumpadele üleviimist alustati 2001. aastal, tingituna vajadusest renoveerida külm ja puudulikult soojustatud koolimaja juurdeehitus ning eesmärk oli ka loobuda tülikast ahjude kütmisest. Tööd teostas PG Ehitus OÜ, kes renoveeris ja soojustas hoone ning paigaldas koolimaja juurdeehituse ossa pörandaküttesüsteemi ja soojuspumba Lämpöässä 60 T koos 4000-liitrise akumulatsioonipaagiga. Lisaks viidi ka vana telliskivihoone esimene korrus maasoojuspumba küttele. Soojuspump Lämpöässä 60 T on ette nähtud nii hoone kütmiseks kui ka sooja veega varustamiseks. Soojusvõimsuseks on pumbal kirjelduses antud 60–70 kW ning elektriliseks võimsuseks kokku 20 kW. Soojuspumba kuumutisüsteem võimaldab vett soojendada kuni 80–85 kraadini. Akumulatsioonipaagi sisse on paigaldatud 2 spiraalsoojusvahetit tootlikkusega 45 l/min ning 6 kW elektriline küttekeha. Paak on isoleeritud polüuretaaniga ja pealt kaetud plastkattelise terasplekiga. Kollektorustik kogupikkusega 2,4 km paigaldati koolimaja tagusesse hoovi 90–120 cm sügavusele maasse. Keskmine kollektorustikust aurustisse sissetulev soojuskandja temperatuur on olnud 6 °C ja keskmine väljaminev temperatuur 4 °C. Maksimaalne pörandakütteevee temperatuur küttesüsteemis saab olla 35 °C. Koolimaja juurdeehituse keskmiseks soojuse tarbimiseks on arvestatud 105 kW·h/m².

2003. aastal laiendati koolimaja, ehitades juurde spordihoone koos tehnosüsteemidega ning neli klassiruumi. Koolimajja paigaldati veel 3 soojuspumpa (Lämpöässä 45 T) koos 4000-liitrise akumulatsioonipaagiga. Lämpöässä 45 T soojuspumpade soojusvõimsuseks on antud 45–50 kW ning elektriliseks võimsuseks ligikaudu 15 kW. Analoogselt Lämpöässä 60 T mudeliga kasutatakse ka neis pumpades kahte kompressorit ning kuumutisüsteemi. Nende soojuspumpadega soojendatakse nii tarbevett kui

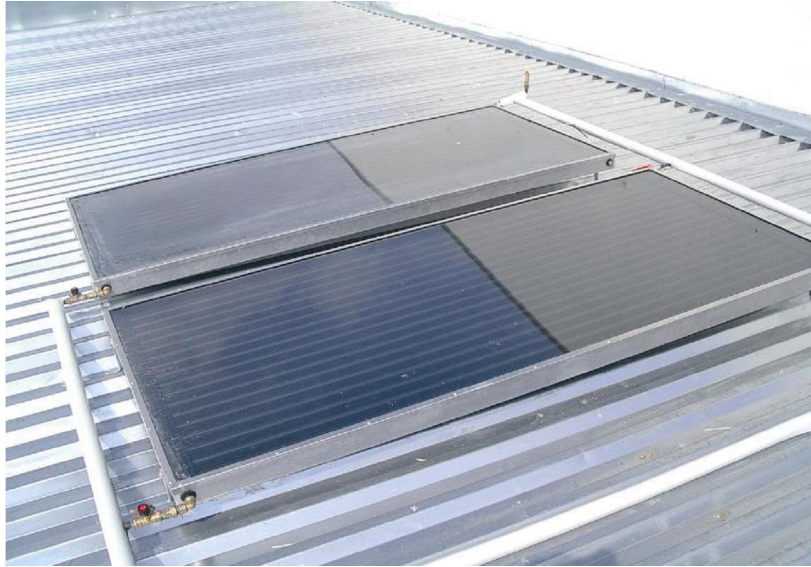
soojuskandjavett koolimaja põrandakütte- ning spordihoone radiaatorkütte- ja õhkküttesüsteemis.

Soojuspumpade külge on nüüdseks paigaldatud ka soojusarvesti ning elektriarvesti, mille abil saab jälgida, palju pumbad soojusenergiat toodavad ja elektrit tarbivad. Möödunud 2004. aasta suvel paigaldati koolimajja ka telemeetriasisüsteem, mis edastab ja salvestab soojusarvesti ja elektriarvesti näidud koolimaja energiaklassi arvutisse ning huvilistel on võimalik nende arvudega tutvuda. Soojuspumpade tööd on koolimajas ka enne telemeetriasisüsteemi paigaldamist jälgitud ning tulemused on järgmised. Kolm uuemat soojuspumpa tarbisid perioodil jaanuar–mai 2004 elektrienergiat 46 323 kW·h ning tootsid soojusenergiat 120 530 kW·h.



Joonis 6. Soojuspumbad Rõuge Põhikoolis
Figure 6. Heat pumps in Rõuge basic school

2004. aasta augusti alguseks paigaldati koolimaja spordihoone tagusele kaldkatusele ka 2 Finnsolari päikesekollektorit koguvõimsusega 3 kW ning pindalaga umbes 5 m² (vt joonis 7). Koos päikesekollektoritega paigaldati koolimajja 550-liitrine soojustatud akumulatsioonipaak. Päikesekollektorite süsteem ühendati soojuspumpade omaga üheks süsteemiks, eesmärgiga soojendada ette veevõrgust võetavat külma tarbevett soojuspumpadega kaasas olevasse suurde akumulatsioonipaaki. Kogu süsteem on täielikult automatiseeritud. Päikesekollektorite süsteemiga kaasas olev automaatikablokk võimaldab kollektoritega kogutud energiat mõõta ning need näidud edastatakse telemeetriasisüsteemi kaudu koolimaja energiaklassi arvutisse. Novembri alguseks olid päikesepatareid oma paarikuise tööperioodi jooksul tootnud 218 kW·h soojusenergiat.



Joonis 7. Päikesekollektorid Rõuge Põhikooli katusel
Figure 7. Solar collectors on the roof of Rõuge basic school

Kokkuvõte

Rõuge piirkond on hea näide sellest, kuidas soovi korral on võimalik oskusliku tegutsemisega saavutada märkimisväärset positiivset efekti biomassi, veejõu, maasse akumulieeritud soojuse ja otsese päikesekiirguse kasutamisel elektri ning soojuse tootmiseks. See on võimaldanud lõpetada Rõuge vallas fossiilkütuste kasutamise.

Tehtud tööd kohalike taastuvate ressursside kasutamisel on reaalne panus säästva eluviisi kujundamisel. Saadud tulemusi propageeritakse külastajatele nii kirjaliku infomaterjali kui ka võimalusega matkata energiarajal ja näha töötavaid, taastuvaid energiaallikaid kasutavaid rajatisi. Need koos kaunite loodusvaadetega jätavad turistidele meeldiva mulje ja innustavad entusiaste analoogilisele tegutsemisele.

USAGE OF RENEWABLE ENERGY IN RÕUGE

Tanel Lukason

Foundation Rõuge Energiakeskus, e-mail: tanlux@ut.ee

Abstract

In the current article an overview has been given of the renewable energy historical and current usage in Rõuge Municipality, whereas the main focus is on Rõuge energy track objects. Rõuge energy track is a path, which connects four renewable energy objects – hydraulic ram pumps and micro hydroelectric power station in Tindioru farm, water workshop in Ööbikuorg, Rõuge basic school with its heat pumps and solar collectors and Ala-Rõuge hydroelectric power station.

AVAMAA JA PÄIKESEKOLLEKTORI ENERGIABILANSI VÕRDLUS

Veli Palge

Eesti Põllumajandusülikooli tehnikainstituut, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu
e-post: pvel@ph.eau.ee

Annotatsioon

On üldteada, et elu maakeral tugineb Päikeselt Maale saabuval energial. Veel 200 aastat tagasi seadsid ka inimesed oma toimingud aastaegadest tingitud rütmi alusel. Kaasajal seoses tsivilisatsiooni arenguga on juurdunud arusaam, et inimesed on kõikvõimsad ja veelgi suuremate võimsuste kasutuselevõtt parandab heaolu veelgi. Kahjuks viib see loodusliku tasakaalu rikkumisele ja ökoloogiliste probleemide tekkimisele. Seetõttu on looduse seisukohast inimestele lubatav vaid endale soodsate tingimuste loomiseks ja tehnoloogiliste vajaduste rahuldamiseks lülitada ennast kavalasti energia muundumise ahela etappidesse. Üks sellistest võimalustest on päikeseenergia kasutamine kas bioloogiliste protsesside või tehniliste lahenduste baasil. Allpool esitatakse võrdlus klassikalisel puidul baseeruva energiakasutuse ja päikesekollektori kasuteguri vahel.

PÄIKESEKOLLEKTOR, PUITKÜTUSED, BOKÜTUS, ENERGIAKASUTUS

Päikeselt saabuvat energiavoo suurust on vaja arvesse võtta ka tulevikus

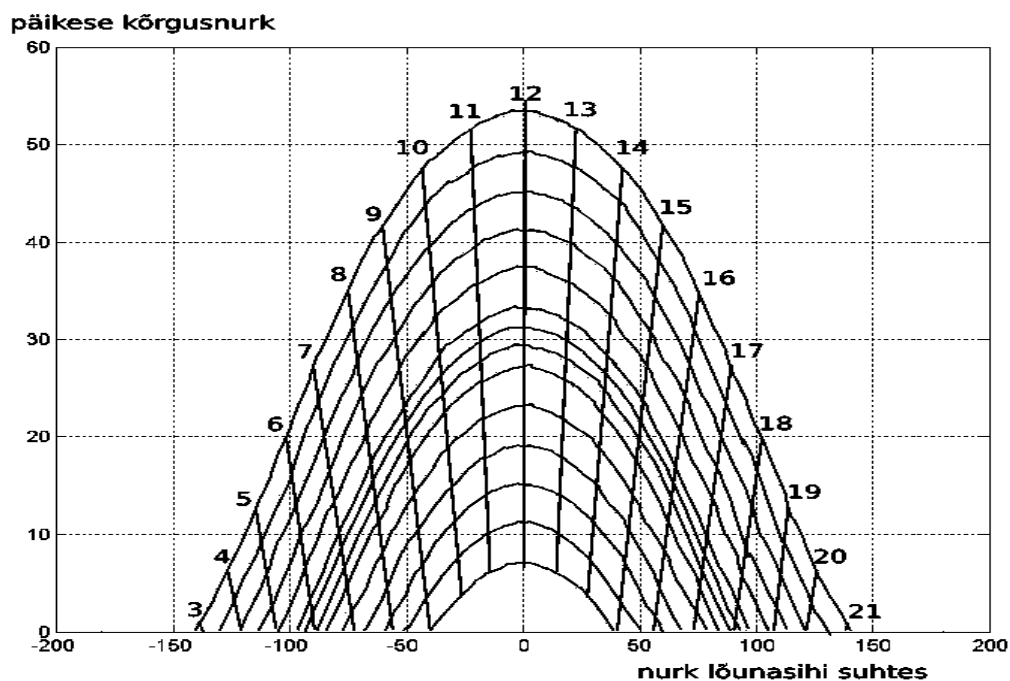
Päikeseenergia on peale aatomienergia kõikide inimese poolt maakeral kasutatavate energialiikide esmane vorm – kõik maapõuest ammutatavad kütused on päikeseenergia muundamise ja akumulereerumise tulemus. Seega kasutavad inimesed kaasajal peamiselt pika aja kestel minevikus looduskeskkonda akumulereerunud päikeseenergia muundunud vorme.

Veel 200 aastat tagasi sõltus inimkond põhiliselt päikeseenergiast ja elu oli korraldatud looduses esinevaid tingimusi ja võimalusi arvestades. Tsivilisatsiooni arengu tulemusena on inimeste elukorraldus üha vähem sõltuv looduses esinevatest protsessidest. On enesestmõistetavaks muutunud arusaam, et looduselt ei oodata armuande, vaid kõik vajalik võetakse looduselt soovide kohaselt ilma sellise tegevuse tagajärjesid arvestamata. Eriti kehtib see energia tarbimise kohta. Arenenud riikides on suurel osal inimestest võimalik energiat tarbida suurtes kogustes peaaegu soovikohaselt. Suurel osal inimestest on seoses energialiikide tootmise edusammudega tekkinud joovastus. Suur energiajahu on saanud inimeste käitumist reguleerivaks ideeks. Sellise elustiili taustal on arusaadav, et enamik inimesi ei loe päikeseenergiat kogemuslikel põhjustel praktiliselt kasutatavaks energialiigiks. Levinud arusaamadest lähtudes on päikeseenergia igapäevaseks kasutamiseks mittesobiv. Energia tarbimise seisukohalt on päikeseenergia olulisemaks puuduseks võimsuse ööpäevane muutumine ja maapinnale jõudva päikesekiirguse tiheduse sõltuvus meteoroloogilistest tingimustest (inimestele on ju energiat vaja maapinnal). Päikeseenergia iseärasuste arvestamine on ebamugav. Tuleb aga meeles pidada, et maailmaruumist või Maa pealt tuumatehnoloogiate vahendusel energia hankimine maapinnale lisaks looduslike tingimustega määratud energiavoogudele ähvardaks inimkonda pikemas perspektiivis

ökoloogilise katastroofiga. See tegevus muudaks maakera ja ümbritseva maailma-ruumi vahelist energiavahetust ning maakera kliimat. Seega jääb inimkonnal üle endale soodsate tingimuste loomiseks ja tehnoloogiliste vajaduste rahuldamiseks lülitada ennast kavalasti energia muundumise ahela etappidesse või luua maakeraväliseid reguleeritava keskkonnaga tehisasulaid. Viimaste projektide laiaulatuslik realiseerimise plaan kuulub vajalike vahendite puudumise tõttu esialgu ilmselt ulme valdkonda.

Päikesekiirguse muutumise iseloomustus

Päikese kiiritustihedus väljaspool Maa atmosfääri kiirtega ristiolevale pinnale on ligikaudu $1,35 \text{ kW/m}^2$. Maapinnale langev kiiritustihedus on atmosfääri omadustest tingituna väiksem. Selge taeva ja puhta atmosfääri korral jõuab maapinna tasemel päikesekiirtega ristiolevale pinnale ligikaudu $1,2 \text{ kW/m}^2$. Horisontaalpinnal on kiiritustihedus päikesega ristioleva tasapinnaga võrreldes väiksem: kiirtega risti oleval tasapinnale langev kiiritustihedus tuleb läbi korrutada kiirte ja horisontaalpinna normaali vahelise nurga koosinusega. See nurk muutub pidevalt Maa ja Päikese vahelise asendi pideva muutumise tõttu (vaata joonist 1, kus on esitatud Päikese kõrgusnurga muutumine kohalikus ajas erinevatel aastaegadel 60. laiuskraadil).



Joonis 1. Päikese asukoha muutus taevavõlvil ööpäeva ja aasta lõikes
Figure 1. Change in the location of the Sun during day and year

Päikesekiirguse akumulatsioon avamaal

Avamaal päikeseenergia akumulatsioon toimub taimedes neis asetleidvate bioloogiliste protsesside vahendusel. Põldudel kasvavad kultuurtaimed suudavad päikesekiirgusest muundada orgaanilisse ainesse akumulatsioonunud energiaks vaid harvadel soodsatel tingimustel üle 2% pinnalangenud energiast, metsast saadakse puidu vahendusel ligikaudu 0,5% horisontaalpinnale langenud energiast. Tartu (rahvasuus Tõravere)

Observatooriumi andmetel langeb seal horisontaalpinnale aastas 3518 MJ/m² (Russak, 1990). See arv tundub suurena, kuid teisendades selle ümber kW·h-desse, saame ligikaudu 977 kW·h ruutmeetri kohta aastas, sellest 0,5% on vaid ligikaudu 4,9 kW·h/m² aastas puidusse salvestunud energiat. Kuid selle kogumiseks ja tarbimiskohale transpordiks on vaja masinaid (nende valmistamiseks kasutati suurel hulgal energiat) ning nende käitamiseks kütust. Samuti esinevad kaod puidu põletamisel ja energia kasutuskohale transpordil. See kõik vähendab puidu (või muude taimede) vahendusel kogutud päikeseenergia kasutamiskohale jõudvat osa.

Eesti kliima iseärasusi

Eesti kliima on põhjamaiselt jahe ja tsüklonid “rikuvad” Eesti meteoroloogide andmetel Tallinnas 64% ilmadest. Tõraveres on keskmiselt aastas vaid 1626 tundi päikesepaistet ja see moodustab ainult 36% selle maksimaalsest võimalikust väärtusest (Russak, 1990). Isegi aasta päikesepaistelisimal juunikuul moodustas 31-aastaselt (1955–1986) mõõtmisperioodil kogutud andmete alusel päikesepaistega aja kestus keskmiselt vaid 49% selle maksimaalsest võimalikust kestusest (Russak, 1990). Eesti rannaladel ja saartel on päikesepaisteliste tundide arv veidi suurem. Seega meteoroloogide mõõtmistulemused nagu kinnitavad levinud subjektiivset seisukohta päikeseenergia energeetiliseks otstarbeks mittekasutatavuse kohta.

Avamaa ja päikesekollektori võrdlus

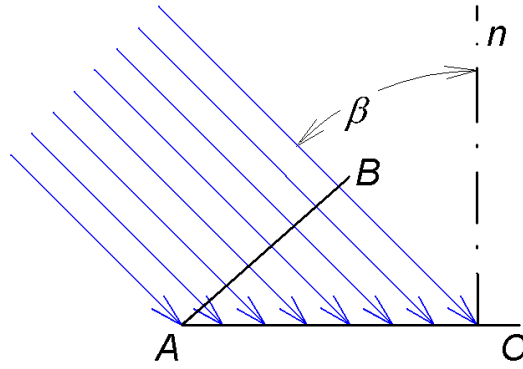
Kirjeldatud asjaolud olid põhjuseks avamaa ja päikesekollektori energiabilansi mõjutavate põhjuste võrdlemiseks. Avamaa ja kollektor on päikeseenergia salvestamise seisukohast erinevate omadustega.

Avamaa peegeldustegur ei sõltu päikesekiirte ja maapinna vahelisest nurgast, vaid ainult aastaajast tingitud taimkatte omadustest ja muutub vahemikus 0,15...0,25, lumekatte peegeldusteguriks arvestatakse 0,95 (Tooming, 1990). Seetõttu taimedes neelduvat energiat saab määrata seosega

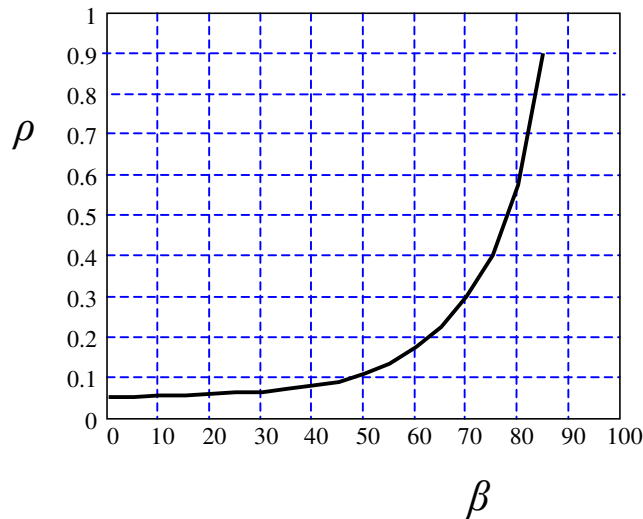
$$P'_h = (1 - \rho) \cdot P \cdot \cos \beta, \quad (1)$$

kus P'_h on avamaal horisontaalpinna taimedesse neelduv kiirgusvoog, ρ – peegeldustegur, P – horisontaalpinnale langev otsene kiirgusvoog, ja β – horisontaalpinna normaali ning päikesekiirte vaheline nurk vastavalt joonisele 2 (nurk $1 - \beta$ on päikese kõrgus horisontaalpinna suhtes).

Päikesekollektoril on välimiseks kihiks klaas ja selle peegeldustegur erinevalt avamaast sõltub oluliselt klaasi ja kiirte vahelisest nurgast, kuid samal ajal on see 2–3 korda väiksem kui taimkatte peegeldustegur (0,05–0,12 kollektoril ning 0,15–0,25 taimkattel). Samuti on kollektori kasutamise iseärasuseks võimalus seda paigaldada nii, et vähemalt kord päeva kestel on kollektori pind (lõik AB joonisel 2) päikesekiirtega risti. Peegeldusteguri muutumise iseärasuse tõttu neeldub kohtkindlalt paigaldatud kollektoris arvesse tuleval määral energiat vaid 6–6,5 tunni kestel päevas.



Joonis 2. Päikesekiirte ja horisontaalpinna normaali vaheline nurk β
 Figure 2. Angle β between solar rays and normal of horizontal surface



Joonis 3. Klaasi peegeldusteguri ρ sõltuvus päikesekiirte ja pinnanormaali vahelisest nurgast β
 Figure 3. Glass surface reflection ρ depending on the angle β between solar rays and normal of glass surface

Energiasalvestust aasta lõikes võrreldes tuleb arvestada, et kollektoris salvestub energiat juba ka kevadperioodil, millal taimkate veel puudub. Eesti tingimustes esinevad sagedasti päikesepaistelised päevad just kevadperioodil ja päike liigub juba piisavalt kõrgel horisondi kohal.

Väga ligikaudsete arvutuste järgi salvestub kevadisel pööripäeval horisontaalpinna taimedesse

$$W_h = (1 - \rho) \cdot P_{\max} \cdot 12 \cdot 0,633 \cdot \cos \beta_{h_min}, \quad (2)$$

kus ρ on taimkate peegeldustegur kevadel, P_{\max} – maksimaalne kiirgusvoog päikesekiirtega ristiolevale pinnale kW/m^2 , 12 – kevadpäeva pikkus tundides, 0,633 – siinusjoone pindala osa teda ümbritsevast ristkülikust, β_{h_min} – päikesekiirte ja horisontaalpinna normaali vaheline nurk keskpäeval.

Kui võtta $\rho = 0,15$, $P_{max} = 1,2$ ja $\beta_{h_min} = 57$ nurgakraadi, siis $W_h = 4,22$ kW·h. Sellest energiast salvestub fotosünteesi käigus päeva kestel 1 m² peal kasvavate taimede orgaanilisse massi 2%, ehk 0,084 kW·h. Metsas salvestub puidumassi sellest energiast päeva kestel vaid 0,5% ehk 0,021 kW·h.

Samad arvutused päikesekollektori kohta tuleksid veidi teistsugused, sest keskmiseks peegeldusteguriks saab võtta $\rho = 0,09$, $P_{max} = 1,2$, $\beta_{h_min} = 0$ nurgakraadi, kuid aeg, mille kestel kollektor "töötab" on vaid 6,5 tundi. Siis kollektori päikesekiirgust vastuvõtvas pinnas neeldub 6,5 tunni kestel $W_k = 4,49$ kW·h. See on ligikaudu sama suur energiakogus, mis neeldub taimedes horisontaalpinnal päeva kestel. Kuid sellest kogusest jõuab energia kogumiskohta umbes 50% ehk 2,25 kW·h. Juhul, kui päikesekollektori asendit muudetakse automaatselt või käsitsi, võiks salvestatav energiakogus olla arvatust kuni 2 korda suurem.

Kokkuvõtteks

Esitatud arvutused näitavad päikesekollektorite suurt eelist bioloogilistel protsessidel baseeruvate energiavarustussüsteemide ees. Tuleb küll nentida, et kulutused kollektoriga seostuvate süsteemide paigaldamisele on märkimisväärsed, kuid korralikult ehitatud kollektorsüsteemid on pikka aega kasutatavad ja vajavad hoolduseks oluliselt vähem tööd kui bioloogilistel protsessidel baseeruvate energiavarustussüsteemide masinad. Eriti tuleb rõhutada asjaolu, et nende kasutamiseega on seotud oluliselt väiksem kütusekulu. Et kõik algandmed on kättesaadavad ja arvutused lihtsad, saab iga soovija enda tingimuste jaoks teha kontrollarvutusi ning ka vastavaid järeldusi.

Tuleb märkida, et bioloogilistes protsessides valmib energiakandja, mis on pikaks ajaks ladustatav ja vajadusel kasutatav. Ilma puuriidata (kuivad halud) oleks elu meie kliimas mõni aeg tagasi pea võimatu olnud. Päikesekollektorite poolt püütud (soojus)-energia peaks minema kohe tarbimisele või lühiajalisele (kuni 4 kuud) salvestamisele.

KirjandusReferences

1. Russak, V. (1990) Päikesekiirgus. Kogumik. Koostaja Kivi, R. Tartu kliima ja selle muutumine viimastel kümnenditel. Eesti Teaduste Akadeemia Astrofüüsika ja Atmosfäärifüüsika Instituut. Tartu: 51–88.
2. Tooming, H. (1990) Albedo ja kliima. Kogumik. Koostaja Kivi, R. Tartu kliima ja selle muutumine viimastel kümnenditel. Eesti Teaduste Akadeemia Astrofüüsika ja Atmosfäärifüüsika Instituut. Tartu: 35–50.

COMPARISON OF ENERGY BALANCE OF HORIZONTAL OPEN SURFACE AND SOLAR COLLECTOR

Veli Palge

Institute of Technology of Estonian Agricultural University
e-mail: pvel@eau.ee

Abstract

The life of mankind is based on solar energy. This fact has been forgotten by many people nowadays. Using energy from outside of solar energy balance leads to serious ecological problems. Therefore, mankind has to switch their energy processes into the chain of energy transfer processes between the Sun and the Earth. For comparison two possibilities were assessed: using biofuels and solar collectors. Approximate calculations prove solar collectors superiority.

AKTIIVSE JA PASSIIVSE PÄIKESEMAJA VÕIMALUSTE VÕRDLUS

Taito Mikkonen

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

Annotatsioon

Aktiivsus päikesemaja puhul tähendab päikesekiirguse kinnipüüdmist salvestisse – päikesekollektorisse, misjärel kiirgusest kogutud soojust kasutatakse tavaelamu küttena. Passiivne päikesemaja on ise päikesekiirguse püümis ja soojuse salvesti. Kui aktiivset päikesemaja on tavamajast kallim ehitada, siis passiivne päikesemaja on tavamajast odavam ja vajab kasutuses vähem lisakütet.

AKTIIVNE PÄIKESEMAJA, PASSIIVNE PÄIKESEMAJA, KOLLEKTOR

Miks kasutada päikest hoonete kütmiseks?

Energiaallikad jagame taastuvateks ja mittetaastuvateks, ka võiksime need arusaadavuse huvides nimetada ELU JÄTKU VÕIMALDAVATEKS ja ELU HÄVITAVATEKS energiaallikateks. Peame mõistma, et tuleb jätta põletamata ained, mis lisavad põledes atmosfääri süsinikdioksiidi. Sellest seisukohast vastuvõetavaid energiaressursse on Soomega võrreldes tihedamini rahvastatud Eestis napilt, mistõttu on tarvis kärpida energiavajadust.

Kui Soomes on kütte osa kogu energiatarbest umbes veerand, siis tähendaks biokütusele üleminek rohkem kui poole metsakasvu kasutamist hoonete kütteks, ometi on biokütust vaja ka muu energiatarbe katmiseks. Soomes kasvab elaniku kohta aastas 16 m³ puitu, Eestis aga ligikaudu 6 m³, kusjuures vee-energia kasutuseks on Eestis võimalused väiksemad kui Soomes.

Eestis tarbitakse hoonete kütmiseks kopsakas hulk energiat asjata, s.t energiat raisatakse. Majades võiks olla praegusest märgatavalt väiksem soojuskadu. Ka tundub, et paljud ehitavad maja täpselt miinimumnõuetele vastavalt ehk nii rumalalt, kui seadus lubab, aga uhkelt.

Maja ehitades ei peaks eesmärk olema rohke päikeseenergia kasutus, vaid tubade temperatuuri hoidmine meeldival tasemel, kasutades selleks võimalikult vähe muud energiat. Järelkult on tähtis kärpida maja soojakadu väikeseks ja proovida ökonoomselt kasutada saadaolevat päikesekiirgust. Maja kaotab ikka soojust, selle korvamiseks on päikesekiirgus hea võimalus. Silmas peetakse siinkohal peamiselt väikest elumaja.

Päikesemaju on kaht liiki – aktiivseid ja passiivseid.

Aktiivne päikesemaja

Päikesemaja puhul tähendab aktiivsus päikesekiirguse püüdmist seadmete abil, soojuse ülekannet ja salvestust tavamaja soojuseks. Aktiivses päikesemajas on tubades konvektorid ja väljas päikesekollektor, nende vahel ringlev vedelik soojeneb

kollektoris ja annab konvektoritest tuppä sooja, ise seejuures jahtudes. Mida soojem on kollektor, seda rohkem kaotab ta soojust, ent ta peab olema konvektorist piisavalt soojem: ainult nii juhitakse soojus kollektoris vedelikku ja vedelikust konvektorisse, mis omakorda peab olema soojem kui õhk toas.

Selleks et kollektori temperatuur ei oleks liiga kõrge, peavad konvektorid olema suured, suutmaks väikese temperatuurivahega keskkonnast soojust tuppä üle kanda; vedelikuvool peab olema suurevõitu, et temperatuurimuutused selles väikesed oleksid. Seepärast ongi aktiivses päikesemajas konvektor, aga mitte radiaator: nii konvektorist kui ka radiaatorist konvekteeub toaõhku soojust ja ühtlasi kiirgavad mõlemad soojust, aga konvektoril on suurem soojusjuhtimise osa, radiaator omakorda kiirgaks rohkem, sest ta on soojem.

Passiivne päikesemaja

Passiivne päikesemaja on ise kiirguse püünis ja soojuse salvesti. Päikese kiirgusenergia tuleb majja akendest ja salvestub maja konstruktsioonis. Passiivsus tähendab seda, et pole vaja tegutseda – las päike paistab. Iga maja saab päikesest rohkem või vähem sooja akende kaudu ja on sel viisil natuke passiivne päikesemaja. Passiivse päikesemaja “kollektori” klaasosa on aken. Sellepärast näeb maja põhiplaan ette akende paigutamise lõunaseinale. Need aknad on eelistatult tavalisest suuremad. Passiivse päikesemaja akende soojakadu ei suurene seetõttu, et neist päike tubadesse paistab. Küll tuleb neist suurtest akendest vahetevahel sisse suur soojusvõimsus. Kiirgus peab saama valdavas osas otse seinte, põranda ja teiste majaosade soojuseks, et toaõhk ei läheks kuumaks.

Akna ja kollektori võrdlus

Nii kollektorisse kui ka akendest tuppä tuleb kiirgus läbi klaaside, peegeldudes klaaspindadelt ära võrdselt – umbes 20%. Seetõttu, et kollektor on aknast soojem, juhitakse klaaside kaudu soojust välja rohkem kui samasuurusel aknast ja lisaks läbi tagaseina ning äärte soojustuse. Kollektoriga saab soojust kätte ainult siis, kui kiirgus on nii võimas, et sellest jääb midagi üle pärast kadu konvektorile. Aga aknasse sattuv nõrk kiirgus vähemasti kompenseerib akna soojakadu.

Vedeliku voolu läbi kollektori tasub reguleerida nii, et see on nõrga kiirguse puhul piisavalt väike soojenemiseks ja võimsamal päikesepaistel sedavõrd suur, et hoiab kollektori temperatuuri ja soojuskao mõõdukana.

Kollektor on hommikul külm ning alles hulk kiirgust soojendab selle temperatuurini, millega saab tuppä sooja anda konvektori kaudu. Ka ei saa kollektor vahelduva pilvisuse puhul hetkelistest päikesepaistetsüklitest kasu, aken aga püüab iga vilksatuse. Akna kasutegur on suurem kui kollektori oma, sest soojakadu aknast ei suurene päikesepaiste järgi ning on ühtlasi kogu maja soojakao sees.

Aktiivse päikesemaja aknad on maja igal küljel ja neil kõigil on soojakadu – nagu ikka.

Niisiis on passiivse päikesemaja aken parem “kollektor” kui aktiivse süsteemi kollektor.

Soojuse salvestus

Sügisel ja talvel on päev lühike, aga maja peab olema soe terve ööpäeva. Siis on vaja päeval salvestada soojust öhtuks, ööks ja hommikuks, samuti, kui võimalik, ka mõne pilvise päeva jaoks. Energia salvestamine soojusena suvest talveni on üliiraske ülesanne, millest ei maksa rääkidagi.

Aktiivses päikesemajas salvestatakse soojust suure vedelikuhulga temperatuuri tõstmisega. Kui kollektori võimsusest jätkub üheaegselt maja kütmiseks ja soojuse salvestamiseks, peab kollektori temperatuur olema kõrgem kui ainult konvektoritesse soojust soetades. Ja kadu aina suureneb kollektori temperatuuri tõustes.

Kui sama vedelik ringleb ka kollektoris ja jääb sinna ööks, jahtub ta alla 0 °C. Seetõttu ei saa vedelikuks olla puhas vesi, sest see külmuks ja lõhuks kollektori: on vaja antifriisi.

Kui salvestuses kasutatakse vett ja kollektori ringluses antifriisi, peab nende vahel olema soojusvaheti. Soojuse ülekandeks on vaja temperatuurivahet, mis tähendab, et kollektoris on tarvis kõrgemat temperatuuri ning kadu suureneb. Mida suurem kadu, seda võimsamat päikesekiirgust on vaja, et üldse ületada künnis soojuse kättesaamiseks. Salvestava vedeliku kogus peab olema suur, et selle temperatuuri ei oleks vaja tõsta palju ega lisada kollektori soojakadu.

Kui on vaja salvestada näiteks 100 kW·h soojust nii, et vedeliku temperatuur tõuseks 10 °C võrra, peab vedelikku, mille nn mahuline erisoojus on 3,6 MJ/m³·°C, olema 10 m³. See paak peab olema hästi soojustatud, mistõttu selle brutomaht võib olla näiteks 18 m³. Paak peaks asuma maja sees, et sellest väljatulev soojus jääks maja kütteks. Siiski on sellise paagi paigutamine majja raske: selle peaks tooma sisse juba majaehituse käigus või peab selle koostama mitmest väiksemast paagist. Võib-olla on paakide ümber vaja veel tööruumi, kokku võtab see palju pinda. Tähendab: maja tuleb suurem kui muidu ja suurema maja soojakadu on suurem.

Antifriisi on vaja palju ja seegi maksab. Ehk on hea arvesse võtta ka antifriisi lekkimise võimalus. Kuidas seda teha?

Kui valime väikese salvestipaagi, siis on kollektori kaod suured ja paagi isolatsioon peab olema kõrgema temperatuuri tõttu paksem, salvesti brutomaht on aga siiski suurevõitu.

Passiivne päikesemaja on ehitatud nii, et seinad, põrand ja lagi on samaaegselt ka soojuse salvestiks. Materjaliks on kivi, betoon, klinkerplaadid ja mingi kogus telliseid. Nende erisoojus on suur ning soojusjuhtivus on suur või vähemalt suurem kui teistel ehitusmaterjalidel. Järelikult on soojust salvestaval massil palju pinda kiirguse vastuvõtuks ja soojusvahetuseks toaõhuga. Betooni erisoojus mahu kohta on sama kui vee oma. Pole veel tegemist suure majaga, kui selles on nimetatud materjali 70 m³. See salvestab 100 kW·h soojust temperatuurimuutusega 1,23 °C. Järelikult saab see salvestada veel talutava temperatuurimuutusega soojust mõneks ööks. Niisiis vaheldub toatemperatuur passiivses päikesemajas salvestunud soojuse järgi. Tegelikult kõigub toatemperatuur rohkem, sest betoon ei juhi soojust piisavalt kiiresti ja päeval satub kiirgust ka mööblisse ning teistesse objektidesse, mis annavad soojuse kiiresti õhku. See kõikumine ei ole ebamugavalt suur.

Selle artikli autori arvates on ilusad tema oma majade seinad, milles on töötlemata põllukive. Igatahes on need odavad, mis on tõik, mitte arvamus maitseküsimuses. Oleks vist hea kasutada klaastelliseid kohtades, kuhu päike akendest paistab, sest kiired lähevad sügavale klaasi sisse. Nii ei kahjustaks materjali soojusjuhtivuse aeglus kiirgusenergia vastuvõttu ja toatemperatuur kõiguks vähem.

Muud asjaolud

Aktiivse päikesemaja kollektorid peaksid olema väga suured, et nendest oleks abi ajal, mil päikesepaiste on hõre, päev lühike ja ilm külm – kui maja vajab kõige rohkem soojust. Nii suurt kollektorit (suuri kollektoreid) ei saa paigutada maja katusele ega ka mitte maja õuele. Ja teisest küljest oleksid need ka kallid ning peaksid olema tormikindlad.

Kui kellelgi on raske nõustuda passiivse päikesemaja ehituslike erinevustega, võrreldes tavamajaga, siis minu arvates oleks veel raskem taluda suurte kollektorite mõju maja ning õue välisilmele ja välisilme varjutamisele. Paljudele on ju väga tähtis, kuidas oma maja välja näeb. Välditakse ka sellist erinevust, mis pole kindlasti uhke ja tore teiste arvates.

Ometi ei ole ju häbi olla teistest targem ja vastutustundlikum tuleviku suhtes!

Tasuvusest

Aktiivses süsteemis on suured kollektorid, suur paak, torud, pump või pumbad, reguleeriviilid, automaatika. Vedelikuvoolu läbi kollektori on vaja reguleerida kiirguse võimsuse järgi. Vajalik on mõõta temperatuuri mitmest kohast ja selle järgi suunata vedelikuvoolu pumbaga kollektorist konvektoritesse ja/või salvestisse või salvestist konvektoritesse.

Süsteem ja selle hooldus on kallis. Selle projekteerimine, ehitamine ja hooldus on nõudlik spetsialistitöö. Igahelst ei saa oodata isegi mõistmist, kas süsteem töötab õigesti.

Majas peab olema siiski võimalus kütta, kui elektrit ei ole või kui näiteks sõja tõttu ei saa kätte kütteõli, gaasi, kivisütt. Viimastega ei tohiks kütta ju ka ökoloogilistel põhjustel.

Aktiivne päikeseküte ei tööta üldse ilma elektrita. Päikesemajad Soomes ja Eestis vajavad lisakütet, nendest aktiivsed siiani rohkem. Vähemalt maal saab lisakütte ja häda- ehk kriisikütte kergesti korraldada puidu ning ahju abil. Soomes on autori kahekorruselises majas üks suur ahi keset maja, Eestis kütab ta ühekorruselise maja ainult saunakerisega – selles majas pole siis eraldi midagi kütmise jaoks. Kui talvel on vaja kütta, saab leili ilma lisavaevata. Suure soojusmahtuvuse tõttu pole maja vaja kütta täpselt ja regulaarselt, vaid ainult piisavalt ning siis, kui on aega kodus olla. Kütmine ei piira elaniku liikumist, nagu teeb seda tavamaja ahiküte.

Kollektoreid saaks paigutada palju maja lõunaseinale, kui seal poleks üldse aknaid. Kui kollektorid oleksid vastu seina või vahetult seina osa, kaotaks kollektor soojust vaid klaasi poolelt. Aga selline paigutus mõjutaks maja põhiplaani rohkem kui passiivse päikesemaja nõudmised. Lõunaseina aknad annavad majja soojust paremini

kui kollektorid. Ei tavamaja ega aktiivse päikesemaja lõunaseina aknad tohi olla suured, sest ereda päikesega hakkab kuum.

Kombinatsioon?

Võiks arvata, et majas saaks päikeseenergiat kasutada korraga nii aktiivselt kui ka passiivselt, paigutades passiivse päikesemaja katusele või kõrvale kollektori(d) ja majja teised seadmed. Miks mitte, kui keegi tahab vaeva näha ja raha raisata. Siiski on kindel, et lisakütet on tarvis ja kriisi varuks peab kindlasti olema ahiküte. Et passiivne päikesemaja vajab vähe lisakütet, oleks aktiivne päikeseküttesüsteem selle vähendamiseks, samuti esmase kütteviisina liiga kallis. Ja nii kallis moodus on küsitav ka keskkonna koormuse vähendajana.

Arendusvõimalus

Selektiivklaasidega aknad takistavad kahjuks päikesekiirte sissepääsu, küll aga hoiavad soojust hea soojapidavusega. Kõigis majades võiksid lõunapoolel olla aknad, mis lasevad hästi kiirgust sisse. Aga kuna nende soojapidavus on halvavõitu, tuleks ööseks panna ette soojustatud luugid, nagu pannakse ka teistele akendele. Kuna passiivses päikesemajas on kõik aknad lõunaseinas ja need on suured, siis oleks kasu luukidest suur, võib-olla suurem kui aktiivsest päikeseküttesüsteemist, ja passiivse päikesemaja saab igatahes odavamalt.

Järeldus

- Aktiivne päikesemaja on tavamajast kallim.
- Passiivne päikesemaja on tavamajast odavam nii ehitada kui ka kütta.
- Passiivne päikesemaja vajab vähe lisakütet.

COMPARISON OF POSSIBILITIES OF ACTIVE AND PASSIVE SOLAR HOUSE

Taito Mikkonen

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

Abstract

We divide the sources of energy into reproducible and not-reproducible sources of energy. We must understand that the substances which combustion adds carbon dioxide into atmosphere must stay unburned. From that point of view resources of energy are scant in Estonia. As for Finland, the need of energy for heating houses amounts to about one quarter of all the need of energy they, going over on biological heating, need for heating more than a half of forest increase, still the needs of other

energy demands are preserved too. At the same time there is 16 m³ of forest growing per citizen in Finland, and only 6 m³ in Estonia. Water resources are small here as well.

After that in Estonia for heating of houses a lot of energy is consumed in vain. The houses ought to have considerably smaller loss of warmth. The purpose of building of a house may be pleasant temperature in rooms by using energy as decreasingly as possible. For that we must cut down the loss of warmth and can use economically obtainable solar energy. In the present context it mainly concerns a small dwelling-house.

The solar houses can be active and passive.

The active one implies the convectors in rooms and a solar collector outdoors, the latter gathers solar radiation for transferring warmth through pipeline with liquid to convectors and then into rooms. As the liquid must not freeze in cold weather, so it cannot be pure water. So there is needed an expensive antifreezer too, in addition to expensive and hard-handled equipment. If there is water in storage tank and antifreezer in the pipeline there is needed a heat exchanger for differences in temperature. The collector is cold in the morning and needs much radiation to be warm for transferring the warmth into house. And moments of sunshine in cloudy time give no effect at all for heating. The tanks in the house dictate more space than normally; that means more loss of heat at the same time and more capacity in the solar collector. At last, the appearance of the house with a big solar collector is a special question.

The passive solar house gathers radiation itself through windows and stores it in constructions of the walls, floor and other parts of the house. The windows of the house are only in the south wall. Passivity means that nothing more is needed – only let the sun shine. Windows catch all the flashes even in short winter days and the house stores all the warmth for dark time. In a small house there may be built only a sauna vaporizing-furnace for supplementary heating in cold weather. Requirements for the building materials of a passive solar house are special too, but there appear rather subjective problems of taste than unavoidable positioning of necessary equipment.

It is not shame to be cleverer and full of responsibility with regard to the future!

If the solar system is expensive now then it is expensive to take care of it in the future. The house needs heating even when there is a lack of electricity. The active solar heating does not work without electricity. Ecological reasons do not give possibility to heat with oil, or gas, or mineral coal any more.

The active solar house is more expensive than a common house. The passive solar house is cheaper than a common house and does not need much additional heating.

TUULEST SAADAVAST VÕIMSUSEST KAGU-EESTIS

Andres Annuk¹ ja Teolan Tomson²

¹Eesti Põllumajandusülikooli tehnikainstituut, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu
e-post: annuk@eau.ee

²TTÜ Materjaliteaduse instituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn
e-post: teolan@staff.ttu.ee

Annotatsioon

Kagu-Eesti on suhteliselt tuulevaene piirkond võrreldes Lääne- ja Põhja-Eesti ranniku ning saartega. Paremad piirkonnad on siiski Peipsi- ja Võrtsjärve-äärsed alad. Elektrihinna tõustes laieneb majanduslikult tasuv tuuleenergeetika piirkond ka Kagu-Eestisse. Tuulest saadava elektrivõimsuse kvaliteedi peamine iseärasus on tema suur muutlikkus. Selle hindamiseks rakendatakse dispersioonanalüüsi. Mingi piirkonna tuulikute tuulevõimsuse kõikumise vähendamise üks võimalusi on geograafiliselt hajutatud tuulikute koosmõju piirkonna tuuleelektri võimsuse kõikumisele. Tuule üheaegne hetkkiirus on kümnete kilomeetrite kaugusel asuvate punktide vahel erinev, seda suurendavad veel järvede olemasolu ning reljeefi liigendus.

TUULE HETKVÕIMSUS, TUULEKIIRUS, RUUTKESKMINE HÄLVE

Sissejuhatus

Töös vaadeldav piirkond – Kagu-Eesti (Võru, Põlva ja Tartu maakond) ei ole rikas tugevate tuulte poolest (Kull, 1996), kuid ka mitte kõige vaesem kant. Huvi pakub meie jaoks selle piirkonna omapära – asukoht kahe suure järve vahel ja kaks kõrgustikku. Järved on piisavalt suured, et tekitada suviseid briise rannikul, mis tingivad tuule olemasolu ka siis, kui maismaal valitseb üldine tuulevaikus. Kõrgustikud tingivad nn kohalike tuulekoridoride tekke, kus paiksest valitsevad tugevamad tuuled kui ümbruses.

Tuuleenergeetika arengus Kagu-Eestis on lähemas tulevikus perspektiivsed väiketuulikud (kuni 50 kW, põhiliselt 10–20 kW), sest praegu ei investeerita sinna ükski tõsiselt võetav suurinvestor. Samas on seal tihe elektrivõrk ja palju üleinstalleeritud trafo võimsusi.

Eesmärgid

Vaatleme eelkirjeldatud ala tuuleenergia vaatevinklist kui ühtset energeetilist piirkonda. Me vaatleme tuulekiirusi ja arendatavaid võimsusi antud piirkonnas erinevates iseloomulikes punktides. Selgitame mõõtmisandmete alusel välja piirkonna erinevates punktides tuule ja tuulevõimsuse potentsiaali kahel aastaajal – talvel ning suvel. Üldteada probleemiks on tuule muutuv iseloom. Uurime tuulikute koosmõju tuulevõimsuse ühtlustamisele nende üheaegsel eksploatatsioonil. Püstitatud ülesanded on hüpoteetilised, sest mõõteandmete aegrida on liiga lühike.

Kasutatud andmed ja meetodid

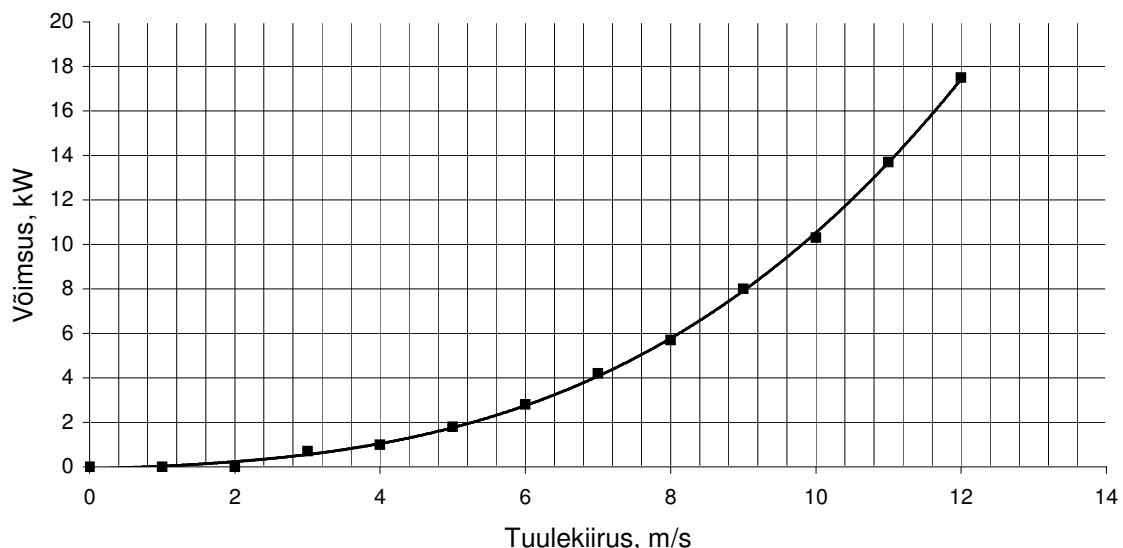
Töös kasutame tuulekiiruse andmeid Maanteeameti poolt paigaldatud 7 teeäärsest meteoroloogia automaatjaamast. Need punktid asuvad järgmistes geograafilistes kohtades: Laeva, Saverna, Uhmardu, Rõngu, Kauksi, Karisilla ja Väike-Rakke. Neist esimesed kolm asuvad eemal järvedest, sügaval maismaal. Rõngu ja Väike-Rakke on Võrtsjärve ligidal ning Kauksi ja Karisilla paiknevad Peipsi rannikul. Kauksi asub küll väljaspool vaadeldavat piirkonda, kuid tema andmed on ülekantavad mõnda teise kohta Peipsi läänekaldal. Tuulekiiruse mõõtur asub mõõtmiskohtades 9–10 m kõrgusel maapinnast. Oleme ka seda kontrollinud, et piirkond jaama ümbruses oleks piisavalt avatud. Hoolimata mõõturi paigalduskõrguse mõningasest ebatäpsusest loeme tuulekiiruse mõõtekõrguseks 10 m.

Tuulekiirused on fikseeritud 10-minutiliste intervallide keskväärtustena. Et saada reaalselt pilti energeetiliselt kasutatavast tuulest, transponeerime tuulekiiruse tehnilisele kõrgusele 30 m, mis peaks olema väiketuuliku jaoks kasutatav kõrgus. Selleks kasutatakse valemit (Ветроэнергетика, 1982):

$$u_2 = u_1 (H_2/H_1)^{k_H}, \quad (1)$$

kus u_1 ja u_2 on vastavalt keskmised tuulekiirused kõrgustel H_1 ja H_2 . Hellmanni koefitsiendi k_H väärtuseks soovitatakse kirjanduses maismaa jaoks väärtusi $k_H = 0,23$ (Ветроэнергетика, 1982) ning $k_H = 0,25$ (Tomson jt, 2003). Need koefitsiendid on saadud tuule mõõtmistel lagedatel aladel või hoopis rannikul. Eesti mandrialal on tuule jaoks siiski väga kare, mida põhjustab suur metsasus ja maastiku liigendatus.

Tuginedes mõõtmisandmetele (Tomson ja Annuk, 2004), mis on saadud Avastes avatud maastikul kõrgustel 10 m ja 27 m, 50 km kaugusel merest, tuleks võtta Hellmanni koefitsiendiks Eesti maastiku jaoks $k_H = 0,29$.



Joonis 1. Firma Jacobs 17,5 kW tuulegeneraatori tunnusjoone tõusva osa punktid koos seda modelleeriva kolmanda astme polünoomiga

Figure 1. The characteristic curve ascending part points for Jacobs 17.5 kW wind turbine with the modelling of it by third order polynomial

Meid huvitab tuulest saadav võimsus, selleks kasutame tuulegeneraatori Jacobs 17,5 kW tunnusjoont (Peets jt, 2003), mis on toodud joonisel 1. See generaator on mõeldud paigaldamiseks mõõdukate tuulte piirkonda, stardikiirusega 2,5 m/s. Me kasutame seda kui virtuaalset tuulikut, paigutades need mõtteliselt tuule mõõtmispunktidesse. Tuulevõimsuste leidmiseks filtreerisime välja tuulekiirused, mis on alla 2,5 m/s. Vaadeldavatel perioodidel ei tõusnud antud piirkonnas tuule kiirus kordagi väärtuseni 12,5 m/s, mille ületamisel generaatori väljundvõimsus stabiliseeruks oma nimivõimsusele 17,5 kW.

Tuulegeneraatori võimsuse arvutamiseks kasutame valemit, mis annab meile võimsuse normaliseeritud kujul ilma ühikuta:

$$P^* = P/17,5 = 0,0087 \cdot v^3 + 0,0078 \cdot v^2 + 0,1159 \cdot v - 0,0973, \quad (2)$$

kui $2,5 \leq u \leq 12$ m/s,

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

kui $u < 2,5$ m/s ja

$$P^* = 1, \quad (4)$$

kui $u > 12$ m/s.

Selle valemi normaliseeritud kuju võimaldab meil minna konkreetset tuuleseadmelt üldistatud kujule.

Tuulte kiirused

Nädalastel perioodidel märtsi ja juuni lõpus registreeriti tuule keskmised 10-minutilise intervallide kiirused ning samade intervallide maksimumkiirused 10 m kõrgusel. Tabelis 1 on esitatud eespool toodud andmete alusel arvutatud tuulte keskmised

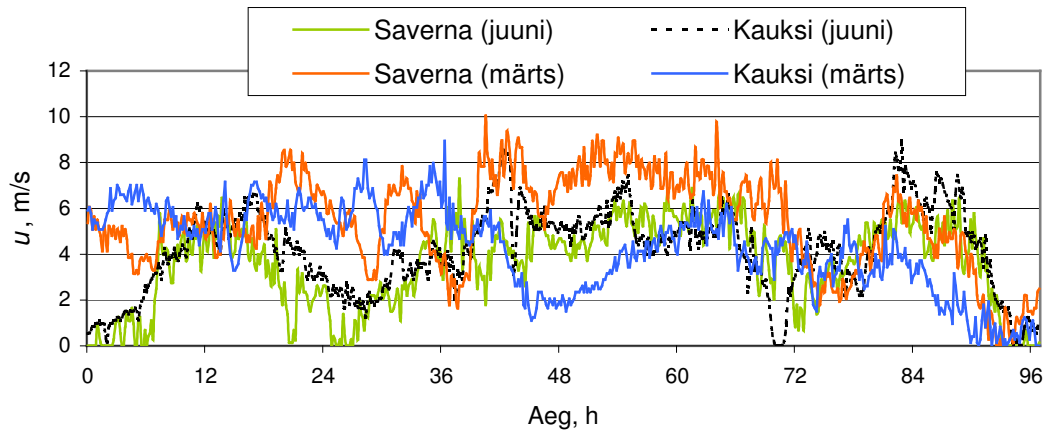
Tabel 1. Tuulekiiruse andmed paikkonniti 30 meetri kõrgusel

Table 1. Wind speed data at the height of 30 m

Asukoht	Keskmine tuulekiirus μu , m/s		Maksimaalne tuulekiirus u_{\max} , m/s		Intervallide osakaal ($u \geq 2,5$ m/s)		Suhteline standardhälve σu^*	
	Märts	Juuni	Märts	Juuni	Märts	Juuni	Märts	Juuni
Laeva	3,09	2,23	7,15	6,74	0,72	0,37	0,46	0,66
Saverna	5,24	3,36	10,04	9,49	0,89	0,66	0,35	0,56
Uhmardu	3,40	1,89	8,39	5,50	0,69	0,30	0,55	0,73
Rõngu	4,40	2,69	9,90	7,70	0,87	0,53	0,41	0,60
Kauksi	4,38	3,77	8,94	8,94	0,79	0,75	0,43	0,48
Karisilla	3,20	2,10	6,60	8,53	0,72	0,36	0,46	0,79
Väike-Rakke	5,46	3,32	10,59	10,59	0,87	0,60	0,40	0,58

kiirused kõrgusel 30 m nädalase vaatlusperioodi kohta. Maksimumkiirus on toodud võrdluseks, kui suure väärtuse võib tuulekiirus sel ajal üldse saavutada. Kõikidel juhtudel jäi see alla 12 m/s, mis on vähem kui näidisgeneraatori nimituulekiirus. Et meid huvitavad energeetiliselt väärtuslikud tuulekiirused, mis on üle 2,5 m/s, siis leidsime nende intervallide osakaalu, kus on täidetud tingimus $u \geq 2,5$ m/s. Tabelist 1

on näha, et märtsis on energeetiliselt viljakate perioodide arv suurem kui juunis, mis mõnel juhul on isegi kahekordne. Samas on tabelis 1 leitud tuulekiiruste suhtelised standardhälbed 30 m kõrgusel. Välja valitud seitsme mõõtepunkti tuulekiiruste suhteline standardhälve (δu^*) jääb märtsis vahemikku 0,35–0,55 ja juunis 0,48–0,79.



Joonis 2. Tuulekiirused Savernas ja Kauksis
Figure 2. Wind speeds in Saverna and Kauksi

Joonisel 2 on toodud kahe kõige tuulisema koha tuulte hetkkiirused nelja ööpäeva jooksul. Juunikuu tuulte kõverad Kauksi kohta kirjeldavad selgelt ööpäevast perioodilist komponenti, mis on täheldatav ka sisemaal Savernas, kusjuures ööseks tuul vaibub. See on ka tuule variatsioonide suurenemise põhjuseks suvel.

Tuulikute koostöötamise mõju piirkonna tuulevõimsuse standardhälbele

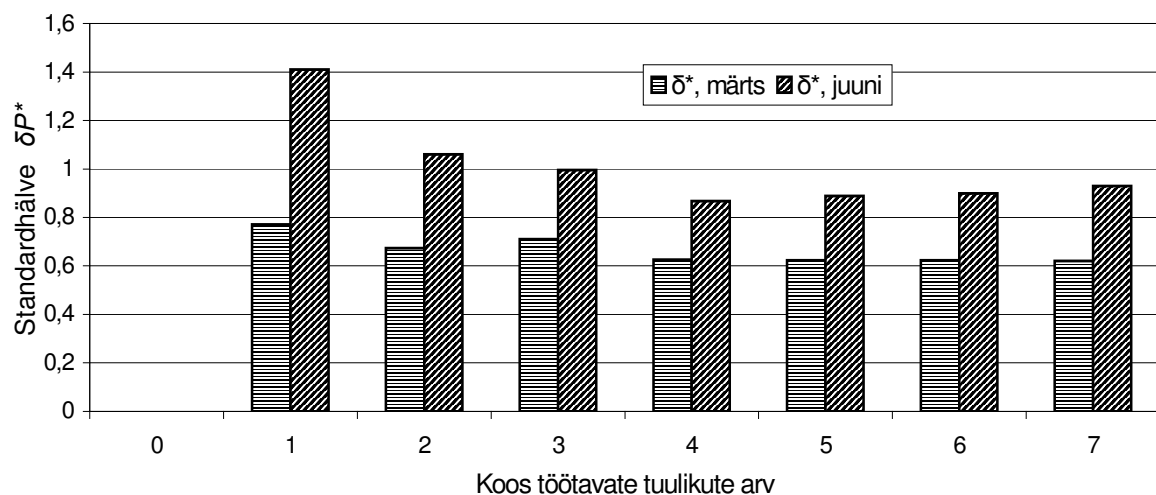
Tuulest saadav keskmine võimsus vaadeldud perioodidel on maismaale iseloomulikult väike kõikides märtsis vahemikus $0,041 < P^* < 0,162$ ja juunis $0,015 < P^* < 0,07$ (tabel 2). Hetkvõimsuse standardhälbed σP^* on tunduvalt suuremad kui tuulekiiruse omad tulenevalt võimsuse kuupsõltuvusest tuulekiirusest, vastavalt märtsis $0,72 < \sigma P^* < 1,07$ ja juunis $1,02 < \sigma P^* < 2,03$.

Tabel 2. Tuulegeneraatoritega toodetavate suhteliste võimsuste andmed 30 m kõrgusel
Table 2. The relative capacity data produced by wind generators at the height of 30 m

Asukoht	Keskmine hetkvõimsus P^*		Hetkvõimsuse standardhälve σP^*	
	Märts	Juuni	Märts	Juuni
Laeva	0,041	0,022	0,92	1,55
Saverna	0,139	0,058	0,72	1,15
Uhmardu	0,059	0,015	1,07	1,70
Rõngu	0,097	0,034	0,99	1,27
Kauksi	0,095	0,070	0,81	1,02
Karisilla	0,045	0,023	0,91	2,03
Väike-Rakke	0,162	0,059	0,77	1,41

Vaatleme seitset olukorda, kus reastame tuulikud märtsi keskmise võimsuse järgi alanevas järjekorras. Esimeses variandis töötab ainult üks tuulik, teises lisandub võimsuselt järgmine tuulik, kolmandas järgmine jne, kuni viimases töötavad kõik seitse koos. Selline reastamine on tehtud lähtudes sellest, et alguses püütakse kasutusele võtta kõige parema tuulega kohad. See oleks reaalsele olukordadele lähem ja tingiks ka teatud juhuslikkuse järjestuses, pidades silmas üksikute tuulikute võimsuste standardhälbeid.

Seitsme tuuliku korraga rakendamisel seisid kõik märtsis 7,3% ja juunis 5,9% ajast tuule puudumise või vähesse kiiruse tõttu ($u < 2,5$ m/s). Saarte ja põhjaranniku kohta tehtud uurimuses (Tomson, 2002), kus on vaadeldud kuut 1–2 MW võimsusega piirkonda laiali paigutatud agregaati, seisid tuulikud vajaliku tugevusega tuule puudumisel 25% ajast. Hoolimata algingimuste mõningasest erinevusest võib järeldada Kagu-Eesti piirkonnas tuulte suuremat mitmekesisust kui saartel ja Põhja-Eestis. Joonisel 3 on näha, et standardhälve δP^* väheneb järsult koos töötavate tuulikute arvu suurenemisega kuni neljani ning edasisel ühikute suurenemisel stabiliseerub märtsis 0,624 ja juunis 0,9 juures. Seega väheneb δP^* märtsis 20% ja juunis 36% võrra enam kui kolme tuuliku koostöötamisel.



Joonis 3. Hetkvõimsuse suhtelise standardhälbe sõltuvus üheaegselt töötavate tuulikute arvust

Figure 3. Dependence of relative standard deviation of instantaneous capacity on the number of simultaneously working wind generators

Järeldused ja ettepanekud

1. Tüüpilisel Eesti maastikul, kus lagedad alad on vaheldumisi kõrgemate objektidega (mets, hooned) ja baasmõõtekõrguseks on 10 m, tuleks kasutada Hellmanni koefitsienti vähemalt $k_H = 0,29$.
2. Vaadeldud mõõtmisperioodidel oli Kagu-Eestis järvede briiside mõju juunis tuule keskmisele võimsusele väike, kuid suurendas tuulevõimsuse standardhälvet, põhjustatuna ööpäevasest perioodilisest komponendist. Selle täpsemaks selgitamiseks tuleks kasutada mõõtmisandmeid pikemast perioodist.

3. Võrku töötavate madala stardikiirusega tuulikute kasutamine ja nende geograafiline hajutamine Kagu-Eestis annab püsivat efekti tuulevõimsuse stabiilsuse suurendamisele alles rohkem kui kolme tuuliku üheaegsel tööl. Sealjuures vähenes tuulevõimsuse standardhälve δP^* märtsis 20% ja juunis 36% võrra, võrreldes ühe tuuliku kasutamisega.

4. Kagu-Eestis on tuuled tunduvalt mitmekesisemad (hetkkiiruste paikkondlikud erinevused) kui Lääne- ja Põhja-Eesti rannikul ning saarte piirkonnas.

Tänuavaldus

Töös on kasutatud tuulekiiruse andmeid Maanteeameti automaatjaamadest. Nende kasutamine sai võimalikuks tänu Tõnu Asandi lahkele koostööle.

KirjandusReferences

1. Kull, A. (1996) Eesti tuuleatlas. Magistritöö. TÜ geograafia instituut. Tartu: 95 + lisad 39.
2. Peets, T., Palge, V., Annuk, A. ja Lepa, J. (2003) Tuulegeneraatori abil saadava energia koguse prognoosimine. Neljanda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 157–162.
3. Tomson, T. (2002) Simultaneity of wind power in Estonia. Proc. Estonian Acad. Sci. Engineering. 8 (4): 270–275.
4. Tomson, T. and Annuk, A. (2004) Wind Energy in Estonian Farmlands. CIGR. Electricity and Energy in Agriculture, in Rural Development and in Habitation Management. Proc. of the Conference on CD ROM. Budapest.
5. Tomson, T., Hansen, M. and Pirksaar, R. (2004) Tuuleenergia prognoosi täpsuse uuring. Viienda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 29–36.
6. Ветроэнергетика (1982) Под ред. Д. де Рензо. Энергоатомиздат. Москва: 272.

ABOUT WIND CAPACITY IN SOUTH-EASTERN ESTONIA

Andres Annuk¹ and Teolan Tomson²

¹Institute of Technology of Estonian Agricultural University
e-mail: annuk@eau.ee

²Department of Materials Science of Tallinn University of Technology
e-mail: teolan@staff.ttu.ee

Abstract

The area of south-eastern Estonia has poor wind power. On the coasts of lakes Võrtsjärv and Peipsi the winds are more powerful. As the price of electricity continues to rise, it will become profitable to establish wind generators into this region. Obviously in this region it will be necessary to use wind generators with as low start speed as possible. On the Estonian farmland to transform wind speed from 10 m high level to other levels it is necessary to use Hellmann's factor value 0.29. Measuring results show, that in the case of geographically dispersed simultaneously working wind generators in south-eastern Estonia, standard deviation increases rapidly when up to three generators co-operate and in the case of more units it stabilizes. Standard deviation decreased in the summer by 36% and in the winter by 20% in the case of more than three units co-operating.

PUUKOOR KUI VÕIMALIK KEEMIA TÖÖSTUSE TOORE VEDELKÜTUSTE JA KEMIKAALIDE SAAMISEKS

Rein Veski, Vilja Palu, Kelly Joa, Kristjan Kruusement ja Hans Luik

TTÜ põlevkivi instituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn
e-post: rein.veski@mail.ee

Annotatsioon

Käesolevas töös antakse ülevaade puukoore varust, keemilisest koostisest ning kasutamisevõimalustest keemiatööstuse toormena vedelkütuste ja kemikaalide saamiseks ning esitatakse termokeemilise vedeldamise katsete tulemused (poolkoksistamine, vesikonversioon ja katalüütiline hüdrogeenimine), et selgitada välja vedelkütuste saamise võimalus männi (*Pinus sylvestris*) koorest võrdluses puiduga. See on osa suuremahulise uurimistööst, mida tehakse TTÜ põlevkivi instituudis eesmärgiga selgitada välja sobiv lähtematerjal (biomass ja/või orgaaniline jääde) põlevkiviga koosvedeldamiseks.

PUIT, PUUKOOR, TERMOKEEMILINE VEDELDAJINE, VEDELKÜTUSED, KEMIKAALID

Varu, raie ja kasutus

Statistikaamet ei anna teavet Eesti puidutööstuses tekkiva puukoore koguse kohta, kuid võimaldab siiski seda hinnata kaudselt. Eesti metsanduse arengukavas 2010. aastani (2002) soovitatakse uuendus- ja harvendusraiet 12 597 000 (sh männile 2 104 000) tm ning lisaks veel sanitaar- ja valikraiet kuni 500 000 tm aastas. Uuendus- ja harvendusraiel saaks palki 2 723 000 (867 000), peenpalki 1 417 000 (388 000), paberipuud 3 734 000 (395 000), kütet 2 457 000 (119 000) ja jäätmeid 2 267 000 (336 000) tm/a. Sulgudes toodud arvud näitavad männipuu kogust.

Kasvavast puust moodustab juurestik 10–40%, tüvi 55–80% ja võra, s.o oksad koos lehtede või okastega 5–25% (Saarman, 1998), teise allika järgi arvutades aga hoopiski vastavalt 4–8, 77–88 ja 9–15% (oksad lehtedest või okastest puhastatud) (Krigul, 1972). Koor moodustab tüvest 10–20 (seega keskmiselt 15%) ja okstest koos ladvaga 20–35 (keskmiselt 27,5%) (Fengel, Vegener, 1988). Võttes raieks Eestis 12 597 000 tm/a miinus jäätmed 2 267 000 tm/a (NB! metsanduse arengukavas on raiejäätmed raiemahtu arvestatud) võrdub 10 330 000 tm/a (sh männile 1 768 000 tm/a), saaksime palgikoore keskmiseks koguseks (10 330 000•0,15) 1 549 500 tm, millele lisanduks importpalgi (2003. aastal 941 590 tm) koor 141 238 tm, keskmiselt kokku umbes 1,7 mln tm koort. Teada on, et Eestis enamik saetööstuses kasutatavast palgist kooritakse, ka valmistatakse palkmaju ja mitmeid muid tooteid kooritud palgist. Millised on tegelikud palkidega kaasnevad koorevood Eestis, vajaks täpsemat arvepidamist.

Kuid metsas on veel üks ressurss – raiejäätmed, mille kogust on Eestis alles viimasel ajal hakatud täpsustama (Kiivit jt, 2004). Eesti metsanduse arengukavas näidatakse raiejäätmetena 2 267 000 tm/a (18% raiest). Kui võtta nende koosisalduseks keskmiselt 27,5%, lisanduks raiutud palgi koorele aastas veel 623 425 tm koort.

Kokku oleks seega Eesti koorebilansis 2,32 mln tm/a, mida saaks vajadusel kas või osaliselt valikuliselt varuda ja otstarbekohasemalt kasutada.

Saadud kooretihumeetreid on võimalik vajaduse korral ümber arvutada tonnidesse. Et koore tihedus varieerub suuresti, saab koore massi hinnata ligikaudselt. USA metsatoodete labori kollektsioonis oleva 139 kuiva puukoore proovi tihedus mahub vahemikku 340–1070 (Harkin ja Rowe, 1971), männi, kuuse ja kase kuiva koore tihedus on vastavalt 652, 715 ja 736 kg/m³ (Biomassi ..., 1992). Sealjuures on näiteks männikoore niin ja korp väga erineva tihedusega, vastavalt 808 ja 298 kg/m³ (Biomassi ..., 1992). Kui puukoor on veovahendis, on koore tihedus keskmiselt ainult 118 ja ladustatult 146 kg/m³, kuna arvesse lähevad ka õhuvahed (Saarman, 1998).

Võttes arutamisel aluseks männikoore tiheduse, mis on kuuse- ja kasekoore tihedusest väiksem, ja rakendades ka koefitsienti 0,9, mis arvestab, et kuiva koore maht on 10% väiksem kui kasvava puu koore maht, saame Eestis aastaraieks soovitatavate puude **kuiva puukoore varuks 2,32 (mln tm/a)•0,9•0,652 = 1,36 mln t/a (märjale koorele arvatuna 1,5 mln t/a)**. Korrutades kuiva koore varu selle kütteväärtusega 18,4 MJ/kg, (Saarman, 1998) (männikoorel on see 18,4–20,7, kuusekoorel 17,8–19,8 (Biomassi..., 1992)), saame koguse 25,0 PJ/a, mis on veidi rohkem kui saadi 2003. aastal Eestis puitu soojusenergia tootmisel ja lõpptarbimisel kasutades – 24,07 PJ. Need arvud on siin kõrvutatud näitamaks, et puukoor on nii tõsiselt arvestatav energeetiline kui ka keemiatööstuse lähtematerjal. Viimase korral pole suur niiskusesisaldus tihti takistavaks asjaoluks. Tehes arvutuse 60% niiskusega puukoorega (energiasisaldus on sel juhul männikoorel 6,5 ja kuusekoorel 6,0 (keskmiselt 6,25) MJ/kg (Saarman, 1998)), saame (1,5•6,25) 9,4 PJ/a, mis on näiteks suurem kui 2003. aastal Eestis soojusenergia tootmiseks kasutatud puidul (7,66 PJ).

Puukoorekeemia

Andmed männikoore tuhasuse ja orgaanilise aine (OA) elemendikoostise kohta on lünklikud (vt tabel 1). Enamasti ei täpsustata teaduspublikatsioonides elemendikoostist tuues männiliike, ja kui täpsustatakse, siis on tihti tegemist meie jaoks eksootiliste liikidega.

Puu tuhasus on väike, tunduvalt alla ühe protsendi, samas kui raiejäätmetel ja koorel on see tunduvalt suurem; tabelis 1 toodud andmetest on suurim tuhasus ilmselt lõunamaise päritoluga männi koorel. Tabelis toodud puude ja nende osiste OA elemendikoostise subjektiivse valiku ligikaudse aritmeetilise keskmise arvutamine andis: C 52,4, H 6,0, N 0,4 ja O 41,2%. Tabelis on sellest väiksema süsiniku- ja suurema hapnikusisaldusega puude ning suurema süsiniku- ja väiksema hapnikusisaldusega metsatööstusjätmete ning koore OA. Seejuures eristuvad männi (*P. sylvestris*) koore proovid, millel on ka kõige väiksem vesinikusisaldus. Kolme okaspuukoore lämmastikusisaldus on vahemikus 0,02–0,06%.

Männikoore tuha koostis erineb männipuu tuha koostisest ja keskmisest puutuha koostisest peamiselt väiksema magneesiumi- ja kaaliumi- ning suurema räni- ja määramata elementide sisalduse poolest (tabel 2). Suurem SiO₂-sisaldus suurema tuhasuse juures näitab, et ränil on suur osatähtsus koore mineraalosa kujunemisel, samas pole välistatud, et korp võib koguneda tuule kantud ränitolm.

Tabel 1. Puude ja nende osiste tuhasus ning OA elemendikoostis %

Table 1. Some data about ash and elemental composition of organic matter of trees and their components %

Puu või selle osis / Tree or its components	A ^d	C	H	N	O _{diff}
Lehtpuu (Biomassi ..., 1992)	0,6	50,5	6,1	0,6	43,8
Haab (Biomassi ..., 1992)	0,6	49,2	6,1		44,7
Okaspuu (Biomassi ..., 1992)		51,0	6,15	0,6	42,25
Kuusk (Biomassi ..., 1992)	0,4	51,5	6,2		42,3
Mänd (Soome) (Biomassi ..., 1992)	0,6	50,6	6,2		43,2
Mänd <i>P. sylvestris</i> (Oasmaa jt, 2003)	0,2*	50,4	6,0	0,1	43,5
Männisaepuru (Savolainen, 2000)	0,1*	51,1	6,0	0,08	42,82
Männioksad (Nikitin, 1962)		52,15	6,18	0,58	41,09
Rohelised raiejäätmel 1 (Oasmaa jt, 2003)**	2,1*	52,5	6,1	0,5	40,9
Rohelised raiejäätmel 2 (Oasmaa jt, 2003)**	1,4*	54,1	6,6	0,5	38,8
Pruunid raiejäätmel (Oasmaa jt, 2003)**	3,8*	53,1	6,1	0,5	40,3
Okaspuukoor Soomest (Pitkänen jt, 1999)	3,84*	54,4	6,1	0,6	38,9
Männikoor (Savolainen, 2000)	1,72*	53,4	5,8	0,41	40,39
Männikoor (Demirbaş, 2000)	4,5	53,1	6,1	0,2	40,6
Männi <i>P. sylvestris</i> koor (Arpiainen ja Lappi, 1989)	1,3*	56,6	5,4	0,4	37,6
Männi <i>P. sylvestris</i> koor (Meier jt, 1986)		55,9	5,5		38,6

Märkused.

A^d – kuivale puule või osisele arvatud tuhasus.

O_{diff} – hapnik on arvatud-vahest (100-C-H-N).

* OA elemendikoostise arvutamine antud tabeli jaoks, arvestades puu või selle osise tuhasust.

** Raiejäätmel 1: kuusk 50, mänd 30, kask 20%, raiejäätmel 2 vastavalt 86, 9 ja 5%, sh 25% okkaid, ning pruunid raiejäätmel 80, 10 ja 10%.

Tabel 2. Puu- ja kooretuha koostis %

Table 2. Composition of tree and bark ash %

Nimetus	A ^d	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	N ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Muu
Puu (Biomassi ..., 1992)	1	1–5	1–9	1–8	37–58	8–16	3–8	11–29	1–4	–
Mänd (Savolainen, 2000)	0,2	3,5	–	2,7	41,8	16,1	3,1	15,3	4,5	13,0
Männikoor (Savolainen, 2000)	1,8	14,5	3,8	2,7	40,0	5,1	2,1	3,4	–	28,4

Koore või puu teiste osiste rühmkoostise väljaselgitamist alustatakse tavaliselt külma mittepolaarse lahustiga, nt petrooleetri või eetriga, jätkates benseeni, kloroformi (nende toimel eralduvad terpeenid ja nende derivaadid, rasvad, vahad, vabad rasvhapped ning alkoholid, steroidid, vaigud), (külma ja kuuma) alkoholiga ning lõpuks selliste polaarsete lahustitega nagu atsetoon, atsetoon või alkohol koos veega (lihtsad polüfenoolid ja nende glükosiidid, tanniinid, mono- ning disahhariidid). Kuuma ja külma veega eralduvad disahhariidid, tärklis, kummivaigud, pektiinid, tanniinid (polüfenoolid) ning taimeliimid. Ekstraktsioonijäägi käsitlemisel leelise vesilahusega

saadakse fenohappeid, koore ligniini ja hemitsellulooside ning suberiini fragmente jm, koore edasisel hüdrolüüsimisel hapetega aga lihtsuhkruid, uroonhapete (nt galakturoon-, glükuroon-, mannuroonhape) derivaate, mis moodustuvad peamiselt hoolselluloosist, järele jääb ligniin (Harkin ja Rowe, 1971).

Ekstraktiivained eralduvad neutraalsete lahustitega ja koosnevad peamiselt rasvadest, kummivaikudest, vaikudest, suhkrutest, õlidest, tärklisest, alkaloididest ning tanniinidest. Tabelis 3 toodud männi *P. sylvestris* koor sisaldab näiteks 11,2% ekstraktiivaineid. Teisal saadi männi *P. sylvestris* koore ekstraheerimisel eetriga 4,6, alkoholiga 1,2, kuuma veega 4,8, kokku 10,6% ekstraktiivaineid (Fengel, Vegener, 1988). Erinevate puude ja nende koore ekstraktiivainesisaldus kõigub väga suurtes piirides: okaspuul 2–9, lehtpuul 2–5, okaspuukoorel 2–25, lehtpuukoorel 5–10 (Harkin ja Rowe, 1971), roheliste metsatööstusjäätmete ekstraktiivainete sisaldus on samuti suur –10,5% kuivaine kohta, saepurul ja pruunidel jäätmetel aga vastavalt 5,9 ning 5,4% (Oasmaa jt, 2003). Ekstraktiivainete väljatulek sõltub kasutatud ekstragentidest.

Tabel 3. Puu ja selle osiste OA rühmkoostis %

Table 3. Group composition of organic matter of trees and their components %

Nimetus	Ekstraktiivained	Ligniini	Sahhariidid		Määratud
			kokku	sh tselluloos	
Mänd <i>P. sylvestris</i> , Leningradi obl (Nikitin, 1954)	3,2	26,9	72,4	51,9	(–2,5)
Okaspuutüvi (Oasmaa jt, 2003)	3,0	28,1	67,9	40,8	1,0
Männi <i>P. sylvestris</i> tüvepuu (Saarman, 1998)	6	28	65	45	1
Okaspuukoore (Oasmaa jt, 2003)	4,5	29,2	62,4	36,2	3,9
Männi <i>P. sylvestris</i> koor (Arpiainen ja Lappi, 1989)	11,2	34,7	51,0	34,7	3,1

Keeruka ehitusega ligniini makromolekulid koosnevad peamiselt fenüülpropani tüüpi monomeeridest. Kui kuiva puidu OA energiasisaldus on 19, siis ligniinil on see märgatavalt suurem – 25,5, veelgi suurem on see ekstraktiivainete ühel komponendil vaigul – 35,5–38,0 MJ/kg (Saarman, 1998).

Tselluloosi ja hemitselluloose kokku nimetatakse hoolselluloosiks või sahhariidideks. Tselluloos sisaldab peamiselt *D*-glükoosi jääkidest koosnevat looduslikku lineaarset makromolekuli, lisaks veel teiste monosahhariidide ja pektiinainete jääke. Männikoore tselluloosi polümerisatsiooniaste on 2800 (Fengel, Veneger, 1988). Tselluloosi energiasisaldus on 17,4–18,2 MJ/kg (Saarman, 1998).

Hemitselluloosid on erinevalt tselluloosist hargnevate ahelatega heteropolüsahhariidid, mis koosnevad pentoosidest (ksüloos, arabiin) ja heksoosidest (mannoos, fruktoos, arabiin). Hemitselluloosid koosnevad kuni 200 monomeerist (Himija..., 1982). Tselluloosi ja hemitselluloose saab ligniinist keemilisel teel eraldada ja kasutada.

Koore morfoloogiliselt eristatavateks osisteks on niin ja parkainete ning ekstraktiivainete poolest rikas korp, mis erinevad omavahel ja puidust keemilise koostise poolest. Nii on korbast puiduga võrreldes rohkem ligniini ja vähem tselluloosi. Korbast

omakorda on eristatav korkkude, mis tekib korba ning niine vahelisel piiril (Saarman, 1998). Osa autoreid toob andmeid ka koore korgis sisalduva korkaine e suberiini kohta. Arvatakse, et suberiin on oksühapete polümeer, mis sisaldab ka fenoolseid ühendeid. Männi, nulu, haava, tamme ja plataani koor sisaldab näiteks 2–8,3, kaskede koor 19,7–38,8 ning korgitamme (*Quercus suber*) koore väline kiht 35–40 (Himija ..., 1967), sh Venemaal kasvava männi koor 2,9% suberiini (Nikitin, 1962). Korgirikkast koorest eraldatud korki kasutatakse näiteks pudelikorkide, isolatsiooni- ja põrandakattematerjalide valmistamiseks, temast on võimalik toota kahealuselist alifaatset dikarboksüülhapet – kork- e suberiinhapet.

Puukoor keemiatööstuse toormena

Eelmises alapunktis kirjeldatud biomassist keemiliste ühendite ja nende rühmade eraldamise meetodeid kasutatakse ka mitmesuguste kemikaalide saamisel koorest. Kemikaalide eraldamine biomassist on majanduslikult mõttekas ainult juhul, kui samal ajal toodetakse mitut keemilist ainet, näiteks emissioonivaba (*Zero Emissions Biomass Refinery Cluster*) tehnoloogiline skeem, kus puidust ja põllumajandusjätmetest saadakse furfurooli, äädikhapet, mikrokristallilist tselluloosi, glükoosi, etanooli, plastmasse, süsinikmaterjale, kusjuures ligniin ning tekkiv gaas põletatakse (Gravitis jt, 2000). Eelnevalt veeauruga aktiveeritud okaspuukoorest saaks ekstrakte, jäätmevabaks teeks tehnoloogia jäägi allutamine oksüdeerivale katalüütilisele pürolüüsile (Kuznetsov jt, 1996). Ka on jäätmevaba kaasaegne tselluloositööstus, mida on ka Eestis viljeldud (taimsest biomassist valmistatakse tselluloosi, alkoholi, söödapärmi, furfurooli, tehnilist ligniini, tallõli jm tooteid).

Koor on otse või pärast vajalike koostisosade eraldamist kasutatav keskkonnasõbraliku kütusena (kütteväärtus on null niiskusel u 87–90%, samas kui 10 t kuiva koorega saaks asendada 7 t kivisütt), briketi, pelletite ja puusöe toormena, allapanuna, multšina, taimekasvusubstraadina (soovitav töödelda ammoniaagi vesilahusega või lisada teisi väetisaineid) ning ka plastmassitööstuse toormena (Harkin ja Rowe, 1971). Eestist eksporditakse puukoort vähesel määral multšiks ja kasutatakse kohapeal lisandina pelletite valmistamisel. Kunda haavapuitmassitehases tekib koorejätmeid pärast käikulaskmist 17 000 t/a, mida kavatakse müüa kohalikul kütuseturul. Eestis valmistatakse ka niiske koore põletamiseks sobivaid eelkoldeid (vt ülevaadet Veski, 2004).

Männikoor on osutunud ka odavaks ja tõhusaks sorbendiks orgaaniliste saasteainete (nt pentaklorofenool, 98% eraldus veest ööpäeva jooksul) eemaldamiseks (Brás jt, 2004).

Puukoorest leostatakse sooja veega looduslikke nahaparkaineid. Eestis on selleks otstarbeks kasutatud peamiselt kuusekoort. Kuuse lintkoor sisaldab 15% niiskuse juures 10–17%, männikoor vaid 4% parkaineid. Tammekoor sisaldab näiteks 5–15% parkaineid, tähtsaima troopilise parkainetaime mimoosi koor aga u 30% (Sõmermaa, 1942).

Kasvava männi või teiste okaspuude vaigutamisel saadakse vaik, millest omakorda eraldatakse tärpentin (terpeenide segu) ja kampil (koosneb peamiselt vaikhapetest). Eestis on kogemus saada bensiiniga ekstraheerimisel männi kändudest ning

puukoorest ekstraktsioonikampolit ja -tärpentini ning flotoõli, okaspuude haljasmassist klorofüllkarotiinpastat, okkaekstrakti, naatriumklorofoliini, eeterlikke õlisid jm, haavast vitamiinkontsentrati, bioaktiivset vaha ja vesiekstrakti (Biomassi ..., 1992).

Eestis on pikaajalised traditsioonid tõrva- ja tõkatiajamisel ning puusöe tootmisel. Näiteks oli 1919.–1920. aastal Eestis 58 tõrvaettevõtet, neist 8 suuremat (Verberg, 1926). Toodanguks oli peamiselt tõrv, tõkat, äädikhape, puupiiritus, puusüsi, tärpentin ja kampol. Laukapõllu talus aetakse nüüdki tõrva, mis läheb laastukatuste, palkmajade, puitpaatide jpt puittoodete immutamiseks (Lõukapõllu ..., 2005). Jõudsalt on taasarrenemas ka puusöe tootmine, kuid erinevalt traditsioonilisest tehnoloogiast kasutatakse nüüd söe tootmisel tekkiv aurugaasisegu kütusena jäägitult ära. Eestis vajatakse puusütt 500 t/a, 2001. aastal toodeti seda 40 000–50 000 t, peamiselt väliturule, kavad toodangu suurendamiseks on väga ambitsioonikad (vt ülevaadet Veski, 2004).

Biomassist kiirpürolüüsiõli tootmise aluste väljatöötamine on samuti edukas olnud, on jõutud võimsuseni 50 t biomassi ööpäevas (Czernik ja Bridgwater, 2004). Saadud õli kasutusala on järgmised: kütteõli, diiselmootori ja gaasiturbiini kütus ning väärismetallide rafineerimine. Rööpselt uuritakse võimalust saada õlist kemikaale. Toode nimega *BioLime* (sisaldab orgaaniliste hapete ja fenoolide kaltsiumisooli) seob neli korda tõhusamalt kui lubi heitgaaside SO₂, ammoniaagiga töödeldud õli, mis sisaldab u 10% lämmastikku, on aeglase toimega biolagunev lämmastikväetis, töötlemata õli sobib puidu preservandiks. Bioõli on lahutatud ka gruppideks ja turule on oodata väga mitmeid uudistooteid, nimetame neist liha pruunistusvahendit ja vahendit teede jäätumise ärahoidmiseks (Czernik ja Bridgwater, 2004).

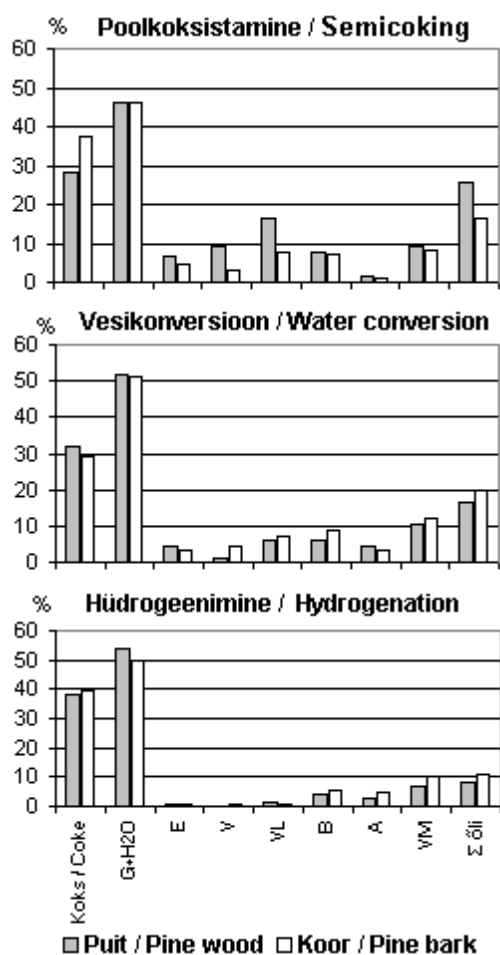
Männikoore termokeemiline vedeldamine

Käesolevas töös kasutati lähtematerjalina männikoort (niiskus 8,0, tuhk 2,1, OA 97,9%) ja võrdluseks männisaepuru (vastavalt 9,1, 0,4 ja 99,6%), mis poolkoksistati Fischeri retordis standardtingimustel (ГОСТ 3168-66), allutati vesikonversioonile ja katalüütilisele (Ni-Mo-katalüsaator) hüdrogeenimisele autoklaavis (tingimused vt Veski jt, 2004; Veski jt, 2005) ning saadused lahutati ja analüüsiti vastavalt väljatöötatud meetodikale (Palu jt, 2004).

Männikoorest (edaspidi koor) moodustus poolkoksistamisel rohkem koksi kui männisaepurust (edaspidi puit), vastavalt 37,6 ja 28,3% ning sama palju gaasi koos pürogeneetilise veega (46,2 ja 46,0%) (joonis 1). Kõige rohkem ning peaaegu võrdselt moodustus koksi nii koorest kui puidust hüdrogeenimisel (39,3 ja 38,1%), samas gaasi koos pürogeneetilise veega tekkis koorest vähem kui puidust (49,8 ja 53,8%). Märgime, et hüdrogeenimisel tekkis nimetatud saadusi kokku kõige rohkem ja vastavalt õli kõige vähem võrreldes teiste meetoditega. Kui puidust suurenes nii koksi kui gaasi ja pürogeneetilise vee moodustumine suunas poolkoksistamine → vesikonversioon → hüdrogeenimine, siis koorest moodustus koksi kõige vähem ja gaasi koos pürogeneetilise veega kõige rohkem vesikonversioonil. Seega on kolme kasutatud meetodi tõhusus puidu ja koore puhul erinev.

Kui poolkoksistamisel saadi puidust suurem summaarne õlisaagis kui koorest (vastavalt 25,6 ja 16,2%), siis teistel meetoditel vastupidi (vesikonversioonil vastavalt

16,3 ja 19,7%, hüdrogeenimisel 8,2 ja 10,9%). Õlisaagise vähenemine puidul suunas poolkoksistamine → vesikonversioon → hüdrogeenimine on seaduspärane, kuna õli hapnikusisaldus väheneb (sellest edaspidi). Sama suundumust täheldati ka pilliroo termokeemilisel vedeldamisel (Veski jt, 2004). Koore puhul osutus summaarse õli moodustumise seisukohalt vesikonversioon tõhusamaks kui poolkoksistamine.



Joonis 1. Puidu ja koore termokeemilise vedeldamise saaduste saagiste sõltuvus vedeldamismeetodist % OA-st: koks, gaas ja pürogeneetiline vesi ($G + H_2O$), vees lahustuva õli eetriekstrakt (E) ja eetris lahustumatu osis (V), vees lahustuv õli ($VL = E + V$), vees lahustumatu õli benseeni- (B) ja atsetooniekstrakt (A), vees lahustumatu õli ($VM = B + A$) ja summaarne õli (Σ õli)

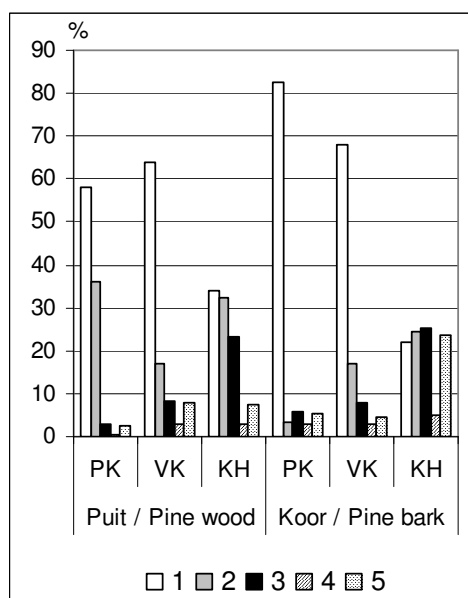
Figure 1. Organic matter-based yields (%) of coke, gas and pyrogenetic water ($G+H_2O$), ether extract (E) and ether insoluble part (V) of water soluble oil ($VL=E+V$), benzene (B) and acetone (A) extracts of water insoluble oil ($VM=B+A$) and total oil (Σ õli) of pine wood and bark depending on thermochemical liquefaction method

Mis puudutab summaarse õli järjestikusel lahustamisel vees ja orgaanilistes lahustites saadud osiseid, siis on oluline rõhutada, et vees lahustumatu õli saagis puidust poolkoksistamisel oli vaid veidi suurem kui koorest (vastavalt 9,4 ja 8,3%), teistel meetoditel väiksem kui koorest (vesikonversioonil vastavalt 10,3 ja 12,3%, hüdrogeenimisel 6,9 ja 10,0%). Katseseeria suurim vees lahustumatu õli saagis saadi nii puidu kui koore puhul vesikonversioonil.

Vees lahustumatu õli benseenis lahustuva osise osatähtsus oli kõikidel juhtudel suurem kui benseenis lahustumatu atsetoonis lahustuva osise osatähtsus (joonis 1), kusjuures kõige paremini lahustus vees lahustumatu õli benseenis koore poolkoksistamise (88%) ja kõige vähem koore hüdrogeenimise korral (52%). Katseseeria suurim benseeni-ekstrakti saagis (9,0%) saadi koorest vesikonversioonil ja suurim atsetooniekstrakti saagis (4,8%) koorest hüdrogeenimisel. Puidust saadi kõige rohkem benseeni-ekstrakti poolkoksistamisel (7,9%) ja atsetooniekstrakti vesikonversioonil (4,3%).

Vees lahustuva õli saagis osutus suhteliselt suureks puidu poolkoksistamisel (16,2%, sh 9,4% eetris lahustumatut õli) võrreldes koorega (vastavalt 7,9 ja 3,2%), langedes nii puidu kui koore puhul juba osutatud meetodite reas, olles hüdrogeenimisel vaid 1% piires. Vees lahustuvast õlist lahustus eetris kõige rohkem puidu puhul vesikonversioonil (u 77%) ja koore puhul poolkoksistamisel (u 60%), kõige vähem puidu poolkoksistamise ja koore vesikonversiooni puhul (41–42%), kusjuures eetrikstrakti, puidu puhul ka eetris lahustumatu osise saagis langes samas reas kui vees lahustuva õli saagis.

Õli benseeniekstrakti õhekihikromatograafia (joonis 2) ja ekstraktide elementanalüüs (joonis 3) näitavad, et hüdrogeenimisel paraneb õli kvaliteet. Kui poolkoksistamisel oli õli benseeniekstrakti saagis peaaegu võrdne (puit 7,9 ja koor 7,4%), siis seda on ka heteroühendite sisaldus happeliste ja neutraalsete ühendite erineva vahekorra juures (joonis 2). Muid komponente on ekstraktis tunduvalt vähem.

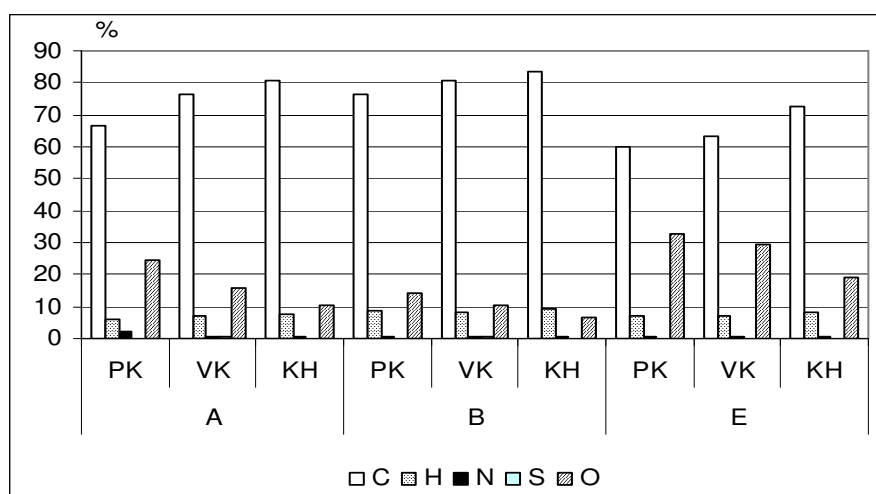


Joonis 2. Puidust ja koorest poolkoksistamisel (PK), vesikonversioonil (VK) ja katalüütilisel hüdrogeenimisel (KH) saadud, benseenis lahustuva õli rühmkoostis õhekihikromatograafia andmetel %. Fraktsioonid: 1 – happelised heteroühendid, 2 – neutraalsed heteroühendid, 3 – aromaatsed mitmetuumalised süsivesinikud, 4 – aromaatsed ühetuumalised süsivesinikud, 5 – mittearomaatsed süsivesinikud

Figure 2. Group composition of benzene soluble oil obtained by semi-coking (PK), water conversion (VK) and catalytic hydrogenation (KH) of pinewood and bark by thin-layer chromatography%: Fractions: 1 – polar heterocompounds, 2 – neutral heterocompounds, 3 – polynuclear aromatic hydrocarbons, 4 – mononuclear aromatic hydrocarbons and 5 – nonaromatic hydrocarbons

Vesikonversioonil saadud benseeniekstraktid on vaatamata erinevusele saagises (puit 6,0 ja koor 9,0%) sarnase grupikoostisega. Hüdrogeenimine (benseeniekstrakti

vastavalt 4,4 ja 5,2%) andis teistest meetoditest erineva rühmkoostise, kus aromaatsete mitmetuumaliste süsivesinike osatähtsus, koore puhul lisaks sellele ka mittearomaatsete süsivesinike osatähtsus on tunduvalt suurem.



Joonis 3. Koorest poolkoksistamisel (PK), vesikonversioonil (VK) ja katalüütilisel hüdrogeenimisel (KH) saadud õlide atsetooni- (A), benseeni- (B) ja eetriekstraktide (E) elemendikoostis %

Figure 3. Elemental composition of benzene (B), acetone (A) and ether (E) extracts of oils obtained by semi-coking (PK), water conversion (VK) and catalytic hydrogenation (KH) of pine bark %

Õli benseeniekstraktides on protsentuaalselt rohkem süsinikku ja vähem hapnikku kui õli teistes osistes (joonis 3), mis on kooskõlas teadmise, et benseenis lahustub vähem hapnikuühendeid kui näiteks atsetoonis või vees. Vees lahustuva õli eetriekstraktis on rohkem hapnikku kui vees lahustumatu õli atsetooniekstraktis.

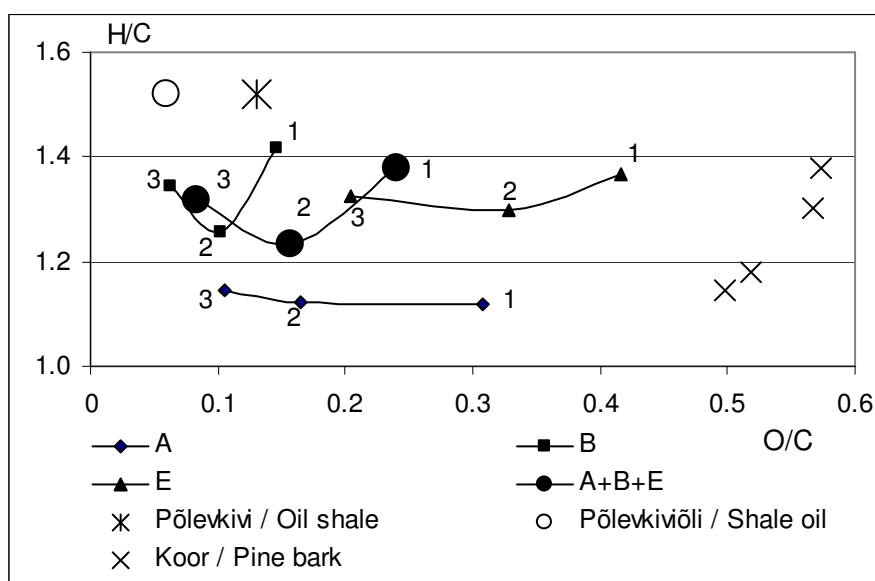
Üldine suundumus on, et koorest saadud õlide atsetooni-, benseeni- ja eetriekstraktide süsinikusisaldus suureneb ning samas hapnikusisaldus väheneb suunas poolkoksistamine → vesikonversioon → hüdrogeenimine. Sellest tulenevalt väheneb nende ekstraktide aatomsuhe O/C ülalnimetatud järjekorras (joonis 4), samas kui H/C tõuseb samas suunas vaid atsetooniekstraktil ja suureneb teistel ekstraktidel mitteootuspäraselt suunas vesikonversioon → poolkoksistamine → hüdrogeenimine.

Arvutades atsetooni-, benseeni- ja eetriekstraktide elemendikoostise kaalulise keskmise (tabel 4), näeme, et hüdrogeenimise orgaanilistes lahustites lahustuv õli (A+B+E) ületab teisi tunduvalt suurema süsiniku- ning vesinikusisaldusega, samas kui hapniku osatähtsus on tagasihoidlik. Nimetatud õli koostis läheneb põlevkiviõli koostisele (tabel 4, joonis 4), mis oli antud töös taotluslik.

Kokkuvõte

1. Katsed näitasid, et kolme kasutatud meetodi tõhusus männipuidu ja -koore termokeemilisel vedeldamisel on erinev. Kui poolkoksistamisel saadi puidust suurem summaarne õlisaagis kui koorest (vastavalt 25,6 ja 16,2%), siis vesikonversioonil (16,3 ja 19,7%) ja hüdrogeenimisel (8,2 ja 10,9%) oli vastupidi. Summaarse õli kõige

väärtuslikuma osa, benseeniekstrakti suurim saagis (9,0%) saadi koorest vesikonver-
sioonil, väiksem hüdrogeenimisel (5,2%). Puidust saadi kõige rohkem benseeni-
ekstrakti poolkoksistamisel (7,9%), kõige vähem samuti hüdrogeenimisel (4,4%).



Joonis 4. Koorest poolkoksistamisel (1), vesikonver-
sioonil (2) ja katalüütilisel hüdro-
geenimisel (3) saadud õlide atsetooni- (A), benseeni- (B) ja eetrikstraktide
(E) ning orgaanilistes lahustites lahustuva osa (A+B+E) H/C–O/C dia-
gramm võrreldes põlevkiviõliga ja vastavate lähtematerjalidega

Figure 4. H/C–O/C diagram of benzene (B), acetone (A) and ether (E) extracts, and
organic solvents solubles (A+B+E) of pine bark oil obtained by semi-coking
(1), water conversion (2) and catalytic hydrogenation (3) and, pine bark
with comparison of shale oil and corresponding initial materials

Tabel 4. Koorest saadud õli (A+B+E) elemendikoostise võrdlus põlevkiviõliga, %

Table 4. Comparison of elemental composition of pine bark oil and shale oil, %

Õli / Oil	C	H	O
Koore poolkoksistamisõli / Pine bark semicoking oil	69,66	8,0	22,34
Koore vesikonver- siooniõli / Pine bark water conversion oil	76,15	7,83	16,01
Koore hüdrogeenimisõli / Pine bark hydrogenation oil	81,89	8,99	9,12
Kukersiidiõli / Kukersite shale oil	83,0	9,9	7,1

2. Koore hüdrogeenimisõli orgaanilistes lahustites lahustuva osa elemendikoostis
ületab teistel meetoditel saadud õli vastavat näitajat tunduvalt suurema süsiniku- ja
vesinikusisaldusega, samas kui hapniku osatähtsus on tagasihoidlik, lähenedes põlev-
kiviõli koostisele. Veel sarnasem põlevkiviõliga on hüdrogeenimisõli benseeni-
ekstrakt.

3. Koorest saadud õlide atsetooni-, benseeni- ja eetrikstraktide süsinikusisaldus
suureneb ja samas hapnikusisaldus väheneb suunas poolkoksistamine → vesikonver-
sioon → hüdrogeenimine. Sellest tulenevalt väheneb koore ekstraktide O/C ülalnimet-
atud järjekorras, samas kui H/C suhe tõuseb samas suunas vaid atsetooniekstraktil ja

suureneb teistel ekstraktidel suunas vesikonversioon → poolkoksistamine → hüdrogeenimine.

4. Kõige rohkem ning peaaegu võrdselt moodustus koksi nii koorest kui puidust hüdrogeenimisel (39,3 ja 38,1%).

5. Kui energeetikas on 87–90% niiskusega puukoore kasutamine mõttetu, sest tekkiv soojus kasutatakse kütuses oleva vee aurustamiseks, siis vesikonversioonil leiab koore energeetiline potentsiaal täielikku rakendamist, kuna protsess eeldab veel täiendava veekoguse lisamist.

6. Käesolev töö näitas, et tuleks jätkata nii biomassi poolkoksistamiskatseid, sest põlevkivitööstus rajaneb suuresti sellel (vedelsaadused eralduvad reaktsiooniagregaati jäävast poolkoksist aurugaasi seguna), kui ka autoklaavkatseid (gaasilised, vedel- ja tahked saadused eraldatakse pärast autoklaavi avamist), viimaseid eriti siis, kui eesmärgiks on leida lähtematerjalid biomassi ning põlevkivi koosvedeldamiseks ja töötlemistingimused, mis põhjustavad sünergia. See avaldub kvantitatiivsetes (suurem saagis) ja/või kvalitatiivsetes (huvipakkuvam koostis) näitajates.

Tänuavaldus

Uurimistöö on valminud Eesti Teadusfondi grandide nr 5360 toetusel.

Kirjandus ✕ References

1. Arpiainen, V., Lappi, M. (1989) Products from the flash pyrolysis of peat and pine bark. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 16: 355–376.
2. Biomassi energeetilise kasutamise võimalused Eestis (1992) Koostajad Paist, A., Poobus, A., Küppas, A. jt Tallinn: 67.
3. Brás, I., Lemos, L. T., Alves, A., Pereira, M. F. R. (2004) Application of pine bark as a sorbent for organic pollutants in effluents. *Management of Environmental Quality* 15(5): 491–501.
4. Czernik, S., Bridgwater, A. V. (2004) Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil. *Energy & Fuels* 18: 590–598.
5. Demirbaş, A. (2000) Effect of lignin content on aqueous liquefaction products of biomass. *Energy Conversion & Management* 41: 1601–1607.
6. Eesti metsanduse arengukava aastani 2010 (2002) Eesti Vabariigi Keskkonnaministeerium. Tallinn: 37.
7. Фенгел Д., Вегенер Г. (1988) Древесина: химия, ультраструктура, реакции. *Лесная промышленность*. Москва: 511.
8. Gravitis, J., Vedernikov, N., Zandersons, J., Kokorevics, A. (2000) Furfural and levoglucosan production from deciduous wood and agricultural wastes. *Chemicals and Materials from Renewable Resources*. Ed by Bozell, J. J. Amer. Chem. Soc. New Orleans: 110–122.
9. Harkin, J. M., Rowe, J. W. (1971) Bark and its Possible Uses. U.S.D.A. Forest Service Research Note FPL – 091 (Revised 1971): 56.
10. Химия древесины (1967) Под ред Браунинга Б. Л. *Лесная промышленность*. Москва: 415.
11. Химия древесины (1982) Под ред Иванова М. А. *Лесная промышленность*. Москва: 399.

12. Kiivit, K., Niidumaa, M., Muiste, P. (2004) Raiejäätmete energeetilisest potentsiaalidest. Eesti põlevloodusvarad ja -jätmed: 21.
13. Krigul, T. (1972) Metsataakseerimine. Valgus. Tallinn: 358.
14. Kuznetsov, B. N., Efremov, A. A., Levanskii, V. A., Kuznetsova, S. A., Polezhayeva, M. L., Shilkina, T. A., Krotova, I. V. (1996) The use of non-isobaric pre-hydrolysis for the isolation of organic compounds from wood and bark. *Bioresource Technology* 58(2): 181–188.
15. Meier, D., Larimer, D. R., Faix, O. (1986) Direct liquefaction of different lignocellulosics and their constituents. *Fuel* 65: 910–915.
16. Никитин Н. И. (1954) Химия древесины. Изд АН СССР. Москва. Ленинград: 578.
17. Никитин Н. И. (1962) Химия древесины и целлюлозы. Изд АН СССР. Москва. Ленинград: 711.
18. Oasmaa, A., Kuoppala, E., Gust, S., Solantausta, Y. (2003) Fast pyrolysis of forestry residue. 1. Effect of extractives on phase separation of pyrolysis liquids 17(1): 1–12.
19. Palu, V., Veski, R. ja 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.
20. Pitkänen, I., Huttunen, J., Halttunen, H., Vesterinen, R. (1999) Evolved gas analysis of some solid fuels by TG-FTIR. *J. Therm. Anal. Cal* 56: 1253–1259.
21. Saarman, E. (1998) Puiduteadus. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Põltsamaa: 248.
22. Sõmermaa, K. (1942) Puukoor ja taimparkained. Agronoom. Ühistrükk. Tallinn: 76.
23. Zansi, R. (2001) Pyrolysis of Biomass. Rapid Pyrolysis at High Temperature. Slow Pyrolysis for Active Carbon Preparation. Dissertation. Royal Institute of Technology. Stockholm: 52.
24. Verberg, K. (1926) Tõrvatööstus. Eesti. Maa. Rahvas. Kultuur. Haridusministeeriumi kirjastus. Tartu: 626–631.
25. Veski, R. (2004) Kohalikud energiaallikad ja nende kasutamine. Ülevaade Eesti ajakirjandusest aastatel 2002–2003. Eesti põlevloodusvarad ja -jätmed: 38–53.
26. Veski, R., Palu, V., Bljakhina, I., Kruusement, K., Vink, N., Kask, L. ja Kask, Ü. (2004) Pilliroo termokeemiline destruktsioon. Viienda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 72–79.
27. Veski, R., Palu, V., Luik, H., Kruusement, K. (2005) Thermochemical liquefaction of reed. *Proc Estonian Acad Sci Chem.* 54(1): 45–56.
28. Savolainen, V. (2000) Wood Fuels Basic Information Pack. Energidalen i Sollefteå AB. Jyväskylä Polytechnic School of Natural Resource. Håkan Berggren: 193.
29. Lõukapõllu talu Saaremaal (2005) <http://www.hot.ee/puutorv/>.

TREE BARK AS A POTENTIAL RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF LIQUID FUELS AND CHEMICALS IN CHEMICAL INDUSTRY

Rein Veski, Vilja Palu, Kelly Joa, Kristjan Kruusement and Hans Luik

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

Abstract

Much work is done in the field of energetic use of wood and wood bark due to environmental pollution problems in the world. Bark and other wood and forest industry wastes in Estonian are burned in boiler houses, used in pellet and briquette industry and as mulch.

In Estonia it is recommended to fell (final, selection, maintenance and other felling) 10,330,000 cubic meters solid volume annually (pine 1,768,000 m³), which, according to our calculations comprises over 2 million m³ of bark with an energy content (as dry material) of 25.0 PJ. That is more than was used in the heat production and final consumption (firewood including wood chips and wood waste) in Estonia (24.07 PJ) in 2003.

Our experiments showed that total semi-coking oil yield from pine wood was higher than from pine bark (25.6% and 16.2% correspondingly) and lower in the case of water conversion (16.3 and 19.7) and catalytic (Ni-Mo catalyst) hydrogenation (8.2% and 10.9%). The highest yield of benzene extract (9.0%) was obtained from pine bark by water conversion, highest from pine wood (7.9%) by semi-coking experiment.

The highest and almost equal yields of coke were obtained from pine wood and pine bark in hydrogenation experiments.

Elemental analysis of benzene, acetone and ether extracts and thin layer chromatography of benzene extracts of pine bark as well as pine wood oil show that hydrogenation oil differs from semi-coking and water conversion oil by better quality (higher nonaromatic hydrocarbon and carbon and lower oxygen content) and it is comparable with kukersite shale oil.

This study is a part of a research (Estonian Science Foundation grant 5350) performed in Oil Shale Research Institute at Tallinn University of Technology with the aim to obtain data for planning co-liquefaction experiments of pine bark and other kinds of biomass, plastics and other organics containing man-made materials with oil shale to obtain liquid fuels and chemicals.

KULUTUSED ENERGIALE ELANIKE VÄLJAMINEKUTES

Anton Laur ja Koidu Tenno

TTÜ majandusuuringute teaduskeskus, Estonia pst 7, 10143 Tallinn
e-post: antonl@tami.ee, koidut@tami.ee

Annotatsioon

Käesolevas artiklis esitatakse analüüsi tulemused Eesti elanike energiakulutustest leibkonnaliikme väljaminekutes ja eluasemekuludes aastatel 1999–2003. Analüüs on tehtud nii leibkondade tulugruppide (tuludetsiilid) kui ka piirkondlikus (maakonnad) lõikes. Eesti andmeid on võrreldud ka Soome vastavate näitajatega. Samuti on analüüsitud energiaettevõtetes kasutatavate kütuste hindade dünaamikat perioodil 2001–2004, kusjuures põhitähelepanu on pööratud puitkütuste ja turba hinnatrendidele.

ENERGIAKULUTUSED, LEIBKONNALIIGE, SISSETULEKUD, VÄLJAMINEKUD, ELUASEMEKULUD, TULUDETSIIL, KATLAKÜTUSTE HINNAD

Kasutatud lühendid

THI – tarbijahinnaindeks;
ETI – Energiaturu Inspeksioon;
EJKÜ – Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing.

Sissejuhatus

Elanike sissetulekuid ja väljaminekuid arvestab Statistikaamet leibkonna elujärje pidevuuringute alusel, tuues välja leibkondade sissetulekud ja väljaminekud ning nende struktuuri leibkonnaliikme kohta. Arvestused toimuvad nii kogu riigi kui ka maakondade, linnade ning väiksemate administratiivüksuste kohta. Väljaminekute struktuuris on üks suuremaid artikleid eluasemekulud, kuhu kuuluvad ka kulutused energiale (elektrile ja soojusele) ning kütustele. Siinjuures tuleb märkida, et soojuse osas on leibkonnauuringute metoodika kohaselt arvestatud eeskätt kulutusi kaugküttesoojusele ja soojale veele.

Eesti leibkondade sissetulekute ja väljaminekute piirkondlikud erinevused on suhteliselt suured. Näiteks kõikus leibkonnaliikme kuukeskmise sissetulek 2003. aastal 3470 kroonist Tallinnas 2040 kroonini Jõgeva maakonnas – seega on erinevus ligi pooleteisekordne. Veel suurem on leibkondade elujärje ebavõrdsus, kui vaadelda leibkondi tulugruppide lõikes. Selleks on Statistikaametis läbi viidud spetsiaalsed uuringud, kus leibkonnad järjestatakse leibkonnaliikme keskmise kuunetosissetuleku järgi kasvavasse ritta ja jagatakse kas kümnesse või viide võrdsesse gruppi (detsiili või kvintiili). Esimese grupi moodustavad kõige väiksema ja viimase grupi kõige suurema sissetulekuga leibkonnad. Eestis oli erinevus esimese ja kümnenda tuludetsiili sissetulekute vahel 2003.

aastal ligi 11-kordne (vastavalt 754 ja 8159 krooni). Analoogsed arvestused on Statistikaametis läbi viidud ka väljaminekute järgi.

Käesolevas artiklis tutvustatav elanike energiakulutuste analüüs on Statistikaameti leibkonnauuringu andmetel läbi viidud kahes lõikes:

- kulutused leibkonnaliikmele ning nende osakaal väljaminekus ja eluasemekulus tuludetsiilide lõikes (tabel 1 – elekter, tabel 2 – soojus);
- kulutused leibkonnaliikmele ning nende osakaal väljaminekus ja eluasemekulus maakondade lõikes (tabel 3 – elekter, tabel 4 – soojus).

Artiklis on esitatud ka andmed eluasemekulude struktuuri kohta Soomes 2003. aastal ja võrreldud neid Eesti vastavate näitajatega. Artikli viimases lõigus on analüüsitud elektrit ja soojust tootvates ettevõtetes kasutatavate katlakütuste hindade dünaamikat aastail 2001–2004.

Energiakulutused elanike väljaminekutes

Elanike väljaminekute üheks suuremaks kuluartikliks on eluasemekulud, mis moodustavad toidu järel suuruselt järgmise osa rahalistest väljaminekutes: 2003. aastal moodustasid leibkonnaliikme keskmisest väljaminekust kulud toidule 27,3%, eluasemekulud aga 16,9%. Energiakulutuste osatähtsus ulatub eluasemekuludes omakorda elektri ja soojuse koguarvestuses ligi pooleni, kusjuures see on aastate jooksul pidevalt kasvanud.

Elanike kulutused elektrile ja soojusele ning nende osakaal väljaminekutes ja eluasemekuludes on esitatud perioodi 1999–2003 kohta tuludetsiilide lõikes (tabelid 1 ja 2) ning maakondade lõikes (tabelid 3 ja 4). Nende andmete analüüs näitab järgmist.

Tabel 1

Kulutused elektrile leibkonnaliikme kohta on perioodil 1999–2003 kasvanud 56 kroonilt 88 kroonile ehk 57%. Kõige rohkem on need kulutused kasvanud esimeses tuludetsiilis (kõige väiksema sissetulekuga leibkondades) – 34 kroonilt 60 kroonile ehk 76%. Ka elektrikulutuste osatähtsus väljaminekutes ja eluasemekuludes on läbi vaadeldavate aastate kõige suurem esimeses tuludetsiilis. Eesti kohta tervikuna väärib märkimist, et 1. 04. 2002 toimunud elektri hinnatõusu mõju avaldus oluliselt ka veel 2003. aastal – kuigi elektri kodutarbimine elaniku kohta kasvas 2003. aastal vaid veidi üle ühe protsendi (1164-lt 1176-le kW·h-le), suurenesid kulutused elektrile leibkonnaliikme kohta ligemale 16%. Põhjus on ilmselt selles, et kõige külmema, I kvartali jooksul kehtisid 2002. a veel odavamad elektritariifid, samuti oli tarbimine 2003. a I kvartalis suhteliselt suurem oluliselt külmema talve tõttu.

Tabel 2

Kulutused soojusele on perioodil 1999–2003 kasvanud leibkonnaliikme kohta 75 kroonilt 88 kroonile ehk 17%. Ka kulutused soojusele on vaadeldaval perioodil kasvanud kõige rohkem esimeses tuludetsiilis – 33 kroonilt 54

kroonile ehk 64%, samal ajal kui kõrgemates tuludetsiilides on need kulud jäänud samale tasemele või isegi vähenenud. Soojuse osatähtsus väljaminekus ja eluasemekuludes on üldjuhul suurem esimestesse tuludetsiilidesse kuuluvates leibkondades.

Tabel 3

Maakondade lõikes on kulutused elektrile leibkonnaliikme kohta ning nende osakaal väljaminekus ja eluasemekuludes kõige suuremad põhiliselt Hiiumaal (2001. aastal olid need näitajad kõige suuremad erandina Raplamaal). Hiiumaal on kulutused elektrile leibkonnaliikme kohta kasvanud 86 kroonilt 1999. aastal 132 kroonile 2003. aastal ehk 53%. 2003. aastal oli elektri osa eluasemekulus Hiiumaal 50,2%. Kõige väiksemad kulutused elektrile on Ida-Virumaal, nende osatähtsus väljaminekutes ja eluasemekuludes on olnud väiksem Tallinnas ning Ida-Virumaal. Sama tulemuse andis ka varasemate aastate (1996–1998) andmetel tehtud analüüs piirkondlike elektrikulutuste kohta (Tenno ja Laur, 2000).

Tabel 4

Kulutused soojusele on maakondade lõikes üldjuhul madalaimad Hiiumaal (kus elektrikulud on kõige suuremad). Kulutused soojusele absoluutväärtuses on kõrgeimad Tallinnas, osakaalult väljaminekus ja eluasemekulus aga Ida-Virumaal. See on ka ootuspärane, sest nagu ülalpool mainitud, on tegemist eeskätt kulutustega keskküttesoojusele.

Eluasemekulude võrdlusandmed Soomega

Tabelis 5 on toodud Soome ja Eesti võrdlusandmed eluasemekulude struktuuri kohta. Näeme, et oluliseks erinevuseks on nn kinnisvara komponendi (tegelik ja arvestuslik üür) domineerimine Soomes. Üür kokku moodustas seal ligemale 70% eluasemekuludest. Eestis oli üüri osatähtsus eluasemekuludes 2003. a vaid 6%, kusjuures arvesse võeti ainult tegelik üür. Arvestuslikku üüri (*imputed rent*, s.o üür, mida maksaks elamispinna omanik juhul, kui ta oleks üürnik) hakati Eestis arvestama alles 2004. aastal seoses Euroopa Liiduga ühinemisega. Seetõttu peaks 2004. aastast alates ka Eestis eluasemekulude struktuur muutuma energiakulude osatähtsuse vähenemise suunas. 2003. aastal oli aga näiteks elektrikulutuste osakaal eluasemekuludes Soomes 2,4 korda madalam kui Eestis.

Katlakütuste hindade dünaamika aastail 2001–2004

Andmed katlakütuste hindade kohta on toodud tabelis 6. Võrreldes kohalike taastuvate kütuste hindu (energiaühikule) ja nende dünaamikat fossiilkütuste hindadega, näeme, et kuigi 2001. aastal olid tükkturba ja puiduhakke hinnad ligikaudu 2 korda madalamad kui näiteks maagaasil ja raskel kütteõlil, on järgnevatel aastatel see vahe hakanud vähenema. Puitkütuste ja ka tükkturba hinnatõus on siinjuures olnud oluliselt kiirem: näiteks hakkpuidul vaadeldava

Tabel 1. Elanike kulutused elektrile ning nende osakaal väljaminekus ja eluasemekuludes tuludetsiilide lõikes perioodil 1999–2003 (leibkonnaliikme kohta kuukeskmisena)

Table 1. Household expenditure on electricity and its share in total and dwelling expenditure by income deciles in 1999–2003 (monthly average per household member)

Detsiilid	1999			2000			2001			2002			2003		
	Kulutused elektrile, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused elektrile, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused elektrile, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused elektrile, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused elektrile, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %	
I tuludetsiil	34	4,1	20,4	37	3,5	21,9	47	4,5	23,9	55	4,8	25,3	60	4,9	27,4
II tuludetsiil	39	3,9	17,7	44	3,9	20,6	52	4,2	21,2	51	3,8	21,7	66	4,5	25,5
III tuludetsiil	46	3,9	19,7	48	3,4	17,0	58	3,8	19,7	54	3,4	17,3	71	4,3	20,1
IV tuludetsiil	47	3,6	16,5	51	3,2	16,5	61	3,7	17,4	72	4,4	20,3	72	4,1	18,5
V tuludetsiil	54	3,8	15,1	65	4,0	19,4	67	3,9	20,5	68	3,7	17,8	87	4,5	22,7
VI tuludetsiil	57	3,6	17,3	57	3,2	17,9	73	3,6	21,0	76	3,7	20,9	93	4,1	22,4
VII tuludetsiil	61	3,5	18,0	61	2,9	16,9	65	3,1	19,2	82	3,6	21,4	96	3,9	24,2
VIII tuludetsiil	65	3,0	15,8	63	2,5	15,6	82	3,2	22,4	88	3,2	20,1	87	3,2	19,8
IX tuludetsiil	73	2,6	15,1	77	2,4	14,8	83	2,4	17,0	105	2,9	18,3	120	3,5	21,7
X tuludetsiil	102	2,2	13,7	105	2,1	16,3	105	2,2	17,3	125	2,3	17,8	141	2,5	20,0
<i>Keskmine</i>	56	3,2	16,5	60	2,9	17,6	68	3,2	19,7	76	3,3	19,6	88	3,7	21,9

Tabel 2. Elanike kulutused soojusele ning nende osakaal väljaminekus ja eluasemekuludes tuludetsiilide lõikes perioodil 1999–2003 (leibkonnaliikme kohta kuukeskmisena)

Table 2. Household expenditure on heat and its share in total and dwelling expenditure by income deciles in 1999–2003 (monthly average per household member)

Detsiilid	1999			2000			2001			2002			2003		
	Kulutused soojusele, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused soojusele, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused soojusele, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused soojusele, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused soojusele, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %	
I tuludetsiil	33	4,0	19,8	31	2,9	18,3	43	4,1	21,8	42	3,7	19,4	54	4,4	24,7
II tuludetsiil	49	4,9	22,3	50	4,4	23,4	51	4,1	20,8	53	3,9	22,6	71	4,8	27,4
III tuludetsiil	60	5,1	25,6	58	4,2	20,6	67	4,4	22,7	88	5,6	28,1	95	5,7	26,8
IV tuludetsiil	61	4,7	21,5	72	4,5	23,2	85	5,2	24,3	87	5,3	24,6	91	5,2	23,4
V tuludetsiil	95	6,7	26,6	84	5,1	25,1	71	4,1	21,7	84	4,6	22,0	79	4,1	20,6
VI tuludetsiil	82	5,2	24,8	75	4,2	23,6	77	3,8	22,1	79	3,9	21,7	89	3,9	21,4
VII tuludetsiil	75	4,3	22,1	71	3,4	19,7	74	3,6	21,8	86	3,8	22,4	83	3,4	21,0
VIII tuludetsiil	92	4,2	22,4	91	3,6	22,5	84	3,3	23,0	96	3,5	21,9	93	3,4	21,2
IX tuludetsiil	110	4,0	22,8	90	2,8	17,3	118	3,4	24,2	104	2,8	18,1	116	3,4	21,0
X tuludetsiil	133	2,9	17,9	103	2,0	16,0	107	2,2	17,7	132	2,5	18,8	125	2,2	17,8
<i>Keskmine</i>	<i>75</i>	<i>4,3</i>	<i>22,2</i>	<i>70</i>	<i>3,4</i>	<i>20,5</i>	<i>75</i>	<i>3,5</i>	<i>21,7</i>	<i>83</i>	<i>3,6</i>	<i>21,4</i>	<i>88</i>	<i>3,7</i>	<i>21,9</i>

Tabel 3. Elanike kulutused elektrile ning nende osakaal väljaminekus ja eluasemekuludes maakondade lõikes perioodil 1999–2003 (leibkonnaliikme kohta kuukeskmisena)

Table 3. Household expenditure on electricity and its share in total and dwelling expenditure by counties in 1999–2003 (monthly average per household member)

Maakonnad	1999			2000			2001			2002			2003		
	Kulutused elektrile, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused elektrile, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused elektrile, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused elektrile, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused elektrile, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %	
Harjumaa	59	2,6	12,7	61	2,3	13,4	69	2,7	15,8	78	2,8	15,6	91	3,2	17,9
sh Tallinn	54	2,3	10,8	57	2,1	11,8	65	2,5	13,9	75	2,6	13,8	83	2,9	14,8
sh Harju (Tallinnata)	73	3,7	21,3	71	2,7	19,4	83	3,5	24,9	90	3,3	25,1	117	4,3	33,6
Hiiumaa	86	5,8	42,0	84	4,7	33,8	81	4,8	36,9	117	5,9	48,4	132	7,3	50,2
Ida-Virumaa	35	2,7	11,8	35	2,4	12,2	39	2,5	13,0	42	2,6	12,6	54	3,2	15,0
Jõgevamaa	53	4,2	29,9	68	4,5	31,9	80	5,4	32,5	75	5,1	33,5	84	4,5	26,8
Järvamaa	59	4,4	27,2	66	3,6	23,1	83	4,0	30,7	82	4,3	31,5	110	5,0	30,1
Läänemaa	65	4,2	22,9	79	4,7	30,9	84	4,7	28,8	94	4,9	29,4	108	4,5	30,1
Lääne-Virumaa	57	4,1	23,8	72	3,8	23,7	78	4,0	27,0	83	4,1	28,4	79	3,7	28,9
Põlvamaa	45	3,3	26,2	54	4,0	32,5	57	3,7	30,9	71	4,1	30,0	80	4,4	32,5
Pärnumaa	68	4,1	24,4	68	3,6	22,6	87	3,9	25,9	90	4,1	25,3	101	4,3	29,6
Raplamaa	64	4,5	29,2	81	4,5	35,7	107	5,9	42,7	98	4,8	33,1	100	5,1	32,4
Saaremaa	63	4,9	33,1	70	4,2	27,4	66	3,7	30,8	88	4,5	32,1	105	4,9	31,6
Tartumaa	59	3,5	18,4	60	3,0	20,6	66	2,8	17,6	85	3,3	19,8	98	3,9	25,4
Valgamaa	54	4,3	24,1	57	3,6	20,1	66	4,5	27,6	70	4,2	28,0	95	4,6	30,5
Viljandimaa	59	4,1	28,1	62	3,8	27,3	74	4,1	33,8	82	4,1	31,4	93	4,5	32,7
Võrumaa	49	3,3	18,9	58	3,7	23,3	61	3,6	26,4	67	3,6	26,9	79	4,2	25,9
Keskmine	56	3,2	16,5	60	2,9	17,6	68	3,2	19,7	76	3,3	19,6	88	3,7	21,9

Tabel 4. Elanike kulutused soojusele ning nende osakaal väljaminekus ja eluasemekuludes maakondade lõikes perioodil 1999–2003 (leibkonnaliikme kohta kuukeskmisena)

Table 4. Household expenditure on heat and its share in total and dwelling expenditure by counties in 1999–2003 (monthly average per household member)

Maakonnad	1999			2000			2001			2002			2003		
	Kulutused soojusele, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused soojusele, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused soojusele, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused soojusele, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %		Kulutused soojusele, kr	Osakaal väljaminekus ja eluasemekulus, %	
Harjumaa	101	4,5	21,8	93	3,5	20,4	102	3,9	23,4	111	3,9	22,2	120	4,2	23,6
sh Tallinn	107	4,6	21,4	99	3,7	20,5	111	4,2	23,7	119	4,2	22,0	136	4,7	24,3
sh Harju (Tallinnata)	81	4,1	23,6	73	2,8	19,9	72	3,0	21,6	83	3,1	23,1	67	2,5	19,2
Hiiumaa	19	1,3	9,3	26	1,5	10,5	20	1,2	9,1	20	1,0	8,3	17	0,9	6,5
Ida-Virumaa	96	7,3	32,3	95	6,4	33,1	96	6,1	32,1	120	7,5	36,1	116	6,9	32,3
Jõgevamaa	37	2,9	20,8	30	2,0	14,1	46	3,1	18,7	36	2,4	16,1	51	2,7	16,2
Järvamaa	52	3,9	23,9	60	3,3	21,0	61	3,0	22,6	48	2,5	18,4	70	3,2	19,2
Läänemaa	55	3,5	19,4	57	3,4	22,3	57	3,2	19,5	58	3,0	18,1	59	2,4	16,4
Lääne-Virumaa	63	4,5	26,3	53	2,8	17,4	52	2,7	18,0	59	2,9	20,2	48	2,2	17,6
Põlvamaa	41	3,0	23,9	28	2,1	16,9	29	1,9	15,7	26	1,5	11,0	32	1,8	13,0
Pärnumaa	35	2,1	12,6	38	2,0	12,6	45	2,0	13,4	53	2,4	14,9	50	2,1	14,6
Raplamaa	47	3,3	21,5	33	1,8	14,6	28	1,5	11,2	51	2,5	17,2	43	2,2	13,9
Saaremaa	29	2,2	15,2	27	1,6	10,6	27	1,5	12,6	39	2,0	14,2	52	2,4	15,7
Tartumaa	66	3,9	20,5	57	2,8	19,6	68	2,9	18,1	63	2,5	14,7	72	2,9	18,7
Valgamaa	46	3,7	20,5	64	4,1	22,5	52	3,5	21,8	49	2,9	19,6	73	3,5	23,4
Viljandimaa	35	2,4	16,7	31	1,9	13,6	32	1,8	14,6	42	2,1	16,1	41	2,0	14,4
Võrumaa	55	3,7	21,2	40	2,5	16,1	46	2,7	19,9	44	2,4	17,7	52	2,8	17,1
Keskmine	75	4,3	22,2	70	3,4	20,5	75	3,5	21,7	83	3,6	21,4	88	3,7	21,9

perioodi kohta tervikuna ligi 30%, samal ajal kui maagaas on kallinenud vastavalt 9,8% ja raske kütteõli 7,5%. See on ilmne märk nõudluse suurenemisest puitkütuste ressursi piiratuse juures. Selle ressursi hindamise olulisusele on tähelepanu juhitud juba artiklis (Muiste ja Kask, 2000).

Tabel 5. Eluasemekulude struktuur 2003, %

Table 5. Structure of dwelling expenditure in 2003, %

Kulutused	Soome	Eesti
ELUASEMEKULU KOKKU	100	100
sh tegelik üür	34,2	6,0
arvestuslik üür	34,6	0
hooldus ja remont	5,5	16,6
vesi jm teenused, gaas jm kütused ning soojusenergia	16,6	55,5
elekter	9,1	21,9

Allikad: (Leibkonna ..., 2004; <http://www.tilastokeskus.fi> ...).

Tabel 6. Katlakütuste keskmised hinnad (käibemaksuta) elektri ja/või soojuse tootmise ettevõtetes, kr/MW·h

Table 6. Average prices (excl. VAT) of boiler fuels in power and boiler plants, EEK/MW·h

Kütus	Hind				Muutus
	2001	2002	2003	2004	2004/2001
Kivisüsi	119,4	124,4	122,7	124,9	+4,6%
Tükkurvas	78,4	87,5	91,9	99,0	+26,2%
Turbabrikett	129,4	158,5	171,7	184,5	+42,6%
Küttepuud	89,0	102,2	119,9	122,8	+38,0%
Puiduhake	77,8	85,7	92,9	101,1	+29,9%
Maagaas	121,6	148,2	152,9	133,5	+9,8%
Raske kütteõli	157,8	157,3	165,9	169,6	+7,5%
Põlevkiviõli	169,4	166,2	176,4	177,1	+4,5%
Kerge kütteõli	403,1	357,1	383,9	391,4	-2,9%

Allikas: (Eesti ..., 2003).

Kokkuvõte

- Läbiviidud analüüs näitab, et kulutused elektrile ja soojusele kokku moodustavad vaadeldavatel aastatel arvestatava osa eluasemekuludest – keskmiselt 40–44%. Nende kulude osakaal elanike kogu rahalises väljaminekus kõigub aga 7–7,5% piirima. Väiksemate sissetulekutega elanikegruppides (esimestes tuludetsiilides) ja maakondades moodustavad kulutused elektrile ja soojusele kokku üle 50% eluasemekuludest ja ligi 10% koguväljaminekutest. Neid elanikegruppe mõjutab kõige rohkem ka jätkuv elektrienergia ja

kaugküttesoojuse hindade tõus (soojuse osas ka käibemaksu tõus 18%-le 1. juulist 2007. a).

- Elanike kulutused energiale ongi suurel määral sõltuvad elektrienergia ja soojuse hindade arengust. Elektrienergia hind on pidevalt olnud riiklikult reguleeritav ja seetõttu on senise dünaamika kohta täpne informatsioon olemas. Elektri kodutarbija tariif on vaadeldaval perioodil tõusnud 1,4 korda, reaalhind *THI* tõusu arvestades aga 1,26 korda. Soojuse hindade regulatsiooni on korduvalt muudetud: 1998. aastani oli see kohalike omavalitsuste korraldada. 1998. a kuni 17. maini 2001 pidid kõik soojust müüvad ettevõtted kooskõlastama hinnamuudatused *ETI*-s. Pärast 17. 05. 2001 kehtib see ainult üle 50 000 MW·h soojusenergiat majandusaastas müüvatele tootjatele. Seepärast pole soojuse hindade kohta võimalik saada täpset ja terviklikku ülevaadet. Siiski on aasta-aastalt täienemas soojuse tootjate poolne andmebaas, mida korraldab *Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing*. 2004. aastal oli võimalik kasutada juba 79 soojusettevõtte andmeid.
- Üheks energiakulutuste vähendamise võimaluseks elanike väljaminekutes on energia säästmise kõrval odavamate kohalike kütuste, sh taastuvate suurem kasutuselevõtt, eeskätt soojuse tootmisel. Soojuse hindade analüüs EJKÜ andmebaasi alusel näitab, et puidu, hakkpuidu, saepuru ja mõnel juhul ka turba baasil toodetud soojus on üldjuhul odavam kui kütteõlide ning isegi maagaasi baasil toodetud soojus. Arvestades importkütuste maailmaturuhindade pidevat tõusu, tuleb taastuvkütuste kasutamist soojuse tootmiseks kindlasti soodustada ja taastuenergia osatähtsust suurenda. Taastuvkütuste kasutamisel lisandub ka täiendav otsene efekt saastetasude kokkuhoiust – eeskätt õhusaaste tunduvalt vähenemisest, samuti täiendav makromajanduslik efekt, mis tuleneb importkütuste vajaduse vähenemisest.
- Samal ajal on murettekitav puitkütuste ja küteturba hindade eeldatust märksa kiirem kasv viimastel aastatel, mille peamiseks põhjuseks on tugevnev ekspordisurve nendele energiaressurssidele. See võib ohtu seada juba käivitunud projektide või taastuvkütustele üleviidud energiaettevõtete majandamise ja takistada taastuvkütuste kasutamise edasist suurendamist. Ilmselt on aeg mõelda ka riikliku regulatsiooni rakendamisele kõnealuses valdkonnas.

Tänuavaldus

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

KirjandusReferences

1. Leibkonna elujärg 2003 (2004) Aastakogumik. Eesti Statistikaamet. Tallinn: 160.
2. Muiste, P., Kask, Ü. (2000) Biomass – biokütus – bioenergia – puitkütus. Esimese konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 60–65.

3. Tenno, K., Laur, A. (2000) Eesti regionaalne sotsiaalmajanduslik areng ja energiaressursside kasutamine. TTÜ Eesti Majanduse Instituut. Preprint 59. Tallinn: 50.
4. Eesti Energeetika 2003 (2004) Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. Tallinn: 116. <http://www.mkm.ee/index.php?id=1787>.
5. <http://www.tilastokeskus.fi/til/khi/>

ENERGY EXPENSES IN HOUSEHOLD EXPENDITURE

Anton Laur and Koidu Tenno

Centre for Economic Research at Tallinn University of Technology
e-mail: antonl@tami.ee, koidut@tami.ee

Abstract

This article provides analysis' results on energy expenses in expenditure per household member and in dwelling expenditure in Estonia during 1999–2003. The analysis was conducted across household income groups (income deciles) and across regions (counties). Estonia's data have been compared to Finland's respective indicators. The price dynamics of fuels used in energy enterprises in the period 2001–2004 have also been analysed, with the main focus on fuel wood and peat price trends.

EMISSIOONIKAUBANDUS JA ENERGEETIKA

Ülo Mets

AS Enprima Estivo, Väike-Ameerika 8 – 303, 10129 Tallinn
e-post: Ulo.Mets@enprima.com

Annotatsioon

Artiklis antakse ülevaade 2005. a käivituva emissioonikaubanduse eeldatavast arengust ja probleemidest, eriti tema mõjust energiasektori arengule.

EMISSIOONIKAUBANDUS, EESMÄRGID, SAASTEKVOODID, JAOTUSKAVAD, EESTI ETTEVÕTTED, CO₂ TONNIHINNAD, EL MÕJU, TURU VÕIMALUSED, MEETMED

Kasutatud lühendid

ETS – *Emission Trading Scheme* – emissioonikaubanduse süsteem;

KHG – kasvuhoonegaas;

CO₂ – süsinikdioksiid, süsihappegaas, levinuim kasvuhoonegaas;

NAP – *National Allocation Plan* – rahvuslik (riiklik) jaotuskava;

Kyoto – ülemaailmse kliimakonverentsi toimumiskoht, kus riigid võtsid endale KHG vähendamise kohustused;

EU – *European Union* – Euroopa Liit;

EL – Euroopa Liit;

JI – *Joint Implementation* – ühisrakendusprojekt (projekt, milles esmakordselt kasutati rahalist toetust emissioonide müügist).

Emissioonikaubandus käivitub 2005. aastast

Vastavalt Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiivile 2003/87/EÜ kasvuhoonegaaside lubatud heitkogustega kauplemise skeemi loomise kohta käivitub alates 1. jaanuarist 2005. a üle Euroopa (ja hiljem üle maailma) CO₂ emissioonikaubanduse süsteem ETS. ETS-i eesmärk on viia energiakasutuses jäikade turumeetmetega tõhusale fossiilkütuste kokkuhoiule ning taastuvenergia osakaalu suurendamisele kõikides riikides. CO₂ heitkogused muutuvad tõsiselt võetavaks kaubaks nii ettevõttele, riigile kui ka riikide vahel. Euroopa Liidu lubatud kasvuhoonegaaside heitkogustega kauplemise skeemi eesmärk on ÜRO kliimamuutuste raamkonventsioonist ja selle Kyoto protokolliga sätestatud sihtarvudest tulenevalt saavutada kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamine vähimate rahaliste kulutustega.

ETS näeb ette igale ettevõttele, mille põletusseadmete võimsus on üle 20 MW, kindlad lubatud CO₂ heitkogused. Eesti lubatud heitkogused on kinnitatud kasvuhoonegaaside lubatud heitkoguste Eesti riiklikus jaotuskavas aastateks 2005–2007, mis on tänaseks Euroopa Komisjoni poolt kinnitatud. Eestis on vastavaid ettevõtteid (sh paljude põletusseadmetega kontserne) 43.

Seega on Eesti võtnud endale range KHG vähendamise kohustuse, mis meenutab omaaegset plaanimajandust. Seda küll pahupidisel kujul, sest nüüd on plaani ületamine ehk initsiatiiv karistatav. Oleme võtnud need kohustused, vaatamata sellele, et Kyoto nõuded on Eestil juba praegu mitmekordselt täidetud!

Lihtsustatult tähendab ETS seda, et kui ettevõtte põletab rohkem kütust ja emiteerib rohkem CO₂ kui jaotuskavas määratletud, tuleb lubatud heitkoguseid juurde osta. Kui aga kütust kulub vähem, on võimalik selle läbi säästetud heitkoguseid müüa. CO₂ tonni hind kujuneb turul nõudmise-pakkumise alusel. Ettevõttel on õigus kokkuhoitud CO₂ tonne ka mitte müüa (näiteks kui hind on madal), vaid säilitada reservina järgmiseks aastaks. Lubatud heitkoguse ületamisel on aga heitmelubade hankimine kohustuslik. Kui lubatud heitkoguseid jääb puudu, tuleb neid turult juurde osta sel ajal kehtiva tonnihinnaga või maksta direktiiviga ettenähtud trahvi 40 eurot/tonn alates 1. jaanuarist 2005 ja 100 eurot/tonn alates 1. jaanuarist 2008.

Eesti jaotuskava

Eesti jaotuskava 43 ettevõttele on koostatud ajalooliste heitmete trendimeetodiga, arvestades tootmist ja ettevõtte arengut. Jaotuskava on kinnitatud esimeseks kauplemisperioodiks aastateks 2005–2007. Koostamise põhimõtte ning juurutamise perioodi tõttu on esialgne jaotuskava Eesti ettevõtetele üpris paindlik ning soodne. See tähendab, et küllalt tõenäoselt jääb enamikul Eesti ettevõttele CO₂ tonne üle. Vaevalt selline lõtv plaan sunnib oluliselt kütust säästma, kui vaid ei kannusta lootus teenida kõvasti lisavahendeid emissioonikvootide müügist.

Teenimisvõimalus on aktuaalne ainult 1. kauplemisperioodil, sest pole mingit kahtlust, et järgmine jaotuskava aastateks 2008–2012 tuleb märksa jäigem. Vastasel korral puudub kogu ETS-il mõte.

Vanadele EL riikidele, kellest enamikul on raskusi Kyoto kohustuste täitmisega, on juba 1. kauplemisperioodil kehtestatud karmid ülesanded. See sunnib ettevõtteid mõtlema süsinikule igas oma äritegevuse aspektis.

Eesti nimestikus toodud 43 firmast on valdav osa elektri ning soojuste tootjad. Tööstusettevõttest on nimestikus energiamahukad ettevõtted, mille tootmisprotsesside tarbeks on vajalik hulgaliselt energiat.

Tabelis 1 on Eesti ettevõtted järjestatud CO₂ heitmete mahu järgi, samuti omandivormi alusel. Sel juhul saame Eesti jaotuskavaga hõlmatud omanikfirmade arvuks vaid 26. Neist 10 firmat on energialiikide tootjad ning 16 tööstusettevõtet.

Tabelis 1 toodud koondarvule lisandub uute sisenejate jaoks riiklik reserv 1 943 373 tonni ehk 3%. Seda arvestades oli Eesti kogutaotlus 1. kauplemisperioodiks 64,779 mln tonni CO₂.

Kuid Euroopa komisjoni nõudel tuleb Eestil oma esialgset taotlust 12,5% ulatuses (8,1 mln tonni võrra) vähendada. Sel juhul jääb 1. kauplemisperioodi summaarseks koguseks ligi 56,8 mln tonni ehk keskmiselt 18,93 mln tonni aastas.

Võrreldes 2003. a tegeliku näitajaga, on ka see keskmine number ligi 37% võrra suurem. See tähendab, et keskmiselt peaks igal Eesti firmal tekkima emissioonikvoodi müügi võimalusi.

Tabel 1 Eesti ettevõtete CO₂ jaotuskava koondtabel

Table 1. National allocation plan of CO₂ quotas for Estonian enterprises

Nr	Omanik	Tootmisüksus	Põhiline tegevusala	Esimene kauplemis-periood (2005. a), tuh tonni	2003. a tegelikud heitmed, tuh tonni	Periood 2005–2007 kokku (vana NAP), tuh tonni
A	B	C	D	E	F	G
1	AS Eesti Energia	Balti Elektriijaam	Elektri ja soojuste tootmine	3784,483	3025,6	53 922
		Eesti Elektriijaam		10 807,885	8169,5	
		AS Iru Elektriijaam		536,418	403,2	
		AS Kohtla-Järve Elektriijaam		227,735	101,5	
		AS Ahtme Elektriijaam		275,383	209,6	
2	Heidelberg Cement Group ja CRH	AS Kunda Nordic Tsement	Tsemendi tootmine	770,921	664	2663
3	Dalkia	AS Eraküte Haapsalu osakond	Soojuste tootmine	31,091	10,028	1612
		AS Eraküte Keila osakond		22,981	6,216	
		AS Eraküte Jõgeva osakond		7,504	7,174	
		Tartu Tulbi katlamaja		7,841	5,645	
		Tartu Aardla katlamaja		3,470	1,394	
		Tartu Tuglase katlamaja		4,725	4,365	
		AS Eraküte Valga osakond		14,566	8,871	
		Mustamäe katlamaja		186,500	104	
		Kadaka katlamaja		136,967	82,500	
		Ülemiste katlamaja		111,108	5,200	
4	Fortum Oy	Fortum Termest AS Kirde-Eesti piirkond	Soojuste tootmine	213,767	160	707

A	B	C	D	E	F	G
5	AS Fortum Tartu	Anne katlamaja	Soojuse tootmine	51,567	30,584	517
		Ropka katlamaja		16,767	5,467	
		Turu katlamaja		75,600	29,910	
6	AS Silmet Group	AS Sillamäe SEJ	Soojuse tootmine	193,356	187,997	504
7	T.R. Tamme Auto OÜ	Kiviõli Keemia- tööstuse OÜ	Pölevkivi töötlemine	131,010	112,536	475
8	Viru Keemia Grupp AS	Viru Õlitööstus AS	Pölevkivi töötlemine ja -keemia	137,163	63,4	426
9	Tolaram Investments Ltd	Horizon Tselluloosi ja Paberi AS	Paber, kartong, tselluloos	73,500	64,137	235
10	Nordkalk Holding OY	AS Nordkalk	Paekivi- ja dolomiidi- tooted	54,019	33,988	216
11	Vapo OÜ	Tootsi Turvas AS	Turba- tooted	67,282	63,728	208
12	Optiroc OY	Optiroc AS tehas Fibo ExClay	Ehitus- materjalid, ehitus- kruus	48,680	41,004	203
13	Vattenfall Estonia	Pärnu katlamaja	Soojuse tootmine	42,771	40,814	187
		Tervise katlamaja		17,936	11,224	
14	Turbatooted OÜ 75% ja 25% väike- aktsionärid	Sangla Turvas AS	Turba- tooted (brikett)	39,192	23,012	122
15	Owens- Illinois	Järvakandi Klaas AS	Klaasi- tooted	35,933	32,624	116
16	Kuressaare linna- valitsus	Kuressaare Soojus AS	Soojuse tootmine	32,854	8,025	99
17	AS Esro (Eraaktsio- närid), Viljandi	AS Esro Männimäe katlamaja	Soojuse tootmine	10,919	2,431	98
		Jämejala katlamaja		21,412	8,945	
18	Larvik Cell Holding AS	AS Estonian Cell	Haavapuu tselluloosi tehas	9,100		97, alustab toot- mist 2005. a lõpus
19	Võru linn	Võru Soojus AS	Soojuse tootmine	28,912		89

A	B	C	D	E	F	G
20	TransKullo 50%, Royal Vopak 50%	AS Pakterminal	Õlitoodete laadimine ja vedu	26,753	13,524	81
21	Sorbes AG	Repo Vabrikud AS	Soojuse tootmine	20,641	16,046	63
22	Borås Wäfveri AB	Kreenholmi Valduse AS	Tekstiili- tooted	15,645	13,935	48
23	AS Step Forward	Tallinna Vineeri- ja Mööbli- kombinaadi AS	Vineeri ja mööbli tootmine	12,173	7,903	44
24	Saaremaa Liha- ja Piimaühistu	AS Saaremaa Liha- ja Piimatööstus	Liha- ja piima- tooted	13,699	8,848	42
25	Wienenber- ger AG	Aseri tellisetehas	Telliste tootmine	9,129	7,658	34
26	AS Eesti Ehitus	AS Aspi	Teedeahi- tus, asfaldi tootmine	4,589	3,885	15
	Kokku			18 333,947	13 800,418	62 823

Firmade osakaal

Tegelikult langeb emissioonikvoodist ligikaudu 48,733 mln tonni ehk 85,8% Eesti Energia osaks (koos eeldatava vähendamisega).

Suuruselt teine emissioonikvoot on ettevõttel Kunda Nordic Cement, esialgses taotluses 2,663 mln tonni. Kui toimub proportsionaalne vähendamine 12,5% võrra, jääks selle firma esimese arvestusperioodi kvoodiks 2,33 mln tonni.

Soojatootja Dalkia (sh AS Tallinna Küte) kvoot tuleb umbes 1,41 mln tonni, arvestades vähendamist.

Järgnevad Fortumi soojatootjad (Virumaa ja Tartu), mille kvoodid jäävad juba tunduvalt alla 1 miljoni tonni aastas.

Emissioonikvoodi hind

Ühe tonni CO₂ hind kujuneb turul ning seal määrab hinna nõudmise/pakkumise vahekord. Praegu on nii, et potentsiaalsed ostjad on lääneriigid, kelle jaotuskavad (NAP) on juba praegu koostatud küllalt jäigalt (neil riikidel on suuri raskusi Kyoto-kohustuste täitmisega). Potentsiaalsed pakkujad on aga uued EL liikmesriigid, kellest kõigil (va Sloveenia) on Kyoto-kohustused juba (osal kuhjaga) täidetud ja seetõttu loogiliselt piisavalt vabu emissioonikvooote müügiks.

Seetõttu on hinna kohta palju vastakaid arvamusi. Süsteemi käivitamisel oldi hurraa-optimistid ning jutt käis vahemikust 15–25 eurot/tonn. Nüüd kaalutakse asja kaine-
malt ja hinnavaheks pakutakse 6,4–13,4 eurot tonni eest. Viimase aja sündmused (Venemaa liitumine Kyoto lepinguga koos tohutu hulga vaba kvoodi olemasoluga) on mõjutanud hinda veelgi madalamas suunas, räägitakse hinnast

mitte üle 5 euro tonni eest. Selle lähedane on olnud keskmine hind ka Eestis juba evitatud ühiskondusprojektides.

Igas riigis tekivad erinevad hinnad, olenevalt Kyoto-kohustuste ja NAP suurusest, kütuste segu keskmisest süsinikusisaldusest, naaberriikidega energiavahetuse määra, kliima iseärasustest (nt veevaesel ajal tuleb puudujääv hüdroenergia katta söe energiaga), informatsioonist järgnevate aastate jaotuskvootide kohta jne.

Võimalused

Kui oletada, et esimesel kauplemisaastal õnnestub Eesti ETS-i ühinenud firmadel kütust (ja CO₂) 5% kokku hoida, siis suhteliselt konservatiivse hinna 5 eurot/tonn puhul võiks toodud Eesti firmad emissioonikvootide müügist teenida järgnevalt (vt tabel 2).

*Tabel 2. Mõnede ettevõtete eeldatav emissioonikvootide müügitulu 5% CO₂ heitmete vähendamise puhul**

Table 2. Expected additional income from the sale of emission quotas of some enterprises due to CO₂ emission reduction by 5%

Firma	Kokkuhoitav CO ₂ kogus (5%), 2005. a, tonni	Emissioonikvootide eeldatav müügitulu 2005. a	
		euro/a	kr/a
Eesti Energia	812 216	4 061 083	63 541 334
Kunda Nordic Cement	38 800	194 000	3 035 401
Dalkia	23 500	117 500	1 838 452
Fortum Termest	10 310	51 550	806 572
Fortum Tartu	7 539	37 698	589 836
Viru Keemia Grupp	6 212	31 062	486 016
Tootsi Turvas	3 033	15 166	237 303
Vattenfall Estonia (Pärnu Soojus)	2 727	13 635	213 345
Kuressaare Soojus	1 443	7219	112 947

* Arvestatud on võrdset 12,5% kvoodi vähendamist, võrdset jaotust aastate vahel ning hinda 5 eurot tonni CO₂ eest.

Näitlikust tabelist 2 näeme, et:

- emissioonikaubandus võimaldab teenida küllalt kaalukaid vahendeid, et investeerida edasisteks säästuüritusteks;
- praeguse jaotuskava põhjal võib säästu saavutada isegi mingeid meetmeid juurutamata;
- soe aasta (eriti kütteperiood) võib võimaldada soojatootjatel saavutada kuni 20–25% kütuse säästu;
- eriti külma talve puhul võib kütust kuluda plaanitud kuni 25% rohkem, mistõttu võidakse hätta jääda juba praeguse jaotuskvoodi piires;
- seetõttu oleks lühinägelik kõik säästetud kvoodid kohe ära müüa; neid on võimalik üle kanda ka järgmisele aastale;

- kvoote on mõtet ka hoida, selleks et paari aastaga saada kaalukam investeerin-gutoetus või et müüa kvoote siis, kui hind on soodsaim.

Siin on mõtlemisainet palju, eriti kui arvestada, et tonni CO₂ hind ei ole jääv, vaid suuresti muutuv suurus. Hinda mõjutab enim see, mis toimub teistes EL riikides, seetõttu oleks vajalik vaadelda ka neid asjaolusid.

ETS mõju Euroopa energiafirmadele

Energiasektor hõlmab 55% kogu EL ETS süsteemist, mistõttu see sektor on suurima löögi all. Suur osa neist pole oma strateegiat vastavalt ETS nõuetele veel korrigeerinud. Usutakse, et ETS suurendab firma aktsiaväärtust, ning osa usub ka pikaajalise tulukuse paranemisse.

Pole kahtlust, et ETS mõjutab enim investeringute planeerimist. ETS julgustab vähemate heitmetega kütuste kasutamist või taastuenergia investeringuid, kuid pole sugugi selge, kui kiiresti neid evitatakse.

Energiainvesteringud on väga pikaajalised kohustused, siin on vaja arvestada tervet rida põhjendusi ja kompleksseid mõjutusi ning ei saa lähtuda vaid süsi/gaas võrdlusest või süsinikutonni hinnast. Lisaks muutub süsinikutonni hind pidevalt, samuti ostuvõimalus järgnevatel aastatel. Nii ebakindlale muutujale ei saa investeringuplaane rajada.

On ilmne, et looduslik gaas (maagaas) ning taastuvad kütused ja energiad saavad prioriteedi, kuid süsiniku ETS pole siin ainus muutuste põhjustaja.

Näiteks suurte söejaamade (ka põlevkivi) puhul mängivad võrdselt tähtsat rolli nii ETS kui ka EL suurte põletusseadmete direktiiv 2001/80/EÜ.

Suund maagaasile ning taastuenergiatele sõltub kütuste kättesaadavuse pikaajalisest perspektiivist, kõigi kütuste (primaarenergia) hinnast ning süsiniku hinnast, täpselt samuti kapitali erikulist tootmisühikule erinevate kütuste puhul, sh uutele tehnoloogiatele, riikides valitsevast regulatsioonist ning ajakulust projektide ettevalmistusele ja planeerimisele.

Suurima löögi alla satuvad võimsad moodsad ülekriitiliste parameetritega söe-elektrijaamad, mida on raske või võimatu teistele kütustele rekonstrueerida.

On väheusutav, et nende jaamade rekonstrueerimisele niipea mõeldakse. Oletades, et minnakse üle söelt gaasile, saavutatakse (elektritootmise kasuteguril 35%) iga toodetud MW·h elektri kohta 0,4 tonni CO₂ kokkuhoidu. See teeb 2 eurot (lähtudes hinnast 5 eurot CO₂ tonn) ehk 30 kr/MW·h_e. Seda juhul, kui kogu tootmine viia gaasile. Kuid kuna gaaskütus on kivisöest vähemalt 2 korda kallim, võivad need söejaamad rahulikult söeelektrit edasi toota, ostes vajalikud CO₂ tonnid juurde.

On olemas ka esimesed tehnilised lahendused CO₂ eemaldamiseks põlemisgaasidest. Praegu see liigse kalliduse tõttu veel kaalumisele ei tuleks, kuid tulevikus oleks üheks lahenduseks. See mõjutaks ka oluliselt emissioonikvootide turuhindu.

Lahenduseks oleks ka tuumaelektri suurem kasutuselevõtt, kuigi avalikkuse vastuseis sellele on suur.

Loomulikult tõstaks kõik need meetmed ja investeeringud väljastatava elektri hinda, kuigi esialgu üpris minimaalselt. ETS arenedes on siiski ennustatud (PricewaterhouseCoopersi analüüsi põhjal), et sellega kaasneb elektri 20–25% hinnatõus, mis põhiliselt tabab elektri lõpptarbijat. See omakorda tõstab kõigi tootmissaaduste hindu, vähendab riigi konkurentsivõimet ning tekitab elanikes tugevat protesti, mille juures ei saa ei valitsused ega tururegulaatorid passiivseks jääda.

Meetmed

Selleks, et ETS ei hakkaks ettevõtete arengut pidurdama, tuleb neil osutada palju suuremat tähelepanu energia senisest efektiivsemale kasutamisele. See tähendab:

- kütuste koguste mõõtmist ja arveldamist ning kütteväärtuse täpsemat määramist;
- põletusseadmete efektiivsuse tõstmist;
- energiasäästu meetmete väljatöötamist ja juurutamist, sh energiasäästlikuma tootmistehnoloogia evitamist;
- taastuvate energiaallikate kasutamist;
- kindla ja toimiva CO₂ seiresüsteemi juurutamist ning pidamist.

Siinjuures on oluline roll energia-konsultatsioonifirmadel, kes võivad olla abiks ka CO₂ kaubanduse organiseerimisel (emissioonide arvutused, riskide hinnang, parima hinnaga ostjate leidmine, ostu-müügi lepingute vormistus koos juriidilise poole korraldusega, emissioonide monitooring ja tõendamine jne).

Kokkuvõtteks

Emissioonikaubandusest ei saa enam üle ega ümber ning varem või hiljem muutub see iga jaotuskavaga haaratud suurema Eesti firma strateegiliste otsuste ja plaanide lahutamatuks koostisosaks.

ETS plaanimajanduslik iseloom peaks ettevõtteid sundima mõningasele ettevaatusele. On väga tõenäoline, et teise arvestusperioodi (alates 2008. a) jaotuskavad arvatatakse 2005.–2007. a tegelike kütusekulude alusel. Siis tõuseb ETSi tähtsus ja mõju märgatavalt.

EMISSION TRADING AND ENERGY

Ülo Mets

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

Abstract

In hereby article the overview of the Estonian Emission Trading Scheme (ETS) is presented, which starts from January 2005. The Estonian National Allocation Plan has been drawn up and the role and opportunities of the most important players assessed. The potential problems linked with the ETS introduction and development have been discussed, as well as the influence on the energy sector, including energy pricing. The possible market prices of ERU-s have also been assessed as a driving tool for energy sector reconstruction. It was found that ETS role for the first period (until 2008) is rather over-estimated, there are other circumstances like development of fuel prices, national energy politics, EU LCP Directive and other directives for energy sector, which would obviously play a more important role for decision makers. But the ETS will start and after a short introduction period this will become a key element in strategic planning for any biggest enterprise involved in NAP. The importance of energy efficiency and energy conservation measures, as well as introduction of renewable energy should increase remarkably.

MTÜ EESTI VESKIVARAMU KOKKUTULEK KUNDAS

Mae Juske, Katrin Poell, Anto Juske, Peep Tobreluts ja Meelis Parijõgi

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

Annotatsioon

2003. aastal loodud MTÜl Eesti Veskiaramu on saamas tavaks igasuvised kokkutulekud erinevates Eesti veskites, kus kuulatakse veskitega seotud erinevaid ettekandeid, arutletakse oluliste probleemide üle. Järgnevalt on ära toodud 2004. aasta 1. augustil Kunda Linnuse veskikompleksis toimunud V kokkutulekul käsitletud olulisemad teemad ja 27 allkirjaga pöördumine Riigikogu keskkonnakomisjoni poole looduskaitseaduse §51 muutmiseks.

KOKKUTULEK, VESIVESKID, VEE ERIKASUTUSLUBA, LOODUSKAITSE

Sissejuhatus

MTÜ Eesti Veskiaramu 2004. aasta kokkutulek toimus 1. augustil Kunda lähedal Linnuse veskis, mida praegu taastatakse. Kokkutuleku eesmärgiks oli läbi arutada möödunud tegevusaasta tulemused ja otsida võimalusi ning lahendusi edukaks eelseisvaks tegevuseks. Oluline oli kogemuste vahetamine ja isiklike sidemete loomine kokkutulnute vahel. Üritusel kuulati mitmeid sõnavõtte, mille peamised seisukohad toome edaspidi. Arutati ka looduskaitseaduse §51 muutmise vajadust ja koostati vastav ettepanek Riigikogu keskkonnakomisjonile. Selle tekst on käesolevas artiklis ära toodud.



Joonis 1. Kunda vesiveski aastal 1926
Figure 1. Water-mill at Kunda, 1926

Ettekanded

Tanel Lukason (Rõuge Energiapark) kirjeldas Rõuge Energiarada ning selle objekte. 20. sajandi esimesel poolel oli Rõuge vallas kasutuses 22 jõuastet vesiveskite ja veejõujaamadena ning nendest töötab praegu 5 (Kaku, Rõuge Alaveski, Johanson, Saarlase, Raudsepa (jahuveski)). SA Rõuge Energiakeskus avaldas augustis "Hüdroelektrijaama rajaja käsiraamatu", mida tasuta jaotatakse. Kontakt: tanlux@ut.ee. Rõuge valla probleemiks on Pärlijõgi. Põhjuseks Natura 2000 ning uue keskkonnaministri määruse "Lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistu" poolt seatud paisutuspiirang, mistõttu mitmete veskite taastamine on küsitav, samas näiteks Saarlase veski, mis asub sama piiranguga jõel, sai siiski varem vee erikasutusloa kätte.

Arvo Järvet (Tartu Ülikool) käsitles veskipaisude ja paisjärvede taastamise küsimusi veemajanduskava koostamisel. Esineja selgitas mõiste "hüdroloogiline režiim" erinevaid käsitusvõimalusi, sh veemajanduse aspektist. Eristada tuleb

- a) veetaseme režiimi, mille muutused seoses paisutamise ja võivad olla olulised, ning
- b) äravoolurežiimi, millele mõju saab olla minimaalne, juhul kui ei rakendata läbivoolu täielikku sulgemist.

Paisutamise aspektid veemajanduse tervikkontekstis pole esineja sõnul senini piisavalt tähelepanu pälvinud, kalastiku kaitse aspekt on ülevõimendatud ning vajaliku tähelepanuta jäetud vee paisutamise ja veskikomplekside arhitektuursed, kultuurilised ja sotsiaalsed funktsioonid. Esineja rõhutas, et nüansse pole võimalik seaduses standardiseerida ning tõi välja loodukaitseseaduse § 51 sisalduvad vastuolud.

1. Ei arvestata vooluveekogude olemasolevat fragmenteeritust – ühe paisu (sh koprapaisu) olemasolul pole kalade rände seisukohalt järgnevate paisude olemasolu kuigivõrd määrav. Samas pole välja töötatud optimaalseid koprapaisude likvideerimise tehnoloogilisi lahendusi ja jõgede sängide korrastamist pole ette võetud. Tulemuseks on Eesti vooluveekogude äärmiselt suur risustumine ja see suureneb iga aastaga.
2. § 51 lõige 1 keelab paisutamist, samas kui lõige 2 sätestab parima lahenduse leidmise vajalikkuse (mis ei pruugi olla paisutamise keelamine). Lahenduseks peaks olema kompleksne keskkonnamõju hindamine koos äravoolu reguleerimise skeemi analüüsiga, milles arvestatakse ka veskite ja veskikohtade teisi väärtusi ning sotsiaalset tähtsust.
3. Natura 2000 hoiualadega piirnevate kinnistute omanikele on pandud riigi poolt täiendavad kohustused (nt keskkonnamõjude hindamine) ilma kompensatsioonivõimaluse taotluseta, mis on sotsiaalselt ja majanduslikult ebaõiglane.
4. Ebaselge on, kuidas saab lahendada näiteks ühel ja samal jõel kopra, saarma ning kaitsealuste kalaliikide kaitset, lähtudes liigispetsiifilistest teguritest. Kas kalastiku kaitseks tehtavad kulutused ei ole näiteks vaadeldavad kui saarma toidubaasi täiendamine. Koprapaisud endiste veskipaisude asukohas kujutavad suuremad tõkkeid kalade liikumisel kui mis tahes ajutiselt avatav veskipais.

Ants Saks (Eesti Veejõud) selgitas Saksamaa ja Prantsusmaa kogemusi väikeste veejõujaamade kasutamisel. Esineja kirjeldas oma kogemusi kalarände probleemidega seotud õppereisilt, mis toimus käesoleval aastal koos Keskkonnaministeeriumi esindajatega.

1. Kuigi parim on looduslik kalapääs, ei ole võimalik väita, et tehnilised pääsud olukorda ei lahenda – tutvuti töötavate variantidega.
2. Kaasaegsed turbiinid võimaldavad hoida veetaset sellisena, et paisutus ei uputaks kudealasid.
3. Euroopas kehtivad niinimetatud vanad veeload, sh sellised, mis on välja antud 50–60 aastat tagasi. Esineja soovitas üritada ka Eestis taastada praktika, mille kohaselt loetakse kehtivaks eelmise vabariigi ajal välja antud veepaisutuslubasid vastavalt nendes kehtestatud tingimustele.
4. Esineja toonitas, et looduskaitseenõudeid tuleb arvestada (sh setete allalaskmise ja alumise veetaseme hoidmise osas) ning täiustada olemasolevaid veelaskmeseadmeid, mis ei toimi piisavalt hästi (talveperioodil, liigvee korral, kalarände ajal jms).

Talis Shelengovs (Läti Väikehüdrojaamade Assotsiatsioon) külalisesinejana tutvustas ta oma organisatsiooni ja kutsus üles koostööle ühiste Euroopa Liidu seaduste valguses. Ta selgitas naaberriigi hüdroenergia hinnapoliitikat ja hetkeolukorda. Et mõista hindade taset, on siinkohal hinnad lattides ja kroonides. Elektri ost 1 kW·h (Eesti Panga kurss seisuga 01.08.2004 – 1 LVL = 23,7148 EEK): tavatarbija ilma öise soodustusega (näiteks korter) 0,045 LVL – 1,067 EEK, hulgitarbija (suurettevõtted) 0,025 LVL – 0,593 EEK. Nendest tariifidest arvutab riik keskmise hinna, mis praegu on 0,03435 LVL – 0,8146 EEK. See keskmine on aluseks (hüdro)elektrienergia ostul tootjatelt.

Läti valitsus on vastu võtnud otsuse, et 8 aastat on alternatiivselt toodetud energia kokkuostuhinnaks kahekordne keskmine, mis on seega 0,0687 LVL (1,6292 EEK). Kaheksa aasta möödudes jääb kokkuostu keskmiseks hinnaks – 0,03435 LVL (0,8146 EEK). Mõnedel jaamadel on see aeg (8 aastat) juba möödunud ja osadel varsti lõppemas. 01.01.2004 seisuga tõusis Lätis elektri hind keskmiselt 12,7%. Hüdroenergia tootjate osas aga arvestas riik vaid poole osas hinnatõusu – 6,35%. Kuna enamiku hüdrojaamade taga seisavad finantsasutused, siis suure skandaaliga nõustus riik hinnatõusu muutusega kogu ulatuses (12,7%) ja see otsus jõustus avaldamise hetkest 12.08.2004. Niisiis saavad osa tootjaid kW·h eest Eesti rahas 1,6292 kr ja osad 0,8146 kr. Arutatud on ka roheliste temaatikat. Veetaseme muutusele viitavate keeldumiste lahendamiseks soovitas Talis Shelengovs enda vahendatavaid Tšehhi päritolu turbiine (HydroLink ..., 2004). Need on automaatselt reguleeritavad ning arvestavad voohulka ja veetaset.

Valdur Tiit rääkis taastuvenergia osast energiamajanduses. Kuigi Eesti hüdroenergeetiline potentsiaal (ilma Narva jõeta) on väike (umbes 30 MW), kuid sellest piisab, et tagada 50–100 tuhande inimese normaalne elutegevus (elektrienergia koguse järgi hinnates). Taastuvenergeetika nõukogu soovitusel peaks aastaks 2050 olema 75% Eesti energiavajadusest tagatud taastuvate energiaallikate abil. Looduslike tingimusi arvestades on see võimalik.

Anto Juske sõnavõttust kujunes kaitsekõne vähemalt kahe tuhande aasta vanusele vesiveskite ajaloolle. Tänu tsiviliseeritud Euroopa “veskiõigusele” ja mitmetele “veski-

määrustele” toimis ahel “jõgi-inimene” normaalselt. Sõnavõtu teise poole pühendas Anto Juske Nõmmeveski hüdroelektrijaama kaitseks ja seal elava linnu – vesipapi – ülistuseks.

Voldemar Enno (AS Generaator) esitas üleskutse moodustada Veskivaramu raames niinimetatud elektrisektsioon, mis tegeleks energeetikaproblemaatikaga, sh järgmiste küsimustega.

1. Kehtivad seadused ei võimalda energiamüügi vahendamist (tootja peab vahetult müüma). Müük ühise katusorganisatsiooni kaudu võimaldaks avaldada Eesti Energiale müügisurvet ning paremaid tingimusi väiketootjatele: vajalikud seadusemuudatused.
2. Koondumine Eesti Energiaga läbirääkimisteks (Eesti Energiaga kui monopol kehtestab tingimused nt tuuleparkide rajamiseks).
3. Pakri tuulepargi rajamisel sõlmiti kokkulepe CO₂ kvootide müügiks Soome ja sellega toetati riiklike toetustega tuulepargi rajamist, vaatamata sellele, et see on nüüd Norra omandis. Samas hüdrojaamadele toetused puuduvad. Oleks igati loogiline, kui Eesti Energia tasuks ka teistele taastuenergia tootjatele CO₂ müügist saadud tulust mingi osa, sest alla 20 MW soojusliku võimsusega ei ole otselepinguid võimalik sõlmida.
4. Seisukoha võtmist ootab järgmine teema: Eesti Energia on võtnud kasutusele mõiste “klient”. Elektrituru seaduses selline mõiste puudub. Kliendi nimetusega võrdsustatakse tootja tarbijaga ja tahetakse tootjale rakendada tarbija kohta käivaid sätteid. Siia kuuluvad peamiselt liitumistasu ja ühendustasu.

Peep Tobreluts tutvustas Viljandimaa Arenduskeskuse ja MTÜ Viljandimaa Mõisad ühisprojekti “Unustatud mõisad” ning pakkus välja võimaluse sarnase ettevõtmise kaudu ka vanade veskite olemasolu avalikkusele teadvustada. Kuna Muinsuskaitseamet on seisukohal, et veskid kui pärandkultuuri oluline osa vajab hoidmist ja eksponeerimist, on amet valmis koostööks nii mõisate, veskite kui ka muude suuremate hoonete (viinaköögid, magasiad, kuivatid, keldrid jms) ühise tutvustamise organiseerimisel. Mõisate tutvustamine 2004. aasta suvel oli edukas. Külastajad ja võõrustajad olid rahul ja pikisilmi oodatakse projekti laienemist üle Eesti. Oluline on loobuda valehübist, mis seisneb vaid korrastatud ja heal järjel olevate objektide näitamisest ning lagunevate ning investeringute puudusel kehvadel järjel olevate objektide põlgamisest. Kõik on küllastajatele põnev (ka varem), kui on tublid giidid ja atraktiivne tutvustamine. Nii võib üksik mõis või veski saada endale toreda “vaderi”, kes aitab väärtuse taas elule. Kõigil olgu võrdsed võimalused!

Arutelul käsitleti peamiselt vanadele paisudele vee erikasutusloa väljastamise korda (Arvo Järvet, Mae Juske, Ants Saks). Muret teeb, et vee erikasutusloa (VEK) menetlus on pikk protsess, eriti kui on tekkinud vastuolud naabritega või loodukaitse eesmärkidega. Keskkonnateenistuste sisuline kompetents selles vallas on üldiselt tagasihoidlik. Olemasolevate paisude puhul võib tekkida probleem omandiõigusega (pais, paisjärv, veelaskeseadmed jms eri omanike valduses). Soovitus VEKi taotlemisel on konsulteerida eriala spetsialistidega (nt vee kvaliteedi, hüdroloogilise režiimi, mõju elupaikadele jms suhtes) ja kindlasti kontakteeruda juba idee tasandil kohaliku omavalitsusega. Vanade paisude puhul, kus vee kasutamise iseloomus, sh veetasemes, ei toimu olulisi muudatusi, ei peaks läbima kogu protseduuride kadalippu (nt

keskkonnamõjude hindamist, milline tegevus on vältimatu paisutamise taastamisel). Märgiti, et uus veeseadus on tulekul ja VEKi väljastamise kord uuesti läbivaatamisel, seepärast oleks vaja esitada ettepanekuid.

Suurt tähelepanu köitis kirja arutelu looduskaitseaduse muutmiseks, mille kohta võeti vastu otsus (vt järgmine peatükk).

Pöördumine Riigikogu keskkonnakomisjoni poole

Pöördumise koopiad otsustati saata Riigikogu majanduskomisjonile, Riigikogu maaelukomisjonile ja Keskkonnaministeeriumile. Selle tekst oli järgmine.

Lugupeetud Riigikogu Keskkonnakomisjon!

MTÜ Eesti Veskiaramu kui Eesti ajalooliste veskitega seotud pärandit tähtsustavate, veskite ja veskikohtade säilitamisest ja taaskasutusele võtust huvitatud isikute ühendus, pöördub Teie poole palvega lahendada arusaamatus, mis asjassepuutuva informatsiooni Teile ühekülgselt esitamise tõttu on saanud seadusandliku jõu.

Hiljuti vastuvõetud looduskaitseaduse § 51 lõige 1 sätestab, et nendel jõgedel, mis on loetud lõhe, forelli ja harjuse kudemis- ja elupaikadeks, on uute paisude rajamine ning olemasolevate paisude rekonstrueerimine ja veetaseme tõstmine keelatud.

Ajaloolased, kes on vanade veskite vastu huvi tundnud, on koostanud põhjalikke ülevaateid nii veskite, paisude kui erinevate paisutamise- ja veejõu kasutamise tehnoloogiate kohta. Veskitel on sajanditepikkune ajalugu ning ei saa pidada meie esivanemaid hoolimatuteks ega rumalateks, kes ei osanud sobivat paika või paisutamiskõrgust valida. Aega, kus enamus vesiveskeid töötas ja paisud olid korras, jäävad ka ülevaated jõgede hea kalarikkuse kohta. Paraku jääb see aeg aastate ja aastakümnete taha. Praegu süüdistatakse veskipaise ja nende taastamist kalavarude kahjustamises.

Kui olla pealiskaudne ning toetuda ainult kuivadele faktidele, võib väita lausa vastupidist. Väidetakse, et just veskipaisude kadumise järel on saanud silmatorkavalt kannatada ka kalavarud. Tegelikult pole see tõenäoliselt lihtsalt vaid paisude kadumisest tingitud: röövpüük, sh elektriga, mis just kehvemate veeolude korral röövlile mugav ja kaladele eriti ohtlik on, teeb palju rohkem kurja. Teha aga praegu inimesed, kes soovivad taastada vanu vesiveskeid ja meie ajaloolist pärandit elus hoida, kaudselt vastutavaks riigi võimetuse eest röövpüüdjatega toime tulla, on kindlasti lihtne, kuid mitte eriti moraalne lähenemine. Tegelikult tulemust, kalavarude kaitset ja taastootmist, ei taga see samuti.

Oleme täiesti nõus, et uute paisude rajamine on seotud suurte riskidega ning nende ehitamise lubamisega peab olema äärmiselt ettevaatlik. Esivanemate kogemus ju õpetab ning säilinud veskite asupaigad on sellest kindel märk. Samas pole seaduses sätestatud täielik keelamine meie hinnangul piisavalt põhjendatud. Kindlasti on juhtumeid ja olukordi, kus uue paisu rajamine pigem parandaks jõe hüdroloogilist režiimi, mitte ei halvendaks seda, ning aitaks kaasa kalavarude säilitamisele ja taastootmisele. Vanade, veel hiljuti töökorras olnud paisude, mis said ja jäid paika aastasadade pikkuse kogemuse najal, taastamise keelamist võib tõlgendada vaid kui lihtsama tee valimist, mis on sellisena arusaamatu.

Oleme nõus, et uute paisude rajamine saab olla võimalik ainult kõiki keskkonnaaspekte hoolikalt hinnates, kuid lisaks negatiivsetele mõjudele on paisudel ja paisjärvedel oma positiivseid mõjusid. Vanade paisude taastamisel on hinnangute andmisel abiks varasemad pikaajalised kogemused. Asjata pole just need veskid ja paisud, mis tänaseni kasvõi osaliselt säilinud on, nii pikalt kestnud: valitud asukoht ja paisutamiskõrgus on olnud optimaalsed ning sobinud ümbritseva loodusega. Aru võiks saada riigipoolsete täiendavate keskkonnavalade nõudmiste kehtestamisest veskite taastamisel, nagu kohatiste kalatreppide rajamine, kuid täielik taastamise keelamine on põhjendamatu. Nii hävineb ka osa meie kultuurist ja traditsioonilisest inimasustusest. On palju külasid ja isegi linnu, mille oluliseks tunnuseks ja loomulikuks osaks on paisjärv. Kui sellised järved hävivad, väheneb kindlasti asula atraktiivsus nii külaliste kui kohalike elanike jaoks.

Näiteks annab turismiobjektina toimiv vesiveski turistidele põhjust läbi astuda ja võimaldab kohalikele inimesele töökoha. Inimeste lahkumine maalt nõrgestab seal naabrivalve osa, mis omakorda annab uut jõudu seaduserikkumisteks. Ka halveneb heakord ning jäävad lagunema pärandkultuuri väärtused.

Riik hindab kõrgelt poollooduslikke kooslusi nagu rannakarjamaad ja puisniidud, kuid unustatud on, et samal moel ja inimtegevuse tulemusena pole säilinud mitte ainult maapealne, vaid ka mõnevõrra „vesisem“ liigirikkus. On ju paisjärved samuti osa meie kultuurilisest pärandist ning peaksid olema loetud teiste inimtegevuse tulemusena tekkinud hinnaliste ja liigirikaste paikade kõrval pärandkoosluste hulka ning sellistena olema säilitatud, hoitud ja kaitstud. Pole ilmselt vajadust lisada, et korrashoitud paisjärvede ääres reeglina röövpüüki ei toimu. Omanik valvab ja järvekaldanaabrid aitavad kaasa.

Kunstlikke järvi, mis veskipaisude taha tekivad, pole kalavarude taastootmise ja kaitse aspektist lähtudes meie hinnangul piisavalt uuritud. Pole harvad ei suved ega isegi talved, kus meie siseveekogude veetase alaneb kriitiliselt ning paljud kalad, vähid ja muud veeloomad veepuuduses hukuvad. Hiljutiste kuumade ja kuivade suvede kogemus kinnitab seda. Kui puuduvad paisjärvede näol tekitatud vajalikud puhverveekogud, pole kaladel kusagile pelgupaika otsima minna ning ka jõgedes elevad veeloomad ja jõekarbid võivad hukka saada üheainsa väga kuiva suve tõttu. Kahjuks on seni paisjärvi vaadeldud kui mittevajalikke nähtusi ning pole mõistatud nende tähendust vee-elanike „sünnitusmajade“ ja pelgupaikadena rasketel aegadel. Tuleks arvestada ka seda, et nõukogudeaegsete, suure looduse ümberkujundamise, soode kuivendamise ja maaparandamisprojektide käigus on jõgesid paljudes piirkondades kahjustatud ja kohati lausa kraavideks tõmmatud, mis vähendab nende võimet veehulka looduslikult tasakaalustatuna hoida. Hooldatud paisjärved oleksid siinjuures looduslikku tasakaalu toetavateks, mitte takistavateks rajatisteks.

Käesolevaga teeme Teile, lugupeetud Riigikogu keskkonnakomisjon, ettepaneku täpsustada looduskaitseadust selliselt, et oleks tagatud nii kalavarude kui kultuuripärandi kaitse.

Praegu kehtiv seadus:

§ 51. Koelmuala kaitse

(1) Lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikadeks kinnitatud veekogul või selle lõigul on keelatud uute paisude rajamine ja olemasolevate paisude rekonstrueerimine ulatuses, mis tõstab veetaset, ning veekogu loodusliku sängi ja hüdroloogilise režiimi muutmine.

(2) Lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistu kehtestab keskkonnaminister määrusega.

Ettepanek seisneb järgmises:

Muuta looduskaitseaduse § 51 järgmiselt:

§ 51 Koelmuala kaitse

1) Lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikadeks kinnitatud veekogul või selle lõigul on ilma keskkonnaministri loata keelatud uute paisude rajamine ja olemasolevate paisude rekonstrueerimine ulatuses, mis tõstab veetaset, ning veekogu loodusliku sängi ja hüdroloogilise režiimi muutmine.

2) Keskkonnaministri nõusolekul on lubatud:

vanade paisude rekonstrueerimine ulatuses, mis tõstab veetaset ka üle ajalooliselt tavapäraseks olnud piiri;

uute paisude rajamine ning muude uute rajatiste ehitamine, mis tõstavad veetaset, muudavad veekogu looduslikku sängi või hüdroloogilist režiimi.

(3) Lõhe, jõeforelli, meriforelli ja harjuse kudemis- ja elupaikade nimistu kehtestab keskkonnaminister määrusega.

Selline seaduse täpsustamine annaks võimaluse saavutada tulemus, kus kõik asjassepuutuvad osapooled tegutseksid koos nii meie kultuuripärandi kui kalavarude säilitamise nimel ning maapiirkondade tööhõiveprobleemid võiksid saada pisukestki leevendust.

Lootes Teie aktiivsele koostööle ja mõistmisele

MTÜ Eesti Veskiaramu liikmed ja toetajad (26 allkirja).

Kahjuks ei leidnud tehtud ettepanek Riigikogu keskkonnakomisjoni toetust.

Kokkuvõte

Kokkutulek möödus töises õhkkonnas ja osavõtjate arvates oli meeldivald korraldatud ning sisult kasulik. Lisaks kuulnud ettekannetele ja arutelule vaadati ühiselt üle Kunda mõisa Linnuse jahu-, püüli- ja kohviveski, hüdrojaam ning viinaköök. Küllastati kahte töötavat hüdroelektrijaama Kunda jõel. Väga huvitav oli tutvuda Kunda tsemendi-tehase vanade hoonete varemete ja tegutseva omapärase muuseumiga. Võeti vastu otsus taotleda looduskaitseaduse osalist muutmist. Informatsiooni MTÜ Eesti Veskiaramu kohta saab ühingu koduleheküljelt (MTÜ ..., 2003).

KirjandusReferences

1. Hydrolink Ltd. Hydro Power Systems (asutatud 1999)

<http://www.hydrolink.cz/index2.html>.

2. MTÜ Eesti Veskiaramu (asutatud 2003) <http://www.zone.ee/veskiaramu/>.

NGO EESTI VESKIVARAMU

Mae Juske, Katrin Poell, Anto Juske, Peep Tobreluts and Meelis Parijõgi

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

Abstract

Every summer reunions in different mills of Estonia have started to become a custom for NGO Eesti Veskevaramu established in 2003 where you can listen presentations about mills and participate in discussion about most important problems concerning mills.

In Kunda Stronghold mill complex was held V reunion on 1st of August in 2004 where topics about damming up the water and hydropower were discussed Use of hydropower needs some more attention although Estonian hydropower resource (without Narva river) is summarily about 30 MW. During the reunion there was impression that aspect of damming up in context of water management has not got needed attention, aspect of protecting fish is over estimated and at the same time no attention left for damming up the water and architectural, cultural, social aspects of mill complexes.

There was also information about using waterpower in Latvia, Germany and France presented. It was considered to be important to set long-term experiences in different countries of Europe. Regulations for applying the valid water use permit for old dams were introduced. According to that for rebuilding dams you need water use permit as well as it is obligatory to have requirement of environmental impact assessment, where the impact of dams to surrounding and conditions will be exposed to developer in result of evaluation

During the conference it was decided to compile an application to Commission of Environment of Parliament to change Nature Conservation Act § 51. In this application a change of legal regulation was required to allow reconstructing of old dams through more simple proceedings and with permission of Minister of Environment.

At the end of the day we visited the mill complex, hydroelectric power station and storehouse for spirits of Kunda Stronghold, two working hydroelectric power stations on Kunda river, ruins of the old Kunda cement fabric and museum.

TUULEENERGIA KASUTAMISVÕIMALUSED EESTIS

Ain Kull¹ ja Valdur Tiit²

¹Tartu Ülikooli geograafia instituut, Vanemuise 46, 51014 Tartu
e-mail: ain.kull@ut.ee

²Eesti Põllumajandusülikool, Kreutzwaldi 64, 51014 Tartu
e-post: vtiit@neti.ee

Annotatsioon

Eesti on taastuvate energiaallikate poolest rikas (biomass, tuulejõud ja teatud tingimustel ka turvas). Oma geograafilise asendi tõttu on Eesti tuuleenergia potentsiaal väga suur, vähemalt 7 TW·h/a maismaal. Tuulepotentsiaali tuleks kasutada esmajoones läänerannikul ja saartel. Taastuvate energiaallikate ulatuslik kasutamine võimaldab oluliselt vähendada kasvahoonegaaside emissiooni. Näiteks võib üks 2 MW võimsusega elektrituulik toota aastas Lääne-Eesti saartel kuni 9000 MW·h, mujal rannikul 4000–8000 MW·h ja sisemaal umbes 4000 MW·h. Eesti ligi 3800 km pikkuse rannajoone juures leidub 20 km laiuses vööndis 114 000 ha (7,9% kogu sellest pindalast) lagedaid alasid, mis sobivad tuuleenergia kasutamiseks. Senini pidurdavad tuuleenergia kasutamist muuhulgas nõrgad rannapiirkondade elektrivõrgud ja kahe suure inertsusega Narva põlevkivijaama osaliselt kasutamata installeeritud võimsus.

TUULEENERGIA RESSURSS, KASVUHOONEGAASID, PLANEERING, TEHNILISED PROBLEEMID

Sissejuhatus

Tuuleenergeetika kiire areng mitmes Euroopa riigis on suurendanud huvi selle valdkonna suhtes ka Eesti energiasektoris. Tingituna oma geograafilisest asetusest on Eesti tuuline maa ja tuuleenergia ressurss on siin suur, üle 7 TW·h/a maismaal. Seda tasuta loodusandi tuleks efektiivselt kasutada eriti rannikualadel ja saartel, sest see võimaldaks oluliselt vähendada kasvahoonegaaside (KHG) emissiooni Eestis. Seni on Eesti energiakasutus maailmas ainulaadne, sest 2003. a toodeti vajalikust elektrienergiast 92% (9,1 TW·h) põlevkivijaamades. Samal ajal saadi taastuvatest allikatest vaid umbes 0,4% elektritarbest. Põlevkivi on madala väärtusega (5–20 MJ/kg)¹ kütus, mille põletamine elektri tootmiseks annab atmosfääri järgmised emissioonid: CO₂ – 96044 mg/MJ, SO₂ – 677 mg/MJ ja aluseline lendtuhk – 448 mg/MJ (Mander jt, 2003). Siiski on kahe energiaploki ümberehitus ja keevkihttehnoloogia kasutuselevõtmine vähendanud emissioone 10–20 korda ning tõstnud põlevkivi kasutamise efektiivsust umbes 15%.

Tuuleenergia areng Eestis on raskendatud ka seetõttu, et Narva elektrijaamad töötavad alakoormusega (Possible ..., 1999). Praegu on Eestis töötavate tuulikute koguvõimsus 31,7 MW (24 tuulikut) ja 2006. a lõpuks lisandub loodetavasti veel 32 MW (12 tuulikut) installeeritud võimsust.

Et tuuleenergia kasutamine oleks säästlik ja erinevatele huvigruppidele vastuvõetav, on oluline alustada tuulikuparkidele kõige sobivamate alade piiritlemise ja planeer-

¹ 1 kW·h = 3,6 MJ. Toim märkus.

rimisega varases ettevalmistuste järgus. Sobivateks saab pidada vaid selliseid kohti, kus on head tuuleolud, puudub kahjulik mõju keskkonnale ja pole riivatud elanike õigustatud huvid. Suurema maakasutuse efektiivsuse kindlustamiseks tuleb tuulejõu rakendamiseks sobivate kohtade valikul järgida kehtivaid seadusi, väljakujunenud häid tavasid ja eelistada kaasaegseid tehnoloogilisi lahendusi.

Tuulejõu kasutamise ajalooline taust Eestis

Eesti asub Läänemere idakaldal, kus ilma mõjutab aktiivne tsükloonaalne tegevus. Vaatamata suhteliselt väikesele pindalale (45,2 tuhat km²) on siin üle 1500 saare ja rannajoone pikkus on ligi 3800 km (vt joonis 1). Paiknemine tsüklonite liikumisteedel ja ulatuslik rannikuvöönd tagavad siin suhteliselt suure keskmise tuulekiiruse. Seetõttu on Eestis tuulejõudu kasutatud juba ammu ajast. Esimesed tuulikud ehitati siin tõenäoliselt mitusada aastat tagasi ja neid kasutati peamiselt teravilja jahvatamiseks. Ligikaudu sada aastat tagasi oli Eestis kaks kuni kolm tuhat tuulik koguvõimsusega umbes 10 MW. Saartel ja rannikul olid levinud peamiselt väiksemad pukktuulikud, seevastu suuremaid tuuleveskeid paiknes paljudes tuulistes kohtades üle maa. Enne Teist maailmasõda töötas saartel veel mitusada tuulik (Steinrücke, 1993). Majandusliku tõusu ajal möödunud sajandi 30ndail aastatel hoogustus taludes tuulikute kasutamine vee pumpamiseks ja ka elektri tootmiseks. Sel ajal valmistati Eestis ka siin välja töötatud tuulikuid, mis sisaldasid originaalseid tehnilisi lahendusi ja olid saanud patente (Prümmel, 1938).

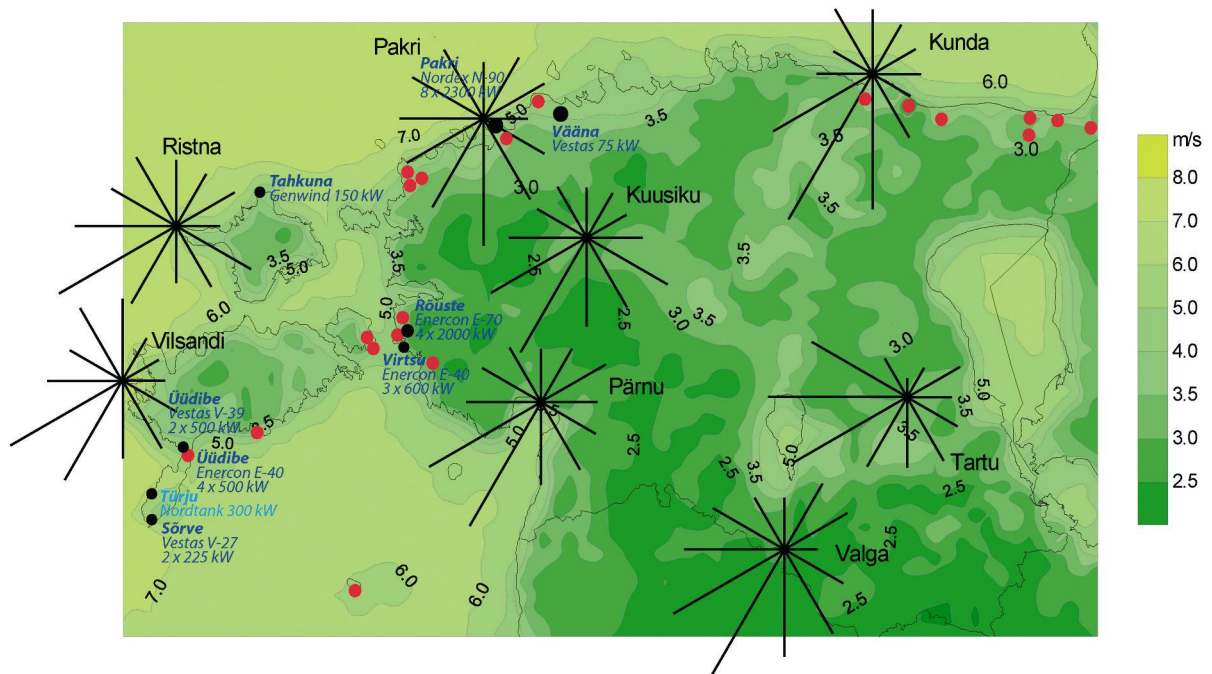
Pärast Teist maailmasõda ja eriti suurte põlevkivil töötavate Balti Soojuselektrijaama (täisvõimsusega valmis 1966. a, installeeritud võimsus 1624 MW) ning Eesti Elektrijaama (valmis 1973. a, 1610 MW) käikuandmise järel polnud majanduslikel põhjustel enam otstarbekas kasutada tuuleenergiat. Nimetatud jaamad varustasid piirkonda stabiilse odava (tegelikke saastekulusid arvestamata) elektriga ning osalt ka soojusega. Kuid vaatamata ebasoodsatele oludele ehtasid üksikud tuulejõu entusiastid kuni 10 kW võimsusega tuulikuid ja kasutasid saadud energiat nii sooja vee saamiseks kui ka oma elamu valgustuseks ning kütmiseks.

Tähelepanu väärib Saaremaal Vätta poolsaarel 1986. a alustatud tuulepargi ehitamine, kuhu paigutati 4–30 kW võimsusega tuulikud. Vätta tuulepark oma kavandatud 346 kW installeeritud koguvõimsusega oli sel ajal suurim Nõukogude Liidus (Martinot, 1992). Suhteliselt väikeste tuulikute poolt toodetud elektrienergiat kasutati seal peamiselt kalatööstuses soojuse saamiseks. Poliitilise olukorra muutumisel viidi enamuse tuulikuid koos saadud andmetega 1990. a tagasi Venemaale. Viimase 15 aasta jooksul on huvi tuulejõu kasutamise vastu uuesti tõusnud ning on püstitatud rida kaasaegseid elektrituulikuid. Neist esimene, 150 kW tuulik püstitati Taani finantsabi toel Tahkuna poolsaarele Hiiumaal ja pandi käima 1997. a sügisel². Saaremaal Sõrve poolsaarele on püstitatud kaks 225 kW (2002. a) ja üks 300 kW (2003. a) ning Salme valda kaks 500 kW võimsusega tuulik³. Kolm 600 kW tuulik püstitati Saksamaa finantstoel 2002. a sügisel Virtsu randa.

² Tahkuna tuulik võeti tehnilistel põhjustel käigust välja alates 2005. a veebruarist. Toim märkus.

³ 2005. a on seal käivitatud veel 4 sama võimsusega tuulik. Toim märkus.

Praegu on rajamisel mitmeid uusi tuulikuparke. Kahe Kirde-Eestisse kavandatud suurema tuulikupargi (24 ja 58 MW) jaoks on saadud ka ehitusluba. Uuringud käivad veel vähemalt 16 väiksema tuulikupargi rajamiseks Lääne-, Loode- ja Põhja-Eestisse. Rajatud või kavandatavate (detailplaneering on koostamisel või käivad tuulemõõtmised) tuulikute asukohad on esitatud aasta keskmise tuulekiiruse kaardil koos mõnede ilmajaamade tuulteroosidega (joonis 1).



Joonis 1. Aasta keskmine tuulekiirus 10 m kõrgusel ja 1991.–2005. a püstitatud tuulikud ning tuulikupargid (mustad punktid) ja kavandatavad kaasaegsed tuulikud või tuulikupargid (punased punktid)

Figure 1. Mean annual wind speed at 10 m a.g.l. and modern wind turbines erected in 1991–2005 (black dots) or projects under development (wind turbines or wind farms, red dots) in Estonia

Tuule ressurs

Põhiliselt mõjutab Eesti tuulekliimat sage madalrõhkkondade ehk tsüklonite ja kõrgrõhkkondade ehk antitsüklonite vaheldumine Põhja-Atlandi ja Euraasia kohal, mis määrab üldjoontes Eesti alal puhuva tuule kiiruse ja suuna ning selle aastaajalise muutlikkuse. Lisaks mõjutab siinset ilma ja rannikualade tuuli oluliselt Läänemeri. Seetõttu on just rannikualad tavaliselt tuulejõu kasutamiseks kõige soodsamad. Lääne-Eesti saarestikus ja avatud mererandadel ulatub aasta keskmine tuulekiirus 10 m kõrgusel kuni 6–7 m/s. Rannikult sisemaa suunas liikudes toimub juba kitsas üleminekuvööndis märgatav tuulekiiruse vähenemine. Ligikaudu 20 km jooksul väheneb tuulekiirus umbes 40% võrreldes mere kohal puhuva tuule kiirusega, langevades aasta keskmise väärtuse kuni 4 m/s. Maismaa suurema pinnakareduse ja tuuletakistuse tõttu kahaneb ka tugevate tuulte ning tormiste päevade arv aastas üleminekuvööndis 10-ni võrreldes rannäärsete alade 40-ga. Rannikul ja saartel puhuvad kõige sagedamini tuuled kiirusega 4–7 m/s, Saaremaa ja Hiiumaa läänerannikul isegi 4–8 m/s. Eesti sisemaal on kõige tavalisemad tuulekiirused kuni 4 m/s. Eesti põhjarannikul on keskmine tuulekiirus 4–5 m/s. Soome lahe rannikul läänepoolses

osas on tuuled enamasti tugevamad kui idapoolses. Eesti siseosas on aasta keskmine tuulekiirus väike ja sõltub suuresti maastiku liigestatusest (puud, metsad, rajatised) ning reljeefist (künnad, mäed, orud). Keskmine kiirus varieerub sisemaal vähe, jäädes enamasti vahemikku 2,5–4 m/s. Võrtsjärve ja Peipsi rannikul küünib keskmine tuule kiirus avara veevälja tõttu vastavalt kuni 4,5 m/s ja Peipsil 5,5 m/s.

Eesti rannikuvööndis tuuleenergia kasutamiseks sobivate alade leidmiseks kasutati GIS analüüsi (*Geographical Information System*) ja arvestati kõiki keskkonnamõtjude hindamise peamisi põhimõtteid. Lähtudes keskmise energiatiheduse ja tuulekiiruse kaartidest ning elimineerides GIS analüüsi käigus nii looduslikult ebasobivad kui ka välistavate või kitsendavate nõuete tõttu tuuleenergia kasutamiseks mittekasutatavad alad, on leitud tuuleenergia kasutamiseks sobivad kohad. Tuulikute püstitamine pole mitte mingil juhul lubatud välistatavates alades (*tabelis 1 tsoon A*; asulad, teede kaitsetsoonid jne). Samuti ei tohi tuulikuid püstitada rangete piirangutega keelualadel (*tsoon B1 ja B2*; nt maastikukaitsealad, tähtsad linnualad jne). Mõlema tsooni kaitse on tagatud seaduste ja määrustega. Piirangutega aladel (*tsoon C*; ehituskeeluvöönd rannal ning kaldal, loodus- ja kultuurimälestiste läheduses jne) on tuulikute püstitamine lubatud vaid teatud kindlate nõuete täitmisel, kuid samaväärsete piiranguteta alade esinemisel tuleks piiranguvööndis tuulikute püstitamisest hoiduda. Otsuse tegemise eel on seal kindlasti vajalik väga detailne keskkonnamõtju hindamise läbiviimine kohaliku omavalitsuse, looduskaitse ning kõigi huvigruppide kaasamisega, sest tuulikud võivad häirida piirkonna teisi funktsioone (puhkemajandust, looduskaitse jne). Seepärast tuleks tuuleenergia võtta kasutusele kõigepealt piirkondades, kus pole keskkonnamõjulist ja sotsiaalmajanduslikke piiranguid.

Piiranguteta alad võib jaotada tuuleenergia kasutamise seisukohalt soodsateks, sobivateks ja ebasoodsateks sõltuvalt tuule ressursist, infrastruktuurist, kaugusest tarbijateni jne. 15–20 km laiuses vööndis piki Eesti rannikut on 114 000 ha (7,9% kogu rannikuvööndist) lagedaid alasid, mis on täiesti sobivad tuuleenergia kasutamiseks (Kull ja Laas, 2003). Suurem osa rannapiirkonnast (Saaremaal 58,4 ja Hiiumaal isegi 83,3%) ei ole tuulejõu kasutamiseks sobilik looduslike tingimuste poolest, sest seal on palju metsaseid ja soiseid alasid (vt tabelit 1). Keskmiselt on Eesti rannapiirkonnas tuulejõu kasutamiseks looduslikult ebasobiv 71% alast. Põhjarannikul, kus tuulikute püstitamist piiravad peamiselt asulad, on tuuled nõrgemad kui Lääne-Eestis, mistõttu see piirkond on tuuleenergia kasutamiseks vähem atraktiivne. Välistatavad alad hõlmavad Lääne-Eesti rannikupiirkonnast ja saartest 36,8–39,1%, samal ajal kui Soome lahe rannikul on see asulate tõttu oluliselt kõrgem (Harjumaal 58%, Lääne-Virumaal 49,6% ning Ida-Virumaal 47,3%).

Tihti erinevad tuulikute püstitamist takistavad tegurid kattuvad, sest näiteks looduslikult ebasobivad piirkonnad (mets, märgala) võivad olla samal ajal ka looduskaitse all (rangete piirangutega keelualad) või kuuluda tähtsate linnualade hulka. Seetõttu, vaatamata suurele piirangutega alade osakaalule, on siiski rannikul piisavalt tuulejõu kasutamiseks sobilikke suuri lagedaid alasid (vt tabel 1, veerg E). Piirangutega alade osa (tabel 1, tsoon C) on erinevates piirkondades erinev. Need alad on moodustatud subjektiivsete tunnuste (kenad vaated, Natura 2000 alad, looduslike ja ajalooliste mälestusmärkide lähedus jne) alusel, mistõttu neil pole ühtset ajas muutumatut seaduslikku alust ning otsustused sõltuvad enam ühiskonna väärtushinnangutest ja

seeläbi võivad avaliku arvamuse kaudu mõjutada tuuleenergia kasutamist neis piirkondades. Kõige väiksem on piirangutega alade osa rannikuvööndist Ida-Virumaal (10,8%), samas kui Harjumaal on selliste potentsiaalselt konfliktialade osakaal 41,5 ja Lääne-Eestis 43,4%.

Tabel 1. Rannatsoonis tuulikute jaoks sobivate ja ebasobivate alade selgitus. A – välistatud ala, B1 – rangete piirangutega keeluala, B2 – keeluala, C – piirangutega ala, D – looduslikult ebasobiv ala, E – sobiv ala

Table 1. Explication of limiting areas and suitable regions for wind turbines in coastal zone. A – exclusion area, B1 – strictly restricted area, B2 – restricted area, C – reservation area, D – naturally unsuitable area, E – suitable area

Rannatsoon / Coastal Region		Ala / Zone					
Piirkond / Region	Pindala / Area (1000 ha)	A	B1	B2	C	D	E
Saaremaa	291	112 38,6%	49 16,9%	21 7,2%	84 28,8%	170 58,4%	37 12,7%
Hiiumaa	102	39 38,1%	17 16,6%	7 7,0%	34 33,6%	85 83,3%	6 6,1%
Edela Eesti / South-West Estonia	303	112 36,8%	57 18,7%	12 4,0%	89 29,4%	233 76,7%	18 5,9%
Lääne-Eesti / West Estonia	256	100 39,1%	74 29,1%	12 4,8%	111 43,4%	198 77,4%	17 6,5%
Harjumaa	172	100 58,0%	36 20,9%	9 5,1%	71 41,5%	121 70,5%	9 5,4%
Lääne-Virumaa	205	102 49,6%	42 20,5%	6 2,7%	62 30,4%	136 66,2%	19 9,5%
Ida-Virumaa	109	52 47,3%	2 2,0%	3 2,9%	12 10,8%	79 72,3%	8 7,0%
Kokku / Total	1439	616 42,8%	278 19,3%	70 4,9%	464 32,2%	1022 71,0%	114 7,9%

Eesti rannikuvööndist on tuulikute püstitamiseks kõige väiksema takistuste osakaaluga Saaremaa ja Kirde-Eesti. Saaremaal on tuulikute püstitamiseks sobivaid alasid 37 000 ha (12,7% saare pindalast) ja Lääne-Virumaal 19 000 ha (9,5% rannikuvööndist). Sobivate alade osa on kõige väiksem Harjumaal, looduslikult ebasobivate alade rohkuse ja tiheda asustuse tõttu ainult 9000 ha (5,4%). Samuti on tuulikute püstitamiseks sobivate alade osakaal väike Hiiumaal (6000 ha ehk 6,1%) ja Edela-Eestis (18 000 ha, 5,9%), kus on palju märgalasid ja metsa.

Järeldused

Vastavalt uuringutele, mis arvestavad tuulikute püstitamiseks vajalikke nõudeid ja keskkonnamõjude hindamise põhimõtteid, on Eestis elektrituulikute jaoks oluliselt rohkem vabu kohti, kui neid läheks tarvis 10% katmiseks praegusest elektritootmisest. Et vältida tuulikute jaoks heade kohtade ebaefektiivset kasutamist ja vähendada nii objektiivseid kui ka subjektiivseid negatiivseid mõjusid, tuleb eelistada kaasaegsel tehnoloogial põhinevate keskmiste ning suurte tuulikuparkide rajamist. Näiteks võib 2 MW võimsusega tuulik toota aastas Lääne-Eesti saarestikus kuni 9000 MW·h, mujal rannikuvööndis 4000–8000 MW·h ja sisemaal ligikaudu 4000 MW·h.

Sesoonne tuuleelektri tootmine on väga heas korrelatsioonis energiatarbimisega. Kõige rohkem toodavad tuulikud elektrit oktoobrist jaanuarini (ühes kuus enam kui 12% aasta mahust) ja kõige vähem suvel maist augustini, 5% kuni 6,5%. Kevadel ja sügisel on ühe kuu panus 7,5–8,5% aasta toodangust. Seega on tuuleelekter aasta lõikes heaks täienduseks üldisele elektritootmisele.

Seni on Eestis ulatuslik tuulejõu kasutamine raskendatud nii finantsprobleemide, kodumaise tootmise puudumise, rannikupiirkondade elektriliinide väikese võimsuse kui ka Narva põlevkivijaamade alakoormatuse tõttu. Kuid suure taastuva loodusliku ressursi olemasolu ja tuuleenergeetika väikese negatiivse keskkonnamõju tõttu väärib selle valdkonna arendamine suurt tähelepanu.

Tänuavaldus

Uurimistöö on valminud Eesti Teadusfondi grandide nr 5464 ja UNDP RER/99/G41 toetusel.

KirjandusReferences

1. Kull, A., Laas, A. (2003) Sustainable management of wind resources in coastal areas in Estonia. In: Beriatos, E., Brebbia, C. A., Coccossis, H., Kungolos, A. (Eds). Sustainable Planning and Development I. The Sustainable World. WIT Press: 169–78.
2. Mander, Ü., Oja, T., Hallemaa, H., Kull, A., Bendere, R., Kudrenickis, I., Sergeeva, L., Denafas, G. (2003) Environmental Pollution Analysis of Energy Production and Consumption in the Baltic Region. In: Tiezzi, E., Brebbia, C. A., Uso, J-L. (Eds). Ecosystems and Sustainable Development IV, Vol. 2. Advances in Ecological Sciences 19. WIT Press: 835–845.
3. Martinot, E. (1992) Wind-generated Electric Power in the Former Soviet Republics. Geographical Prospects. Post-Soviet geography 33 (4): 219–236.
4. Possible Energy Sector Development Trends in Estonia. Context of Climate Change. (1999) Kallaste, T., Liik, O., Ots, A (Eds). Proc. of the Stockholm Environ. Inst. Tallinn Centre and Tallinn Technical University. Vaba Maa. Tallinn: 192.
5. Prümmel, J. (1938) Tuulejõu abil majja vesivarustus, kanalisatsioon, elektrivalgustus. A home water supply, sewer system and electric lighting by the use of wind energy. Tallinn: 26.
6. Steinrücke, J. (1993) The Possible Use of Wind Energy at the Estonian Coast and Other Ways of the Reduction of CO₂ in Estonia. Energy, Environment and Natural Resources Management in the Baltic Sea Region. Tallinn: 139–145.

PROSPECTIVES FOR WIND ENERGY USE IN ESTONIA

Ain Kull¹ and Valdur Tiit²

¹Institute of Geography of University of Tartu, e-mail: ain.kull@ut.ee

²Estonian Agricultural University, e-mail: vtiit@neti.ee

Abstract

Estonia has a unique energy mix all over the world as about 92% (9.1 TW·h in 2003) of electric energy generation is based on oil shale, share of renewable energy is only 0.4%. Still, Estonia is rich in such renewable energy sources like wood, peat and wind. Wind energy potential is very high (more than 7 TW·h without offshore). Annual wind energy yield reaches up to 9000 MW·h in West-Estonian Archipelago, 4000-8000 MW·h in other coastal regions and 4000 MW·h in inland areas per 2 MW wind turbine. Currently there is installed capacity of wind turbines in Estonia 31.7 MW (24 wind turbines), at the end of 2006 additional 32 MW (12 wind turbines) is expected to be commissioned. Wider use of renewable energy sources would allow significant cutting of GHG emissions.

To promote sustainable exploitation of wind resources it is important to figure out the most favourable sites and areas for wind power plants in early stage of wind energy development. Acceptable sites are only those which are economically profitable (i.e., good wind conditions) and do not conflict with environmental and public interests. To determine suitable sites for wind turbines in coastal areas all along Estonian coastal regions the assessment was carried out according to main principles of Environmental Impact Assessment (EIA) by use of Geographical Information System (GIS).

In Estonian coastal regions (15–20 km wide zone along the 3800 km long coastline) there is 114 000 ha (7.9% of total area) open fields that are fully suitable for harnessing wind energy. The biggest share (from 58.4% on Saaremaa up to 83.3% on Hiiumaa) of coastal zone is naturally unfavourable mainly due to high proportion of forests and wetlands. Naturally unfavourable areas make up 71% of the Estonian coastal zone. On the northern coast, the main restrictions are related with settlements. Exclusion areas embraces 36.8–39.1% of the coastal zone in West-Estonia and on islands, higher settlement density along the Gulf of Finland results in very high share of exclusion areas in Harjumaa (58%) but also in Lääne-Virumaa (49.6%) and Ida-Virumaa (47.3%). The lowest share of prohibited areas in the coastal zone can be found in Saaremaa and North-East Estonia. There is 37 000 ha (12.7%) of the area suitable for building wind turbines in Saaremaa and 19 000 ha (9.5%) in Lääne-Virumaa. The lowest share of suitable areas are in Harjumaa 5.4% (9 000 ha), Hiiumaa (6.1%, 6 000 ha) and South-West Estonia (5.9%, 18 000 ha). According to assessment Estonia has more space available for wind turbines than is needed to produce 10% of the current electric energy production in Estonia.

To avoid ineffective land use in favourable areas and to minimize objective or subjective negative impacts of harnessing wind energy, modern medium and large-scale wind power plants should be preferred. Use of wind energy has been hindered so far mainly by a systematic under-capacity operation of two large oil shale power plants in Narva, some financial problems and weak power network system in coastal regions.

ENERGEETIKA EILE, TÄNA, HOMME ...

Andres Annuk ja Jaan Lepa

Eesti Põllumajandusülikooli tehnikainstituut, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu
e-post: annuk@eau.ee, jlepa@eau.ee

Annotatsioon

Energia on üks mateeria eksisteerimise põhivorme, mida defineeritakse kui mateeria muutumise ja liikumise üldist mõõtu, ning ta on meie elu ja arengu eelduseks. Vajame ju pidevalt energiat soojusena, valgusena, toiduna. Järjest rohkem kasutame energiat liiklemiseks, transpordiks, meelelahutuseks jne. Märkatav osa maailmas aegade jooksul peetud sõdadest on toimunud just energia pärast, algselt paremate jahi-, karja- ja põllumaade hõivamiseks (toiduenergia), hilisemal ajal näiteks nafta- ja gaasimaardlate pärast. Ametliku põhjusena on seejuures sageli esile toodud vabaduse või demokraatia kaitsmise või kehtestamise vajadust.

ENERGIA TARBIMINE, TAASTUVENERGEETIKA, TARBIMISE PROGNOOS

Sissejuhatus

Ametlikus statistikas peegelduva energia tarbimine suurenes möödunud sajandil ligi 20 korda. Tuleb muidugi märkida, et eriti 20. sajandi algusaastate statistika ei näita kaugeltki energia kogutarbimist, kuna maapiirkondade elanikud kasutasid valdavalt kohalikke kütuseid, müües neid tihti ka vahetult ilma igasuguse arvestuseta linnaelanikele. Ilmselt ei peegeldu ametlikus statistikas ka kohalike vesiveskite ja tuulikute energiabilanss. Et aga valdav osa elanikkonnast elas möödunud sajandi alguses just maal, tuleb selle ajastu energeetikastatistikat vaadelda kui väga ligikaudset.

Praegusel ajal on kasutusel palju erinevate omadustega energiakandjaid, millest mõne osatähtsus on väga väike, seetõttu on energiakandjad üldistava statistika jaoks jaotatud kuude kuni seitsmesse suuremasse gruppi.

1. Fossiilsed tahkkütused (kivisüsi, pruunsüsi, põlevkivi jne).
2. Vedelkütused (põhiliselt naftast toodetavad: bensiin, diislikütus, kerge kütteõli, raske kütteõli jne).
3. Maagaas.
4. Hüdroenergia (põhiliselt suurtes hüdrojaamades toodetav elektrienergia).
5. Tuumaenergia (tuumaenergia baasil toodetav elektri- ja soojusenergia).
6. Taastuvenergia (puit, turvas, energiahein ja -võsa, tuul, päikesekiirgus jne).

Turvast paljude statistikute arvates siiski taastuvaks ei saa lugeda, sest tema taastumisaeg (sajad kuni tuhandad aastad) on suhteliselt pikk. Küll aga liigitatakse taastuvenergia kategooriasse sageli veel geotermaalenergia.

Ülevaade erinevate energiakandjate kasutamise kohta maailmas aastail 1980–2002 on toodud tabelis 1 (Energy ..., 2005).

Tabel 1. Maailma energiakasutus gigatonni tingkütust (Gttk)

Table 1. World energy consumption in gigatons of coal equivalent (Gtce)

Allikas	1980	1985	1990	1995	2000	2002	Kasv, Gttk	Kasv, korda
Vedelkütus	4,78	4,35	4,90	5,08	5,60	5,50	0,72	1,15
Tahkkütus	2,60	3,00	3,30	3,18	3,28	3,50	0,90	1,35
Maagaas	1,96	2,30	2,73	2,88	3,27	3,42	1,46	1,74
Hüdroenergia	0,65	0,74	0,81	0,91	0,97	0,92	0,27	1,42
Tuumaenergia	0,27	0,55	0,73	0,83	0,96	0,96	0,69	3,56
Taastuenergia	0,11	0,13	0,14	0,17	0,19	0,20	0,09	1,82
Kokku	10,37	11,07	12,61	13,05	14,27	14,50	4,13	1,40

Tabeli 1 andmeil suurenes ametlikus statistikas kajastuva energia koguhulk mainitud ajavahemikul 4,13 gigatonni tingkütuse võrra ehk 1,4 korda. Üksikute energiakandjate osas on pilt suuresti erinev. Absoluutarvudes suurenes kõige rohkem maagaasi tarbimine – 1,46 Gttk võrra, suhteliselt aga tuumaenergia tarbimine (3,56 korda). Suhtarvuna on teisel kohal taastuenergia kasutamise suurenemine (1,82 korda), kuid absoluutarvudes on kasv väike, moodustades vaid pisut üle kahe protsendi kogu energiatarbe juurdekasvust vaadeldaval ajavahemikul.

Kurb, kuid energeetika arengul on omad seaduspärasused. Üheks nendest on suur inerts, uute energeetikaobjektide rajamine nõuab aastaid (sageli isegi aastakümneid). Teiseks tuleb arvestada rahastajate ja energiakasutajate soovi saada lühikese aja jooksul suurimat kasumit ja kasutada võimalikult suurema kasutusmugavusega energiakandjaid.

Tabelis 2. (Energy ..., 2005) on toodud samade energiakandjate kasutamise prognoos kuni aastani 2025, kusjuures taastuenergiana on arvestatud ka suurte hüdrojaamade toodang. Sisuliselt on see isegi õigem, sest enamiku väikeste veejõujaamade toodangut arvestati paljudel maadel (sealhulgas ka Eestis) taastuenergiana.

Tabel 2. Maailma energiakasutuse prognoos (Gttk)

Table 2. Prognosis of world energy consumption (Gtce)

Allikas	2002	2010	2020	2025	Kasv, Gttk	Kasv, korda
Vedelkütus	5,5	6,68	8,06	8,74	3,24	1,59
Tahkkütus	3,5	3,8	4,59	5,13	1,63	1,47
Maagaas	3,42	3,8	5	5,53	2,11	1,62
Tuumaenergia	0,96	1,18	1,12	1,12	0,16	1,17
Taastuenergia	1,12	1,44	1,63	1,78	0,66	1,59
Kokku	14,5	16,9	20,4	22,3	7,8	1,54

Tabelist 2 selgub, et absoluutarvudes kasvab kõige rohkem vedelkütuse kasutamine – 3,24 gigatonni tingkütuse võrra, suhtarvudes on aga esikohal maagaasi tarbimise kasv. Taastuenergia tarbimise kasv on suhtarvudes samal tasemel vedelkütuse tarbimise kasvuga. Tuumaenergia osas võib täheldada kasvutempo aeglustumist. Reas arenenud riikides (Saksamaa, Holland, Rootsi) on 2025. aastaks plaanis tuumajaamad likvidee-

rida, samal ajal aga on suurema elanike arvuga riikides ette nähtud tuumaelektrijaamade võimsuse märgatav suurendamine (Hiinas näiteks umbes 10 korda, Indias üle viie korra).

Järgnevalt vaatame, millistest allikatest toimub maakera asukate energiavajaduse rahuldamine. Esmaseks energiaallikaks on maakerale miljardite aastate jooksul olnud Päike – lähim Galaktika täht (keskmine kaugus Maast 149,6 miljonit kilomeetrit). Päikese kiirgusenergia tekib termotuumareaktsiooni tulemusena, mille käigus vesinik muutub heeliumiks. Päikese aastasest kiirgusest annab ülevaate tabel 3 (Lepa ja Jürjenson, 2000).

Tabel 3. Päikese aastane kiirgus

Table 3. Annual solar radiation

Näitaja	J	kW·h	Gttk
Kogukiirgus	$1,22 \cdot 10^{34}$	$3,38 \cdot 10^{27}$	$4,17 \cdot 10^{14}$
Sellest langeb maakerale	$6 \cdot 10^{24}$	$1,67 \cdot 10^{18}$	$2,05 \cdot 10^5$
Jääb maakerale	$\sim 6 \cdot 10^{21}$	$\sim 1,67 \cdot 10^{15}$	$\sim 2,05 \cdot 10^2$

Seega ületas iga-aastane maakerale jääv päikesekiirguse osa enam kui 14 kordselt maakera elanike energiatarbe 2002. aastal ($1,18 \cdot 10^{14}$ kW·h). Osa sellest energiast salvestub maal kasvavates taimedes ja muudes elusorganismides, aurustab vett, tekitades sademeid, kutsub esile õhu liikumist (tuuled, tormid jne).

Meie fossiilkütused kujutavadki endast miljardite aastate jooksul salvestunud „energiakonserve“. Peale nende on aga maakoores universumi tekke käigus tekkinud raskeid radioaktiivseid elemente (uraan, toorium), millest võib energiat saada nende tuumade lõhestamisel, ja suurel hulgal vesinikku, mille tuumade sünteesil võib energiat saada. Taoline protsess toimub Päikesel, kuid maistes tingimustes on õnnestunud energiat vabastada vaid vesiniku raskemate isotoopide (deuteerium, triitium) tuumade sünteesil, ja sedagi esialgu suuremas koguses ainult plahvatusena vesinikupommides.

Tabel 4. Maailma põhiliste fossiilkütuste varud (Gttk)

Table 4. Resources of the main world fossil fuels (Gtce)

Nimetus	Läbiuuritud tootmiskõlblik varu	Täiendav (eeldatav) varu	Tarbitud osa kogu ressursist**, %	Kokku
Süsi (kivi- ja pruunsüsi)	1280	3060	24	4340
Nafta	138	51	50	189
Mittetraditsioonilised naftamodifikatsioonid	19	434	***	453
Maagaas	106	223	23	329
Põlevkivi*	20	462	***	482
Turvas	100	–	***	100
Kokku	–	–	–	5893

Andmed: * (World ..., 2005); ** (Overview: ..., 2005). *** Andmed puuduvad.

Maakeral salvestunud fossiilkütuste varud on 1986. aasta maailma XIII energeetika-kongressi andmeil järgmised (Lepa ja Jürjenson, 2000) (vt tabel 4).

Hiljem, mitmesugustes allikates publitseeritud optimistlikud prognoosid pakuvad maakerale järgmisi energiavarusid (Сколько ..., 2001) (vt tabel 5).

Tabel 5. Maakera energiavarude optimistlik prognoos

Table 5. Optimistic prognosis of world energy resources

Algallikas	TW·h	Gttk
Fossiilkütused	$1,14 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^6$
Uraani tuumade lõhestamine	$6,27 \cdot 10^{15}$	$7,7 \cdot 10^{11}$
Tooriumi tuumade lõhestamine	$2,19 \cdot 10^{16}$	$2,69 \cdot 10^{12}$
Termotuumaenergia	$6,35 \cdot 10^{17}$	$7,8 \cdot 10^{13}$
Kokku	$6,64 \cdot 10^{17}$	$8,15 \cdot 10^{13}$

Peale eespool vaadeldu on aga maakeral olemas pidevalt tema pinnale langeva päikese kiirguse ja maapõues salvestunud soojusenergia kasutamise võimalused, mis kannavad koondnimetust taastuvenergiaallikad, mille lihtsamalt rakendatav aastane ressurss on toodud tabelis 6 (Lepa ja Jürjenson, 2000).

Tabel 6. Põhiliste taastuvenergiaallikate aastane ressurss

Table 6. Annual resources of main renewable energy sources

Nimetus	Aastane ressurss		Aastane kasutus käesoleval ajal, Gttk
	Gttk	TW·h	
Biomass	6,5	52 910	0,8
Hüdroenergia	3,25	26 455	0,28
Tuuleenergia	3,25	26 455	~0,003
Geotermaalenergia	2,15	17 501	0,036
Ookeanide soojus	1,1	8954	vähe
Tõus-mõõn, hoovused	0,05	407	vähe
Väikese võimsusega päikeseenergia- seadmed (päikesekollektorid, päikese- patareid)	2,3	18 722	vähe
Kokku	18,6	151 404	~1,12

Eeltoodust selgub, et põhimõtteliselt võiks taastuvenergiaga praegusel ajal rahuldada kogu maakera energiavajaduse. Kahjuks nõuab aga kogu kohmaka energeetilise süsteemi ümberkujundamine palju ressursse ja aega. Ettevalmistusi selleks peaks aga alustama.

2004. aastal muundatud primaarenergia kogus Eesti Vabariigis oli 152 028 teradžauli, see moodustab maailmas sel ajal kasutatud primaarenergiast ~0,034%, mis kogu protsessile muidugi erilist mõju ei avalda. Küll aga on see oluline meie väikesele rahvale, kes moodustab maakera elanikkonnast 0,02%. Analoogiline, enam kui kahekümneaastane statistika Eesti kohta pole mõttekas, sest meil on selle aja jooksul

toimunud suured muutused nii poliitilises kui ka majanduselus. Näiteks vähenes põlevkivi kaevandamine ajavahemikus 1980–2004 enam kui kaks korda. Kogu põlevkivi kasutusaja jooksul alates 1918. a on leiukohas kaevandatud üle 870 mln t põlevkivi (varu arvutuses), mis koos kadude ja mahakantud varuga moodustas maapõues ligi 1,6 mld t. Aastasaja vahetuse seisuga on majanduslike ja keskkonnakaitseliste kriteeriumite järgi Eesti maardlas 1,5 mld t aktiivset põlevkivivaru, mida on praktiliselt samapalju kui seda oli kogu ammendatud alal.

(Kattai, 2000). Samas artiklis lisab Kattai, et kokku võib aktiivse varu kogus olla piisav tegutsevatele kaevandustele ja karjääridele ligi 50 aastaks.

Muudest kütustest on ajavahemikus 1980–2004 oluliselt suurenenud ainult küttepuidu (k a puiduhake ja jäätmed) tootmine – enam kui 4,5 korda (Statistikaamet ..., 2005). Üldiste statistikaandmete alusel on tabelis 7 toodud üldandmed Eesti energiabilansi kohta 2004. a teradžaulides ja tingkütuse megatonnides (Statistikaamet ..., 2005).

Tabel 7. Eesti energiabilanss 2004. a

Table 7. Estonian energy balance in 2004

Näitaja	TJ	Mttk	Kasv võrreldes 1995. aastaga
Kogutoodang	152 028	5,19	1,02
Import	88 500	3,02	1,01
Eksport	21 598	0,74	1,86
Kogutarbimine	218 930	7,47	1,1

Impordist moodustasid lõviosa vedelkütused ja gaas, ekspordist põlevkiviõli, küttepuut ja turbabrikett, millele lisandusid pelletid (umbes 200 000 t).

Alates 1995. aastast kajastub statistikas ka hüdro- ja tuuleelektrijaamade toodang, mis on ajavahemikus 1995–2004. a suurenenud 10,8 korda. Viimane näitaja on muidugi ülimalt positiivne, kuigi absoluutarvudes on see 108 TJ (30 GW·h), mis moodustab ~0,47% kogu vabariigi elektrienergia tarbimisest 2004. a. 2005. a 13. juunil avati pidulikult Pakri tuulepark (8 tuulikut koguvõimsusega 18,4 MW). Pakri tuulepargi eeldatav toodang – 56 GW·h moodustab umbes 1% Eestis tarbitavast elektrienergiast (Pakri tuulepark, 2005).

Kokkuvõte

Möödunud sajandil suurenes energiatarbimine maailmas ligi 20 korda ning 1980.–2002. a 1,4 korda. Üksikute energiakandjate osas oli see väga erinev. Tuumaenergia tarbimise kasvutrend oli kõige järsem – 3,51 korda, sellele järgnes taastuvenergia kasutamine – 1,82 korda ning maagaas – 1,74 korda. Absoluutarvudes on pilt teistsugune. Maagaasi energia tarbimise kasv (1,46 Gttk) sel ajavahemikul ületab vedelkütuse ja tuumaenergia kasutamise kasvu kaks korda, jättes ülejäänud kaugele maha. Maailma energiakasutuse prognoos (2002–2025) näitab vedelgaasi tarbimise kasvu jätkuvat suurenemist (1,62 korda), ülejäänud allikate kasvutrend jääb sellele veidi alla, välja arvatud tuumaenergia tarbimise suurenemine, mis on ainult 1,17-kordne.

Eesti kohta analoogset statistikat teha pole mõttekas seoses majanduse üleminekuga turumajandusele. Põlevkivi tootmine vähenes aastatel 1980–2004 enam kui kaks

korda. Aastal 2004 tarbiti primaarenergiat Eestis ühe elaniku kohta 1,8 korda rohkem kui maailmas keskmiselt. Energia kogukäive ajavahemikul 1995–2004 suurenes ainult 1,02 korda, kuid hüdro- ja tuuleenergia toodang 10,8 korda. Ilmselt jätkub selline trend ka lähitulevikus. Elektrienergia veejõul tootmise mahu kasv siiski lähiajal tunduvalt aeglustub tulenevalt juba olemasolevate vesiehitustega kohtade kasutuselevõtust, kus oli võimalik neid rajada suhteliselt väikeste kulutustega (Velner ja Saks, 2003).

Tuulejaamade võimsus peaks suurenema järgnevatel aastatel veel tunduvalt, kui seda ei takista tehnilised ning majanduslikud asjaolud (Silm, 2005). Ilmselt üks perspektiiv suurendada tuulejaamade võimsust on leida võimalus elektrienergia kasutamiseks või tuulegeneraatori väljundvõimsuse kõikumiste kompenseerimiseks kohapeal (nt vesiniku tootmine ja soojust kasutamine) (Mach ja Tiit, 2005).

Biokütuste (puit, energiakultuurid, biogaas, jne) osa kasvab kindlalt, kuid aeglaselt, mida pärsib ressursi vähenemise ja käitlemiskulude kasvuga kaasnev hinnatõus. Näiteks küttepuidu varu Eestis väheneb aastaks 2015 kuni kaks korda. Suundumus on paigaldada biokütuseid ja gaasi tarbivaid koostootmisjaamu (Eesti ..., 2005). Elektroenergeetika areng Eestis hakkab aeglaselt, kuid kindlalt, suunduma lokaliseerumise suunas, mistõttu väheneb järjepidevalt tsentraliseeritud põlevkivi-energeetika osatähtsus, aga kui palju, seda alles otsustatakse (Eesti ..., 2005).

Kaasaegse maailma energeetika kui majandusharu arengus on kolm permanentset trendi: energiahinna pöördumatu kasv, püüd energiasüsteeme lokaliseerida ja keskkonna mõjude väärtustamine. See tekitab surve ja järjest soodsamad võimalused uute energiaallikate kasutuselevõtmiseks, millega ka maailmas aktiivselt tegeldakse.

Kirjandus ✕ **References**

1. Eesti elektrimajanduse arengukava (Eelnõu) (2005) http://www.mkm.ee/failid/eelnou_150705.doc.
2. Energy Information Administration (2005) <http://www.eia.doe.gov>.
3. Kattai, V. (2000) Eesti kukersiitpõlevkivi ressurs. <http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/konver/kogu2000.htm>.
4. Lepa, J. ja Jürjenson, K. (2000) Energiavarustus. Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus. Tartu: 176.
5. Mach, L. ja Tiit, V. (2001) Kompleksse süsteemi loomine Kuressaare linnale elektri-, kütte- ja sooja vee tootmiseks taastuvate energiaallikate abil. Teise konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. EPMÜ kirjastus. Tartu: 61–64.
6. Overview: Fossil Fuels (2005) http://www.physics.emich.edu/ebehringer/FossilFuels/overview_fossilfuels.html.
7. Pakri tuulepark (2005) <http://www.pakri-tp.ee/>.
8. Silm, S. (2005) Seadusemuudatus pidurdab taastuvenergeetikat. Roheline värav 43. http://www.greengate.ee/pdf/rv_paberva_2005-06-09_nr0043.pdf.
9. Сколько топлива на земле (2001) Наука и жизнь 1. Москва: 23–25.
10. Statistikaamet (2005) <http://pub.stat.ee>.
11. Velner, H.-A. ja Saks, A. (2003) Hüdroelektrijaamade ja vesiveskite taastamisest Eestis. Neljanda konverentsi kogumik. Peatoim Tiit, V. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. OÜ Halo Kirjastus. Tartu: 87–92.
12. World Energy Assessment. Chapter 5 (2005) <http://www.t21.ca/energy/tp.htm>.

ENERGETICS YESTERDAY, TODAY, TOMMORROW ...

Andres Annuk and Jaan Lepa

Institute of Technology of Estonian Agricultural University
e-mail: annuk@eau.ee, jlepa@eau.ee

Abstract

In the last century energy consumption in the world increased nearly 20 times. This reflects the official statistics, but does not show the total consumption of energy. Citizens of rural districts used local fuels and sold this to towns without any reflection in the statistics. In the years 1980–2002 the total world energy consumption increased 1.4 times, including nuclear energy by 3.56 times and renewable energy by 1.82 times being the faster rising sectors. If expressed in absolute values, gas was in the first place and the consumption of renewable energy was very small, 2% from the total consumption growth.

Prognosis up to 2025 show that in absolute values liquid fuels will have the most significant growth, followed by gas and the growth of solid fuel will be two times less than the growth of liquid fuels. In relative values gas takes the first place – with a growth of 1.62 times, but the other forms of fuel are not far behind, liquid and renewable fuels grow by 1.59, solid fuels by 1.47 and the nuclear energy is in the last position growing by 1.17 times. The situation in nuclear energetics is not clear In Europe nuclear stations are being taken down, but the other regions, like China, build new stations. The share of renewable energy in the absolute growth figures is 8.5%. It shows an increasing trend.

In Estonia in 2003 the produced energy per capita was 1.8 times more than the world average. In the period 1995–2003 the total energy consumption increased 1.1 times, but the consumption of renewable energy increased 6.8 times.

The solitary source of energy on the Earth is the Sun. The solar energy that stays on the Earth exceeded the total energy consumption in the world in 2002 14 times. Energy consumption in the world in 2002 was 14.5 Gtce, but the annual renewable energy resources were 18.6 Gtce. It means that mankind is able to supply just renewable energy to meet all their demands. Nowadays, the most used renewable energy resource is biomass. The share of biomass used from the total available resources is 4.3%. The next most used resources are hydro energy – 1.5% and geothermal energy – 0.2%. Wind energetics being a faster growing branch, the share of wind energy is around 1%. The share of other energy resources is smaller still. Energetics, as an industrial branch is very inertial to changes due to very expensive equipment and big capacities of production.

Today there are three permanent trends in the progress of energetics: the irreversible growth of energy prices, the demand to localize energy systems and the valuation of environmental effects. It increases the pressure and more chances to utilize new energy sources.



Taastatud Linnamäe hüdroelektrijaam

Foto: Raimo Oinus

Linnamäe HEJ ehitati AS Eesti Energia eestvõttel aastail 2001–2002 uuesti üles ligilähedaselt tema endisel kujul. Nüüd töötavad selles täielikult automatiseeritud hüdroelektrijaamas firma Waterpumps Oy kolm kompaktselt propellerturbiini koguvõimsusega 1,1 MW.

Kimmo Rintamäki

Läänemeri külmub enam-vähem täiesti kinni vaid väga külmal talvel. Nii juhtus 1939/40, 1941/42 ja 1947/48 talvel. Rekordjääd oli talvel 1941/42, kui kinni külmus terve meri ning Taani jääteenistuse andmetel oli jää all 500 000 km².

Jaan Saar ja Ilona Vahter

Tuuleenergeetika kiire areng maailmas nõuab meie energeetikutelt ajaga kaasaskäimist ning oma senist kõrvaltvaataja rolli muutmist.

Vello Selg

Arvutused näitavad päikesekollektorite suurt eelist bioloogilistel protsessidel baseeruvate energiavarustussüsteemide ees.

Veli Palge