



XXIV (1) : 1–52 (2013) : ISSN 1024-0845 ESSN 2228-4893

Kaastööde esitamiseks ja vabaks juurdepääsuks külastage: <http://agrt.emu.ee>  
For online submission and open access visit: <http://agrt.emu.ee/en>

# AGRAARTEADUS

JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE



*J Agric Sci*  
Vol. 24 No. 1  
pp 1–52  
Estonian Academic  
Agricultural Society  
Tartu, Estonia  
June 2013



**Akadeemilise Põllumajanduse Seltsi väljaanne**  
**Tartu 2013**



## Toimetuskolleegium / Editorial Board:

---

Peatoimetaja / Editor-in-chief

**Maarika Alaru** Estonian University of Life Sciences

---

Toimetajad / Editors

**Evelin Loit** Estonian University of Life Sciences

**Brian Lassen** Estonian University of Life Sciences

**Alo Tänavots** Estonian University of Life Sciences

**David Arney** Estonian University of Life Sciences

**Oliver Sada** Estonian University of Life Sciences

**Toomas Orro** Estonian University of Life Sciences

---

Toimetuse sekretär / Editorial secretary

**Marko Kass** Estonian University of Life Sciences

---

Rahvusvaheline toimetuskolleegium / International Editorial Board

**Sveinn Adalsteinsson** Agricultural University of Iceland

**Ants Bender** Jõgeva Plant Breeding Institute, Estonia

**Gunita Deksnē** Institute of Food Safety, Animal Health and Environment -  
"BIOR", Latvia

**Margareta Emanuelson** Swedish University of Agricultural Sciences

**Matti Esala** MTT Agrifood Research Finland

**Csaba Jansik** MTT Agrifood Research Finland

**Aleksandrs Jemeljanovs** Latvia University of Agriculture

**Olav Kärt** Estonian University of Life Sciences

**Pirjo Peltonen-Sainio** MTT Agrifood Research Finland

**Jan Philipsson** Swedish University of Life Sciences

**Vidmantas Pileckas** Lithuanian Veterinary Academy

**Jaan Praks** Estonian University of Life Sciences

**Baiba Rivza** Latvia University of Agriculture

**Andrzej Sadowski** Warsaw Agricultural University

**Mart Sõrg** Tartu University, Estonia

**Rein Viiralt** Estonian University of Life Sciences

---

**Abstracted / indexed:** AGRICOLA, AGRIS, CABI, DOAJ, EBSCO

**ISSN:** 1024-0845      **ESSN:** 2228-4893

*Agraarteaduse väljaandmist toetab Eesti Maaülikool*

*Journal of Agricultural Science is supported by Estonian University of Life Sciences*

# AGRAARTEADUS

2013 ♦ XXIV ♦ 1

---

Väljaandja:	Akadeemiline Põllumajanduse Selts
Peatoimetaja:	Maarika Alaru
Keeletoimetaja:	Vaike Leola
Tehniline toimetaja:	Irje Nutt
Aadress:	Kreutzwaldi 1, 51014 Tartu
e-post:	jas@emu.ee
www:	http://aps.emu.ee, http://agrt.emu.ee

---

Agraarteaduses avaldatud teaduspublikatsioonid on retsenseeritud

## SISUKORD

### TEADUSTÖÖD

<i>H. Kaldmäe, M. Kass, R. Leming, M. Ots</i> Kuumtöötlemise mõju rapsikoogi proteiini kvaliteedile .....	3
<i>B. Lassen, T. Järvis, E. Mägi</i> Seedekulglasid parasiidid Eesti saarte lammastel .....	7
<i>K. Ling, A. Ilves, H. Jaakson, A. Olt, M. Ots</i> Piimalehmade seleeniga varustatusest Eestis .....	15
<i>T. Pomerants, V. Viljasoo, M. Reinvee</i> Maasoojuspump Booster SP talitus-tehnilised karakteristikud ja ruumi sisekliima .....	21
<i>K. Rannik, R. Kõlli</i> Jõgeva, Kuusiku ja Olustvere katseala muldadest .....	29
<i>K. Toom, T. Peets, A. Annuk</i> Tuulikute väljundvõimsuste tasakaalustamise võimalusi .....	38

---

### KROONIKA

<i>A. Bender</i> 90 aastat katseasjanduse nõukogu asutamisest .....	47
<i>E. Vesik</i> Ilmar Jürisson – 100 .....	51

# JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE

2013 ♦ XXIV ♦ 1

---

Published by:	Academic Agricultural Society
Editor in Chief:	Maarika Alaru
Technical Editor:	Vaike Leola, Irje Nutt
Address:	Kreutzwaldi 1, 51014 Tartu,
e-mail:	jas@emu.ee
www:	<a href="http://aps.emu.ee/ENGLISH">http://aps.emu.ee/ENGLISH</a> , <a href="http://agrt.emu.ee/en">http://agrt.emu.ee/en</a>

---

## CONTENTS

### SCIENTIFIC WORKS

<i>H. Kaldmäe, M. Kass, R. Leming, M. Ots</i> Effect of heat treatment on rapeseed cake protein quality .....	3
<i>B. Lassen, T. Järvis, E. Mägi</i> Gastrointestinal parasites of sheep on Estonian islands .....	7
<i>K. Ling, A. Ilves, H. Jaakson, A. Olt, M. Ots</i> The selenium status of dairy cows in Estonia .....	15
<i>T. Pomerants, V. Viljasoo, M. Reinvee</i> Ground heat pump booster sp function-technical indices and rooms indoor climate .....	21
<i>K. Rannik, R. Kõlli</i> About the soils of Jõgeva, Kuusiku and Olustvere experimental areas .....	29
<i>K. Toom, T. Peets, A. Annuk</i> Possibilities for balancing wind generators' output power .....	38

---

# KUUMTÖÖTLEMISE MÕJU RAPSIKOOGI PROTEIINI KVALITEEDILE

Helgi Kaldmäe, Marko Kass, Ragnar Leming, Meelis Ots

*Eesti Maaülikool*  
e-post: helgi.kaldmae@emu.ee

**ABSTRACT.** *Effect of heat treatment on rapeseed cake protein quality. Cold-pressed rapeseed cake are poor sources of ruminal undegraded protein (RUP), protein effective degradability were 85–89%. Heat treatment is one of the most common method use to reduce ruminal protein degradation. Changes of treatment temperature had the greatest effect on the solubility and ruminal degradability of rapeseed cake protein. The higher treatment temperature of the seeds resulted in lower and slower ruminal degradability of rapeseed cake protein. The results of different study show that heating temperature and duration of heating were both important in protecting rapeseed protein for ruminal degradation. It was concluded from that studies that heating rapeseed 100°C for 20 min in the present case conditions is a viable method to reduce ruminal degradability of rapeseed cake protein without compromising the intestinal digestibility of RUP.*

**Keywords:** *rapeseed cake, heat treatment, protein degradation*

## Sissejuhatus

Proteiin on loomade toitumisel energia kõrval tähtsuselt teine toitefaktor. Seepärast pööratakse söödaratsioonides proteiinisisaldusele ja proteiini efektiivsele kasutamisele suurt tähelepanu. Ühelt poolt väärtustatakse piimavalku, teiselt poolt on sööda-proteiin üks kallimaid toitefaktoreid, mille otstarbekas kasutamine suurendab tootmise tulukust. Loom-organismis valgud pidevalt uuenevad. Organismis toimub lakkamatu valkude hüdroolüüs ja süntees.

Seedekanalist imendunud aminohapped kasutab loom valkude sünteesiks, mis on vajalikud nii elatusks, kasvuks, reproduksiooniks kui ka lüpsilehmadel piima sünteesiks. Optimeerides proteiini kasutamise efektiivsust mäletsejaliste söötmisel, lähtutakse vatsas lõhustuvast ja mittelõhustuvast proteiinist, et katta lehmade vajadused ainevahetuses ja piima sünteesil (NRC, 2001). Laktatsiooni algul peaks lehmade proteiinitarbest olema vatsas lõhustuvat proteiini 60...65% ja vatsas lõhustumatut proteiini 35...40%, lahustuvat proteiini aga 25...33% (NRC, 1989). Lehmade proteiinitarbe katmisel lähtutakse põhiliselt kahest mõnevõrra erinevast seedetraktis toimuvast protsessist ning nende protsesside käigus sünteesitud või hüdroolüüsitud aminohapete profiilist:

1) vatsas sünteesitud mikroobse proteiini kogusest ja seda mõjutavatest teguritest ning imendunud mikroobse proteiini aminohappelisest koostisest,

2) vatsas lõhustamatu proteiini seeduvusest peensooles ja seedunud proteiini aminohappelisest koostisest.

Vatsas lõhustuvat proteiini on otstarbekas sööta nii palju, et see kataks (kuid ei ületaks) mikroobse proteiini sünteesiks vajaliku lämmastiku koguse. Vatsas lõhustamata, kuid soolestikus imenduvat proteiini, on samuti otstarbekas anda nii palju, et katta looma aminohapete tarve. Nii palju kui võimalik peaks jälgima imendunud aminohapete profiili.

Proteiini lõhustuvus vatsas sõltub väga paljudest teguritest, nagu mikroorganismide proteoolüüsi aktiivsusest, vatsa pH-st, söödaosakeste vatsa läbimise kiirusest, proteiini füüsikalistest ja keemilistest omadustest (Broderick *et al.*, 1991; Nolan, 1993; Holden *et al.*, 1994; Cottrill, 1996; Vadi *et al.*, 2004). Kõige üldisemalt mõjutab proteiini lõhustuvust 1) mittevalgulise proteiini osatähtsus proteiinis ning 2) erinevate valgufraktsioonide hulk ja osatähtsus söötades. Mittevalguline proteiin laguneb vatsas täielikult väga kiiresti, kuid valgulise proteiini lagunemine toimub palju aeglasemalt, olenedes valgufraktsioonist (Chalupa, Sniffen, 2002).

Söödad erinevad nii proteiini lahustuvuse kui ka vatsas lõhustuvuse poolest. Meetodeid proteiini lõhustuvuse vähendamiseks vatsas on mitmeid: keemiline töötlemine, kapseldamine, kuumtöötlemine jne. Kõige levinum neist on söötade töötlemine kemikaalidega või kõrge temperatuuriga. Proteiini kaitsmisel on loetud kuumtöötlemise meetodeid efektiivsemaks kui keemilisi, sest viimastel võib esineda kahjulik mõju aminohapete seeduvusele peensooles. Järgnevalt anname ülevaate rapsi kuumtöötlemise uurimustest, mis on tehtud, et vähendada proteiini lõhustuvust vatsas ja suurendada mõõduva proteiini osatähtsust.

## Kuumtöötlemine

Kuumtöötlemine on üks enam levinud meetod, millega on võimalik üldjuhul sööda toitainete, proteiini lõhustumise kineetikat vatsas mõjutada. Seda kasutatakse sööda proteiini vatsas lõhustuvuse vähendamiseks ja aminohapetega varustatuse suurendamiseks peensooles.

Töötlemisviis baseerub faktil, et söödaproteiin koosneb erinevatest fraktsioonidest, mis reageerivad eri viisil mitmesugustele kuumutamise sisenditele (temperatuuri suurusele ja kuumutamise kestusele). Sniffen *et al.* (1992) järgi võib eristada viit proteiini fraktsiooni:

- 1) mittevalgulised lämmastikühendid,
- 2) kiirelt lõhustuv valguline proteiin,
- 3) keskmiselt lõhustuv valguline proteiin,
- 4) aeglaselt lõhustuv valguline proteiin,
- 5) mitteomastatav proteiin.

Mittevalgulised lämmastikühendid ja kiirelt lõhustuv valguline proteiin denatureeruvad kuumutamisel madalamal temperatuuril ning muutuvad keskmiselt ja aeglaselt lõhustuvaks fraktsiooniks. Aeglaselt lõhustuv proteiini fraktsioon reageerib kõrgemale temperatuurile ja harilikult muutub seedumatuks (Mustafa *et al.*, 2000).

Kuumutamise eesmärk on minimeerida proteiini lahustuvat fraktsiooni ja maksimeerida aeglaselt lõhustuvat fraktsiooni nii, et see kas üldse mitte või väga vähe suurendaks seedumatu proteiini fraktsiooni. Söödaproteiini kuumutamise käigus valgud denatureeruvad ja moodustavad süsivesikutega ristsidemeid, mille tulemusena tekib nn Maillard'i produkt. See on stabiilne nii hapete toimele seedekanali erinevates osades kui ka proteolüütiliste ensüümide tegevusele (Stern *et al.*, 1994). Kuumtöötlemisel on väga oluline valida õige temperatuur. Liiga madal temperatuur ei avalda protekteerivat mõju, liiga kõrge temperatuuri korral saavad kahjustada valgud ja tekib seedumatu proteiin (Sindt *et al.*, 2004).

Optimaalsed temperatuuri sisendid sõltuvad aga mitmest tegurist, nagu töödeldava sööda niiskusesisaldusest, pH-st, süsivesikute koostisest ja -sisaldusest, proteiinisaldusest, aga ka Maillard'i reaktsiooni inhibiitoritest.

Kuumtöötlemise mõjul proteiini fraktsioonide muutusi kontrollitakse lahustuva ja seedumatu proteiini määramisega söödas. Kui töötlemistemperatuur tõuseb, toimuvad rapsikoogi proteiinis muutused (tabel 1).

**Tabel 1.** Kuumutamise mõju rapsikoogi proteiinile  
**Table 1.** Effect of treatment on protein of rapeseed cake

Näitajad/Items	Proteiini fraktsioon, % toorproteiinist	
	Fraction of crude protein, %	
	lahustuv proteiin soluble protein	seedumatu proteiin insoluble protein
Kuiv kuumutamine / Dry heat (McKinnon <i>et al.</i> , 1995)		
Kontroll/Control	32,5	5,1
125°C 10 min.	16,6	7,0
145°C 10 min.	9,7	35,5
Niiske kuumutamine / Moist heat (Moshtaghi Nia, Ingalls, 1992)		
Kontroll/Control	32,4	5,4
127°C 15 min.	7,0	6,6
127°C 70 min.	9,7	41,1

125°C juures 10 minuti kestel kuumutatud rapsikoogi proteiin lõhustus vatsas vähem, kuid ei suurendanud oluliselt peensooles seedumatu proteiini kogust. 145°C temperatuuriga töötlemisel 10 minutit suurenes tunduvalt rapsikoogis seedumatu proteiini osakaal. Sama võib väita, kui kuumutamine kestis 70 minutit ja temperatuur oli 127°C (tabel 1).

McKinnon *et al.* (1995) ja Mustafa *et al.* (1997) mitmed uurimused tõestasid, et rapsijahu proteiini lõhustuvuse vähendamiseks vatsas on mõistlik kasutada temperatuuri mitte üle 125°C 10 minutist kuni 30 minutini.

Erineva kuumutamise temperatuuri mõju rapsikoogi proteiini lõhustuvusele uuriti *in sacco* katsetega EPMÜ-s (Kass *et al.*, 2005), mida näitab tabel 2. Rapsiseemneid kuumutati 20 minutit.

**Tabel 2.** Erineval temperatuuril töödeldud rapsikoogi proteiini lõhustuvus

**Table 2.** Protein degradability of rapeseed cake processed at different temperatures (Kass *et al.*, 2005)

Lõhustuvuse aeg, h Time of degradability, h	Temperatuur/Temperature, °C			
	98	100	110	112
2	47,3	42,1	41,9	34,2
4	58,8	50,7	45,5	43,1
8	70,8	60,0	62,2	51,9
16	77,2	73,9	65,1	53,5
24	83,0	79,8	74,0	72,5
48	93,7	89,3	81,2	81,0
Efekttiivne lõhustuvus, % Effective degradability, %	57	51	49	43
Lahustuvus/Solubility, %	35	32	31	27

Mida kõrgemat temperatuuri töötlemisel kasutati, seda aeglasemalt ja vähem lõhustus rapsikoogi proteiini vatsas. Temperatuuri suurendamisel 98-lt °C kuni 112-ni °C vähenes proteiini lõhustuvus vatsas 14% võrra.

Seisukohta, et rapsi töötlemistemperatuuri tõeses väheneb proteiini efektiivne lõhustuvus vatsas, jagab enamik uurijaid, kuid küsimusi tekitab õige temperatuurirežiimi valik. Lõhustuvus ei sõltu rapsikoogi töötlemise temperatuurist, vaid ka kuumtöötlemise ajast. Mida kõrgem on kasutatav temperatuur, seda lühem peab olema kuumtöötlemise kestus (Moshtagh Nia, Ingalls, 1995; McNiven *et al.*, 2002; Carre *et al.*, 2007).

Võrreldi ka kül- ja kuumtöödeldud rapsikoogi proteiini käitumist vatsas (Kass, 2006; Kaldmäe *et al.*, 2010). Külmtöödeldud koogi saamisel ei ületanud pressimisel temperatuur 60°C ja kuumtöötlemisel kuumutati 100°C juures 20 minutit rapsiseemneid õli väljapressimisel. *In sacco* katsetes uuritud kookide keskmine keemiline koostis on toodud tabelis 3 ja proteiini lõhustuvus tabelis 4.

**Tabel 3.** Külmpress ja kuumpress rapsikoogi keskmine keemiline koostis (n=6)

**Table 3.** Average chemical composition of cold-pressed and heat-treated rapeseed cake (Kass, 2006)

Näitajad/Items	Külmtöödeldud rapsikook	Kuumtöödeldud rapsikook
	Cold-pressed	Heat treated
Kuivaine / Dry matter, %	90,6	89,5
Kuivaines / In dry matter:		
toorproteiin / crude protein, g kg <sup>-1</sup>	356	365
toortuhk / crude ash, g kg <sup>-1</sup>	59	73
toorkiud / crude fibre, g kg <sup>-1</sup>	125	145
toorrasv / crude fat, g kg <sup>-1</sup>	159	126
seedumatu proteiin, %	6,77	6,82
ADIP (insoluble protein), %		

Külm-töödeldud rapsikoogi proteiin on äärmiselt kiiresti vatsas lõhustuv, seda võib võrrelda liblik-õelisterikka silo proteiini lõhustuvusega (Vadi *et al.*, 2004). Esimese kahe tunni jooksul lõhustus külm-töödeldud rapsikoogi proteiinist 82,9%, kuumtöödeldust aga 37,5%. Efektiivseks proteiini lõhustuvuseks kujunes vastavalt 89,5% ja 53,7%. Kuumtöödeldud rapsikoogi proteiin hakkas vatsas lõhustuma pärast 8-tunnist inkubatsiooniperioodi, külm-töödeldul aga kohe. Et sööt püsib tasakaalustatud ratsioonide korral vatsas ligikaudu 8 tundi, võib uuritud sööda lõhustuvuse kineetikat hinnata soodsaks nii vatsa mikroorganismidele kättesaadava proteiini kui lehma aminohapetega varustatuse seisukohalt.

**Tabel 4.** Kül- ja kuumtöötlemisel saadud rapsikoogi proteiini lõhustuvus vatsas

**Table 4.** Protein degradability of cold-pressed and heat treated rapeseed cake (Kass, 2006)

Lõhustuvuse aeg Time of degradability, h	Külm-töödeldud Cold-pressed		Kuumtöödeldud Heat treated	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
2	82,9	0,2	37,5	0,1
4	86,1	0,7	43,0	0,8
8	90,8	0,5	44,5	0,5
16	93,3	0,3	67,7	1,1
32	94,2	0,1	77,1	0,6
64	94,4	0,1	87,1	0,3
Efektiivne lõhustuvus Effective degradability, %	89,5	0,3	53,7	3,1
Lahustuvus/Solubility, %	74,2	0,8	28,0	0,2

**Tabel 5.** Tehnoloogia mõju rapsikoogi proteiini kvaliteedile

**Table 5.** Effect of technology of rapeseed cake on the protein quality

Tehnoloogia Technology	n	Toorproteiin Crude rotein, g kg <sup>-1</sup>	Efektiivne lõhustuvus Effective degradability, %	Seedumatu proteiin Insoluble protein (ADIP), %	Kor. proteiin Cor. protein, g kg <sup>-1</sup>	Metaboliseeruv proteiin Metabolizable protein, g kg <sup>-1</sup>
Külmpress / Cold pressed < 60°C (Kaldmäe <i>et al.</i> , 2010)	40	332	89	6,8	332	89
Külmpress / Cold pressed < 90°C	9	346	85	11,7	340	102
Kuumtöödeldud / Heat treatment 100°C 20 min	103	365	54	6,8	365	169
Kuumtöödeldud / Heated > 125°C	17	374	52	23,2	325	164

### Kokkuvõte

Külm-töödeldud rapsikoogi proteiini efektiivne lõhustuvus vatsas on suur, 85–89%.

Kuumtöötlemisega on võimalik mõjutada nii rapsikoogi proteiini lõhustuvust vatsas kui ka omastamist peensooles. Töötlemistemperatuuri muutus avaldas suurimat mõju rapsikoogi proteiini lahustuvusele ja lõhustuvusele vatsas. Mida kõrgem oli rapsiseemnete töötlemistemperatuur, seda vähem ja aeglasemalt lõhustus rapsikoogi proteiin vatsas.

Kuumtöötlemisel tuleb arvestada nii kuumutamise temperatuuriga kui ka selle kestusega. Mida kõrgem on kasutatav temperatuur, seda lühem peab olema kuumutamise kestus, et vältida Maillard'i produkti tekkimist.

### Kasutatud kirjandus

National Research Council. 1989. Nutrient requirements of dairy cattle. Sixth revised edition. National Academic Press. Washington, DC.

Nagu tabelist 3 nähtub, ei vähendanud kuumtöötlemine (100°C juures 20 minuti kestel) proteiini omastamist, seedumatu proteiini osakaal oli vastavalt 6,77% ja 6,82%.

Proteiinisöötade vatsast mööduva proteiini efektiivsust hinnatakse kaudselt seedumatu proteiini kaudu, mida määratakse happekiu fraktsiooni jäägist lämmastikusisalduse osakaaluga (ADIN) (Licitra *et al.*, 1996).

Rapsiõli saamiseks kasutatakse väga mitmesuguseid presse ja ka seemnete kuumtöötlust. Kuumutamisel on suur oht Maillard'i produkti tekkimiseks, mis on seedumatu. Tabelis 5 on uuritud erinevate tootmistehnoloogiatel saadud rapsikookide proteiini efektiivset lõhustuvust vatsas, seedumatu proteiini osakaalu ja selle järgi hinnatud sööda metaboliseeriva proteiini sisaldust.

Suure võimsusega tigupressiga rapsiõli väljapressimisel tõuseb temperatuur 90°C-ni, mis samuti mõjutab valkude omadusi, ADIP tõusis 11,7%-ni.

Kui rikutakse kuumutamise režiimi (kasutatakse liiga kõrget temperatuuri või kuumutamise kestus on liiga pikk), siis denatureeruvad ka valgud ja moodustub Maillard'i produkt. Seda on näha tabeli 5 andmetest, kus ADIP on keskmiselt 23,2% (kõikumisega 20,3% kuni 25,9%). Sellise rapsikoogi proteiini omastamine on tunduvalt vähenenud.

National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. Seventh revised edition. National Academic Press, Washington, DC, 381 pp.

Broderick, G.A., Wallace, R.J., Ørskov, E.R. 1991. Control of rate and extent of protein degradation. In: Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants, Academic Press, Orlando, p. 541–592.

Carre, P., Evrard, J., Loison, J.P., Quinsac, A. 2007. Heat treatment of rapeseed as an alternative to formaldehyde use for protecting proteins in rumen. – 12<sup>th</sup> Rapeseed Congress, Wuhan, China, 2007, p. 1–4.

Chalupa, W., Sniffen, C.J. 2002. Carbohydrate, protein and amino acid nutrition of lactating dairy cattle. In: Wiseman J., Garnsworthy P.C., editors. Recent Developments in Ruminant Nutrition 4, Nottingham, University Press, p. 357–368.

Cottrill, B.R. 1996. Characterisation of nitrogen in ruminants feeds. – Recent developments in ruminant nutrition 3, p. 167–211.

- Holden, L.A., Glenn, B.P., Erdman, R.A., Potts, W.E. 1994. Effects of alfalfa and orchardgrass on digestion by dairy cows. – *J. Dairy Science*, 77, p. 2580–2594.
- Kaldmäe, H., Leming, R., Kass, M., Lember, A., Tõlp, S., Kärt, O. 2010. Chemical composition and nutritional value of heat-treated and cold-pressed rapeseed cake. – *Veterinarija ir Zootehnika*, 49 (71), p. 55–60.
- Kass, M., Kaldmäe, H., Kärt, O., Ots, M., Olt, A. 2005. Effect of temperature on the quality of rapeseed cake protein. – *Proceeding of the 11<sup>th</sup> Baltic Animal Breeding and Genetics Conference*, Palanga, p.198–201.
- Kass, M. 2006. Õli pressimise tehnoloogia mõju rapsikoogi proteiini kvaliteedile veiste söötisel. – *Tartu, Triip*, 84 lk.
- Licitra, G., Hernandez, T.M., Van Soest, P.J. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feed. – *Animal Feed Science and Technology*, 57, p. 347–358.
- McKinnon, J.J., Olubobokun, J.A., Mustafa, A.F., Cohen, R.D.H., Christensen, D.A. 1995. Influence of dry heat treatment of canola meal on site and extent of nutrient disappearance in ruminants. – *Animal Feed Science and Technology*, 56, p. 243–252.
- McNiven M.A., Prestlokken, E., Mydland L.T., Mitchell A.W. 2002. Laboratory procedure to determine protein digestibility of heat-treated feedstuffs for dairy cattle. – *Animal Feed Science and Technology*, 96, p. 1–13.
- Moshtaghi Nia, S.A., Ingalls J.R. 1992. Effect of heating on canola meal protein degradation in the rumen and digestion in the lower gastrointestinal tract of steers. – *Canadian Journal Animal Science*, 72, p. 83–88.
- Moshtaghi Nia, S.A., Ingalls, J.R. 1995. Influence of moist heat treatment on ruminal and intestinal disappearance of amino acids from canola meal. – *Journal Dairy Science*, 78, p. 1552–1560.
- Mustafa, A.F., McKinnon, J.J., Thacker, P.A., Christensen, D.A. 1997. Effect of borage meal on nutrient digestibility and performance of ruminants and pigs. – *Animal Feed Science and Technology*, 58, p. 273–285.
- Mustafa, A.F., McKinnon, J.J., Christensen, D.A. 2000. Protection of canola (low glucosinolate rapeseed) meal and seed protein from ruminal degradation. – *Review. Asian-Aust. Journal Animal Science*, 13, 4, p. 535–542.
- Nolan, J.V. 1993. Nitrogen kinetics. – In: Forbes J.M., France J, editors. *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*, CAB International, p. 123–143.
- Sindt, J.J., Drouillard, J.S., Thippareddi, H., Phebus, R.K., Coetzer, C.M., Kerr, K.D., Lambert, D.L., Farran, T.B., Montgomery, S.P., LaBrune, H.J. 2004. Effect of Maillard reaction products on ruminal and fecal acid-resistant *E. Coli*, total coliforms, VFA profiles, and pH in steers. – *Journal Animal Science*, 82, p. 1170–1176.
- Sniffen, C.J., O'Connor, J.D., Van Soest, P.J., Fox, D.J. Russell, J.B. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: Carbohydrate and protein availability. – *Journal Animal Science*, 70, p. 3562–3577.
- Stern, M.D., Varga, G.A., Clark, J.H., Firkins, J.L., Huber, J.T., Palmquist, D.L. 1994. Evaluation of chemical and physical properties of feeds that affect protein metabolism in the rumen. – *Journal Dairy Science*, 77, p. 1296–1304.
- Vadi, M., Kaldmäe, H., Kärt, O., Ots, M., Jürgenson, A., Olt, A. 2004. Temperatuuri mõjust rapsikoogi proteiini lõhustuvusele vatsas. – *Agraarteadus*, 14, 2, lk 119–124.

### Effect of heat treatment on rapeseed cake protein quality

Helgi Kaldmäe, Marko Kass, Ragnar Leming, Meelis Ots

#### Summary

The objective of this review is look at different studies of heat treatment that have been used to protect rapeseed cake and seed protein for ruminal microbial degradation and digestibility. The objective is to minimize the soluble fraction and maximize the slowly degradable fraction with little or no increase in the indigestible fraction. On optimum heat input varies from on dietary protein to another, but they depends on several factors.

Cold-pressed rapeseed cake are poor sources of ruminal undegraded protein (RUP), protein effective degradability were 85–89%.

Changes of treatment temperature had the greatest effect on the solubility and ruminal degradability of rapeseed cake protein. The higher treatment temperature of the seeds resulted in lower and slower ruminal degradability of rapeseed cake protein. The results of different study show that heating temperature and duration of heating were both important in protecting rapeseed protein for ruminal degradation. It was concluded from that studies that heating rapeseed 100°C for 20 min in the present case conditions is a viable method to reduce ruminal degradability of rapeseed cake protein without compromising the intestinal digestibility of RUP (effective protein degradability 54%).



# GASTROINTESTINAL PARASITES OF SHEEP ON ESTONIAN ISLANDS

Brian Lassen\*, Toivo Järvis, Erika Mägi

*Estonian University of Life Sciences, Institute of Veterinary Medicine and Animal Sciences,  
Kreutzwaldi 62, 51014 Tartu, Estonia  
e-mail: brian.lassen@gmail.com*

**ABSTRACT.** Parasites are important production-limiting diseases in livestock farming. Their proper treatment and control requires knowledge of their presence, epidemiology, and diagnostics. We investigated the presence of the GI parasites in pooled herd faecal samples from the islands Saaremaa (n=21), Hiiumaa (n=18), and Vormsi (n=7), collected in 2011–2012. The samples were investigated microscopically after quantitative flotation, acid-fast contrast staining for *Cryptosporidium* oocysts, and direct immunofluorescence for *Giardia* cysts. Findings included nematodes: Strongylida spp. (94.6%), Strongyloides spp. (70.7%), *Trichuris* spp. (9.8%); protozoans: *Eimeria* spp. (94.6%), *Giardia* spp. (69.6%), *Cryptosporidium* spp. (60.9%); cestodes: *Moniezia* spp. (22.8%); and trematodes: *Dicrocoelium* spp. (3.3%). *E. spp.* oocysts and Strongylida eggs were shed in levels that may indicate problems in some herds. The most dominant species of *Eimeria* was the pathogenic *E. ovinoidalis* (64.4%), but the other clinically important species, *E. cranadallis* did not dominate any samples. Based on the presented findings, it appeared that the herds had different parasitic problems needing evidence based treatments for sustainable control.

**Keywords:** sheep, parasites, protozoa, nematoda, cestoda, trematoda, prevalence.

## Introduction

Ovine gastrointestinal (GI) parasites are important pathogens affecting the health of the animals and the income of their farmers (Fitzgerald, 1980; Chartier, Paraud, 2012). Clinical signs of disease, such as diarrhoea, and even mortalities affect mainly young animals (Hansen, Perry, 1994; Chartier, Paraud, 2012). Sub-clinical effects, such as long term weight loss and reduced growth, are probably more important considerations to a modern livestock production aiming for improvement of production through healthier animals (Fitzgerald, 1980; Foreyt, 1990; Taylor, 2009). To achieve such a lasting effect the farmers and veterinarians require knowledge of parasites affecting the sheep, risks affecting the presence of parasites, and methods to detect and treat the infections in a sustainable way (Sargison, 2011; Chartier, Paraud, 2012).

Sheep in the Northern hemisphere are potentially exposed to a wide range of parasites, including gastrointestinal nematodes (GIN), lungworms, tapeworms,

liver flukes, unicellular organisms, and ectoparasites (Domke *et al.*, 2012). There are over 20 different species of GIN of sheep, what can cause clinical or subclinical disease with reduced growth rate, body condition and milk production. Protozoan parasites constitute another group of common and important gastrointestinal causes of disease mainly: *Eimeria*, *Cryptosporidium*, and *Giardia* (Fitzgerald, 1980; Pfister, Flury, 1985; Dittmar *et al.*, 2010; Saratsisa *et al.*, 2011). It has previously been shown that *Eimeria* and *Cryptosporidium* is prevalent in Estonian dairy herds and cause substantial losses to farmers when uncontrolled (Lassen *et al.*, 2009a; Lassen, Østergaard, 2012). Ovines are likely to be similarly affected in Estonia by the clinical and subclinical infections (Sweeny *et al.*, 2011). The most pathogenic *Eimeria* species is considered to be *E. ovinoidalis* (Catchpole *et al.*, 1976; Chartier, Paraud, 2012), and *E. cranadallis* is considered mildly pathogenic in lambs (Catchpole, Gregory, 1985). Other species such as *E. ahsata*, *E. marsica*, *E. bakuensis*, *E. granulosa*, and *E. parva* have been reported to show clinical signs in lambs (Mahrt, Sherrick, 1965; Gregory, Catchpole, 1987; Berriatua *et al.*, 1994; Reeg *et al.*, 2005; Skirnisson, 2007).

Estonian sheep have previously been investigated by Kaarma, and Mägi (2000), Mägi and Kaarma, (2002), and Mägi and Sähk (2004). The investigations examined the population dynamics of strongylids, *Moniezia* and *Eimeria* in the period 1996–2006. Until now the information on sheep parasites on Baltic Sea islands has remained unexplored.

The aim of the current study was to investigate the parasitic situation in the sheep herds on the Estonian islands during two visits in 2011 and 2012 with a focus on identifying the present *Eimeria* species.

## Materials and methods

### Study population

On the targeted islands, 368 herds of the 559 registered had 9 animals or more and were included in the study (mean: 46, median: 21). The selected herds were distributed as: Saaremaa n=267, Vormsi n=7, Hiiumaa n=94. A minimum sample size of 34 animals was calculated to be sufficient to prove absence of detectable parasitic infections with a minimum expected prevalence of 30%. This calculation was based on 79% sensitivity and 93% specificity of the acid-fast staining method (Quilez *et al.*, 1996). A total of 46 herds agreed to participate and were stratified according to the distribution of herds on the islands as:

Saaremaa n=21, Hiiumaa n=18 and Vormsi n=7. Herd sizes of the sampled farms varied between 9–350 animals (mean: 104, median: 82) and represent the larger herds on the islands.

### Sample collection

Selected farms were visited twice (in the spring and autumn) in 2011–2012. Fresh faecal samples were randomly collected into plastic bags on pastures and sheds in the accordance to the number of sheep in the farm (as minimum 20 samples). Samples were kept cool in airtight container until delivery to laboratory within 24–72 hours.

### Concentration flotation of parasite eggs

Individual faecal samples were mixed in their bag before pooling into a new plastic bag in masses of  $2.15\text{g} \pm 0.60$  STDV. After mixing thoroughly a 4g sub-sample taken for analysis. The quantitative flotation was performed accordingly to modified instructions by Roepstorff and Nansen (1998) using an in-house reading chamber (Henriksen and Korsholm 1984) and sugar-salt flotation medium ( $\rho = 1.26 \text{ g/cm}^3$ ) as previously described (Lassen *et al.*, 2009a).

The sample was screened as 3 vertical rows (0.06 ml) using x200 magnification (Ceti, Topic T light microscope) and findings recorded and counted as oocysts per gram faeces (OPG) or eggs per gram faeces (EPG). *Eimeria* species were determined at x400 magnification according to descriptions of Levine (1985) of the unsporulated oocysts. The each species was counted and the most frequently occurring species was defined as dominant in the sample.

### Semi-quantitative estimation of *Cryptosporidium* oocysts

Approximately 0.1 g of faeces was spread as a thin smear on microscopic slides and air dried before fixing in ethanol and staining according to instructions originally described by Henriksen and Pohlenz (1981). Samples were searched for oocysts at x400 using a light microscope. If oocysts were found averages of three random visual areas were taken as the oocyst count and classified as: low (1–5 oocysts per visual area (OVA) =  $10^4$ – $10^5$  oocysts per gram (OPG)), medium (6–25 OVA =  $10^5$ – $10^6$  OPG), and high (>25 OVA =  $>10^6$  OPG).

### Direct immunofluorescence test for *Giardia* spp.

As for the concentration flotation of parasite eggs four grams of the herd sample was dissolved in 56 ml tap water, resting for 30 min and then filtered through one layer of gauze into a new plastic cup. Ten ml of the mixed solution was transferred to a 14 ml centrifuge tube and the faecal material spun down (263 RCF, 7 min). The supernatant was removed with a pasteur pipette and the pellet resuspended in 5 ml phosphate buffered saline (Roti-Stock 10x PBS, Carl Roth GmBh, Germany) to an approximately 1/10 dilution. After vortexing 20  $\mu\text{l}$  was transferred to a 8 mm wide well on a teflon coated slide. A negative control (PBS) was added on each slide. The slide was completely

dried before fixing the material to the slide for 5 min using ethanol. After drying 25  $\mu\text{l}$  of fluorescent labelled specific antibodies were added (Crypto/Giardia Cel, Cellabs, UK). The slide incubated at 37 °C for 30 minutes in a humidity chamber. Excess reagent was removed by washing in PBS and air dried for 5 min. Mounting fluid was added to each well and a cover glass added. The entire well was examined for presence of fluorescent *Giardia* cysts at x400 magnification using the FITC filter on a Nikon Eclipse 80i microscope.

### Statistics

Differences in occurrences of different parasites in the herds on different islands were examined using a chi-square analysis, while a *t*-test was used to estimate differences between years. R version 2.15.2 (The R Foundation for Statistical Computing) was used for the analysis. Prevalences and 95% confidence intervals (CI) were calculated using mid-P using OpenEpi (<http://www.openepi.com>) as were sample sizes.

## Results

### Distribution of intestinal parasites

The presence of different intestinal parasites is presented in Table 1 and Table 2. *Eimeria*, *Cryptosporidium*, *Giardia*, *Strongylida*, *Strongyloides*, *Moniezia*, and *Trichuris* were found on all islands whereas *Dicrocoelium* eggs were only found on Saaremaa. *Eimeria* and *Strongylida* were found in almost all herds but also *Cryptosporidium*, *Giardia* and *Strongyloides* were observed in the majority of the herds.

**Table 1.** Prevalences (Mid P exact) of protozoa and cestodes found in sheep herd on Estonian islands in 2011–2012

**Table 1.** Ainuraksete parasiitide ja paelusside levimus (Mid P exact) Eesti saarte lambakarjades aastatel 2011–2012

	n	<i>Eimeria</i> sp. n, % [95% CI]	<i>Giardia</i> sp. n, % [95% CI]	<i>Crypto-</i> <i>sporidium</i> sp. n, % [95% CI]	<i>Moniezia</i> sp. n, % [95% CI]
All	92	87, 94.6% [83.4;98.0]	64, 69.6% [59.6;78.3]	56, 60.9% [50.6;70.4]	21, 22.8% [15.1;32.2]
Kokku					
Vormsi	14	13, 92.9% [69.5;99.6]	10, 71.4% [44.6;90.2]	12, 85.7% [60.3;97.5]	8, 57.1% [31.2;80.4]
Hiiumaa	36	35, 97.2% [87.1;99.9]	24, 66.7% [50.2;80.5]	26, 72.2% [56.1;85.0]	8, 22.2% [10.9;37.9]
Saaremaa	42	39, 92.9% [81.8;98.2]	30, 71.4% [56.5;83.5]	18, 42.9% [28.6;58.1]	5, 19.1% [9.3;33.0]

**Table 2.** Prevalences (Mid P exact) of nematodes and trematodes found in sheep herd on Estonian islands in 2011–2012

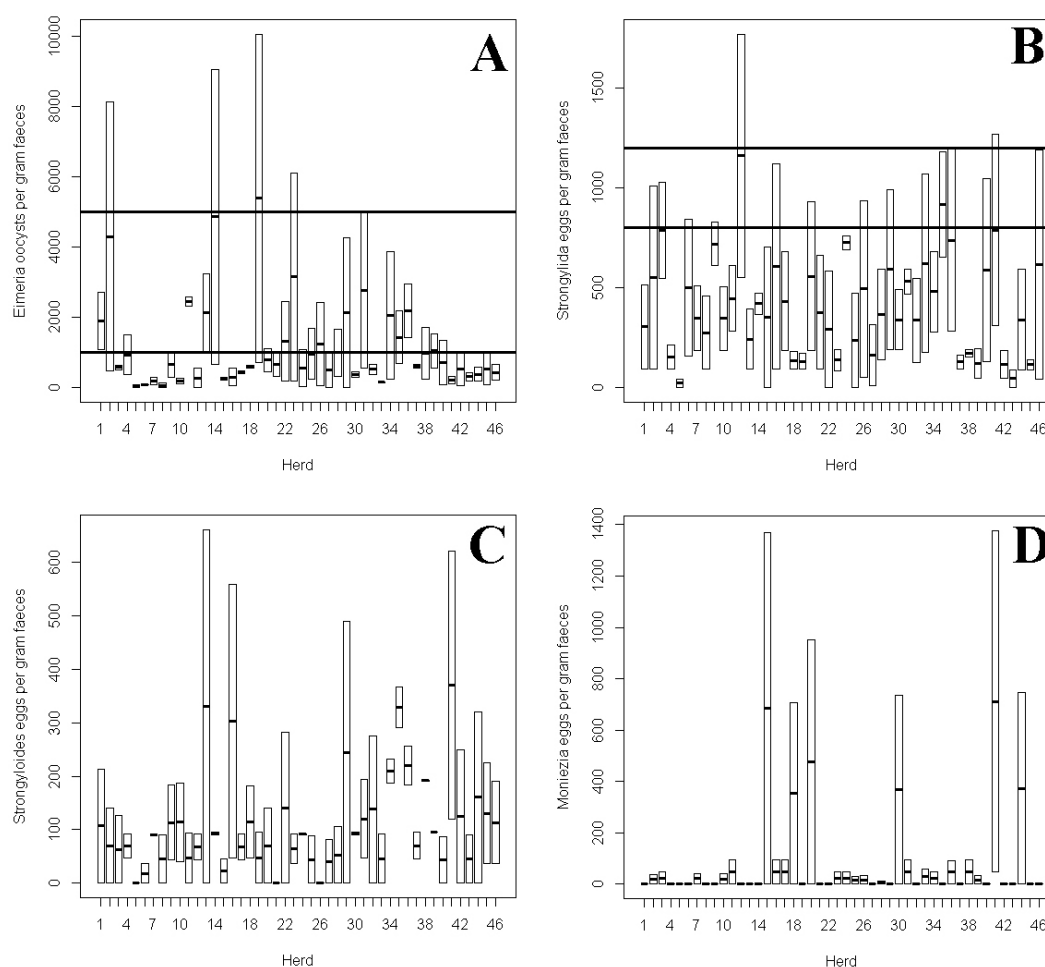
**Table 2.** Ainuraksete parasiitide ja paelusside levimus (Mid P exact) Eesti saarte lambakarjades aastatel 2011–2012

	n	<i>Strongylida</i> sp. n, % [95% CI]	<i>Strongy-</i> <i>loides</i> sp. n, % [95% CI]	<i>Trichuris</i> sp. n, % [95% CI]	<i>Dicro-</i> <i>coelium</i> sp. n, % [95% CI]
All	92	87, 94.6% [83.4;98.0]	65, 70.7% [60.8;79.3]	9, 9.8% [4.9;17.2]	3, 3.3% [0.8;8.6]
Kokku					
Vormsi	14	14, 100.0% [80.7;100.0]	12, 85.7% [60.3;97.5]	4, 28.6% [9.8;55.5]	0, 0% [0.0;19.3]
Hiiumaa	36	33, 91.7% [79.0;97.8]	25, 69.4% [53.1;82.8]	2, 5.6% [0.9;17.2]	0, 0% [0.0;8.0]
Saaremaa	42	40, 95.2% [85.2;99.2]	31, 73.8% [59.0;85.4]	3, 7.1% [1.9;18.2]	3, 7.1% [1.9;18.2]

### Intensity of parasites in the herds

The presence of parasitic oocysts and eggs in the herds faecal samples ranged 0–10,060 OPG (median: 535, mean: 1,159) for *Eimeria*, 0–1,771 EPG (median: 248, mean: 411) for *Strongylida*, 0–662 EPG (median: 90, mean: 110) for *Strongyloides*, 0–188 EPG (median: 0, mean: 76) for *Moniezia*, 0–188 EPG (median: 0, mean: 9) for *Trichuris*, and 0–94 EPG (median: 0, mean: 3) for *Dicrocoelium*. Semi-quantitative scores for *Cryptosporidium* spp. were distributed as, none: 31.1% (n=39, 29.6–49.4 95% CI), low: 47.8% (n=44, 37.8–58.0 95% CI), medium: 10.9% (n=10, 5.7–18.5 95% CI), and high: 2.2% (n=2, 0.4–7.0 95% CI).

Less cases of *Giardia* spp. was observed in the herds sampled ( $p < 0.001$ ) in 2011 compared to 2012, but the opposite was seen for semi-quantitative intensity scores for *Cryptosporidium* spp. ( $p = 0.02$ ). *Moniezia* eggs counts also dropped between the two years ( $p = 0.03$ ). A large variation was observed in the OPG's of *Eimeria* between herds (Figure 1A), whereas the number of *Strongylida* eggs found in the herds varied a little (Figure 1B). *Strongyloides* eggs were found to vary between herds, but generally at very moderate levels (Figure 1C). Only few herds had evidence of *Moniezia* eggs in larger amounts (Figure 1D).



**Figure 1.** Boxplot of herd averages of oocysts per gram faeces (OPG) *Eimeria* spp. (A), and eggs per gram faeces (EPG) *Strongylida* spp. (B), *Strongyloides* spp. (C), and *Moniezia* spp. (D) found in Estonian sheep from Saaremaa, Hiiumaa and Vormsi between 2011–2012. Vertical bars in figure A and B indicate limits for low to medium (lower bar) and medium to high (upper bar) infection intensities (Hansen, Perry, 1994; Lassen *et al.*, 2009b).

**Joonis 1.** Karpdiagramm karja keskmise *Eimeria* ootsüstide arvu kohta (A) ja *Strongylida* (B), *Strongyloides*'e (C) ning *Moniezia* (D) munade arvu kohta 1 g-s koproproovis lammastel Saaremaal, Hiiumaal ja Vormsil aastatel 2011–2012. Vertikaaltulbad osades A ja B näitavad madala kuni keskmise (alumine tulp) ja keskmise kuni kõrge (ülemine tulp) nakkusastme ulatust (Hansen, Perry, 1994; Lassen *et al.* 2009b)

### *Eimeria* species distribution

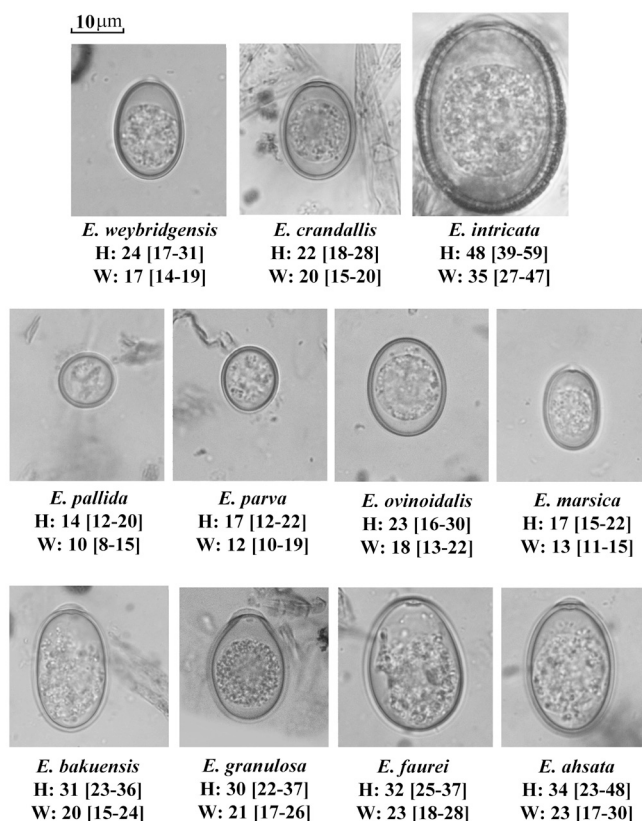
Eleven ovine species of *Eimeria* were identified in the samples (Table 3). For future reference the unsporulated species are presented in Figure 2. *Eimeria ovinoidalis* was found in almost all samples (93.1%) and dominating 64.4% of the samples (Table 3). *Eimeria crandallis* was found in 14.9% of the samples, but did

not dominate in any of them. The 11 identified ovine species were found on all islands with the exception of *E. marsica* that was only found on Saaremaa. Mean oocysts levels were highest in samples where *E. pallida*, *E. parva*, *E. bakuensis*, *E. ovinoidalis*, and *E. granulosa* were dominating. *E. ashata* was only observed dominating in one herd and in low numbers.

**Table 3.** *Eimeria* species present in Estonian sheep herds on islands Vormsi, Hiiumaa, and Saaremaa sampled in 2011 and 2012. OPG = oocysts per gram faeces

**Tabel 3.** *Eimeria* prk liigid Vormsi, Hiiumaa ja Saaremaa lambakarjades aastatel 2011 ja 2012. OPG = ootsüside arv 1 g-s koproproovis

<i>Eimeria</i> -positive herds <i>Eimeria-positiivseid karju</i>	All samples <i>Proove kokku</i>				Samples where species is dominating <i>Proovid, kus liigid domineerivad</i>		
	Total <i>Kokku</i>	Vormsi	Hiiumaa	Saaremaa	Frequency <i>Sagedus</i>	OPG	
	n=87	n=13	n=35	n=39	n=87	n=87	n=87
	n, % [95% CI]	n, % [95% CI]	n, % [95% CI]	n, % [95% CI]	N, % [95% CI]	Mean [95% CI]	Min Max
<i>E. pallida</i>	27, 31.0% [22.0; 41.3]	2, 15.4% [2.7; 42.2]	12, 34.3% [20.1; 51.0]	13, 33.3% [20.0; 49.1]	4, 4.6% [1.5; 10.7]	2239 [-182; 4659]	192 3861
<i>E. parva</i>	33, 37.9% [28.2; 48.5]	3, 23.1% [6.2; 50.9]	10, 28.6% [15.5; 45.1]	20, 51.3% [37.8; 66.6]	9, 10.4% [5.2; 18.1]	1815 [-669; 4299]	213 10060
<i>E. marsica</i>	2, 2.3% [0.4; 7.4]	0, 0.0% [0.0; 20.6]	0, 0.0% [0.0; 8.2]	2, 5.1% [0.9; 15.9]	0, 0.0% [0.0; 3.4]	0 [0; 3]	0 0
<i>E. ovinoidalis</i>	81, 93.1% [86.2; 97.2]	12, 92.3% [67.5; 99.6]	34, 97.1% [86.7; 99.9]	35, 89.7% [77.1; 96.7]	56, 64.4% [53.9; 73.9]	991 [657; 1324]	45 6107
<i>E. weybridgensis</i>	29, 33.3% [24.0; 43.7]	9, 69.2% [41.3; 89.4]	7, 20.0% [9.2; 35.6]	13, 33.3% [20.0; 49.1]	0, 0.0% [0.0; 3.4]	0 [0; 3]	0 0
<i>E. crandallis</i>	13, 14.9% [8.6; 23.6]	1, 7.7% [0.4; 32.5]	4, 11.4% [3.8; 25.3]	8, 20.5% [10.0; 35.3]	0, 0.0% [0.0; 3.4]	0 [0; 3]	0 0
<i>E. faurei</i>	25, 28.7% [20.0; 38.9]	6, 46.2% [21.3; 72.6]	7, 20.0% [9.2; 35.6]	12, 30.8% [17.9; 46.4]	3, 3.5% [0.9; 9.1]	617 [-299; 1532]	284 1013
<i>E. granulosa</i>	23, 26.4% [18.0; 36.4]	2, 15.4% [2.7; 42.2]	6, 17.1% [7.3; 32.3]	15, 38.5% [24.3; 54.3]	6, 6.9% [2.8; 13.8]	481 [81; 882]	49 1119
<i>E. bakuensis</i>	44, 50.6% [40.1; 61.0]	7, 53.9% [27.4; 78.7]	16, 45.7% [29.9; 62.2]	21, 53.9% [38.2; 68.9]	8, 9.2% [4.4; 16.7]	1841 [-1114; 4796]	94 9044
<i>E. intricata</i>	4, 4.6% [1.5; 10.7]	1, 7.7% [0.4; 32.5]	1, 2.9% [0.1; 13.3]	2, 5.1% [0.9; 15.9]	0, 0.0% [0.0; 3.4]	0 [0; 3]	0 0
<i>E. ahsata</i>	20, 23.0% [15.1; 32.7]	5, 38.5% [15.7; 65.9]	3, 8.6% [2.2; 21.6]	12, 30.8% [17.9; 46.4]	1, 1.2% [0.1; 5.5]	94 NA	94 94



**Figure 2.** Unsporulated *Eimeria* species found in the investigated sheep. Oocyst dimensions are given as mean height (H) and width (W) and range in brackets (Levine, 1985)

**Joonis 2.** Uuritud lammastelt leitud *Eimeria* liikide sporuleerumata ootsüstid. Ootsüside mõõtmed: keskmine pikkus (H) ja laius (W) ning vahemik nurksulgudes (Levine, 1985)

## Discussion

The study set to investigate the presence of gastrointestinal parasites in sheep herds located on the largest Estonian islands: Saaremaa, Hiiumaa, and Vormsi. The samples investigated have to be considered herd means of the parasitic status as the faeces were randomly collected from unknown animals. Infection intensities of some individual animals are thus likely to be higher than represented here as animals that were not shedding parasite eggs will have diluted samples with high OPG's and EPG's. As a consequence, some herds are likely to be classified as false negatives, and the true prevalences are likely higher than presented. This kept in mind, it is clear that evidence proved the presence of many parasites in the sheep at levels that may indicate possible health problems and losses to the farmers. *Eimeria*, *Cryptosporidium*, *Giardia*, *Strongylida* and *Strongyloides* appeared to be the dominant parasites in the investigated sheep. *Dicrocoelium* spp. was only observed in herds from Saaremaa, but it is possible the low number of eggs normally observed by flotation can have been missed in the pooled herd samples from the other investigated islands. Sedimentation techniques would have to be used for adequately estimate the presence of trematodes in the sheep herds. *Trichuris* spp. seemed to be present, mainly on the island Vormsi, but the evidence did not indicate shedding of eggs in large numbers.

### Infection intensities

The average herd EPG's of nematodes not only confirmed the presence but also provided evidence of the general infection intensities. Based on guidelines for sheep by Hansen and Perry (1994) quantitative measurements of mixed nematode infections in young animals can be classified as: 50–800 EPG (light), 801–1200 EPG (moderate), and >1200 EPG (heavy). The handbook highlights the importance of taking into account differences in pathogenicity of the nematodes in different regions of the world when applying these guidelines. Information on the pathogenicity of nematodes relevant to sheep in Estonia such as *Haemonchus*, *Ostertagia*, *Trichostrongylus*, *Nematodirus* a.o., is currently poorly known. In Figure 1 we demonstrated that most herds had a light infection intensity of *Strongylida* but with variations that spanned into medium and high infection intensities. These numbers that are a herd averages are likely to contain some individuals shedding eggs at levels that indicate a severe infection, depending on the species of the parasite, season, and age of the animal. As for *Strongyloides* species, the infection intensities were all in the light category. Generally, *Strongyloides* in sheep (exl. 2–6 weeks old lambs) are not considered pathogenic in this region (Atle Domke, personal communication). It thus seems these parasites represent a smaller problem to the farmers, though a few farms indicated large variations in EPG's (Figure 1C).

*Moniezia* eggs were generally not shed in large amounts and eggs above a hundred EPG's seemed to

be limited to six herds. Despite a sample prevalence of 22.8% the parasite appeared in different herds (Figure 1D) during the two samplings of the experiment. This is suggesting reservoirs of the parasite (infected soil mites) are present on most farms and may develop into health problems if favourable conditions are present for the parasite and the infection goes unnoticed.

Large variation was observed in OPG's of *Eimeria* herds (Figure 1A). Most herds had either low or medium levels as mean infection intensities. Only one herd consistently had a high excretion of oocysts by the sheep. A few herds indicated a considerable variation which may be driven by the importance of seasonal, presence of young animals, and management changes. *Cryptosporidium* oocysts were very common in herds, but rarely suggesting more than a low infection intensity. It is the first time the presence of *Giardia* is described in Estonian sheep and the results indicate *Giardia* is one of the most common parasitic infections. *Eimeria*, *Cryptosporidium*, and *Giardia*, are all important pathogens of young animals and were observed in >60% of the samples. The three different protozoans share the most common clinical sign in young animals: diarrhoea, but the subclinical infections are more common and costly to the production (Fitzgerald, 1980; Foreyt, 1990). *Cryptosporidium* and *Giardia* are zoonotic pathogens but there is evidence that they may not be an important reservoir for human infections (Ryan *et al.*, 2005), and if so *Cryptosporidium* may be the more important of the two (Robertson, 2009; Robertson *et al.*, 2010). To confirm this for Estonia subgenotyping of strains are needed. *Cryptosporidium* and *Giardia* are often considered together as they share some transmission routes, particularly in water, but depend on the terrain, use of land, chemical elements, and environmental factors (Duris *et al.*, 2013). The decline of *Giardia* while more herds had *Cryptosporidium* oocysts in the studied period may be attributed to different transmission routes in sheep herds. Such factors need identification through carefully planned epidemiological studies. Such studies should take into account that these specific parasites represent underdiagnosed zoonoses, and Estonia has been reporting one of the highest rates of giardiasis per capita in Europe (ECDC, 2011; Estonian Health Board, 2013).

### Annual and demographic differences

No apparent difference was noted between herds, years, islands, and EPG's when it comes to the most common nematode groups, *Strongylida* and *Strongyloides*. Protozoan cysts and oocysts varied in their presence to a larger extent. The variation in the herd can be considered as a change of the general parasitic status inside the herd between the two sampling times. Variation in Figure 1 can thus be used to show where there may be a more stable situation (low variation) or a situation where individual animals or the flock shed more parasites in their faeces (large variation). Large

variation in the number of *Eimeria* oocysts in faeces was observed between herds (Figure 1A) indicating large differences in potential problems. *Eimeria* OPG values decreased from 2011 to 2012. Such variations inside a herd may be attributed to annual differences in the climate, such as variations in the weather or management practices. The levels of *Moniezia* spp. eggs decreased from 2011 to 2012, possibly attributed to annual changes in presence of the secondary hosts, oribatid mites, in the pastures (Sinitsin, 1931). In addition, *Moniezia* appears to be a local herd problem, mainly on Vormsi (Table 1), rather than a general one (Figure 1D).

Differences between islands were observed (data not shown) for *Cryptosporidium* spp., *Moniezia* spp. and *Trichuris* spp. but had to be disregarded due to seasonal interference in the sample strategy. In follow up studies samplings would need to be during the same period of time to ensure comparison.

#### *Eimeria* species

Eleven species of *Eimeria* were identified (Figure 2). Though the pathogenic species, *E. ovinoidalis*, was clearly dominating in the majority of the samples but not the highest mean OPG's. The highest mean OPG's were dominated by *E. parva*, *E. pallida* and *E. bakuensis* that dominated 4.6%, 10.4%, and 9.2% of the investigated herd samples respectively. *Eimeria pallida* and *E. bakuensis*, that are considered lesser pathogenic species, may play a role in animals shedding high levels of oocysts in some Estonian herds. Other species that have been described to cause clinical symptoms, including *E. crandallis*, were present in the samples but did not dominate in any herds. This indicated that this species do not yet appear to have the conditions needed to be a cause of high OPG's and possibly eimeriosis in sheep herds on Estonian islands. From these observations it appears *E. ovinoidalis* is the predominant *Eimeria* infection in the herds.

Official reports from the Estonian Veterinary and Food Laboratory between 2000–2010 show that a mean of 30 (median: 29, range 0–91) faecal samples are submitted for parasitological investigations there yearly. This almost negligible number of investigations can be interpreted as a low interest in evidence based parasite control. However, it is important to empathize that diagnostic services available to veterinarians who do wish to submit samples have to be up to date to provide sufficient basis for treatment. The veterinarians must have species specific information and precise egg or oocysts counts from the diagnostic analysis to be able to practice evidence based medicine. In the absence of such services, anti-parasitic treatments may either not happen at all, or be non-evidence based. In the latter, the blind or misunderstood practices of medication may develop more permanent problems such as resistance to parasitic drugs as seen in several countries (Domke *et al.*, 2011; Saddiqi *et al.*, 2012).

## Conclusions

Faecal samples from Estonian sheep herds on Saaremaa, Hiiumaa, and Vormsi contained *Eimeria*, *Cryptosporidium*, *Giardia*, *Strongylida*, *Strongyloides*, *Moniezia*, and to a lesser extent *Trichuris* and *Dicrocoelium*. *Strongylida* and *Moniezia* species may present local herd problems. *Cryptosporidium* was commonly found in the sheep, but in low numbers. We present the first evidence of *Giardia* being a common parasitic infection in Estonian herds. *Eimeria ovinoidalis* was the most common and pathogenic species found dominating samples, in the contrast to *E. crandallis*, which did not dominate any samples.

## Acknowledgements

We would like to thank Ivi Novak, Toomas Orro, and Atle Viktor Domke for practical assistance, Pikka Jokelainen for editing parts of the manuscript, the farmers for participation, and the Central Baltic INTERREG IV A Programme 2007–2013, project AI 13 (Knowsheep) for funding.

## References

- Berriatua, E., Green, L.E., Morgan, K.L. 1994. A descriptive epidemiological study of coccidiosis in early lambing housed flocks. – *Veterinary Parasitology*, 54 (4), p. 337–351.
- Catchpole, J., Gregory, M.W. 1985. Pathogenicity of the coccidium *Eimeria crandallis* in laboratory lambs. – *Parasitology* 9 (1), p. 45–52.
- Catchpole, J., Norton, C.C., Joyner, L.P. 1976. Experiments with defined multispecific coccidial infections in lambs. – *Parasitology* 72 (2), p.137–147.
- Chartier, C., Paraud, C. 2012. Coccidiosis due to *Eimeria* in sheep and goats, a review. – *Small Ruminant Research*, 103 (1), p. 84–92.
- Dittmar, K., Mundt, H.C., Grzonka, E., Dausgies, A., Bangoura, B. 2010. Ovine coccidiosis in housed lambs in Saxony-Anhalt (central Germany). – *Berliner und Munchener Tierarztliche Wochenschrift*, 123 (1–2), p. 49–57.
- Domke, A.V., Chartier, C., Gjerde, B., Leine, N., Vatn, S., Osterås, O., Stuen, S. 2011. Worm control practice against gastro-intestinal parasites in Norwegian sheep and goat flocks. – *Acta Veterinaria Scandinavica*, 53 (1), p. 29.
- Domke, A.V., Chartier, C., Gjerde, B., Leine, N., Vatn, S., Stuen, S. 2012. Prevalence of gastro-intestinal helminths, lungworms and liver fluke in sheep and goats in Norway. – *Veterinary Parasitology* [ahead of print]
- Duris, J.W., Reif, A.G., Krouse, D.A., Isaacs, N.M. 2013. Factors related to occurrence and distribution of selected bacterial and protozoan pathogens in Pennsylvania streams. – *Water Research*. 47 (1), p. 300–314.
- European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). 2011. In: Annual Epidemiological Report 2011. Reporting on 2009 surveillance data and 2010 epidemic intelligence data. Stockholm, p. 87–89.

- Estonian Health Board. Nakkushaigused Eestis. 2013. <http://www.terviseamet.ee/nakkushaigused/nakkushaigustesse-haigestumine.html>.
- Fitzgerald, P.R. 1980. The economic impact of coccidiosis in domestic animals. – *Advances In Veterinary Science and Comparative Medicine*, 24, p. 121–143.
- Foreyt, W.J. 1990. Coccidiosis and cryptosporidiosis in sheep and goats. – *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 6 (3), p. 655–670.
- Gregory, M.W., Catchpole, J. 1987. Output of coccidial oocysts (particularly *Eimeria crandallis*) by naturally-infected lambs: daily and hourly patterns and clinical significance. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 94, p. 521–525.
- Hansen, J., Perry, B.D. 1994. The epidemiology, diagnosis and control of helminth parasites of ruminants. International Laboratory for Research on Animal Diseases, Nairobi, Kenya, 171 pp.
- Henriksen, S.A., Pohlenz, J.F.L. 1981. Staining of cryptosporidia by a modified Ziehl–Neelsen. – *Acta Veterinaria Scandinavica*, 22, p. 594–596.
- Henriksen, S., Korsholm, H. 1984. Parasitologisk undersøgelse af fæcesprøver. Konstruktion og anvendelse af et enkelt opbygget tællekammer. – *Dansk Veterinær Tidsskrift*, 67, p. 1193–1196.
- Kaarma, A., Mägi, E. 2000. *Moniezia spp.* population dynamics in lambs and its dependence on grazing conditions. – *Veterinaarmeditsiin, Tartu*, p. 52–57 (in Estonian).
- Lassen, B., Viltrop, A., Raaperi, K., Jarvis, T. 2009a. *Eimeria* and *Cryptosporidium* in Estonian dairy farms in regard to age, species, and diarrhoea. – *Veterinary Parasitology*, 166 (3–4), p. 212–219.
- Lassen, B., Viltrop, A., Jarvis, T. 2009b. Herd factors influencing oocyst production of *Eimeria* and *Cryptosporidium* in Estonian dairy cattle. – *Parasitology Research*, 105 (5), 1211–1222.
- Lassen, B., Østergaard, S. 2012. Estimation of the economical effects of *Eimeria* infections in Estonian dairy herds using a stochastic model. – *Preventive Veterinary Medicine*, 106 (3–4), p. 258–265.
- Levine N. (Ed.). 1985. In: *Veterinary Protozoology*. Iowa. The Iowa University State Press, p. 130–232.
- Mahrt, J.L., Sherrick, C.W. 1965. Coccidiosis due to *Eimeria ahsata* in feed lot lambs in Illinois. – *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 146, 1415–1416.
- Mägi, E., Kaarma, A. 2002. Population dynamics of sheep digestive tract strongylatodes in Estonian climate conditions. – *Nematology*, 4: Programme and abstracts of the 4<sup>th</sup> International Congress of Nematology 8–13 June 2002. Tenbel, Spain, p. 313.
- Mägi, E., Sahk, M. 2004. Studies on sheep digestive tract parasites in Estonia. – *Animals. Health. Food Quality: Proceedings of the International Scientific Conference 15 October 2004, Jelgava*, p. 187–191.
- Pfister, K., Flury, B. 1985. Kokzidiose beim Schaf. – *Schweizer Archiv Für Tierheilkunde*, 127, p. 433–441.
- Quilez, J., Sanchez-Acedo, C., Clavel, A., del Cacho, E., Lopez-Bernad, F. 1996. Comparison of an acid-fast stain and a monoclonal antibody-based immunofluorescence reagent for the detection of *Cryptosporidium* oocysts in faecal specimens from cattle and pigs. – *Veterinary Parasitology*, 67 (1–2), p. 75–81.
- Reeg, K.J., Gauly, M., Bauer, C., Mertens, C., Erhardt, G., Zahner, H. 2005. Coccidial infections in housed lambs: oocyst excretion, antibody levels and genetic influences on the infection. – *Veterinary Parasitology*, 127 (3–4), p. 209–219.
- Robertson, L.J., Gjerde, B.K., Furuseth Hansen, E. 2010. The zoonotic potential of *Giardia* and *Cryptosporidium* in Norwegian sheep: a longitudinal investigation of 6 flocks of lambs. – *Veterinary Parasitology*, 171 (1–2), p. 140–145.
- Robertson, L.J. 2009. *Giardia* and *Cryptosporidium* infections in sheep and goats: a review of the potential for transmission to humans via environmental contamination. – *Epidemiology and Infection*, 137 (7), p. 913–921.
- Roepstorff, A., Nansen, P. 1998. Epidemiology, diagnosis and control of helminth parasites of swine. – In: *FAO Animal Health Manual*. FAO, Rome, Italy, p. 51–56.
- Ryan, U.M., Bath, C., Robertson, I., Read, C., Elliot, A., McInnes, L., Traub, R., Besier, B. 2005. Sheep may not be an important zoonotic reservoir for *Cryptosporidium* and *Giardia* parasites. – *Applied Environmental Microbiology*, 71 (9), p. 4992–4997.
- Saddiqi, H.A., Jabbar, A., Babar, W., Sarwar, M., Iqbal, Z., Cabaret, J. 2012. Contrasting views of animal healthcare providers on worm control practices for sheep and goats in an arid environment. – *Parasite*, 19 (1), p. 53–61.
- Saratsis, A., Joachim, A., Alexandros, S., Sotiraki, S. 2011. Lamb coccidiosis dynamics in different dairy production systems. – *Veterinary Parasitology* 181 (2–4), p. 131–138.
- Sargison, N.D. 2011. Pharmaceutical control of endoparasitic helminth infections in sheep. – *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 27 (1), p. 139–156.
- Sinitsin, D.F. 1931. A Glimpse into the life history of the tapeworm of sheep, *Moniezia expansa*. – *Journal of Parasitology*, 17 (4), p. 223–227.
- Skirnisson, K. 2007. *Eimeria* spp (Coccidia, Protozoa) infections in a flock of sheep in Iceland: Species composition and seasonal abundance. – *Icelandic Agricultural Sciences*, 20, p. 73–80.
- Sweeny, J.P., Ryan, U.M., Robertson, I.D., Jacobson, C. 2011. *Cryptosporidium* and *Giardia* associated with reduced lamb carcase productivity. – *Veterinary Parasitology*, 182 (2–4), p. 127–139.
- Taylor, M. 2009. Changing patterns of parasitism in sheep. – *In Practice*, 31, p. 474–483.

## Seedekulglu parasiidid Eesti saarte lammastel

Brian Lassen, Toivo Järvis, Erika Mägi

### Kokkuvõte

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks oli selgitada lambakarjade parasitoloogilist olukorda Eesti saartel. Seni sellekohased teadusuuringud puudusid.

Lammaste koproproovid koguti ja uuriti aastatel 2011–2012 kokku 46 lambafarmist, neist Saaremaalt 21, Hiiumaalt 18 ja Vormsi saarelt 7 farmist.

Ümarussidest tuvastati strongüliidide (pihtussiliste) nakkus 94,6%-l lambakarjades ja strongüloidide (varbussiliste) nakkus 70,7%-l karjades, piugusse leiti 9,8%-l karjades. Ainuraksetest parasiitidest olid levinumad eimeeriad (94,6%), järgnesid giardiad (69,6%) ja krüptosporiidid ehk peiteoslased (60,9%). Paelussidest leiti monieesiaid 22,8%-l karjades, imiussidest dikrotsööliume ehk väikest ebamaksakaani 3,3%-l karjades.

Kõige rohkem oli 1g koproproovis eimeeriarte ootsüste – 0–10 060 opg (mediaan 535, keskmine 1159), seejärel strongüliidide mune – 0–1771 (mediaan 248, keskmine 411). Selline invasiooni intensiivsus võib tähendada lammaste tervisliku seisundi olulist halvenemist mõnedes karjades.

Kokku määrati lammastel 11 *Eimeria* prk liiki. Suure tõvestavusega liik *E. ovinoidalis* identifitseeriti 93,1%-s uuritud proovides, see oli sageli ka domineeriv liik (64,4%-s proovides). Teine patogeensem liik *E. crandallis* leiti 14,9%-s proovides. Uurimistulemuste põhjal võib väita, et lammaste mao-sooletrakti parasiidid on väga levinud paljudes karjades. See mõjutab loomade tervislikku seisundit (kõhulahtisus, juurdekasvu langus jm.) ja lambakasvatuse tulukust.



# THE SELENIUM STATUS OF DAIRY COWS IN ESTONIA

Katri Ling\*, Aire Ilves, Hanno Jaakson, Andres Olt, Meelis Ots

*Estonian University of Life Sciences, Institute of,  
Kreutzwaldi 46, 51014 Tartu Estonia*

*e-mail: katri.ling@emu.ee, phone: +373 731 3480, +372 515 2696*

**ABSTRACT.** *Based on earlier soil, forage and animal studies, Estonia is considered a Se-deficient country where Se supplementation of dairy cows has been routine practice for more than 10 years. To evaluate the current Se status of Estonian dairy cows, bulk tank milk samples (n=218) from farms (n=110) producing over 60% of the milk purchased in the counties of Estonia, were analysed for the Se concentration. Milk Se content ranged from 5–34 µg/kg. The mean Se content of all the samples was 16 µg/kg, indicating dairy cows' Se status was from high-marginal to adequate depending on the reference level used. The results of the study provide evidence that the Se status of dairy cattle in Estonia has improved. Although Se status was satisfactory on 99 farms (90.8%) there were 10 farms (9.2%) with a milk Se concentration of less than or equal to 10 µg/kg where attention should be given to Se supplementation of the animals.*

**Keywords:** *bulk milk, trace elements, silage, nutrient deficiency.*

## Introduction

Selenium (Se) is one of the most extensively studied microelements, one of the reasons for which is its dual importance in the nutrition of man and animals. Se is an essential micronutrient but too much of it in the diet can be toxic, the difference between these two is measured in minute amounts (Reilly, 2006).

The geographical distribution of selenium, and hence its consumption from local feed/food, varies widely in different parts of the world. For instance there are many Se-rich areas in the USA, Canada, China, and Venezuela (Surai, 2006). The situation is different in Europe where Norway (Mikkelsen, Aas Hansen, 1967), Finland (Oksanen, Sandholm, 1970), Sweden (Lindberg, Bingefors, 1970) and Denmark (Gissel-Nielsen, 1975) were among the first countries to be charted and were all found to be extremely deficient. As a consequence, selenium was permitted as a supplement to animal feed in Finland from 1969, in Denmark from 1975, and in Norway and Sweden from 1980 (Bergström *et al.*, 1998).

In Estonia the earliest studies on Se status date from the middle of the previous century when white muscle disease was diagnosed for the first time by Kaarde (1963). In 1993, Suoranta *et al.* found low selenium levels in feedstuffs, milk and tissues on one Estonian dairy farm. Data published by Kevvai (1994) indicate that the Se contents of some Estonian soils are lower than those in the Scandinavian countries. Animal

studies confirmed these findings. Malbe *et al.* (1995) reported that the cows on the research farm of the Estonian Agricultural University had an extremely low selenium status. The Se statuses of seven dairy herds with no Se supplementation, from the central regions of Estonia (Pehrson *et al.*, 1997), as well as 12 herds from all over the country (Bergström *et al.*, 1998), also showed severe deficiency of the element. The first study to give an overall picture of the Se status of cattle in Estonia involved 6–10 young cattle from 46 farms, which had been fed only with local feed for at least three months. The animals were sampled, their whole blood GSH-Px activity determined, and the mean enzyme activities of the farms used to chart Se status in Estonia (Ling, Ploom, 1999). None of the farms achieved the current whole blood deficiency margin of 50 µg/l (Surai, 2006). Based on these data Estonia was considered to be a selenium deficient country and Se supplementation is now common practice.

Several studies have demonstrated that Se concentration in milk is strongly and positively correlated to the Se concentration in the diet, whereas the actual extent of the increase in milk Se due to increased intake depends on the form of Se in the ration (Conrad, Moxon, 1979; Ortman, Pehrson, 1999; Givens *et al.*, 2004; Juniper *et al.*, 2006; Heard *et al.*, 2007; Calamari *et al.*, 2010). In addition, significant correlations have been observed between blood and milk Se concentrations (Grace *et al.*, 2001; Wichtel *et al.*, 2004; Calamari *et al.*, 2010). Because of this, in addition to other indicators, milk Se analyses are used to evaluate Se status of dairy cows (Pehrson, 1996; Grace *et al.*, 2001; Wichtel *et al.*, 2004).

Large-scale studies of the Se status of dairy cattle in Estonia date back to the end of the last century. Currently almost every mineral feed of dairy cows in Estonia is supplemented with Se. It was therefore hypothesized that the Se status of the animals has also improved. The objective of this study was to evaluate the Se status of Estonian dairy cows using Se concentration analyses of bulk tank milk. A further aspect of the study was to evaluate possible mean milk-based human Se intake in Estonia.

## Material and methods

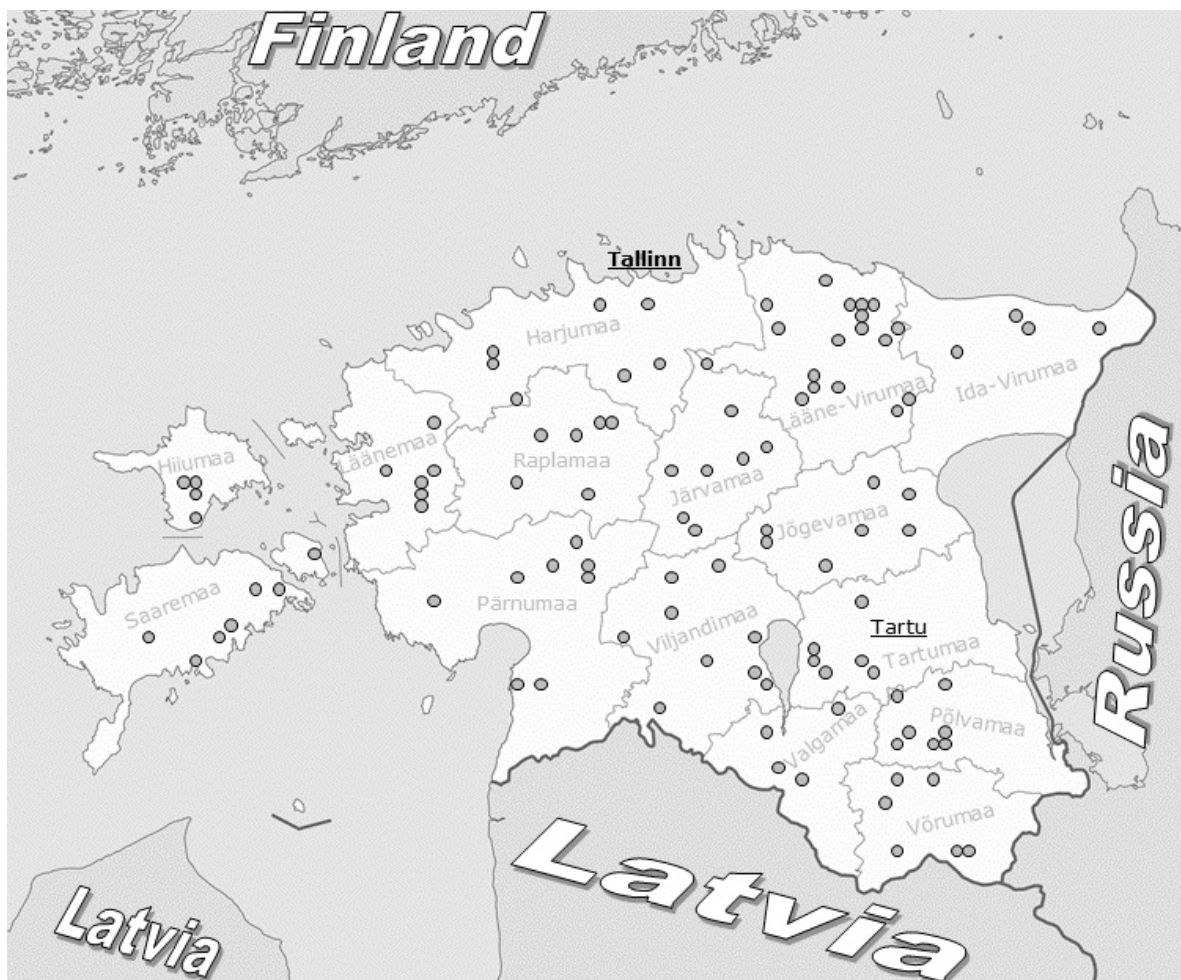
At the time of the study there were 208 dairy farms in Estonia of more than 100-head. Of these 110 farms from different counties were selected with the calculation, based on the data from Estonian Animal recording Centre, that the farms together produced at

least 60% of the milk purchased in the county (Figure 1). The exception was the island of Hiiumaa, where four farms, with mean herd size of 60, were included in the study.

During farm visits from spring 2008 to spring 2009 (period I, 109 farms) and from autumn 2009 to spring 2010 (period II, 109 farms) one litre of bulk tank milk was sampled. Our co-worker completed a questionnaire on general data (number of cows, milk yield, grazing) and feeding (total mixed ration or not, basic feed, Se supplementation) practice of the farm.

In order to evaluate the Se content of home-grown feed, mean samples (n=6) for different soil type

regions were formed from silage samples brought to the feed laboratory (Department of Animal Nutrition and Products Quality of the Institute of Veterinary Medicine and Animal Science, Estonian University of Life Sciences) for routine analyses. The Se content of milk and silage samples were determined at the laboratory of Estonian Agricultural Research Centre where the accredited method EVS-EN 14627:2005 "Foodstuffs – Determination of trace elements – Determination of total arsenic and selenium by hydride generation atomic absorption spectrometry (HGAAS) after pressure digestion" was used.



**Figure 1.** Distribution of the sampled farms  
*Joonis 1. Uuringusse kaasatud farmide paiknemine*

### Results and discussion

The mean herd size of the farms visited was 349 (48–1260) and daily milk yield was 23.7 kg (10.0–33.1). Grazing of dairy cows was practiced on 41 of the farms. All the farms visited used silage during the indoor overwintering period. A total mixed ration (TMR) was used on 80% of the farms; four farms switched over to TMR and two gave it up during the study period.

The results of the analyses of the mean silage samples from different soil-types confirmed Estonia to be a Se-deficient country as the Se content of these samples (Table 1) was 4.7 to 6.3 times less than the 0.3 mg/kg dry matter requirement of Se for dairy cattle (NRC, 2001). These results are in accord with earlier fragmentary studies on the Se content of Estonian crops (Seleen, 2004). Therefore, in Estonia, Se-supplementation of dairy cattle is necessary.

During the first period of visits six farms used no mineral feed, during the second period the number of farms had decreased to three; the mean Se content of the milk samples was 12 µg/kg. The Se compound used in the mineral feeds was sodium selenate. One of the mineral feeds used did not contain any Se. Based on the data from 87 questionnaires mean daily Se supplementation was 6.4 mg during the first period

and 7.1 mg ( $p=0.1$ ; t-test) during the second period. In the first study period 11 farms supplemented dairy cows with less than half (<3 mg) the average daily requirement (6 mg; NRC, 2001), in the second study period the number was five. In addition to mineral feeds, some purchased concentrates were supplemented with Se; their mean contribution to total Se supplementation was 8%.

**Table 1.** The Se content of mean silage samples formed on the bases of the soil-types of the counties of origin of the individual samples

**Table 1.** Muldade põhitüübi alusel jaotatud maakondade keskmise siloproovi seleenisisaldus

Counties Maakonnad	Dominant soil characteristics and types Muldade iseloomustus ja -tüüp	Number of individual samples Individaalproovide arv	Se-content in the mean sample µg/kg Keskmise proovi Se sisaldus
Põlvamaa, Valgamaa, and Võrumaa	Acid, light textured soils (Podzols, Albeluvisols) <i>Happelise reaktsiooni ja kerge lõimisega leetunud mullad</i>	20	48
Lääne-Virumaa, Ida-Virumaa, and Jõgevamaa	Soils developed on calcareous parent material (Luvisols, Cambisols) <i>Karbonaatsel lähtekivimil välja kujunenud leostunud ja leetjad mullad</i>	20	60
Tartumaa and Viljandimaa	Soils with stagnic properties, slightly acid reaction (Albeluvisols, Luvisols) <i>Kahkjad mullad; muldade lähtekivimid osaliselt nõrgalt karbonaatsed</i>	20	64
Pärnumaa and Läänemaa	Gleyic soils and Gleysols <i>Gleistunud ja gleimullad</i>	10	58
Saaremaa and Hiiumaa	Young, poorly developed soils / Kõige nooremad mullad	10	58
Harjumaa, Raplamaa and Järvamaa	Rendzinas with neutral to alkaline reaction (Leptosols, Regosols, Cambisols) <i>Neutraalse kuni leelise reaktsiooniga, karbonaatsel lähtekivimil välja kujunenud rähkmullad</i>	20	59

Milk Se content on the studied farms (Table 2) ranged from 5 to 34 µg/kg, both the extremes falling outside the average 10 to 25 µg/kg according to Nutrient Requirements of Dairy Cattle (NRC, 2001).

**Table 2.** Mean Se content and its variation for bulk milk of farms (is the number of the farms during the period 2009/2010 in brackets) from different counties of Estonia

**Table 2.** Farmide segupiima keskmine seleenisisaldus ja selle varieeruvus erinevates maakondades (sulgudes farmide arv perioodil 2009/2010)

County Maakond	Number of farms Farmide arv	Mean Se content and its variation in bulk milk (µg/kg) Segupiima keskmine Se-sisaldus ja varieeruvus (µg/kg)	
		2008/2009	2009/2010
Raplamaa	6	21 (18–24)	14 (11–16)
Valgamaa	4	21 (20–22)	17 (15–19)
Võrumaa	6	20 (15–24)	18 (11–21)
Põlvamaa	7	18 (13–29)	16 (11–20)
Saaremaa	7	18 (13–25)	15 (11–18)
Ida-Virumaa	4 (3)	17 (14–20)	16 (15–16)
Järvamaa	8	17 (12–20)	14 (11–17)
Lääne-Virumaa	20 (21)	17 (8–25)	15 (8–22)
Pärnumaa	8	17 (13–21)	17 (13–24)
Tartumaa	6	17 (12–24)	15 (13–22)
Jõgevamaa	7	16 (14–19)	19 (15–26)
Viljandimaa	9	16 (5–23)	15 (10–20)
Läänemaa	6	14 (10–17)	15 (11–18)
Harjumaa	7	13 (9–17)	17 (13–34)
Hiiumaa	4	9 (7–11)	9 (6–10)
All-Estonia	109	17 (5–29)*	15 (6–34)*

\* Significant ( $p=0.01$ ) difference between the study periods

During the whole study period there were 16 samples (7.3%) with a milk Se concentration of less than or equal to 10 µg/kg, the postulated threshold for adequacy (Surai, 2006), and 25 samples (11.5%) with a Se concentration over 20 µg/kg, the target level achieved by fertilization of soil in Finland (Aspila, 1991; Ekholm, 2005). Overall, the Se status of dairy cattle was insufficient on ten (9.2%) farms as one of the samples was less than or equal to 10 µg/kg. The mean Se content of all milk samples was 16 µg/kg indicating dairy cows' Se status was from high-marginal (Wichtel *et al.*, 2004) to adequate (Surai, 2006) depending on the reference level used for the comparison. During the first study period the mean Se content was 17 µg/kg and during the second period 15 µg/kg ( $p=0.01$ ; t-test) in spite of the increase in reported Se supplementation. The discrepancy between the increase in Se supplementation and decrease in milk Se content in the second period could be explained by the origin of the concentrates used – due to economic recession the number of farms that used only Se deficient home-grown cereals increased from 50 to 72 in the second period. Se injections before or after calving, or regularly once a year, to all the cows were used on 21 (19%) farms during at least one of the visiting periods. Milk Se content on these farms over the whole period of the study was 17.4 µg/kg compared to 15.7 µg/kg ( $p=0.03$ ) on the farms without injections, although there was no difference in the amounts of Se in the ration ( $p=0.09$ ).

Six farms used Se fertilization of their pastures, grasslands or crop fields. The mean Se content of bulk milk on these farms was higher than the overall mean – 19 µg/kg on the first ( $p=0.35$ ) and 20 µg/kg ( $p=0.05$ ) on the second visit. One of the visited farms used organic selenium, its bulk milk Se content was higher than the mean – 24 µg/kg – due to higher bioavailability of organic Se (Ortman, Pehrson, 1999).

According to meta-analyses of the effect of oral selenium supplementation on milk Se in cattle (Ceballos *et al.*, 2009), there is no effect on milk Se when less than 3 mg per day is given. An earlier study on milk Se concentration in Estonia (Bergström *et al.*, 1998) also showed little effect of Se supplementation when small amounts were used – the selenium concentration in milk was very low, irrespective of whether there had been a selenium supplementation or not (5.1 and 4.5 µg/l, respectively). Although in the present study there were several farms where the cows received less than 3 mg Se per day, analyses of the data still showed moderate correlation ( $r=0.4$ ,  $p<0.001$ ) between Se supplementation and milk Se content, confirming that supplementation with Se is essential to achieve adequate Se status of dairy cows in Estonia.

### Conclusions

The results of the study confirmed expectations that Se status of dairy cattle in Estonia has improved recently. Although Se status was satisfactory on 99 farms (90.8%) there were still 10 farms (9.2%) where more attention has to be paid to Se supplementation of the animals. Another aspect of the study was to estimate how much Se Estonian citizens obtain from home-produced milk and dairy products. Considering the mean milk Se concentration of 16 µg/kg, and consumption of ca 750 g milk and dairy products in raw milk equivalents per day in Estonia (Eesti piimaturg 2010. aastal, 2011) daily Se consumption would be 12 µg, or 22% of the daily population reference intake in EU (Nutrient and energy intakes for the European Community, 1993).

### Acknowledgements

The study was supported by the Estonian Ministry of Agriculture. We thank the Estonian Animal Recording Centre and all the farmers who participated in the study for their kind support and cooperation. We gratefully acknowledge the assistance of the soil scientists Enn Leedu and Alar Astover of our university for their contribution to forming the silage samples according to the soil types of the regions and Dr. David Arney for linguistic correction.

### References

- Aspila, P., 1991. Metabolism of selenite, selenomethionine and feed-incorporated selenium in lactating goats and dairy cows. – *Journal of Agricultural Science in Finland*, 63, p. 1–74.
- Bergström, J., Ling, K., Pehrson, B. 1998. Some data on the selenium status of dairy cattle in Estonia. – *Agraarteadus*, 9, p. 22–26.
- Calamari, L., Petretera, F.F., Bertin, G. 2010. Effects of either sodium selenite or Se yeast (Sc CNCM I-3060) supplementation on selenium status and milk characteristics in dairy cows. – *Livestock Science*, 128, p. 154–165.
- Ceballos, A., Sanchez, J., Stryhn, H., Tgomery, J.B., Barkema, H.W., Wichtel, J.J. 2009. Meta-analysis of the effect of oral supplementation on milk selenium concentration in cattle. – *Journal of Dairy Science*, 92, p. 324–342.
- Conrad, H.R., Moxon, A.L. 1979. Transfer of Dietary Selenium to Milk. – *Journal of Dairy Science*, 63, p. 404–411.
- Eesti piimaturg 2010. aastal. – Eesti Konjunkturi-instituut, 2011. Tallinn, 45 lk. Cited 15 August 2012. Updated May 2011. Available on the Internet: [http://www.agri.ee/public/juurkataloog/UURINGU\\_D/eki\\_piimauuringud/Eesti\\_piimaturg\\_2010.\\_aastal.pdf](http://www.agri.ee/public/juurkataloog/UURINGU_D/eki_piimauuringud/Eesti_piimaturg_2010._aastal.pdf) (in Estonian).
- Ekholm, P., Eurola, M., Venäläinen, E.-R. 2005. Selenium content of foods and diet in Finland. – In: Eurola M., editor. *Agrifood Research reports 69. Proceedings Twenty years of selenium fertilisation.* MTT Agrifood Research Finland, p. 39–46.
- Gissel-Nielsen, G. 1975. Selenium concentration in Danish forage crops. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 25, p. 216–220.
- Givens, D.I., Allison, R., Cottrill, B., Blake, J.S. 2004. Enhancing the selenium content of bovine milk through alteration of the form and concentration of selenium in the diet of the dairy cow. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, p. 811–817.
- Grace, N.D., Ankenbauer-Perkins, K., Alexander, A.M., Marchant, R.M. 2001. Relationship between blood selenium concentration or glutathione peroxidase activity, and milk selenium concentrations in New Zealand dairy cows. – *New Zealand Veterinary Journal*, 49, p. 24–28.
- Heard, J.W., Stockdale, C.R., Walker, G.P., Leddin, C.M., Dunshea, F.R., McIntosh, G.H., Shields, P.M., McKenna, A., Young, G.P., Doyle, P.T. 2007. Increasing selenium concentration in milk: effects of amount of selenium from yeast and cereal grain supplements. – *Journal of Dairy Science*, 90, p. 4117–4127.
- Juniper, D.T., Phipps, R.H., Jones, A.K., Bertin, G. 2006. Selenium supplementation of lactating dairy cows: effect on selenium concentration in blood, milk, urine and feces. – *Journal of Dairy Science*, 89, p. 3544–3551.
- Kaarde, J. 1963. Naatriumselenit kui profülaktiline vahend tallede valgelihastöve puhul. – *Eesti Põllumajanduse Akadeemia teaduslike tööde kogumik. Veterinaaria-alased tööd*, 30, lk 132–136.
- Kevvai, T. 1994. Seleeni üldsisaldusest mõnedes Eesti põllumuldade profiilides (About the content of selenium in profiles of some field soils in Estonia). –

- EPMÜ magistrantide ja doktorantide teaduslike tööde kogumik II, toim. P. Kasearu. Tartu, 1994, lk 72–78.
- Lindberg, P., Bingsfors, S. 1970. Selenium levels in forages and soil in different regions of Sweden. – *Acta Agriculturae Scandinavica*, 20, p. 133–136.
- Ling, K., Ploom, V. 1999. Charting selenium status of cattle in Estonia and possibilities to improve it. In: Tiirats T., Magnusson U., editors. *Dairy production in Estonia – Today and Tomorrow*. Centre for Reproductive Biology Report 7, Uppsala. 1999, p. 56–59.
- Malbe, M., Klaassen, M., Fang, W., Mylly, W., Vikorpuur, M., Nyholm, K., Sankari, S., Suoranta, K., Sandholm, M. 1995. Comparisons of selenite and selenium yeast feed supplements on Se-incorporation, mastitis and leukocyte function in Se-deficient dairy cows. – *Journal of Veterinary Medicine A*, 42, p. 111–121.
- Mikkelsen, T., Aas Hansen, M. 1968. Ernaeringsbetinget muskeldegenerasjon hos lam. *Nordisk Veterinaermedicin*, 20, p. 402–419.
- NRC 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. Washington, D.C., USA: National Academy Press. 381 pp.
- Oksanen, H.E., Sandholm, M. 1970. The selenium content of Finnish forage crops. – *The Journal of Scientific Agricultural Society of Finland*, 42, p. 250–253.
- Ortman, K., Pehrson, B. 1999. Effect of selenate as a feed supplement to dairy cows in comparison to selenite and selenium yeast. – *Journal of Animal Science* 77, p. 3365–3370.
- Pehrson, B. 1996. Milk analysis, nutritional and disease status of dairy cows. – In: Garnsworthy P.C., Wiseman J., Haresign W., editors. *Recent Advances in Animal Nutrition* Nottingham, UK: Nottingham University Press, p. 113–133.
- Pehrson, B., Ling, K., Ortman, K. 1997. The selenium status of dairy cattle in Estonia. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 38, p. 353–356.
- Reilly, C. 2006. *Selenium in food and health*. Springer, USA, 206 pp.
- Nutrient and energy intakes for the European Community. 1993. Reports of the Scientific Committee for Food of the European Community (Thirty-first series). Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 248 pp.
- Seleen 2004. Infoliht nr 137/2004. Eesti Maaviljeluse Instituut, Agroökoloogia osakond. 7 lk.
- Surai, P.F. 2006. *Selenium in nutrition and health*. Nottingham University Press, UK, 974 pp.
- Suoranta, K., Sinda, E., Pihlak, R. 1993. Selenium of the selenium yeast enters the cow's milk. – *Norwegian Journal of Agricultural Sciences Supplement*, 11, p. 215–216.
- Wichtel, J.J., Keefe, G.P., Van Leeuwen, J.A., Spangler, E., McNiven, M.A., Ogilvie, T.O. 2004. The selenium status of dairy herds in Prince Edward Island. – *Canadian Veterinary Journal*, 45, p. 124–132.

## Piimalehmade seleeniga varustatusest Eestis

Katri Ling, Aire Ilves, Hanno Jaakson, Andres Olt, Meelis Ots

### Kokkuvõte

Seleen on üks enim uuritud mikroelemente eelkõige selle tõttu, et ta on väikestes kogustes nii veistele kui inimesele (veistel 3...40 mg, inimestel 20...200 µg, päevas) oluline biogeenne element ja samas suuremates kogustes (inimestele >800 µg, veistele >100 mg päevas) mutageense, geno- ja tsütotoksilise toimega (Surai, 2006). Sööda seleenisaldus alla 0,05...0,1 mg ühes kuivaine kilogrammis loetakse defitsiidiks, kui aga regulaarselt sööta üle 1 mg seleeni söödakilogrammi kohta, siis on see juba toksiline kogus (Hartikainen 2005). Varasemad uurimised on näidanud (Kaarde, 1963; Suoranta jt, 1993; Kevvai, 1994; Pehrson jt, 1997; Bergström jt, 1998; Ling, Ploom, 1999), et Eesti kuulub seleenidefitsiitsete piirkondade hulka ning veiste seleeniga varustus on puudulik.

Kuna viimasel kümnendil rakendatakse Eestis ulatuslikult seleeni lisa söötmist, siis oletasime, et lüpsilehmade seleeniga varustus on paranenud. Uurimuse eesmärgiks oligi hinnata lüpsilehmade seleeniga varustatust määrates varutava piima seleenisaldus.

Uuringusse kaasatavate farmide valikul kasutati Jõudluskontrolli Keskuse maakondade zootehnik-peaspetsialistide abi ning lähtuti farmi suurusel (lüpsilehmi üle 100, v.a Hiiumaal) ja põhimõttest, et uuritavates farmides toodetakse üle poole maakonnas varutavast piimast. Farme külastati kaks korda: I periood – sügis 2008 kuni suvi 2009, II periood – sügis 2009 kuni suvi 2010. Külastatud farmides võeti üks liiter segupiimaproovi, piima Se-sisaldus analüüsiti Põllumajandusuuringute Keskuse jääkide ja saasteainete uurimise laboris. Selleks, et saada ühtne ülevaade farmide suuruse, kasutatava sööda, võimalike seleeniallikate jmt kohta paluti farmitöötajatel täita vastav küsitlusleht. Kokku külastati kummalgi perioodil 109 farmi, nende paiknemisest annab ülevaate joonis 1.

Selgitamaks Eestis kasvatatud põhisööda seleenisaldust, koostati 2010. aastal söötmissosakonna laborisse toodud siloproovidest maakondliku jaotuse alusel keskmised siloproovid. Maakondliku jaotuse koostasid Eesti Maaülikooli mullateadlased Enn Leedu ja Avo Toomsoo, kes lähtusid oma jaotussoovituse andmisel Eesti mullastikutüüpidest.

Tulemuste statistiline analüüs tehti programmiga Excel, statistilist trendi iseloomustavate või statistiliselt oluliste tulemuste korral on sulgudes esitatud olulisuse tõenäosus.

Külastatud farmides oli keskmiselt 349 lüpsilehma (48...1260) ja nende keskmine piimatoodang oli 23,7 kg (10,0...33,1).

Söötade analüüsitulemustest (tabel 1) selgus, et Eesti silo sisaldab seleeni kuivaine kilogrammi kohta

4,7 kuni 6,3 korda vähem soovituslikust 0,3 mg/kg (NRC, 2001).

Piimaanalüüside tulemused kinnitasid oletust, et lüpsilehmade seleeniga varustus on paranenud. Farmide segupiima keskmine seleenisaldus erinevates maakondades oli I perioodil 9...21 µg/kg, kõige väiksem oli see Hiiumaal ja suurim Valgamaal. II perioodil kõikis maakondade farmide piima keskmine seleenisaldus vahemikus 9...19 µg/kg, väiksem oli see endiselt Hiiumaal, suurim aga Jõgevamaal (tabel 2).

Perioodil 2008–2009 kogutud 109 piimaproovi keskmine seleenisaldus oli 17 µg/kg, II perioodil oli see langenud tasemele 15 µg/kg ( $P=0,01$ ). Kirjanduse andmeil iseloomustab selline piima seleenisaldus peaaegu (Wichtel *et al.*, 2004) või täiesti piisavat (Surai, 2006) seleeniga varustatust. Uuringusse kaasatud farmide piima seleenisaldus kõikis vahemikus 5...34 µg/kg. Kogu uurimisperioodi vältel oli 16 piimaproovi (7,3%) seleenisaldus alla kirjanduses esitatud piisavat varustatust iseloomustavat 10 µg/kg (Surai, 2006) ja 25 proovi (11,5%) Se sisaldus oli suurem kui Soomes muldade väetamisega

eesmärgiks võetud 20 µg/kg (Aspila, 1991; Ekholm, 2005). Kokkuvõttes oli enamus farmide lüpsilehmade Se varustus piisav, puudulik oli see 10 farmis (9,2%), kus vähemalt ühe piimaproovi Se sisaldus oli võrdne või väiksem kui 10.

Korrelatsioonanalüüsi tulemusena selgus, et piima seleenisalduse ja söödaga, eelkõige mineraalsöödaga lehmale söödava seleenikoguse vahel on keskmise tihedusega oluline positiivne seos ( $r=0,4$ ;  $P<0,001$ ). Küsitluste andmeil pärines ligikaudu 95% ostusöödaga saadavast seleenikogusest mineraalsöödadest. Seega selleks, et kindlustada lehmade seleeniga varustus Eesti tingimustes, tuleb kindlasti regulaarselt kasutada seleeni lisa söötmist või manustamist.

Arvestades Eestis toodetava piima keskmiseks seleenisalduseks 16 µg/kg ning keskmiseks päevaseks piima ja piimatoodete tarbitavaks koguseks toorpiima alusel 750 g (Eesti piimaturg 2010. aastal, 2011), oleks sellest saadavaks seleenikoguseks ligikaudu 12 µg ehk 22% inimese päevasest normist (Nutrient and energy intakes for the European Community, 1993).

# MAASOOJUSPUMP BOOSTER SP TALITLUS-TEHNILISED KARAKTERISTIKUD JA RUUMI SISEKLIIMA

Targo Pomerants, Viljo Viljasoo\*, Märt Reinvee

Eesti Maaülikooli tehnikainstituut, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu;  
e-post: viljo.viljasoo@emu.ee

**ABSTRACT.** *Ground heat pump booster SP function-technical indices and rooms indoor climate. The object of the study was heating pump Booster SP and indoor climate provided by floor and ventilation heating. The test site, laboratory of Heating pumps and indoor climate, was in The Estonian University of Life Sciences Institute of Technology. Heating pump together with ventilation system were set to automatically ensure proper indoor climate. The particularities of the laboratory setting are the alternative depth of the ground collector (1.5 m) and two indoor heating contours with different layouts. The operating parameters of heating pump were measured by thermocouple probes which were placed on the nodes of heating pump. Indoor climate, provided by heating pump Booster SP and ventilation system, was assessed with a diagnostics device which sensors were placed 1.5 m from the floor. The operating state of ground contour, two indoor heating contours, heating pump and indoor climate was diagnosed by simultaneous data accusation. Based on data processing the operating state and efficiency of heating pump, indoor climate's compliance with laws and legislations was assessed*

**Keywords:** *ground heating pump, thermal-technical parameters, effective state, indoor climate.*

## Sissejuhatus

Eesti Soojuspumba Liidu andmetel on Eestis paigaldatud maasoojuspumpasid, mis kasutavad soojusallikana pinnase või põhjavee soojust, 2010. aasta seisuga 5000. 10 aastaga (1999–2009) on Eestis installeeritud maasoojuspumpade väljundvõimsus 73 MW (Miks, 2011).

2007. aastal müüdi maailmas 477 000 soojuspumpa. Suurim soojuspumpade kasutajariik on Hiina. Hiina, Prantsusmaa, Rootsi ja Saksamaa kasutavad ära 82% aastast toodetud soojuspumpadest (Page, 2008).

Saksamaa eesmärk on 2020. aastaks suurendada maasoojuspumpade aastast installerimist kuni 200 000 süsteemini, mis on kolm korda suurem kui praegu. Selle käigus võetakse maast välja kuni 12,17 TWh energiat (Hinrichs-Rahlwes, Pieprzyk, 2009).

Euroopa Liidu 25 liikmesriigis paigaldati nelja aastaga (2003–2006) 1,2 miljonit soojuspumpa (Nowak, 2010). Euroopa Soojuspumba Liidu eesmärk on 2020. aastaks Euroopas paigaldada 70 miljonit soojuspumpa, saavutades nendega kaasnevalt Euroopa Liidus kogu CO<sub>2</sub> emissiooni vähendamise 20% ning

toota 770 TWh taastuenergiat, mis moodustab kolmandiku Euroopa Liidu taastuenergia eesmärgist (Miks, 2011).

2012. aasta seisuga on Soomes paigaldatud pool miljonit soojuspumpa, mille väljundvõimsus on kokku 3–4 TWh (Hirvonen, 2012).

Eesti on soojuspumpade kasutuselt inimese kohta maailmas esimese kolme riigi hulgas (Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium).

Käesoleva uurimistöö eesmärk oli Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi *Soojuspumpade ja sisekliima* laboris töötava maasoojuspumba Booster SP, võimsusega 8,5 kW, soojustehniliste tööparameetrite diagnoosimine ja talitus-tehniliste tööparameetrite ning eri- ja efektiivnäitajate määramine selleks, et hinnata ja prognoosida seadme sobivust töö- ja eluruumide sisekliima tagamiseks. Püstitatud eesmärgi saavutamiseks olid lahendatud järgmised ülesanded: 1) töötava seadme talitus-tehnilise seisundi määramine; 2) soojusseadme eri- ja efektiivnäitajate määramine; 3) sisekliima määramine laboris.

## Objekt ja metoodika

Uurimistöö objektid olid maasoojuspump Booster SP ja põrandküttega tagatav ruumi sisekliima.

Töötava soojuspumba soojus-tehnilised näitajad on määratud seadme talitusparameetrite mõõtmistulemuste töötlemise alusel. Töötava soojuspumba talitus-tehniliste tööparameetrite arväärtused on registreeritud soojusmasina sõlmi ühendavatele torudele kinnitatud termoanduritelt sidustöötluspõhimõttel. Diagnoosiandmed soojuspumba põrandkontuuride talitusseisundite kohta on registreeritud termoanduritelt sidustöötluspõhimõttel ja töödeldud. Uuritava soojuspumba eripära on selle maakontuuri asetus alternatiivsel sügavusel 1,5 m ja põrandas küttekontuuride siug- ja spiraalkujulised asetused.

Soojuspumba Booster SP ja ventilatsioonisüsteemi (joonis 1) tagatud sisekliimat on diagnoositud kärustatiivile asetatud diagnoosiseadmetega 1,5 m kõrguselt põranda pinnast. Selleks on kasutatud kahte diagnoosiseadet DATA LOGGER ALMEMO 2690–8 koos mõõteanduritega. Sisekliima seisundit ruumis on hinnatud õhutemperatuuri  $\vartheta_{\delta}$ , õhu suhtelise niiskuse  $W_s$ , kastepunkti  $\vartheta_t$ , põranda temperatuur  $\vartheta_p$ , absoluutse niiskuse  $W_a$ , õhu liikumiskiiruse  $v$ , hapnikusisalduse  $O_2$ , süsihappegaasisalduse  $CO_2$ , keskmiste ( $k = 0,1 \text{ V m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) pluss- ja miinuslaengutega aeroioonide  $n^+$ ,  $n^-$ , keskmiste arväärtuste alusel. Põrandapinna temperatuure on registreeritud infrapuna termo-

kaameraga Fluke Ti30. Tolmusisalduse mõõtmiseks õhust on kasutatud GRIMM tolmuanalüsaatorimõõturit seerianumbriga 1.108, mis mõõdab tolmu 15 erineva fraktsiooni 0,3...20 µm lõikes ja tolmu massi vahemikus 0,1...100 000 µg m<sup>-3</sup> (Tragbare Staubmessgeräte, 2005).

Usaldusväärsete tulemuste saamiseks on kooskõlas katsete planeerimise teooriaga (Melnikov *et al.*, 1980) usalduslikuks tõenäosuseks valitud  $\alpha = 0,95$ . Püstitatud taseme saavutamiseks on lähtutud mõõteriistade tehnilistest andmetest, andmete mõõtevigadest ja lubatud veast elektrooniliste mõõteseadmete jaoks  $\varepsilon = 0,4\sigma$ , kus  $\sigma$  on ruutkeskmine hälve.



**Joonis 1.** Maasoojuspump Booster SP, ventilatsioonisüsteemi väljatõmbeava ja -toru ning diagnoosiseadmetega kärustatiiv

**Figure 1.** Ground heat pump Booster SP, ventilation system outlet pipe and diagnosis devices on a stand

Soojuspumba tööparameetrite arvvaartused on määratud järgmiste tingimuste järgi.

1. Maatorustiku kontuur pikkusega 120 jm on täidetud külmakindla vedelikuga ja asetseb 1,5 m sügavusel maa sees, vahedega 1,2 m.
2. Võttes arvesse pinnase suurt soojusmahtuvust  $C_p = 1840 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$  (Incropera, DeWitt, 1996) ja nimetatud lõputut maa sügavust, võib seda käsitleda kui lõputut soojamahutit.
3. Eeldatakse, et pinnase temperatuur on aastaringselt 4–6°C ja ööpäevane temperatuurikõikumine maapinnal ei ole oluline (Kabashnikov *et al.*, 2002).
4. Kõetava ruumi kogupindala on 32,49 m<sup>2</sup>, ruumala 104,94 m<sup>3</sup>.
5. Kõetava ruumi põrandkütte kontuuride kogupikkus on 136,8 jm, millest siugtoruasetus moodustab 54,5 jm ja spiraalasetus 82,3 jm. Ruumi põrandküttetorustiku samm on 150 mm.

Diagnoosiandmed on statistiliselt töödeldud (aritmeetiline keskmine, standardhälve, standardviga) üldtuntud valemite järgi.

Sisekliima sanitaar-hügieeniline seisund ruumis on määratud aeroioonide unipolaarsusteguri järgi:

$$q_a = \frac{n^+}{n^-}, \quad (1)$$

kus  $q_a$  – unipolaarsustegur keskmiste ( $k = 0,1 \text{ V m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) aeroioonide korral;

$n^+$  – plusslaengutega keskmised aeroioonid cm<sup>-3</sup>;

$n^-$  – miinuslaengutega keskmised aeroioonid cm<sup>-3</sup>.

Õhu suhteline värskus on arvatud valemiga

$$V = 100 - \frac{q_a}{q_n} \cdot 100, \quad (2)$$

kus  $V$  – õhu suhteline värskus %;

$q_n$  – unipolaarsusteguri lubatud maksimum ( $q_n = 1,3$ ) töödeldud õhuga ruumis.

Soojuspumba soojusmasina efektiivseisundi diagnoosimiseks i-lgP diagramm-meetodil (Viljasoo, 1998; Viljasoo *et al.*, 2005) tuleb: 1) mõõta tehniliselt korras ja töötava soojusmasina sõlmi ühendavatelt torudelt agensi temperatuurid; 2) koostada i-lgP diagramm-meetodil soojusmasina tööd iseloomustav ringprotsess (joonis 2); 3) määrata selleks soojusmasina talitlusseisundit iseloomustavad näitajad ( $P_0, P_k, i, v_l$ ); 4) arvutada soojusseadme ja selle sõlmede tööd iseloomustavad eri- ja efektiivseisundi näitajad ( $q', q'_0, \varepsilon_a, \varepsilon_k, q_v, G_a, V_b, Q_0$ ); 5) anda kasutustingimustes töötavalt soojusmasinalt mõõdetud temperatuuride ja temperatuuride vahede alusel hinnang soojusmasina sõlmede talitlus-tehniliste seisundite kohta ning teha järeldused soojusseadme töö efektiivsuse kohta.

Aurusti erisoojatootlikkus  $q'_0$ , kJ kg<sup>-1</sup>, ja kondensaatori erisoojatootlikkus  $q'$ , kJ kg<sup>-1</sup>, on arvatud valemitega

$$q'_0 = i'_1 - i'_4; \quad q' = i'_2 - i'_3, \quad (3, 4)$$

kus  $i'_1, i'_4$  – agensi entalpiad diagrammi (joonis 2) punktide 1' ja 4', kJ järgi;

$i'_2, i'_3$  – agensi entalpiad diagrammi (joonis 2) punktide 2' ja 3', kJ järgi.

Kompressori eritöö (joonis 2)  $l$ , kJ kg<sup>-1</sup>, on arvatud valemiga

$$l = i_2 - i_1, \quad (5)$$

kus  $i_2, i_1$  – agensi entalpiad diagrammi (joonis 2) punktide 2 ja 1, kJ järgi.

Aurusti soojustegur  $\mathcal{G}_a$  ja kondensaatori soojustegur  $\mathcal{G}_k$  on leitud valemitega

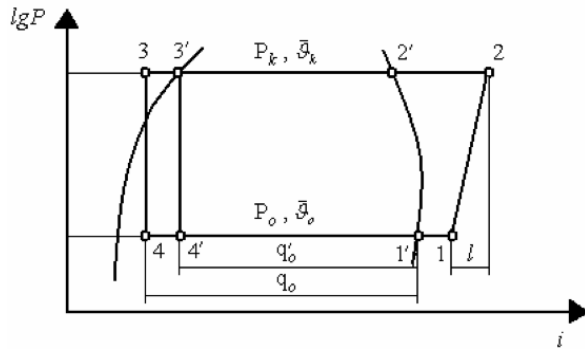
$$\varepsilon_a = q'_0 / l; \quad \varepsilon_k = q' / l \quad (6, 7)$$

Agensi mahuline erisoojatootlikkus  $q_v$ , kJ m<sup>-3</sup>, on arvatud valemiga

$$q_v = \frac{q'_0}{v_1} \quad (8)$$

kus  $v_1$  – agensi erimaht diagrammi (joonis 2) punktis 1, m<sup>3</sup>kg<sup>-1</sup>.





**Joonis 2.** Soojusseadme teoreetiline ringprotsess  $i$ - $lgP$  diagrammil:  $P_k$  – agensi kondenseerumisrõhk;  $\theta_k$  – agensi keskmine kondenseerumistemperatuur;  $P_o$  – agensi aurustumisrõhk;  $\theta_o$  – agensi keskmine aurustumistemperatuur;  $q'_o$  – agensi erisoojatootlikkus;  $l$  – kompressori eritöö

**Figure 2.** Theoretical circular process of heating system on  $i$ - $lgP$  diagram:  $P_k$  – condensing pressure of agent;  $\theta_k$  – mean condensing temperature of agent;  $P_o$  – vaporizing pressure of agent;  $\theta_o$  – mean vaporizing temperature of agent;  $q'_o$  – specific heat productivity;  $l$  – specific work of compressor

Soojusseadmes ringleva agensi erikulu  $G_a$ ,  $kg\ s^{-1}$ , ja kompressori tegelik mahuline jõudlus  $V_t$ ,  $m^3\ s^{-1}$  on arvatud valemitega

$$G_a = \frac{Q}{q'_o}; V_t = G_a \cdot v_1, \quad (9, 10)$$

kus  $Q$  – soojusseadme soojusvõimsus, kW ( $Q = 8,5$ ).

Soojusseadme tegelik soojusvõimsus  $Q_o$ , kW, on arvatud valemiga

$$Q_o = V_h \cdot \lambda_e \cdot q_v, \quad (11)$$

kus  $V_h$  – kompressori teoreetiline mahuline jõudlus,  $m^3\ s^{-1}$ ;  $\lambda_e$  – etteandetegur.

$i$ - $lgP$  diagramm-meetodi kasutuselevõttuga on valemis 11 kompressori teoreetiline mahuline jõudlus  $V_h$  ja agensi mahuline erisoojatootlikkus  $q_v$  asendatud kompressori tegeliku mahulise jõudlusega  $V_t$  ja agensi tegeliku mahulise erisoojatootlikkusega. Etteandetegur  $\lambda_e$ , mis iseloomustab kompressori kõikide kadude suurust ja mida on võimalik määrata sõltuvalt kompressori suuastmest, pole antud valemis tegelike näitajate kasutamise seoses vajalik (Viljasoo, 1998). Sellest tulenevalt on soojusseadme tegelik soojusvõimsus  $Q_o$ , kW arvatav valemiga

$$Q_o = V_t \cdot q_v \quad (12)$$

**Tabel 1.** Soojuspumba sõlmi ühendavatelt torudelt mõõdetud agensi ja soojakandja temperatuurid

**Table 1.** Agent and warmth carrying liquid temperatures measured from pipes connecting the nodes from heat pump

Sõlmed Nodes	Kom s Com in	Kom v Kon s Com out	Kon v Fil s Con out	Fil v TRV s Fil. out	TRV v Aur s TRV out	Aur v Vap. out	SK s CC in	SK v CC out
Tähised/Designations	$\theta_1$	$\theta_2, \theta'_2$	$\theta'_3, \theta_3$	$\theta_3$	$\theta_4, \theta'_4$	$\theta'_1$	$\theta_{sk}$	$\theta'_{sk}$
	Diagnoosiaeg / Time of diagnosis 06.02.13; $\theta_k = 22,21$ ; $\theta_{vk} = 1,17$							
Mõõdetud/Measured °C	3,14	46,93	24,29	25,35	6,50	3,58	1,94	1,75
	Diagnoosiaeg / Time of diagnosis 07.02.13; $\theta_k = 22,18$ ; $\theta_{vk} = 0,60$							
Mõõdetud/Measured °C	2,98	47,05	24,33	25,38	6,15	3,01	1,94	1,75
Keskmine/Mean °C	3,06	46,99	24,31	25,36	6,31	3,28	1,94	1,75

$\theta_i$  – agensi temperatuurid, mõõdetuna vastavalt soojusmasina sõlmi ühendavatelt sisend- ja väljundtorudelt / agent temperature has to be measured according to input and output connecting pipes of heater

Agensi keskmised keemis- –  $\theta_o$  °C ja kondenseerumistemperatuurid  $\theta_k$  °C on arvatud valemitega

$$\theta_o = \frac{\theta_{os} + \theta_{ov}}{2}; \theta_k = \frac{\theta_{ks} + \theta_{kv}}{2}, \quad (13, 14)$$

kus  $\theta_{os}, \theta_{ov}$  – aurustisse siseneva ja väljuva agensi temperatuurid, °C;

$\theta_{ks}, \theta_{kv}$  – kondensaatorisse siseneva ja väljuva agensi temperatuurid, °C.

Soojuspumba töörežiimi analüüsimiseks on arvatud summaarne erisoojushulk  $q'$ , kJ/kg diagnoosimistel registreeritud diagnoosiandmete alusel valemiga

$$q' = q'_o + l. \quad (15)$$

Soojuspumba soojusmasina sõlmede talitlus-tehnilisi seisundeid on diagnoositud ajavahemikul, millal toimusid sisekliimaparametrite mõõtmised. Samade ajavahemike aegadel on diagnoositud ka soojuspumba põrandkontuuridelt temperatuure. Ühel ajal diagnoositud andmete võrdluskäsitlus tagab põrandkütel põhineva küttesüsteemi tagatava sisekliima korrelatiivse käsitluse.

### Uurimistöö tulemused

Töötava soojuspumba talitlus-tehnilise seisundi määramiseks olid aluseks selle sõlmi ühendavatelt torudelt mõõdetud agensi ja soojakandja temperatuurid (tabel 1).

Soojuspumba soojusmasina aurustis toimus agensi R22 keemine ja kondensaatoris selle veeldumine EN 255 tingimuste järgi keskmiselt 0/35°C ja 0/50 °C juures. Soojakandja (SK) temperatuuridest enne aurustit ( $\theta_{sk}$ ) ja pärast aurustit ( $\theta'_{sk}$ ) võib järeldada, et selle temperatuur alaneb soojavahetuses ligilähedaselt 0,2°C võrra. Soojuspumba soojusmasina sõlmed (kom – kompressor, kon – kondensaator, Fil – filter; TRV – termoreguleeriv ventiil, aur – aurusti) olid töökorras.

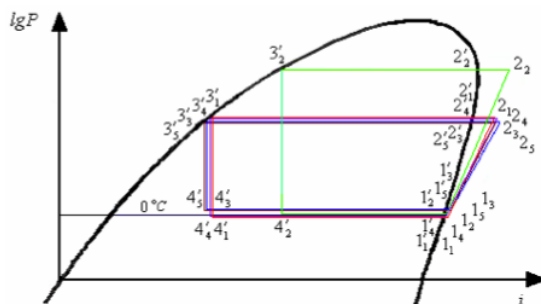
Diagnoosimise ajal olid sise- ( $\theta_k$ ) ja väliskeskonna ( $\theta_{vk}$ ) ja temperatuurid vastavalt vahemikus 22,18–22,21°C ja 0,6–1,7°C.

Soojuspumba soojusmasina töö ringprotsesside analüüs võimaldab saada tervikliku ülevaate seadme tööst.

i-IgP diagramm-meetodi eelised on diagnoosi-meetodi teaduslikkus, võimalus siduda diagnoositud soojuspumba soojusmasina sõlmede talitus-tehnilised näitajad soojustehnika teooriaga, võimalus koostada soojusmasina töö ringprotsesse võrdlevaid tsüklogramme (joonis 3), arvestada soojusmasina ja -seadme töö ringprotsessi eri- ja efektiivnäitajaid ning jälgida nende abil soojusmasina sõlmedes toimuvaid termodünaamilisi protsesse.

Tabelist 2 on esitatud laboris töötava soojuspumba BOOSTER SP soojusmasina ja -seadme eri- ja efektiivnäitajad.

Tabelist 2 on näha, et i-IgP diagramm-meetodil määratud eriefektiivnäitajate  $q'$ ,  $q'_0$ ,  $l$ , võrdlemisel selgub, et summaarse erisoojatootlikkuse määramisviga  $\Delta$  on keskmiselt  $8 \text{ kJ kg}^{-1}$ , mis on keskmiselt 4.4% suhtelist viga.



**Joonis 3.** Soojuspumba soojusmasina ringprotsessid i-IgP diagrammil

**Figure 3.** Circular processes of heat pump heating machine on i-IgP diagram

Määratud suhtelise vea põhjused võivad olla mõõtmisvead, soojuspumba töörežiimi muutused mõõtmiste ajal, entalpiate arvvaartuste lugemine diagrammidelt ja soojakaod ühendustorudel.

Tabelist 2 saab teha järgmised kokkuvõtted.

1. Agensi keemistemperatuur  $\vartheta_0$  esineb vahemikus  $4,5\text{--}5,0^\circ\text{C}$ , keskmiselt  $4,8^\circ\text{C}$ .
2. Agensi kondenseerumistemperatuur  $\vartheta_k$  esineb vahemikus  $35,61\text{--}35,69^\circ\text{C}$ , keskmiselt  $35,66^\circ\text{C}$ .
3. Kompressori imirõhk  $P_0$  esineb vahemikus  $577\text{--}585 \text{ kPa}$ , keskmiselt  $581 \text{ kPa}$ .
4. Kompressori sururõhk  $P_k$  on keskmiselt  $1375 \text{ kPa}$ .
5. Kaaluline erisoojatootlikkus  $q'_0$  on keskmiselt  $164 \text{ kJ kg}^{-1}$ .
6. Kompressori eritöö  $l$  on keskmiselt  $18 \text{ kJ kg}^{-1}$ .
7. Kondensaatori erisoojatootlikkus  $q'$  on keskmiselt  $174 \text{ kJ kg}^{-1}$ .
8. Aurusti soojustegur  $\vartheta_a$  on keskmiselt  $9,1$ .
9. Kondensaatori soojustegur  $\vartheta_k$  on keskmiselt  $9,7$ .
10. Sisseimetava auru erimaht  $v_l$  on suhteliselt konstantne,  $0,041 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ .

**Tabel 2.** Soojuspumba soojusmasina ja -seadme eri- ja efektiivnäitajad  
**Table 2.** Special and effective indices of heat pump's heating machine

Kuupäev Date	$\vartheta_0$ °C	$\vartheta_k$ °C	$P_0$ kPa	$P_k$ kPa	$q'_0$ kJ kg <sup>-1</sup>	$l$ kJ kg <sup>-1</sup>	$q'$ kJ kg <sup>-1</sup>	$v_l$ m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup>	$q_v$ kJ m <sup>-3</sup>	$G_a$ kg s <sup>-1</sup>	$V_t$ m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	$Q_0$ kW
06.02.13	5,0	35,61	585	1375	164	18	174	0,040	4100	0,052	0,0021	8,6
07.02.13	4,5	35,69	577	1375	164	18	174	0,041	4000	0,052	0,0021	8,4
Keskmine/Mean	4,8	35,66	581	1375	164	18	174	0,041	4050	0,052	0,0021	8,5

11. Mahuline erisoojatootlikkus  $q_v$  esineb vahemikus  $4000\text{--}4100 \text{ kJ m}^{-3}$ , keskmiselt  $4050 \text{ kJ m}^{-3}$ .
12. Agensi erikulu  $G_a$  on keskmiselt  $0,052 \text{ kg s}^{-1}$ .
13. Kompressori tegelik mahuline jõudlus  $V_t$  on keskmiselt  $0,0021 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .
14. Soojuspumba soojusseadme soojusvõimsus  $Q$  on passi andmetel  $8,5 \text{ kW}$ .
15. Soojusseadme tegelik soojusvõimsus  $Q_0$  esineb vahemikus  $8,4\text{--}8,6 \text{ kW}$ , keskmiselt  $8,5 \text{ kW}$ .

Tabelist 3 on näha, et labori keskmine õhutemperatuur põrand- ja ventilatsioonkütte ( $22,29^\circ\text{C}$ ) ning ainult ventilatsioonkütte ( $21,6^\circ\text{C}$ ) tingimustes vastab standardis (EVS 839:2003) kehtestatud nõuetele ( $22 \pm 1^\circ\text{C}$ ). Õhu suhteline niiskus vastab standardis (EVS 839:2003) kehtestatud normidele, kuid ei vasta õigusaktidega (Tööruumide mikrokliima tervisekaitse-normid ja -eeskirjad, 2002) kehtestatud normidele ( $40\text{--}60\%$ ). Õhu liikumiskiirus on standardiga kehtestatud normist mõnevõrra väiksem (norm  $0,15 \text{ m s}^{-1}$ ).

Parakliima parameetrite osas on registreeritud põrandkütte tingimustes hapnikusisaldus mõnevõrra madalam ( $19,04\%$ ). Süsinikdioksiidisaldus õhus vastas normidele (norm  $0,1\%$ ).

Tolmuosakeste sisaldus õhus ületas põrand- ja ventilatsioonkütte tingimustes normväärtust  $<0,06 \text{ mg m}^{-3}$  (EVS 839:2003)  $1,5\text{--}3,2$  korda. Ventilatsioonkütte tingimustes oli ruumiõhus ülipeente tolmuosakeste kontsentratsioon 5 korda väiksem kui põrandkütte tingimustes. Tolmuosakeste kontsentratsioon ruumiõhus oli põrand- ja ventilatsioonkütte tingimustes ventilatsiooni väljatõmbeava (joonis 1) poolses õhus 4 korda suurem kui ventilatsiooni sissepuhkeavade poolel. Ventilatsioonita põrandkütte tingimustes jaotus uuritavas ruumis tolm ühtlaselt (Nõu, Viljasoo, 2010).

Tuginedes diagnoosiandmetele, on uurimistöö metoodikas esitatud tingimuste järgi ning valemitega 1 ja 2 arvutatud parameetrite arvvaartused esitatud tabelis 3.

Õhu elektrostaatilise seisundi ehk elektrokliima diagnoosimisel selgus, et ruumiõhus põrand- ja ventilatsioonkütte tingimustes oli aeroioone ( $403 \text{ cm}^{-3}$ ) rohkem kui ainult ventilatsioonkütte puhul ( $295 \text{ cm}^{-3}$ ). Sisekliima sanitaar-hügieeniline seisund ruumis oli nii unipolaarsusteguri ( $0,62$ ), kui õhu suhtelise värskuse ( $52,1\%$ ) seisukohalt üldiselt põrand- ja ventilatsioonkütte tingimustes sama hea kui ventilatsioonkütte tingimustes (tabel 3). Selle põhjus võib olla osade tolmuosakeste miinuslaengulisus.

Põrandatemperatuuri jaotuvus torustiku siug- ja spiraalasetusega põrandkütte puhul on esitatud joonisel 4. Põrandkütte kontuurid ja põranda temperatuurid on registreeritud termokaameraga Fluke Ti30.



Joonisel 4 esitatud temperatuuride jaotuvuse põhjal võib eelistatumaks pidada torustiku siugasetust. Nimetatud eelis põhineb niisugusel viisil torustiku asetusega samal põrandapindalal 27,8 m lühema toru paigaldusvõimalusel, soojakandja (vesi) koguse läbivuse kordusel ja seoses sellega intensiivsemal soojusvahetusel.

### Kokkuvõte ja järeldused

1. Esitatud eri- ja efektiivnäitajatega töötav soojuspump Booster SP suudab tagada vastavalt EN 255 tingimustest 0/35°C ja 0/50°C agensi R22 keemise ja veeldumise keskmiselt 3/47°C juures, mis on välisõhu keskmise temperatuuri 1,15°C juures ja maasoojuse soojakandja keskmise temperatuuri 1,85°C juures normaalne ja põhjustatud seadme ala-koormusest.
2. Soojuspumba toodetud summaarne erisoojushulk on keskmiselt 174 kJ kg<sup>-1</sup> ja seadme soojusteguri keskmine väärtus on 9,7.
3. Õhu suhteline niiskus 27% on standardiga kehtestatud normidega kooskõlas, kuid mitte kooskõlas õigusaktidega kehtestatud normidega.
4. Õhu liikumiskiirus 0,12 m s<sup>-1</sup> on normis.
5. Hapnikusisaldus õhus on normist (20,95%) 7,8% väiksem. Hapnikusisalduse vähenemist õhus põhjustab nii ventilatsioonküte kui ka põrandküte.
6. Tolmuosakeste sisaldus õhus ületas põrand- ja ventilatsioonkütte tingimustes normväärtust (<0,06 mg m<sup>-3</sup>) 1,5–3,2 korda, kuid oli ventilatsioonkütte tingimustes normis. Ventilatsiooni põhjusel oli tolmuosakeste kontsentratsioon ruumiõhus väljatõmbeavapoolses õhus 4 korda suurem kui ventilatsiooni sissepuhkeavade pool.
7. Ventilatsioonkütte tingimustes oli ruumiõhus ülipeenete tolmuosakeste kontsentratsioon 5 korda madalam kui põrandkütte tingimustes.
8. Sisekliima sanitaar-hügieeniline seisund oli kõikidel juhtudel suhteliselt hea. Selle põhjus võib olla osade tolmuosakeste miinuslaengulisus.
9. Põrandkütte puhul on eelistatum torustiku siugasetus. Niisugune torustiku asetuse võimaldab samaväärsele põrandapinnale paigaldada lühema küttetoru, tagades selles soojakandja (vesi) intensiivsema ringluse ja parema soojusülekanne.

### Kirjandus

Grimm Aerosoltechnik. 2005. Tragbare Staubmessengeräte. Deutschland. 71 pp.

Hinrichs-Rahlwes, R., Pieprzyk, B. 2009. National Renewable Energy Industry Roadmap Germany. Kättesaadav: [http://www.ehpa.org/uploads/media/100\\_201\\_IndustryRoad-mapDEeng-FINAL.pdf](http://www.ehpa.org/uploads/media/100_201_IndustryRoad-mapDEeng-FINAL.pdf) (18.02.13).

Hirvonen, J. 2012. Ground source heat pump sales grew by an amazingly 72% in Finland. Kättesaadav: [http://www.sulpu.fi/documents/184029/189661/Heat\\_Pump\\_Sales\\_Grew\\_by\\_72\\_in\\_Finland.pdf](http://www.sulpu.fi/documents/184029/189661/Heat_Pump_Sales_Grew_by_72_in_Finland.pdf) (18.02.13).

Incropera, F.P., DeWitt, D.P. 1996. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. IV Edition. John Wiley & Sons, New York, 886 pp.

Kabashnikov, V.P., Danilevskii, L.N., Nekrasov, V.P., Vityaz, I.P. 2002. Analytical and numerical investigation of the characteristics of a soil heat exchanger for ventilation systems. – Internal Journal of Heat and Mass Transfer 45, p. 2407–2418.

Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. Energiamaajanduse riiklik arengukava aastani 2020. Kättesaadav: [http://valitsus.ee/UserFiles/valitsus/et/valitsus/arengukavad/majandus-ja-kommunikatsiooni\\_ministeerium/Energiamaajanduse\\_riiklik\\_arengukava\\_aastani\\_2020.pdf](http://valitsus.ee/UserFiles/valitsus/et/valitsus/arengukavad/majandus-ja-kommunikatsiooni_ministeerium/Energiamaajanduse_riiklik_arengukava_aastani_2020.pdf) (18.02.13)

Melnikov, S.V., Aleshkin V.R., Roshchin P.M. 1980. Experiments planning in studies of agricultural processes. Kolos, 168 pp. (vene keeles).

Miks, J. 2011. Eesti Soojuspumpade Liit ESPEL. Kättesaadav: [http://www.polvamaa.ee/energeetika/esitlused/Jyri\\_Miks/Jyri\\_Miks\\_ESPEL\\_energeetika\\_konverentsile\\_miks\\_uuendatud\\_variant1.pdf](http://www.polvamaa.ee/energeetika/esitlused/Jyri_Miks/Jyri_Miks_ESPEL_energeetika_konverentsile_miks_uuendatud_variant1.pdf) (18.02.2013)

Nowak, T. 2010. European Heat Pump Action Plan. Kättesaadav: [http://www.ehpa.org/fileadmin/red/downloads/EHPA\\_action\\_plan.pdf](http://www.ehpa.org/fileadmin/red/downloads/EHPA_action_plan.pdf) (18.02.13).

Nõu, T., Viljasoo, V. 2011. The effect of heating systems on dust, an indoor climate factor. Agronomy Research. Volume 9. Biosystems Engineering Special issue 1. Tartu, p. 165–174.

Page, T. 2008. Heat pump market growing fast. Kättesaadav: [http://www.bsria.co.uk/news/heat\\_pump08/](http://www.bsria.co.uk/news/heat_pump08/) (18.02.13).

Sisekliima. Eesti Standard. EVS 839:2003 Eesti Standardikeskus, 10 lk.

Tööruumide mikrokliima tervisekaitse normid ja -eeskirjad. Määrus. Vastuvõetud 01.06.2002 (TKNE-5/1995).

Viljasoo, V. 1998. Piima jahutus-säilitusseadmete töökindlus ja selle tagamise meetodid. – Tehnikateaduste doktorikraadi taotlemise väitekirj. Tartu, EPMÜ Tehnikateaduskonna põllumajandustehnika instituut, 148 lk.

Viljasoo, V., Tomson, I., Bajeva, N., Bajeva, A. 2005. Soojuspumba EKO CLASSIC 155 tööparameetrid veisefarmi sisekliima tagamisel. – Agraarteadus, XVI, 2. Tartu, lk 124–135.

Viljasoo, V., Treial, J., Tomson, I. 2005. Application of heat pump in a milk farm. International Scientific Conference. Agricultural engineering problems. Jelgava, p. 193–198. (vene keeles, ing. k. abstrakt).

Viljasoo, V., Treial, J., Tomson, I. 2005. Working parameters of the heat pump EKO CLASSIC 155 used in cattle farms. New technologies processes and investigation methods for agricultural engineering. Proceedings of the International conference. Raudondvaris, p. 342–349.

## Ground heat pump Booster SP function-technical indices and rooms indoor climate

Targo Pomerants, Viljo Viljasoo, Märt Reinvee

### Summary

The aim of the study was to diagnose thermal-technical working parameters and to determine functional-technical working parameters and special and effective indices of heat pump Booster SP with capacity 8.5 kW working in indoor climate laboratory's to evaluate devices suitability for providing internal climate. In order to achieve the aim following tasks were solved: 1) determining the functional-technical condition of working device; 2) determining indoor climate; 3) determining heating device's special and effective indices.

Objects of research were heat pump Booster SP and indoor climate laboratory's area of 32.49 m<sup>2</sup>. Thermal-technical working parameters of working heat pump were determined by processing the devices functional parameters measured values. Heating device diagnosing device and digital measuring instruments were used for diagnose.

For diagnosing indoor climate parameters diagnostic equipment DATA LOGGER ALMEMO 2690-8 with measuring sensors was used. Grimm's Aerosol Laser Particle Spectrometer Model 1.108 was used to measure dust. Floor temperatures were registered by thermo-infrared camera Fluke Ti30. Indoor climate state in the room was analyzed on the basis of basic characteristics (temperature  $\vartheta_{\delta}$ , relative humidity  $W_s$ , absolute humidity  $W_a$ , dew point  $\vartheta_t$ , velocity  $v$ , temperature of floor  $\vartheta_p$ , oxygen content  $O_2$ , carbon dioxide content  $CO_2$ , positive medium air ions  $n^+$ , negative medium air ions  $n^-$ , factor of unipolarity  $q_a$ , relative freshness of air  $V$ , dust particles mean size 0.53  $\mu\text{m}$   $T_{\bar{a}}$ , dust particles mean size 1.53  $\mu\text{m}$   $T_p$ , dust particles mean size 9.21  $\mu\text{m}$   $T_j$ ). All indoor and outdoor climate parameters were measured at the height of 1.5 meter from a surface of a floor. To get reliable outcome the reliable probability was chosen to be  $\alpha = 0.95$ , in keeping with theory of planning experiments. To achieve appointed level originated from technical data of measurement devices, measurement error of sensor and allowed error for electronic measurement devices  $\varepsilon = 0.4 \sigma$ , where  $\sigma$  is the standard deviation. Following conditions were taken into account while inspecting working parameters of the heat pump:

1. Ground collector 120 running meter is filled with frost proof liquid, lies 1.5 m in the ground with 1.2 m step.
2. Taking into account large heat capacity of ground  $C_p = 1840 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$  (Incropera, DeWitt, 1996) and unlimited depth of ground mentioned, it can be regarded as unlimited heat container.

3. It is presumed, that the temperature of the ground is yearly 4–6 °C and daily temperature change on the ground is not relevant (Kabashnikov *et al.*, 2002).
4. Whole area of heated rooms 32.49 m<sup>2</sup>, volume 104.94 m<sup>3</sup>.
5. Heating pipe all length was 136.8 running meters, in which vericular placement of contour runs 54.5 running meters and spiral placement of contour runs 82.3 running meters.

To diagnose heat pumps heat machine's effective state on i-lgP diagram method: 1) agent temperature from pipes connecting the nodes has to be measured from heat machine in good technical condition; 2) draw up with i-lgP diagram method the circular process of heat machine's work (Figure 2); 3) appoint characteristic features of heat machine's functional condition's ( $P_0, P_k, i, v_l$ ); 4) calculate characteristic features of heat machines and its nodes effective condition ( $q', q'_0, \varepsilon_a, \varepsilon_k, q_v, G_a, V_b, Q_0$ ); 5) make conclusions based on circular processes by measured temperatures and calculation results of working device (Viljasoo, 1998; Viljasoo *et al.*, 2005).

In case of using the i-lgP diagram-method (formula 11) is the compressor's theoretical  $V_h$  and agent's bulk warming productivity  $q_v$  replaced with compressor bulk capacity actual bulk efficiency  $V_i$  and agent actual bulk warming productivity. It is possible to appoint the Feeding factor  $\lambda_e$  (characterizes amount of compressor losses) by compressor's compressive level (Viljasoo, 1998).

As is it seen from heating machine of the heat pump, amount of heat  $q'_0$  is taken from liquid carrying energy to boil the agent. To keep agent continuously circling in compressor the work amount  $l$  is used, which joins as dissipation of heat with heat amount  $q'_0$ . Total amount of heat conducted into environment, which is consonant with law of conservation of energy, forms heat amount  $q'$  (formula 15).

For determining operating state of the working heat pump agent temperatures from heating pump nodes was measured (Table 1).

In the vaporizer of heat pump's heating machine agent R22 is boiling, and in the condensator it is deliquescing according to EN 255 conditions in mean at 0/35°C and 0/50°C. From warmth carrying agent's temperatures before vaporizer ( $\vartheta_{sk}$ ) and after vaporizer ( $\vartheta'_{sk}$ ) it can conclude that its temperature reduces in heat exchange approximately by 0.2°C.

The nodes of heat pump's heat machine (com. – compressor, con. – condensator, fil. – filter, TRV – thermo regulating ventill, vap. – vaporizer) were in working order. In time of measurement the indoor environment temperature ( $\vartheta_k$ ) was 22.18–22.21°C and outdoor temperature ( $\vartheta_{vk}$ ) 0.6–1.7°C.

Analyze of circular processes heat pump's heat machine enables to get complete review of machines work. Advantages of the i-lgP diagram method are diagnose method being scientific, possibility to link diagnosed heat pump system nodes functional-

technical indices with heating theory, opportunity to use cyclograms while comparing circular processes of heating pump heating machine (Figure 3), taking into account special and effective indices of circular processes of heating pump heating machine and monitor thermo dynamical processes occurring in heat pumo nodes.

In table 2 are presented special and effective indices of heat pump Booster SP in indoor climate laboratory.

From Table 2 it is possible to make following conclusions:

1. Agent boiling temperature is between 4.5–5.0, in mean 4.8°C.
2. Agent condensing temperature is between 35.61–35.69°C, in mean 35.66°C.
3. Compressor suction pressure is between 577–585 kPa, in mean 581 kPa.
4. Compressor compressive pressure in mean 1375 kPa.
5. Weighty special heat productivity  $q'_0$  in mean 164 kJ kg<sup>-1</sup>.
6. Compressor specific work  $l$  in mean 18 kJ kg<sup>-1</sup>.
7. Condensator specific heat productivity  $q'$  in mean 174 kJ kg<sup>-1</sup>.
8. Refrigerant factor of cycle  $\varepsilon_a$  in mean 9,1.
9. Heating factor of cycle  $\varepsilon_k$  in mean 9.7.
10. Specific volume of steam sucked in  $v_l$  is relatively constant, 0.041 m<sup>3</sup>kg<sup>-1</sup>.
11. Bulk specific heat productivity  $q_v$  is between 4000–4100 kJ m<sup>-3</sup>, in mean 4050 kJ m<sup>-3</sup>.
12. Agent usage  $G_a$  in mean 0.052 kg s<sup>-1</sup>.
13. Actual bulk capacity of compressor  $V_l$  in mean 0.0021 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.
14. Heat capacity of heat pump's heating device  $Q$  is by technical specifications 8.5 kW.
15. Actual heat capacity  $Q_0$  of heating device's is between 8.4–8.6 kW, in mean 8.5 kW.

In Table 2 it is seen, that when condensing temperature  $\vartheta_k$  rises, compressive pressure  $P_k$ , compressor's specific work  $l$ , specific usage of agent  $G_a$  and compressor actual bulk capacity  $V_l$  increase; when boiling temperature  $\vartheta_0$  rises, suction pressure  $P_0$  increases and compressor specific work  $l$  decreases; when increasing volume  $q_v$  and weighty  $q'_0$  production condensator specific heat productivity  $q'$  also increases. When comparing effective indices  $q'$ ,

$q'_0$ ,  $l$  (Table 2) determined by the i-lgP diagram method it becomes obvious, that the total heat amount defining error  $\Delta$  is 8 kJ kg<sup>-1</sup>, which is 4.4% of relative error. Reasons of definite relative error may be measuring errors or changes in the work routine of heat pump during measuring or reading enthalpies numeral values from diagrams and heat loss from machine nodes.

Based on data in Table 2 it is possible to conclude that the heat pump heating devices working mode is most optimal, as analogue to what is presented on Figure 2, devices weight specific heat productivity was 174 kJ kg<sup>-1</sup>, specific heat productivity 164 kJ kg<sup>-1</sup>, compressor specific work 18 kJ kg<sup>-1</sup>, warming factor 9.7, actual warming capacity 8.5 kW. Results from Figure 3 and Tables 2 show that the heat pump warming machine functional-technical condition and special and effective indices were according to devices technical working parameters in normal condition, but machine is operating below its optimal capacity.

In case of paraclimate parameters, relatively low oxygen content (19.04–19.59%) and carbon dioxide content (mean value 0.10%) in indoor air was measured. The electrostatic state of air showed that in floor and ventilation heating conditions the level of medium aeroions (403.09 cm<sup>-3</sup>) was higher than in only ventilation heating conditions (295.18 cm<sup>-3</sup>). Value of unipolarity factor (0.62) and relative freshness of air (52.09%) indicates satisfactory sanitary-hygienic conditions in all experimental conditions (Table 3), which may be caused by the negative charge of dust particles.

It can be concluded that heating pump Booster SP is able to ensure proper indoor climate. However in current experiment the heating pump was operated below its optimal capacity. It is advisable to prefer vermicular layout indoor heating contour to circular contour because it better heat exchange in case of shorter length. The problem of dust concentration was noted in case of floor heating. Air consisted 7–14 times more dust particles than it is allowed in legislations. Moreover, dust concentration was 5 times greater near the ventilation system outlet (Figure 1). In case of ventilation heating the concentration of ultra-thin dust particles was more than 1.5 times greater than allowed in legislations

# JÕGEVA, KUUSIKU JA OLUSTVERE KATSEALA MULDADEST

Kaire Rannik\*, Raimo Kõlli

Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut  
Kreutzwaldi 5D, 51014 Tartu  
e-post: kaire.rannik@emu.ee

**ABSTRACT.** *About the soils of Jõgeva, Kuusiku and Olustvere experimental areas.* In present work the composition and properties of three experimental areas' (Jõgeva – JKA, Kuusiku – KKA and Olustvere – OKA) soil covers were analyzed in concordance with soil forming (pedo-ecological) conditions and land management practice. The soil cover of JKA is relatively homogenous, whereas its dominant soil species are eluviated (KI) and leached (Ko) brown soils (altogether 83%) and the dominant soil texture of humus cover (topsoil) is slightly pebble loam (90%), as for the rest of JKA the texture is sandy loam. From the 8 associated soil species, the most distributed are gleyed eluviated (KIg) brown soils (~10%). The differences in soil cover composition between three separately studied arable land massifs of JKA were not significant. The soil cover of KKA experimental area is much more heterogeneous, as the contrast by soil genesis was 5 stages and by soil moisture conditions 4 stages. The soil texture of KKA is also approximately two to three times more heterogeneous than others (JKA and OKA,) as in its humus cover the loamy sands (38%), sands (33%) and loams (29%) were found. The character soil species of the KKA are leached gley soils (Go), Ko, KIg and pebble rendzina (K), which form together ~75% from total area and therefore may be classified as dominant soils. With them 10 soil species with variable pedogenetic properties are associated. For receiving suitable areas for experimental fields, the KKA total area was divided into separate (by soil cover more homogeneous, but different from each other by dominant soil species) three arable land massifs: (I) with dominating Ko, K and strongly skeletal pebble rendzina (Kr), (II) where the Kr and K are dominants and (III) with dominating drained Go and KIg. In the soil cover of OKA, the dominant soil species is pseudopodzolic soil (LP, 86%) and dominant humus cover texture is sandy loam (76%), whereas the stage of heterogeneity is very similar to JKA. If JKA is by soil cover composition and properties representative to central Estonian pedo-ecological conditions, then OKA to South Estonian and KKA to North Estonian pedo-ecological conditions. In the work by three research areas (JKA, KKA, OKA) and by their seven arable land massifs, besides the soil cover composition and pedo-ecological conditions, the soil cover pedodiversity, contrast of presented in soil cover soils, humus cover types and agrochemical status are analyzed. From the aspect of dominant soils, the fabric of soil profile and characteristic on soil humus status (humus

concentration, thickness and humus stocks of A-horizons) are also treated. Soils of JKA have high environmental protection value due to neutral or slightly acid reaction, optimal humus content, great cation exchange capacity, sufficient solum thickness and good properties of subsoil. The environmental protection ability of KKA soil cover is decreased due to high content of rock fragments in soil and low biological activity of epipedons. In case of OKA, the low environmental protection value results from sandy topsoil texture, acidic soil reaction, and low humus content and stock.

**Keywords:** contrast of soils, environment protective value, humus cover types, humus status, pedodiversity, soil cover composition, soils suitability for crops.

## Sissejuhatus

Agronoomilise suunitlusega katsetulemuste iga-külgse tõlgendamise ja eduka praktikasse rakendamise eeldus on katseala muldade omaduste, ökoloogiliste seoste ja talitlemist põhjalik tundmine. Suure hulga katsealade mullaomadusi käsitlevate tööde analüüs näitas aga, et teave katsepõldude muldade kohta on liialt tagasihoidlik. Peamised esitatavad näitajad on mullaliigi ja/või -erimi nimetus, künnihorisoni pH, huumuse ja üldlämmastiku sisaldus, lõimis ning taimedele omastatava kaaliumi ja fosfori sisaldus teatud ajaperioodi kohta. Enamjaolt on olemas ka mulla morfoloogiline kirjeldus, mis annab ülevaate muldkatte geneetilistest horisontidest ning alusmulla ja lähtekivimi lõimistest. Praegusel ajal on aga kättesaadav hoopiski laialdasem andmestik, mis võimaldab muldasid hinnata palju mitmekülgsemalt ja põhjalikumalt (Doran, Jones, 1990; Blum, 2002).

Teatavasti püsib osa mullaliigi omadustest muutumatusena väga pikka aega. Üks olulisemaid püsivomadusi on pealis- ja alusmulla lõimis – nii selle peenese kui ka korese ja peenkivisuse osas. Praktiliselt muutumatusena säilib ka maa-ala reljeef ja pinnakatte pealmine (1–2 m) kiht. Teine osa muldade omadustest on dünaamilisemad ning muutuvad olulisel määral maakasutuse ja mullaharimise käigus. Taolised mulla talitlemist ja produktiivsust suuresti mõjutavad omadused on pealismulla huumuse ja taimedele omastatavate toitainete sisaldus, happesus ning muldade majandamisega seotud agro- ja biokeemiline seisund. Reguleeritavad on ka mulla veeloolu nii muldade kuivendamise kui ka niisutamise kaudu.

Suur osa põllumaadest läbiviidud katsetest käsitlevad (või on käsitletud) erinevaid harimis- ja väetusviise, et uurida mulla kaudu taimedele sobiva kasvukeskkonna loomist ning erinevate põllukultuuride varustamist kõige eluks ja arenemiseks vajaliku. Viimast peetakse teatavasti ka mulla üheks peamiseks ökoloogiliseks rolliks looduslikes ökosüsteemides (Dobrovolskij, Nikitin, 1990).

Peale taime(metsa)kasvatustliku rolli on muldkattel täita palju muid (keskkonna hea tervise seisukohalt väga tähtsaid) ülesandeid, millisteks on näiteks orgaanilise aine lagundamine ja muundamine, bioloogilise mitmekesisuse säilitamine, loodusele võraste ainete kahjutustamine jpt (Blum, 2002; Carter, 2002). Eriti tähtis roll on muldkattel süsinikuringluses, mis on põhjuslikus seoses selle koosseisus olevate muldade orgaanilise süsiniku talletamisvõime ja levikumustriga. Kuigi mulla orgaanilise süsiniku hulk sõltub peamiselt mullaliigi (-erimi) füüsikalistest, keemilistest ja bioloogilistest omadustest ning regionaalsest ilmastikust, on olulise tähtsusega mullaomaduste dünaamika ka maakasutuse iseloom (kasutatud agrotehnoloogia) ja majandamise intensiivsus (Pierzynski *et al.*, 2001).

Katsealade muldade põhjalikum uurimine ning mullaomaduste ja -protsesside dünaamika seire võimaldab mitmekülgsemalt interpreteerida taimkatte kohta kogutud andmeid ning selgitada mulla ja taime (muldkatte ja taimkatte) vahelist seost. Need seosed on teoreetiline alus keskkonna terviklikkuse tajumisel ja ökosüsteemse käsitluse rakendamisel, sest parim muldade kaitse on teatavasti nende õige, pedoökoloogilise seaduspärasusi arvestav kasutamine.

Käesolevas artiklis käsitletakse nii meie tehtud väliuurimiste kui ka mullastiku kaartide ja mudelmuldade andmete alusel Jõgeva Sordiaretuse Instituudi (JKA), Kuusiku katsekeskuse (KKA) ja Olustvere katsejaama (OKA) (1) mullastiku koosseisu, peamiste mullaliikide morfoloogiat ja mulla talitlemist mõjutavaid omadusi ning (2) analüüsitakse katsealade pedoökoloogiliste tingimuste seost muldkatte mitmekesisuse ja praeguse seisundiga.

### Materjal ja meetodika

Väliuurimistööd tehti huumusseisundi uurimise transektide ehk (lühidalt) huumustransektide (HT) meetodil aastatel 1996–2000 kolme eelnimetatud asutuse KA-del (JKA, KKA ja OKA). HT asukohad valiti selliselt, et oleks iseloomustatud antud KA-le iseloomulikud dominantmuldad, kusjuures kokku rajati ja kirjeldati 38 sügavkaevet (JKA 21, KKA 12, OKA 5) ja 364 uurimispunkti kaevati huumusseisundi uurimiseks poolkaevet. KA-delt võetud 126 proovist tehti EMÜ mullateaduse ja agrokeemia osakonna laboratooriumis kokku 1161 analüüsi (Soosaar, 2003).

Muldade kirjeldamisel ja proovide võtmisel kasutati rahvusvaheliselt tuntud meetodikaid (FAO, 1990). Mullaproovidest määrati huumusesisaldus Tjurini järgi,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  1 M KCl-ga (1:2,5), kasutades pH-meetrit Jenway 3071, ning granulomeetiline koostis pipett-

meetodil Katšinski järgi. Fosfori- ja kaaliumisisalduse määramiseks kasutati Mehlich-3 meetodit ning liikuv kaltsium ja magneesium määrati 1 M ammooniumatsetaadi lahusest (pH 7.0) aatom-absorptsioon-spektromeetriselt. Huumuskatte huumusvaru leiti arvutuslikul teel huumusesisalduse ning A-horisoni tüseduse ja lasuvustiheduse alusel.

KA mullastikulise koosseisu kindlakstegemisel kasutati Maa-ameti geoportaali kaudu kättesaadavat suuremõtkavalist (1 : 10 000) mullastikukaarti koos vastava andmestikuga (Maa-amet, 2001). Mullakerimite võrdleval analüüsil kasutati Eesti mullaerimite tüüpiprofiile ehk mudeleid (Kokk, Rooma, 1978; Kölli *et al.*, 2008). Üldise tava järgi – samuti selles töös – on mullaliikide ja lõimiste ning mulla geneetiliste horisontide nimetamisel kasutatud nii nende täisnimetusi kui ka neid kajastavaid koode. Seega võiks lugejal käepärast olla kaasajal aktsepteeritud mullaliikide ja lõimiste ning mulla geneetiliste horisontide koodid ja nimestikud, mis on kergesti kättesaadavad ka internetis (Maa-amet, 2001; Kölli *et al.*, 2008).

Mullastikulise mitmekesisuse võrdleval analüüsil võeti arvesse mullaliikide ja erimite suhteline arvukus, mullakontuuride keskmine pindala ning erineva koostise ja kihistumisega mullalõimiste esinemine. Mullastiku kontrastsust hinnati muldade maatriksi (genees ja veeolud) ning lõimiste maatriksi abil. Agrohümadesse kuulumise, kasutus sobivuse ja keskkonnakaitselise väärtuse hindamisel kasutati meie varem avaldatud materjale (Kölli, 1994; Kölli *et al.*, 2004).

Andmete töötlemisel ja statistilise näitajate leidmisel kasutati tabelarvutusprogrammi Microsoft Excel.

### Tulemused ja arutelu

#### Pedoökoloogilised tingimused

Katsealad paiknevad Eestimaa erinevates maakondades (JKA Jõgeva, KKA Rapla ja OKA Viljandi maakonnas). Mullastiku järgi kuulub JKA Adavere, KKA Mahtra-Haimre ja OKA Viljandi agromullastikulisel mikrorajooni (AMR) (Kokk, Rooma, 1974). AMR, mis hõlmab KA-st laiemat ala, võimaldab saada hea ülevaate erinevatest piirkondlikest mullastikulistest tingimustest (tabel 1).

**Tabel 1.** Ülevaade katsealade piirkondlikust muldkattest AMR andmete alusel

**Table 1.** Overview of experimental areas regional soil cover on the basis of agro-soils districts' (AMR) data

Näitajad/Characteristics	JKA	KKA	OKA
Soostumus/Paludification, %	23,6	20,0	15,5
Lõimis/Texture: l/sl/s/s <sup>1</sup> , %	2/14/83/1	12/36/48/4	16/48/35/1
Veeolud / Water conditions: pn/g/G <sup>2</sup> , %	33/32/35	46/23/31	35/33/32
Erosioonist mõjustatud Influenced by erosion, %	0	0	2,5
Lammimuldad / Alluvial soils, %	0,7	0,7	3,0

<sup>1</sup> Mineraalmuldade lõimise valemis on antud l – liiva, sl – saviliiva, ls – liivsavi ja s – savi osatähtsuse % / In the formula, the percentage of mineral soils' texture as l – sand, sl – loamy sand, ls – loam and s – clay is given;

<sup>2</sup> Mineraalmuldade veeolude valemis on antud pn – parasniiskete, g – niiskete ja G – märgade muldade osatähtsuse % / In the formula, the percentage of mineral soils' water conditions as pn – optimally moistured or well drained, g – gleyed and G – gley soils is given.



Maastikuliselt paikneb JKA Vooremaa kuhje-kõrgustiku põhjatipus, kus levivad karbonaatse kattega lainjad moreentasandikud väheste kühmude ja voorjate künnetega. Vaid vähesel määral esineb siin niiskete muldadega jääjärvede tasandeid. KKA-le, mis asub Harju lavamaa lõunaosas, on iseloomulik moreen-, jääjärve- ja paetasandike vaheldumine. OKA jääb ürgsetest jõeorgudest lõhestatud Sakala kulutus-kõrgustiku kõige põhjapoolsemale osale. Sellele piirkonnale on iseloomulikud lainjad uhutud ja vähekarbonaatsed lavajad moreentasandikud, millel esineb kõrgemaid moreenkühme ja künneteid (Arold, 2005). Pinnakatte ja pinnamoega on otseselt seotud mulla domineerivad lähtekivimid, milleks on JKA-l kollakaspruun rähkne liivsavimoreen, KKA-l valkjashall rähkmoreen ja jääjärvetekkelised peenliivad ning OKA-l punakaspruun liivsavi ja saviliivimoreen.

Kõigi katsealade niisked ja märjad mineraalmullad on põllukultuuride nõuetekohaselt kuivendatud aastatel 1966–1987, kusjuures uurimisperioodil oli kuivendussüsteemide seisund rahuldav kuni hea (Põllumajandusamet, 2004).

Nii soojusressursi kui ka sademete poolest on teistest KA-dest soodsamas olukorras OKA (tabel 2).

**Tabel 2.** Katsealade (KA) agrokliimaatilised ressursid  
**Table 2.** Agroclimatic resources of experimental areas (KA)

KA	Keskmise temperatuur <sup>1)</sup> Mean temperature, °C		Σ °C > 10 <sup>2)</sup>		Sademed <sup>1)</sup> Precipitations, mm	Suve kestus <sup>1)</sup> Duration of summer, päeva days	
	aasta year	juuli July	õhus in air	mullas in soil	aastas in year	V–VIII	
JKA	4,7	16,5	1650– 1750	1950– 2050	660	278	90
KKA	4,9	16,3	1700– 1750	1900– 2000	742	273	90
OKA	5,3	16,8	1800– 1900	2000– 2200	736	285	95

<sup>1)</sup> Allikas / Source of data: Jaagus, 2002;

<sup>2)</sup> Aktiivsete temperatuuride (°C > 10°) summa / Sum of active temperatures (°C > 10°): Kivi, 1976.

### Mullastiku koosseis

Olenevalt piirkondlikest mullatekketegurite iseärasustest võivad KA muldkatted olla suuremal või vähemal määral heterogeensed. Muldkatte analüüs KA põllumassiivide kaupa (tabel 3) näitab ilmekalt, et JKA mullastik on tunduvalt ühtlasem võrreldes KKA muldkattega.

**Tabel 3.** Katsealade muldkatte liigiline koosseis massiivide lõikes

**Table 3.** Soil cover composition of experimental areas (KA) by soil species and land massifs

KA	Massiiv/Massif		Mullaliikide vähenev rida (kood ja osatähtsuse %) Decreasing order of soil species (code and percentage)		Valdav lõimis Dominating texture
	Nr/No	pindala/area, ha			
JKA	I	222	KI 56 > Ko 27 > KIg 8 > LP 7 > Go 1 > Kog 1		ls/rls(96), sl/ls(4)
	II	138	KI 47 > Ko 36 > KI(g) 9 > KIg 7 > Go 1		ls/rls(84), sl/ls(16)
	III	24	KI 74 > Ko 13 > Kog 11 > Ko(g) 1 > K 1		ls/rls(~100)
KKA	I	57	Ko 43 > K 26 > Kr 12 > Korg 7 > KI(g) 6 > LP 5 > Kog 2		ls/rls(34), rls(25), ls/p(12), rls/r(12)
	II	4	Kr 88 > K 12		rls/r(~100)
	III	126	Go 64 > KIg 17 > Go1 10 > GI 5 > Gk 4 > Kog 1		l(44), sl/l(41), sl(7)
OKA	I	63	LP 86 > Lki 9 > LPg 3 > Go 1		sl/ls(67), ls/sl/ls(23), sl/l(9)

JKA kõigi kolme massiivi valdavad mullad on parasniisked alusmullas rähka sisaldava liivsavi-lõimisega pruunmullad (KI ja Ko). Seoses karbonaatse materjali lasumissügavuse varieerumisega esinevad leetjate (KI) muldadega vaheldumisi parasniisked (Ko) ja niisked (Kog) leostunud mullad (25–36%). Põhimullaerimitega kaasnevad peamiselt nendele geneetiliselt lähedased maastiku madalamatel aladel asuvad niiskete (KIg, Kog) pruunmuldade kõrval gleistumistunnustega pruun- (KI(g), Ko(g)) ja kahkjad (LP) mullad. Saviliiv on ülemise mullakihi lõimis vaid ca 8% JKA kolme põllumassiivi pinnast.

KKA-l on kolm üksteisest mullastiku poolest oluliselt erinevat põllumaamassiivi. Kõrgema põhjapoolsema osa (I massiiv) muldkate on väga heterogeenne, olles kõigist teistest KA-dest tunduvalt mitmekesisema mullastikuga. Erinevused on suured nii geneetiliselt (rähkmuldadest kahkjateni), veeoludelt (põuakartlikest niisketeni), karbonaatsuselt (tugevasti karbonaatsed kuni karbonaadivabad) ja alusmulla lõimiselt (rähkne liivsavi → rähk → paas). Suurt heterogeensust näitab ka see, et domineeriva mulla (Ko) osatähtsus on tunduvalt alla 50%. Igati õigustatud on katsetes KKA II massiivi eraldi kasutamine, sest tegemist on suhteliselt homogeense

koreserikka mulla (Kr) levalaga, kus kaasnev muld (K) ei ole dominantist geneetiliselt oluliselt erinev. KKA suurimal lõunapoolisel alal (III massiiv) on ülekaalus kuivendatud märjad mullad, millest enamuse moodustavad leostunud (Go) ja leetjad (GI) toorhuumuslikud glei-liiv- ja -saviliivmullad. Vähesel määral on esindatud ka nendega kaasnevad gleistunud leetjad (KIg) ja turvastunud küllastunud (Go1) mullad, millised on mõlemad kuivendatud.

OKA-l domineerib kahkjās ehk näivleatud (LP) saviliivmuld keskmisel liivsavi. OKA-l leidub veel ka nimetatud lõimisest põllumajanduses nii kõrgemalt (liivsavi, ls) kui ka kehvemalt hinnatud (saviliiv liival, sl/l) lõimise kombinatsioone.

Tabelis 3 esitatud KA mullastiku andmete kõrvutamisel Kokk ja Rooma (1974) AMR andmestikuga näitas head kokkulangevust haritavate mineraalmulda osas. Nii on Adavere, Mahtra-Haimre ja Viljandi AMR (vastavalt JKA, KKA ja OKA) domineerivad põllumullaerimid: JKA – KI ls(sl) > Ko ls > KIg ls > Kog ls; KKA – Ko ls, sl > K ls, sl > KI sl ning OKA – LP sl/ls > KIg ls, sl/ls > LPg sl/ls, mis näitab KA mullastike head esinduslikkust piirkondlike mineraalmaa mullastike suhtes.

### Katseala domineerivate muldade profiilid

Väliuurimistel kindlaks tehtud JKA leetja kui valdava mulla profiilid (antuna esinemise vähenemas järjekorras) olid järgmised: A-El-Bt-C > A-ElBt-Bt-BC > A-El-ElBt-BC = A-El-ElBt-B-C. Seega on JKA muldkattes selgelt täheldatav savi ja ibeosakeste migreerumine ülalt alla, mida näitab heledama värvusega lessiveerunud (El) ja savistunud sisseuhtehorisoni (Bt) esinemine mullaprofiilis. Muldkattes on olemas veel ka erinevad üleminekuhorisonid ning niiskete leetjate muldade (KIg) alusmullas võib leida gleistumise tunnuseid.

Ka teise domineeriva mullaliigi leostunud mulla profiilid on n-ö klassikalise ülesehitusega. Võrdsele leiab nii A-Bw-C kui A-Bw-BC-C profile, kus sisseuhtehorison (Bw) on tekkinud savistumisega kohapeal ja vabu karbonaate esineb vaid alusmullas. JKA äärealadel vähesel määral esinevate kähkjate (ca 4%) ja leostunud gleimuldade (> 1%) profiilid on vastavale mullaliigile igati tüüpilised.

KKA I massiivi leostunud mullad (profiiliga A-Bw-C või A-ABw-Bw-C) on oma arenguastmelt JKA omadest nooremad, mida näitab nende õhem Bw horisont. KKA rähkmuldi (profiiliga A-(Bw)-C või A-AC-C) iseloomustab huumushorisoni all olev vähe-

arenenud Bw horisont või selle üksikud pesad. Korese-rikaste rähkmuldade (domineerivad II massiivil) profiil (A-C) on veelgi vähem arenenud. KKA kuivendatud märgadele koresevaestele settealadele (III massiiv) kujunenud Go, Kog, GoI ja Gk profiilid on pedogeneetiliselt suhteliselt vähediferentseerunud, sest suurem roll muldade profiili kujunemisel on olnud küllastumise protsessidel. Kuigi GI ja KIg muldade profiil on enam diferentseerunud, saab ka siin nende eraldamise aluseks olla pigem küllastamatus ( $\text{pH}_{\text{KCl}} < 5.6$ ).

OKA muldkattes on valdav heleda kähkja mulla profiil: A-Elg-B-C, kuna nõrgalt leetunud mulda (A-El-B-C) esineb vaid vähestel kergema lõimisega aladel.

### Katsealade muldkatte lõimised

Katsealade muldkatte valdavad lõimised on esitatud täisvalemiga, kus koodiga on antud mullapeenes, kores ja selle sisalduse aste ning nende valdavad lasumissügavused (tabel 4). Peale tabelis esitatute leiti veel ca 5–6 lõimisekombinatsiooni, kuid nende väikese osatähtsuse tõttu neid siin esitatud ei ole. Tabelis on näidatud valdavate lõimiste esinemise protsent põllumassiivide lõikes ja nende seotus mulla geneetilise liigiga.

**Tabel 4.** Katsealade muldkatte lõimised ja nende jaotumus massiivide lõikes, %

**Tabel 4.** Texture of experimental areas' soil cover and its distribution by arable land massifs, in %

Nr	Lõimise valem <sup>1)</sup>	JKA			KKA			OKA	Valdav mullaliik Main soil species
		I	II	III	I	II	III		
1	$v_1ls_135-50/v_1ls_230-50/r_1ls_1$	48	36	74	3	–	–	–	KI
2	$v_1ls_130-50/v_1ls_220-30/r_2ls_1$	33	41	–	–	–	–	–	Ko
3	$v_1ls_130/tls_30/r_1ls_1$	10	5	12	–	–	–	–	KI
4	$tsl50-70/tls_1s$	8	–	–	–	–	2	–	LP
5	$tsl40-70/v_1ls_120-40/r_1ls_1$	–	14	–	–	–	–	–	KI, KIg
6	$v(r_1)ls_{1-2}30-80/r_2ls_1$	1	–	10	37	–	–	–	Ko, Korg, K
7	$r_{1-2}ls_{25-40}/r_{3-4}ls$	–	2	–	22	12	–	–	K, Kr
8	$v_1ls_140-80/p$	–	–	–	12	–	–	–	K
9	$r_3ls_{10-30}/r$	–	–	4	12	88	–	–	Kr
10	$krsl_{20-40}/pl+60$	–	–	–	–	–	41	–	Go, KIg, GI
11	$pl+50-75$	–	–	–	2	–	41	–	GI, GoI
12	$v_{1-2}liiv$	–	–	–	–	–	9	–	Gk
13	$v^{\circ}_1sl_{50-70}/v^{\circ}_1ls_2$	–	2	–	5	–	–	67	LP
14	$v^{\circ}_1ls_130/v^{\circ}_1sl_{35}/ls_2$	–	–	–	–	–	–	23	LP
15	$v^{\circ}_1sl_{50-100}/liiv$	–	–	–	–	–	–	9	LkI
16	$plsl_{22-30}/sl(tsl)$	–	–	–	7	–	6	–	KI(g), Go

<sup>1)</sup> Mõnes valemis esitatud ls (liivsavi) ilma täpsustava alaindeksita tähendab seda, et tegemist on  $ls_{1-2}$ -ga ehk kerge ja keskmise liivsavi eristamist ei ole tehtud ning seega tuleb taolist mulda käsitleda keskmise lõimisega mullana.

<sup>2)</sup> The formulas of soil texture are given by Kachinsky. In some formulas the ls (loam) is given without subscript, which means that in this case the light ( $ls_1$ ) and medium ( $ls_2$ ) loams are not differentiated one from the other and therefore soil should be treated as  $ls_{1-2}$  or as medium textured soil.

Parema ülevaate saamiseks mullalõimiste erinevustest KA lõikes on domineerivad lõimised esitatud lühivalemitega vähenemas järjekorras:

JKA:  $v_1ls_1/v_1ls_2/r_1ls_1$  (45%) >  $v_1ls_1/v_1ls_2/r_2ls_1$  (32%) >  $v_1ls_1/tls_1/r_1ls_1$  (5%) =  $v_1tsl/v_1ls_1/r_1ls_1$  (5%);

KKA:  $pl$  (28%) =  $krsl/pl$  (28%) >  $v_1ls/r_2ls$  (11%) >  $pl(tsl)$  (7%) >  $r_3ls/r$  (6%) >  $(v_{1-2})liiv$  (5%) >  $r_2ls/r_{3-4}ls$  (4%);

OKA:  $v^{\circ}_1sl/v^{\circ}_1ls_2$  (67%) >  $v^{\circ}_1ls_1/v^{\circ}_1sl/ls_2$  (23%) >  $v^{\circ}_1sl/liiv$  (9%) >  $ls_1/r_1ls_1$  (1%).

Toodud andmetest selgub, et JKA ja OKA muldkatte lõimised on võrdlemisi ühtlased, kuid

erinevad suuresti alusmulla karbonaatsuse osas. KKA lõimis on seevastu aga väga kirju (mitmekesine) ning siin on igati õigustatud selle käsitlemine erinevate massiivide kaupa.

Lõimiste leviku andmed võimaldavad teha olulisi järeldusi muldkattega seotud agrotehnooloogiliste ja keskkonnakaitseliste probleemide kohta nii kogu KA kui ka erinevate massiivide suhtes. Nii näiteks on huumuskatte lõimiste koosseisud (liiv:sl:ls) KA lõikes järgmised: JKA 0 : 11 : 89, KKA 34 : 37 : 29 ja OKA-1 0 : 76 : 24, mis näitab, et JKA lõimis on mitte ainult ühtlane, vaid ka väga heade (optimaalsete, ideaalsete)

omadustega. OKA lõimise on ligikaudu ühe astme võrra madalama kvaliteediga, kuid KKA lõimise varieerudes n-õ seinast seinast – liivast kuni liivsavinini. Rasked savimullad puuduvad kõigil KA-del. Koresesalduse järgi (koresevaba : nõrgalt kuni keskmiselt koreseline : tugevasti koreseline) on huumuskatted järgmised: JKA 6 : 93 : 1, KKA 68 : 22 : 10 ja OKA 1 : 99 : 0, mis näitab rähksusega seotud probleemide esinemist KKA-l. Alusmulla lõimised (liiv : saviliiv : liivsavi : rähk, paas) on JKA 0 : 0 : 100 : 0, KKA 60 : 7 : 23 : 10 ja OKA 9 : 0 : 91 : 0, mis näitab KKA muldkatte väiksemat väärtust keskkonnakaitselisest aspektist.

JKA mineraalmaaladel on ülekaalus liivsavimullad (ca 90%), mille nõrgalt raudkiviveeriselise kerge liivsavi pealiskihit lasub nõrgalt (60%) ja keskmiselt rähksel (35%) kergel liivsavil. Seoses karbonaatse materjali lasumissügavuse varieerumisega esinevad leetjate muldadega vaheldumisi parasniisked ja niisked leostunud (Ko, Kog) liivsavimullad (ca 31%). Ko ülemise kihi lõimise on sarnane KI-ga, kuid alusmulla valdav lõimise on keskmiselt rähkne kerge liivsavi.

Sõltuvalt karbonaatide väljaleostumise astmest esinevad JKA-l KI profiilidega, mida iseloomustab El-Bt kompleks, vaheldumisi Ko savistunud (Bw) horisondiga mullaprofiilid. Kesk-Eesti moreenidele iseloomulikult on JKA liivsavidel peene liiva ja jämeda tolmu osatähtsus peaaegu võrdsed (Kokk, Rooma, 1978). Paematerjali sisaldab Kesk-Eesti kollakspruun moreen JKA-l suhteliselt vähe. Kahkjad (LP, LPg) mullad esinevad JKA-l väga piiratud (< 5%) lainjate moreentasandike madalamatel osadel ja lohkudes. Nende lähtekivim on kahekihiline, kus mulla ülemise osa (50–70 cm) lõimise on tolmjas saviliiv, kuid alusmull liivsavi lõimise järgsete.

KKA muldkatte kõrgema põhjapoolsema osa (I massiiv) muldkatte lõimised on tüüpilised Põhja-Eesti valkjashallil rohkesti paekivimaterjali sisaldaval moreenil kujunenud muldadele. Valdavate, keskmiselt rähksel liivsavidel lasuvate nõrgalt rähksel liivsavidel (37%) kõrval esineb keskmiselt ja tugevasti rähkseid liivsavidid väga tugevasti rähksel liivsavidel või lausaldasel rähk (vastavalt 22% ja 12%). Paas on alusmull 12% ja koresevaba lõimise on siin kokku 16%. Teisel massiivil on vaid rähk või väga tugevasti rähksel materjalil lasuvad tugevasti (88%) või nõrgalt rähksel liivsavid. KKA kolmanda massiivil kui settealal domineerivad kogu muldkatte ulatuses kerge lõimise (erinevates kombinatsioonides liivad ja saviliivad) rähkavad kuid karbonaatide rikkad materjalid, millistel vaid mõne protsendi ulatuses ulatub alusmulla raskema lõimisega settekihid. Siin esineb ka (ca 7%) harimise käigus pealekantud lubjakiviveerisega alasid.

OKA-l domineerivad nõrgalt raudkiviveeriselised saviliivad keskmistel liivsavidel (67%). Esindatud on ka raudkiviveeriselised kerged liivsavid keskmisel liivsavil (23%) ja saviliivad liival (9%).

### Katseala muldade huumus- ja agrokeemiline seisund

Muldade huumusseisundit iseloomustav kvalitatiivne näitaja on huumuskatte tüüp (tabel 5) ja kvantitatiivsed näitajad A-horisondi tusedus ning huumuse sisaldus (kontsentratsioon) ja varu selles (tabelid 6, 7). Huumuskatte tüübid on määratud, lähtudes mullaerimist, huumuse ja korese sisaldusest A-horisondis ning mõnest agrokeemilise seisundi näitajast (tabel 8).

**Tabel 5.** Katsealade dominantmuldade huumuskatte tüübid ja nende levik, %

**Table 5.** Humus cover types of experimental areas' dominating soil species and their distribution, in %

Huumuskatte tüüp <i>Humus cover type</i> <sup>1)</sup>	JKA			KKA			OKA
	I	II	III	I	II	III	
kood nimetus <i>code name</i>							
Ahl Moderhuumuslik leetjas	71	63	74	10	–	17	90
Amn Pehmehuumuslik neutraalne	28	36	26	52	–	1	–
Hhe Toorhuumuslik eutroofne	1	1	–	–	–	77	1
Amr Pehmehuumuslik rähkne	–	–	–	38	100	–	–
Hhm Toorhuumuslik mesotroofne	–	–	–	–	–	5	–
Ahf Moderhuumuslik fulvaatne	–	–	–	–	–	–	9

<sup>1)</sup> Code and name: Ahl – eluvic moder humic; Amn – neutral mild humic; Hhe – eutrophic raw-humic; Amr – skeleti-calcaric mild humic; Hhm – mesotrophic raw-humic, and Ahf – fulvic moder humic

Haritavate muldade huumuskatte tüübid tulenevad ühelt poolt kogu muldkatte omadustest (veeolud, karbonaatsus, mullatekke suunad), teiselt poolt aga kasutatud agrotehnoloogiast (kultuuristamise intensiivsus, kuivendamine, lupjamine jms). JKA huumuskatte on valdavalt parasniiske moderhuumuslik, kusjuures *circa* kuuendiku ulatuses on see niiske moder huumus. Samas on parasniiske moder huumus valdav ka OKA muldadel. Pehmehuumuslik neutraalne huumuskatte, mida leidub rohkem JKA-l ja KKA I massiivil, on kõigist teistest parim oma agronoomiliste omaduste poolest. Taolisel huumuskattel puudub lupjamisvajadus, samas kui moderhuumuslik leetjas huumuskatte vajab perioodilist ning moderhuumuslik fulvaatne regulaarset lupjamine. Toorhuumusliku eutroofse ja mesotroofse huumuskatte kasutamine on mõeldamatu ilma põhjaliku kuivendusega. Pehmehuumusliku rähkse huumuskatte väärtust vähendab suur koresesisaldus, mis on eriti suur koreserikastel rähkmuldadel (Kr).

**Tabel 6.** Katsealade huumustransektdede andmed

**Table 6.** Data of experimental areas' (KA) humus transects

Muld <i>Soil</i>	n	Huumuse- sisaldus <i>Humus content,</i> g kg <sup>-1</sup> ± SE	A-horisondi tusedus <i>Thickness of A horizon,</i> cm ± SE	Huumusvaru <i>Humus stock,</i> Mg ha <sup>-1</sup> ± SE	Lasuvus- tihedus <i>Bulk density,</i> Mg m <sup>-3</sup>	
JKA	KI	110	24,0 ± 0,95	32,2 ± 0,59	114 ± 7	1,48
	Ko	70	24,0 ± 0,43	29,0 ± 0,00	100 ± 2	1,44
KKA	Go	21	42,0 ± 1,31	38,0 ± 0,87	131 ± 7	0,82
	Ko	12	33,0 ± 0,49	29,0 ± 1,39	133 ± 8	1,39
	K	15	38,2 ± 1,81	26,5 ± 0,64	133 ± 9	1,31
OKA	LP	25	14,9 ± 0,54	36,0 ± 0,96	77 ± 5	1,44

<sup>1)</sup> Keskmise ± standardviga / mean ± (SE) standard error

Tabelis 6 esitatud huumusseisundi andmed, mis pärinevad HT-del tehtud mõõtmistel ja määramistel, on üks KA-de domineerivate muldade huumusseisundit võrdleva analüüsi aluseid (Soosaar, 2003). Lisaks on kasutatud Eesti põllumajandusprojekti

mullastikuurimise osakonna andmeid (Kokk, Rooma, 1974, 1978), varem koostatud andmebaasi 'Pedon' ja mullastikukaartidel olevat andmestikku (Maa-amet, 2001), mis kõik on esitatud tabelis 7.

**Tabel 7.** Katsealade dominantmuldade huumusseisundi võrdlev analüüs<sup>1)</sup>

**Table 7.** Comparative analysis of humus status<sup>1)</sup> of experimental areas' dominating soils

Näitajad/Characteristics	JKA			KKA			OKA	
Muld/Soil	KI	Ko	Go	Ko	KI <sub>g</sub>	K	Kr	LP
Lõimis/Texture	v <sub>1</sub> ls/(t <sub>1</sub> s)/r <sub>1,2</sub> ls	v <sub>1(2)</sub> ls/r <sub>2(3)</sub> ls	pl(s <sub>1</sub> )/pl (s)	v <sub>1</sub> ls(plsl)/r <sub>2</sub> ls(p)	krs <sub>1</sub> (l)/pl	r <sub>1,2</sub> ls/r <sub>3,4</sub> ls	r <sub>3</sub> ls/r	v <sup>o</sup> <sub>1</sub> sl/v <sup>o</sup> <sub>1</sub> ls
Osatähtsus % / Share, in %	54	30	43	13	12	8	6	86
	A-horisoni tüsedus / A-horizon thickness, cm							
Transekt/Transect	31,6–32,8	29,0–29,0	37,1–38,9	27,6–30,4	–	25,9–27,1	–	35,0–37,0
Mudelmuld / Model soil	24,9–25,3	25,2–25,6	23,1–24,5	25,2–25,6	25,7–27,1	23,8–24,0	17,2–18,0	22,7–23,3
AB Pedon <sup>2)</sup> / DB Pedon <sup>2)</sup>	25,2–27,8	25,6–28,2	22,8–25,2	25,6–28,2	25,6–28,4	25,2–27,8	18,3–20,3	24,9–27,5
Kaart / Digital soil map	24–30	23–30	20–29	23–26	22–30	20–30	18–23	28–30
	Huumusesisaldus / Humus content, g kg <sup>-1</sup>							
Transekt/Transect	23,0–25,0	23,6–24,4	40,7–43,3	32,5–33,5	–	36,4–40,0	–	14,4–15,4
Mudelmuld / Model soil	28,1–28,9	29,7–30,5	69,1–87,5	29,7–30,5	29,4–33,0	32,2–33,0	36,8–40,3	18,8–19,4
AB Pedon <sup>2)</sup> / DB Pedon <sup>2)</sup>	26,6–29,4	27,6–30,4	70,3–77,7	27,6–30,4	32,3–35,7	31,4–34,6	38,0–42,0	20,9–23,1
	A-horisoni huumuse varu <sup>3)</sup> / Humus stock of A-horizon, Mg ha <sup>-1</sup>							
Transekt/Transect	107–121	98–102	124–138	119–134	–	111–128	–	72–82
Mudelmuld / Model soil	104–108	106–110	179–240	106–110	110–130	94–97	65–74	64–68
AB Pedon <sup>2)</sup> / DB Pedon <sup>2)</sup>	101–123	100–121	168–206	100–121	116–142	97–119	70–88	78–95

<sup>1)</sup> Keskmise ± standardviga / mean ± (SE) standard error;

<sup>2)</sup> AB – andmebaas 'Pedon', keskmine ±5% / DB – database 'Pedon, mean ±5%;

<sup>3)</sup> Tehtud mahaarvamised rähasisalduse arvel / Corrected in account of pebble content.

Võrreldes mudelmuldadega on kõigi KA-de huumushorisonid oluliselt tüsedamad. Kokk ja Rooma (1978) järgi on A-horisoni tüseduse suurenemine seotud künnikihi süvendamisega põllumaadel. Samas on KA muldade huumusesisaldus üldiselt madalam võrreldes mudelmuldade kui ka andmebaasi 'Pedon' muldadega. Kahkjate muldade madal huumusesisaldus näitab, et tegemist on huumusevaegusega, mis võibki olla tingitud huumushorisoni tüseduse suurenemisest selle all oleva mullakihi arvel ehk siin on toimunud huumushorisoni 'lahjendamine'. Seda väidet tõestab ka see, et huumusvaru on siin võrdlemisi sarnane teiste sama liiki muldadega. Suhteliselt suur huumusvaru KKA leostunud muldadel ja tagasihoidlik huumusevaru sama KA leostunud gleimuldadel on

seotud piirkondlike iseärasustega. Leostunud gleimulla madal huumusvaru on tingitud maa kuivendamisest, mille tagajärjel on oletatavasti toimunud suhteliselt kiire huumusevarude kadu mullast.

KA katsepõldude huumushorisoni happesus (pH<sub>KCl</sub>) on heas vastavuses mulla geneetiliste omaduste ja lõimisega (tabel 8). Sama võib öelda ka kaltsiumisisalduse kohta. Samas väärib tähelepanu madal magneesiumisisaldus parasniisketes KKA ja OKA põllumuldades. Liikuva fosfori sisaldus on kõrge parasniisketil JKA ja OKA põllumuldadel, kuid madal kõigil KKA dominantmuldadel. Esile toomist väärib veel ka KKA muldade kõrge liikuva kaaliumi sisaldus.

**Tabel 8.** Katsealade dominantmuldade agrokeemilise seisundi andmed<sup>1)</sup>

**Table 8.** Agrochemical status data<sup>1)</sup> of experimental areas' dominating soil species

KA	Muld Soil	n	pH <sub>KCl</sub>	Ca	Mg	P	K	H <sub>8,2</sub>	S	T
				mg kg <sup>-1</sup> ± SE				cmol kg <sup>-1</sup> ± SE		mg kg <sup>-1</sup> ± SE
JKA	KI	11	6,2 ± 0,1	1404 ± 51	158 ± 10	137 ± 18	164 ± 24	1,8 ± 0,2	8,4 ± 0,3	10,2 ± 0,2
	Ko	7	6,3 ± 0,2	1395 ± 57	167 ± 12	180 ± 18	175 ± 12	1,6 ± 0,3	8,4 ± 0,4	10,1 ± 0,2
KKA	Go	4	7,1 ± 0,1	1779 ± 124	197 ± 13	45 ± 11	307 ± 60	1,0 ± 0,1	10,6 ± 0,9	11,5 ± 0,9
	Ko	4	6,5 ± 0,3	1385 ± 162	91 ± 10	36 ± 14	646 ± 164	2,3 ± 0,9	9,0 ± 1,0	11,1 ± 0,4
	K	4	7,1 ± 0,1	1616 ± 69	83 ± 4	56 ± 10	263 ± 26	0,7 ± 0,1	10,4 ± 0,4	10,9 ± 0,6
OKA	LP	5	5,3 ± 0,4	877 ± 181	63 ± 8	140 ± 13	95 ± 26	2,8 ± 0,7	5,1 ± 0,9	7,9 ± 0,4

1) Keskmise ± standardviga / mean ± (SE) standard error

### Katseala dominantmuldade muldade produktiivsus, kasutussobivus ja keskkonnakaitseväärus

JKA kõigi kolme massiivi dominantmullad on A22 agrorühma mullad KI ja Ko, mis on universaalse kasutussobivusega, keskmise raskusega ja kõrge produktiivusega parasniisked haritavad mullad (tabel 9). Arvestatavad assotsieeruvad mullad (7–11%) JKA-l

on dominantmuldade kuivendatud niisked variandid (KI<sub>g</sub>, Kog), mis kuuluvad A41 agrorühma ja on circa poole klassi võrra madalama produktiivusega.

KKA mullastik on teistest tunduvalt mitmekesisem nii liigilise koosseisu kui lõimiste poolest ning selle dominantmuldade omadusi käsitleti eri massiivide lõikes (tabelid 3, 4). Tabelis 9 toodud muldadest domineerivad KKA suurimal (III) massiivil

kuivendatud gleimullad (Go ja GI) koos kuivendatud niiskete leetjate (KIg) ja kuivendatud küllastunud turvastunud (Gol) muldadega, mille boniteet on piirides 36–49 hindepunkti ehk VI–VII hindeklass. KKA III massiivi valdav lõimis on peenliivad ja korest (kruus, veeris) sisaldavad saviliivad (tabel 4). KKA I (suuruselt teise) massiivi dominantmullad on parasniisked pruunmullad (Ko, K), millistega kaasnevad koreserikkad põuakartlikud (Kr) ja kuivendatud niisked leetjad (KIg) mullad. Kui Ko ja K valdav lõimis on nõrgalt kuni keskmiselt rähkne

liivsavi keskmiselt kuni tugevasti rähksel liivsavil või pael, siis Kr valdav lõimis on keskmiselt kuni tugevasti rähkne liivsavi väga tugevasti rähksel liivsavil või rahal. Samad lõimised on valdavad ka II massiivil, kus valdav on Kr, millega kaasneb K muld.

Nagu nähtub tabelist 9, on KKA muldade produktiivsus JKA muldade omast tunduvalt madalam. JKA-st madalama produktiivsusega (boniteediga) on ka OKA-l domineerivad kahkjad (LP) saviliiv liivsavil ja liivsavi mullad (tabel 9).

**Tabel 9.** Katsealade dominantmuldade produktiivsust, kasutussovivust kultuuridele (KSK) ja keskkonnakaitselist väärtust (KKV) iseloomustavad andmed

**Table 9.** The data characterizing productivity, suitability for crops (SFC) and environment protective value (EPV) of experimental areas' dominating soil species

Katseala / Experimental area	JKA				KKA				OKA			
Muld/Soil	KI	Ko	KIg	Go	Ko	KIg	K	Gol	Kr	GI	LP	LkI
Agrorühm/Agrogroup	A22	A22	A41	B33	A22	B31	A1	C6	C1	B33	A21	B11
Hindepunkt <sup>1)</sup> / Quality points <sup>1)</sup>	62	61	56	51	63	49	53	36	37	45	57	48
Hindeklass / Quality class	IV	IV	V	V	IV	VI	V	VII	VII	VI	V	VI
KSK/SFC: oder/barley	10	10	9	7	10	8	9	6	6	7	9	6
KSK/SFC: kartul/potato	9	9	8	8	9	8	8	4	4	8	10	7
KSK/SFC: põldhein / tame grass	9	9	9	9	9	8	7/10 <sup>2)</sup>	10	4/8 <sup>3)</sup>	9	9	5/9 <sup>4)</sup>
KKV/EPV: aktiivne/active	3,3	3,2	2,8	2,2	3,2	2,3	2,7	1,4	1,5	2,1	2,8	2,4
KKV/EPV: passiivne/passive	3,3	3,3	3,0	2,2	2,9	2,3	2,6	2,0	1,9	2,2	2,8	1,9
KKV/EPV: mullakliima/pedoclimata	3,1	3,1	2,9	1,9	3,0	2,7	2,8	1,4	1,9	1,8	2,8	2,6
KKV/EPV: aluspinnas/substratum	3,1	3,0	3,1	2,5	2,1	2,4	1,7	2,2	1,4	2,4	2,9	2,6
KKV/EPV: summa/total	12,8	12,6	11,8	8,8	11,1	9,7	9,8	7,0	6,7	8,5	11,3	9,5
KKV/EPV: klass/class	I	I	II	III	II	II	II	III	III	III	II	II

<sup>1)</sup> Piisava (hea) kuivendusastme juures / At the well drained conditions;

<sup>2)</sup> KSK – mesikale / SFC – melilor;

<sup>3)</sup> KSK – lutsernile / SFC – alfalfa;

<sup>4)</sup> KSK – lupiinile / SFC – lupine.

Muldade kasutussovivust iseloomustab ühelt poolt kuulumine agrorühma (A – universaalse, B – keskmise ja C – piiratud kasutussovivusega) ning teiselt poolt sobivus eri kultuuridele (oder, kartul, põldhein). Nagu tabelist nähtub, on JKA-l tegemist A-rühma muldadega, kuid OKA-l lisandub ka B-rühma muldasid ning KKA isegi C-rühma muldasid. Agrorühmadega on seotud ka sobivus erinevatele kultuuridele, kusjuures nähtub, et kultuuride valikuga teadlik manipuleerimine annab rohkesti võimalusi muldkatte otstarbekamaks kasutuseks.

Mulla keskkonnakaitselise väärtuse (KKV) aktiivne aspekt on otseselt seotud mulla produktiivsuse ja mulla bioloogilise aktiivsusega, kusjuures seda iseloomustab mulla orgaanilise aine lagunemise intensiivsus ja humifikatsiooni iseloom, mis on otseselt seotud mullaelustiku tegutsemiseks sobiva režiimiga perioodi kestusega mullas. Mulla KKV passiivne aspekt sõltub neelamismahutavusest ja eripinnast, mille määrab ära ennekõike mulla füüsikalise savi ja huumuse (millised koos moodustavad mulla plasma) varu muldkattes. Mulla passiivne KKV, mille olemus seisneb igasuguste mulda sattunud ainete kinnipidamisega mullas nii füüsikaliselt (kurna põhimõttel) kui ka füüsikalise-keemiliselt (neeldumine kolloidkompleksis), on suurim raskema lõimisega ja suurima savivaruga muldkatetes.

Mulla KKV oleneb väga suurel määral ka mulla soojus, vee-, õhu- ja hapendus-taandusrežiimidest ehk

mullakliimast, mis omakorda oleneb muldkattevälisest, ja mitte ainult makro-, vaid ka ala mikro-kliimast. Teiselt poolt mõjutab mullakliimat mulla dreenerituse aste, nii looduslik kui ka maaparandussüsteemide kaudu reguleeritud. Soodne keskkond mulla elustiku tegevusele moodustub muldkattes, mis on soe, hästi õhustatud ning samal ajal ka piisavalt hästi varustatud elutegevuseks vajaliku veega. Kokkuvõttes on teistest paremad vastupidava struktuursusega keskmise raskusega parasniisked mullad. Maaparandussüsteemid, milliste peamine toimemehhanism on mulla õhustatuse parandamine liigvee ärajuhtimise kaudu, parandavad sisuliselt mulla hapendus-taandusrežiimi. See soodustab mulla orgaanilise aine lagunemist, alahapendiliste ühendite hapendumist (kahjutustumist) ja väldib mulla soostumist. Kuigi veelolude reguleeritus mullas saavutatakse suhteliselt kiiresti, jäävad need mullad oma hapendus-taandustingimuste kahjulike aspektide poolest siiski alla alaliselt parasniisketes oludes olnud muldadele.

Neljas muldkatte KKV määrav asjaolu on muldkatte aluse pinnakatte tusedus ja selle lõimislik koosseis. Oluline on selle toimimine kaitsva filtri rollis, mis seisneb kergesti migreeruvate põhja(pinna)vett reostavate ainete (nitraadid, vees lahustunud orgaanilised ained, looduslikku ringesse sattunud reoained) kinnipidamises mullas. Liikuvate vetega pinnakate võib olla nii reoaineid kahjutustav kui ka neid pikaks perioodiks fikseeriv keskkond.

Summaarsete andmete järgi (tabel 9) on JKA mullad (ja muldkate tervikuna) hea KKV-ga (I klass) ehk on paremad teistest. Ka OKA muldkatte KKV väärtus on võrdlemisi hea (II klass). KKA muldkatte madalam, s.o rahuldav kuni võrdlemisi hea, KKV klass on tingitud ennekõike õhukesest ja koreserikkast pinnakattest. Tunduvalt on siin summaarset KKV parandanud muldade kuivendamine.

### Katsealade põllumassiivide mullastikuline mitmekesisus ja muldkatte muldade kontrastsus

Mullastikuline mitmekesisus on teistest aladest suurem KKA-l, mida näitab suurim mullaliikide, -erimite ja -lõimiste arv (tabel 10). Suhteliselt ühtlane näitaja on erimite arv mullaliigi kohta, mis on piirides 1–3. Mullastiku kirjusus on suurim KKA, mida näitab suur kontuuride arv 10 ha kohta (2.8–5.6) ja suhteliselt väike ühe mullakontuuri pindala (1.8–3.6). Mullastiku kirjusususe poolest on JKA ja OKA praktiliselt sarnased.

Muldade kontrastsust on analüüsitud kahel tasandil. Esimesel juhul (kontrastsus 100) on arvesse võetud

kõik mullaerimid, teisel juhul (kontrastsus 90) on arvesse võetud vaid domineerivad mullad ja lõimised, kusjuures väheesinevaid erimeid (kogupindala osatähtsusega alla 10%) ei ole arvesse võetud. Kontrastsuse valemis esimene arv iseloomustab veelude kontrastsust, teine muldade arengu (geneesi) ja kolmas lõimise kontrastsust, kusjuures on arvestatud nii pealis- kui alusmulla lõimist. Arv null näitab, et kontrastsus puudub ehk vastavad näitajad on sarnased. Arv üks näitab, et selle või teise näitaja poolest asuvad mullad maatriksites kõrvuti. Mida suurem arv, seda kaugemal mullad teineteisest maatriksil asuvad ehk nende erinevus (kontrastsus) on suurem.

Tabeli 10 andmetest selgub, et suurima kontrastsusega on KKA muldkate ja seda kõigi kolme komponendi osas. Erand on siin vaid II massiiv, kuid selle pindala on taoliste küsimuste analüüsiks liialt väike. JKA ja OKA mullastiku kontrastsus on praktiliselt ühesugune ja vastavatele piirkondadele iseloomulik.

**Tabel 10.** Katsealade mullastikuline mitmekesisus ja muldkatte kontrastsus  
**Table 10.** Pedodiversity of soil cover and contrast of soils on experimental areas

Katseala / Experimental area Massiiv/Massif	JKA				KKA				OKA
	I	II	III	I–III	I	II	III	I–III	
Liikide arv / Number of species	7	6	5	10	8	2	8	14	5
Erimite arv / Number of varieties	15	12	8	28	19	2	16	36	6
Lõimiste arv / Number of textures	7	6	4	10	9	2	11	19	4
Erimeid liigi kohta / Varieties per one species	2,1	2	1,6	2,8	2,4	1	2	2,6	1,2
Kontuur/10 ha / Contours per 10 ha	1,6	1,7	4,1	1,8	5,6	4,6	2,8	3,7	1,4
Kontuuri keskmine pindala, ha Mean area of contours, in ha	6,2	6	2,4	5,6	1,8	2,2	3,6	2,7	7
Kntr-100 <sup>1)</sup> , valem <sup>2)</sup> / Cntr-100 <sup>1)</sup> , formula <sup>2)</sup>	2,8/3/2,2	2,8/2,2/1	2/2/1,6	2,8/3/2,2	3/4/2,5	1/0/0,5	4/2/3,6	5/4/6	2,8/3,2/3
Kntr-100, kokku <sup>3)</sup> / Cntr-100, total <sup>3)</sup>	8	6	5,6	8	9,5	1,5	9,6	15	9
Kntr-90 <sup>1)</sup> , valem <sup>2)</sup> / Cntr-90 <sup>1)</sup> , formula <sup>2)</sup>	2/1/0,1	2/1/0,5	0/1/0	2/1/0	2/1/2	1/0/0,5	2/1,2/3	4/2/4	1/1/1,2
Kntr-90, kokku <sup>3)</sup> / Cntr-90, total <sup>3)</sup>	3,1	3,5	1	3	5	1,5	6,2	10	3,2

<sup>1)</sup> Kntr – muldade kontrastsus 100 ja 90 (seletus tekstis) / Cntr - soils' contrast 100 (all soils were taken into account) and 90 (only 90% of soils was taken into account);

<sup>2)</sup> Kontrastsuse valem: veelud/genees/lõimised / Formula of soils' contrast: moisture/genesis/texture;

<sup>3)</sup> Kontrastsuste summa / Total contrast of soils.

## Järeldused ja kokkuvõte

JKA domineerivad mullad on parasniisked leetjad ja leostunud liivsavimullad. KKA kõrgematel põllumaadel on valdavad leostunud ja koreserikkad rähksed liivsavimullad ja madalamatel – kuivendatud leostunud ja leetjad torhuumuslikud glei-liiv- ja -saviliivmullad. OKA-l domineerib kahkjās ehk näivleatud (LP) saviliivmuld keskmisel liivsavil. Nii mullastiku koosseisu kui ka omaduste poolest on kõik KA iseloomulikud piirkondlikele mullastik-ökoloogilistele tingimustele ja sobivad mullastiku poolest hästi katsete korraldamiseks.

## Tänuavaldused

Artikli autorite suurim tänu kuulub Liia Kukele, kes aitas meid arvutiprogrammi MapInfo Professional 9.5 rakendamisel. Katsealade paiknemise kindlakstege-misel aitasid meid Valli Loide, Priit Penu, Ants Bender ja Margus Ameerikas – suur tänu teile!

## Kasutatud kirjandus

- Arold, I. 2005. Eesti maastikud. – Tartu Ülikooli kirjastus, Tartu, 453 lk.
- Blum, W.E.H. 2002. The role of soils in sustaining society and the environment: realities and challenges for the 21st century. – Keynote Lectures, 17th World Congress of Soil Science, 14–21 August 2002, IUSS, Bangkok, pp. 66–86.
- Carter, M.R. 2002. Soil Quality for Sustainable Land Management: Organic Matter and Aggregation Interactions that Maintain Soil Functions. – Agronomy Journal, 94, 38–47.
- Dobrovolskij, G.V., Nikitin, E.D. 1990. Functions of soils in the biosphere and ecosystems. Nauka, Moscow, 260 p. (vene keeles)
- Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.). 1996. Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special Publication No. 49. Madison, 410 pp.
- FAO 1990. Guidelines for soil description, 3rd ed. FAO, Rome, 70 pp.

- Jaagus, J. 2002. Kliima. – Eesti entsüklopeedia, 11, lk 112–122.
- Kivi, K. 1976. Eesti NSV agrokliima ressursid. – Valgus, Tallinn, 142 lk.
- Kokk, R., Rooma, I. 1974. Mullaliikide levik. Agromullastikuline rajoneerimine. Kõlvikute mullastiku iseloomustus. – Eesti NSV mullastik arvudes, I, ENSV PM TTIV, Tallinn, lk 3–73.
- Kokk, R., Rooma, I. 1978. Eesti NSV haritavate maade muldade mõningate keemiliste, füüsikalise-keemiliste ja füüsikaliste omaduste iseloomustus. – Eesti NSV mullastik arvudes, II, ENSV PM IJV, Tallinn, lk 3–66.
- Kõlli, R. 1994. Muldade kasutussobivus ja agrorühmad. – EPMÜ, Tartu, 85 lk.
- Kõlli, R., Ellermäe, O., Soosaar, K. 2004. Soil cover as a factor influencing the status of the Environment. – Polish Journal of Soil Science, XXXVII, p. 65–75.
- Kõlli, R., Ellermäe, O., Teras, T. 2008. Eesti muldade digitaalne kogu. EMÜ, <http://mullad.emu.ee> (18.02.2013).
- Maa-amet 2001. Mullakaart. <http://geoportaal.maaamet.ee> (18.02.2013).
- Pierzynski, G.M., Sims, J.T., Vance, G.F. 2000. Soils and Environmental Quality. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, 424 pp.
- Põllumajandusamet 2004. Maaparandussüsteemide register. <http://geoportaal.maaamet.ee> (18.02.2013).
- Soosaar, K. 2003. Katsealade mullastiku käsitlus kasvutingimuste ja keskkonnahoiu seisukohast. – Magistri väitekirj. EPMÜ, Tartu, 77 lk.

### About the soils of Jõgeva, Kuusiku and Olustvere experimental areas

Kaire Rannik, Raimo Kõlli

#### Summary

The soil cover of Jõgeva experimental area (JKA) is relatively homogenous, whereas its dominant soil species are eluviated (KI) and leached (Ko) brown soils (altogether 83%). The dominant texture of JKA's humus cover is slightly pebble loam (90%), but for the rest the texture is sandy loam. From the 8 associated soil species, the most distributed are gleyed eluviated (KIg) brown soils (~10%).

The differences in soil cover composition between three separately studied arable land massifs of JKA were not significant. The soil cover of Kuusiku experimental area (KKA) is much more heterogeneous, as the contrast by soil genesis was 5 stages and by soil moisture conditions 4 stages. In the humus cover of KKA the loamy sands (38%), sands (33%) and loams (29%) were found. The dominant soil species of the KKA are leached gley soils (Go), Ko, KIg and pebble rendzina (K), which form together ~75% from total area. With them 10 soil species with variegated pedogenetic properties are associated. For receiving suitable areas for experimental fields, the KKA total area was divided into separate (by soil cover more homogeneous, but different from each other by dominant soil species) three arable land massifs: (I) with dominating Ko, K and strongly skeletal pebble rendzina (Kr), (II) where the Kr and K are dominants and (III) with dominating drained Go and KIg. In the soil cover of Olustvere experimental area (OKA) the dominant soil species is pseudopodzolic soil (LP, 86%) and dominant humus cover texture is sandy loam (76%), whereas the stage of heterogeneity is very similar to JKA. By soil cover composition and properties JKA is representative to central Estonian pedo-ecological conditions, whereas OKA to South Estonian and KKA to North Estonian pedo-ecological conditions. Besides the soil cover composition and pedo-ecological conditions, the soil cover pedodiversity, the contrast of presented in soil cover soils, humus cover types and agrochemical status are analyzed by seven arable land massifs. In all experimental areas the fabric of soil profile and characteristic of the soil humus status (humus concentration, thickness and humus stocks of A-horizons) are treated by the dominant soil varieties. The soils of JKA have high environmental protection value due to the neutral or slightly acid reaction, optimal humus content, high cation exchange capacity, sufficient solum thickness and good properties of subsoil. The environmental protection ability of KKA's soil cover is decreased due to the high content of rock fragments in soil and low biological activity of epipedons. In case of OKA, the low environmental protection value results from sandy topsoil texture, acidic soil reaction, and low humus content and stock.

# TUULIKUTE VÄLJUNDVÕIMSUSTE TASAKAALUSTAMISE VÕIMALUSI

Kaupo Toom\*, Tõnis Peets, Andres Annuk

Eesti Maaülikooli tehnikainstituut  
F.R. Kreutzwaldi 56, Tartu 51014  
e-post: kaupo.toom@emu.ee

**ABSTRACT.** *Possibilities for balancing wind generators' output power.* Wind is, compared to solar irradiation, a highly stochastic energy source; therefore forecasting wind generator output power is complicated. The aim of this study was how to better fit wind generators (their output power) into energy systems. We studied two options: cutting off wind parks output power chart peaks and combining wind generators with PV panels and batteries. The first way to reach to aim of this study was to analyse different wind park data for finding methods to correct forecast error of output power. Pakri and Aulepa wind parks were chosen. Pakri wind park is located in the best wind conditions in Estonia and Aulepa wind park is located in an average site in a coastal area.

The second way to reach to aim of this study was increasing the proportion of renewable fraction, thereby reducing the need of obtaining electrical power from the grid, at different deviations of the unit consumer's graph, but at the same time the average consumption of the year stays the same. The other important variable in the calculations is the battery size. The solar irradiation data was acquired from Estonian Meteorological and Hydrological Institute (EMHI) Tõravere database and wind data from Tiirikoja database.

**Keywords:** wind generator's output power, balancing, forecast error, renewable fraction, solar irradiation, battery.

## Sissejuhatus

Taastuvenergia osatähtsus suureneb, järjest enam tuuleparke, koostootmisjaamasid ja biogaasijaamasid ehitatakse ning ühendatakse elektrivõrku. Erinevatest taastuvenergia liikidest on kõige kiiremini kasvanud tuulest toodetud energia. Tuulegeneraatorite väljundvõimsus võib muutuda tulenevalt tuulevõimsuse kuupsõltuvusest tuulekiirusest kiirelt (kuni 80% generaatori nimivõimsusest kahe tunni jooksul (Kilk 2007)), kuid energiasüsteemis peab tootmine ja tarbimine olema pidevalt tasakaalus. Elektrisüsteemis vastutab selle eest ülekandevõrgu operaator (Eestis on selleks Elering). Kasvav tuuleenergia osakaal nõuab suuremat kogust reserv energiatootmis ja -salvestus võimsusi, et hoida energiasüsteemi bilans tasakaalus (Eriksen, Orths, 2008). Kõik elektrienergia tootjad peavad võrgu operaatorile esitama 24 tundi ette oma planeeritava toodangumahu iga tunni kohta, et võrguoperaator saaks planeerida vajalikke muudatusi elektrisüsteemis. Tootmismahтусid on võimalik üks

kuni kolm tundi enne kokkulepitud aega väikses mahus korrigeerida (Klessmann *et al.*, 2008). Tuulegeneraatorite poolt tegelikult toodetud ja prognoositud võimsuse vahest tekkiv puudujääk tuleb võrgu tasakaalus püsimiseks hankida kusagilt mujalt, mis toob kaasa lisakulutusi. Tuulegeneraatoritelt saadavat võimsust on palju keerukam prognoosida, kui näiteks hüdroelektrijaama puhul. Tegelik tuulikute väljundvõimsus erineb tihti prognoositust. Kõige keerukam on prognoosida väljundvõimsusi, kui tuulekiirused on vahemikus 6–10 m s<sup>-1</sup>, kuna tuulegeneraatori väljundvõimsus muutub kõige rohkem selles vahemikus. Prognoosimisel tekkivaid vigu tuleks minimeerida.

## Metoodika

### Prognoosi vead

Tuulikute väljundvõimsuste prognoosimisel tekkivate vigade analüüsil on kasutatud Pakri ja Aulepa tuuleparkide andmeid. Antud tuulepargid asuvad Eesti rannikualal, kus on head tuuletingimused. Pakri tuulepargis on kaheksa Nordex N-90 tüüpi tuulik, mille ühikuvõimsus on 2,3 MW, seega koguvõimsus 18,4 MW. Antud tuulepark on ehitatud Eestis kõige parematesse tuuletingimustesse (Pakri Wind Park, 2012). Aulepa tuulepargis on 13 WinWind WWD-3 tüüpi tuulik, mille ühikuvõimsus on 3 MW ning pargi koguvõimsus 39 MW. Tulemused üldistasime suhtelistes ühikutes (pu). Suhteline ühiku ulatus on 0–1, kus 1 vastab tuulepargi nimivõimsusele.

Prognoosil tekkivate vigade leidmisel kasutatakse peamiselt kolme meetodit: ruutkeskmine viga (RMSE) (1) (Boone, 2005; Madsen, 2004; Traiteur, 2011), keskmine absoluutne suhteline viga (MAPE) (2) ja keskmine suhteline viga (MPE) (3) (Rosen *et al.*, 2007).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_a - P_f)^2} \quad , \quad (1)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_a - P_f}{P_a} \right| \cdot 100 \quad , \quad (2)$$

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P_a - P_f}{P_a} \cdot 100 \quad , \quad (3)$$

kus

$P_a$  on tuulepargi mõõdetud väljundvõimsus;

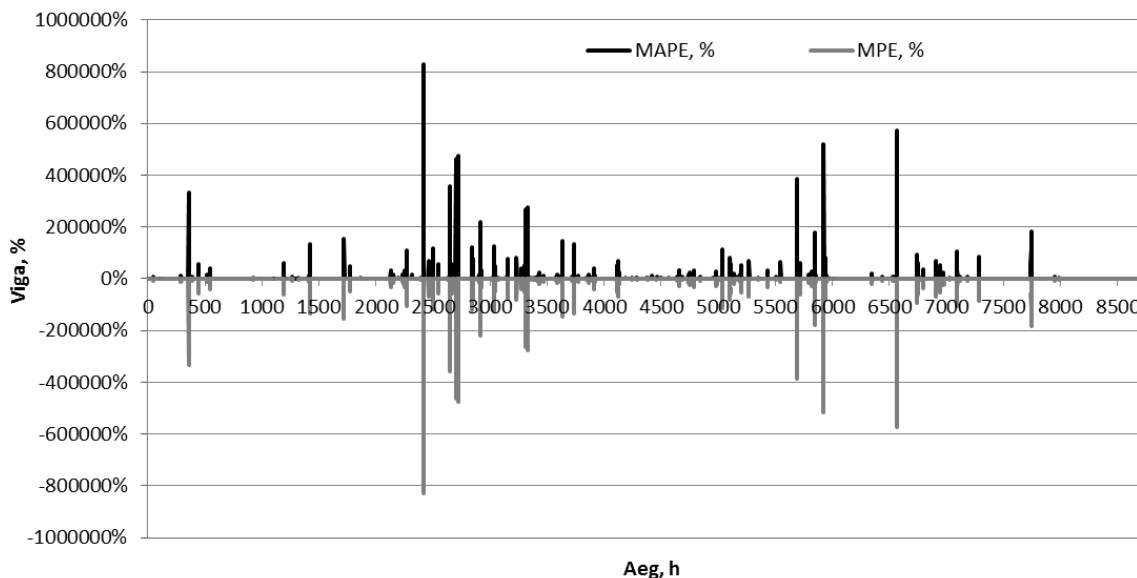
$P_f$  – prognoositud tuulepargi väljundvõimsus.



Kui MPE näitab vea polaarsust, siis MAPE vea ulatust.

Jooniselt 1 selgub, et MAPE ja MPE väärtused võivad muutuda väga suurtes piirides. Kui vaadata MAPE-t ja teisi suurusi vahemikus 0–0,1 tuulepargi nimivõimsusest, siis keskmine MAPE oli 4222% ja maksimum 828 851%. Keskmine prognoosi RMSE oli 0,03 pu. Probleem on selles, et MAPE-t väljendatakse protsentides, mis ei pruugi alati õiget ülevaadet anda.

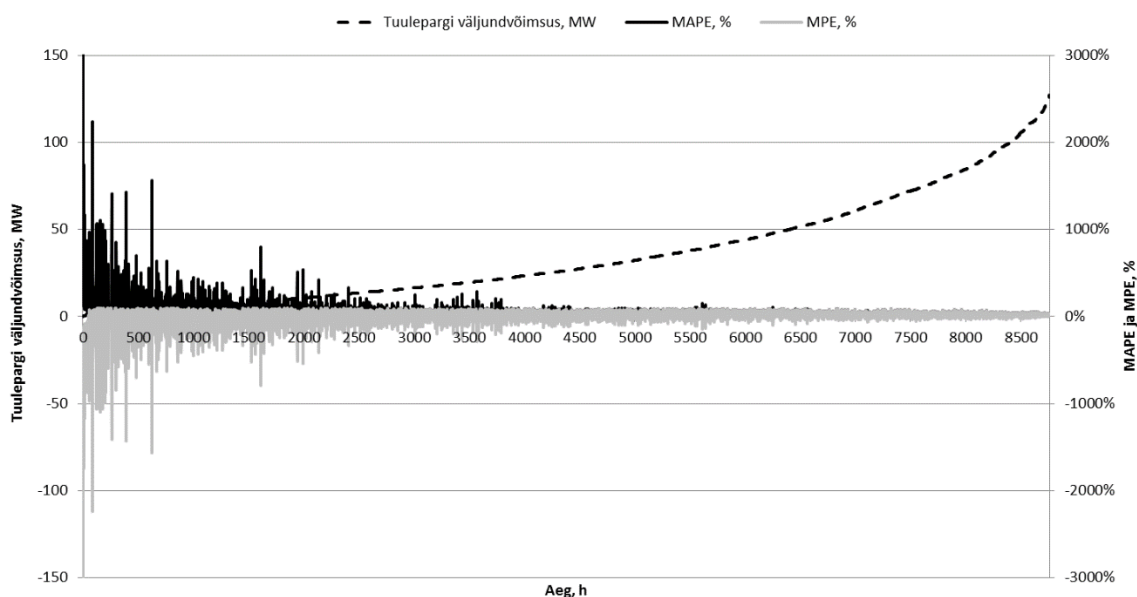
Absoluutsed tootmisvõimsuste prognoosivead on enamasti väikesed. Kui MAPE on üle 100%, siis suuremad MPE väärtused on negatiivsed. Kuigi jooniselt 1 selgub, et MPE väärtused oleks enamasti negatiivsed, siis tegelikult on üle ja alla prognoosimist peaaegu võrdselt (positiivsed ja negatiivsed MPE suurused).



**Joonis 1.** Pakri tuulepargi prognoosi MAPE ja MPE graafik  
**Figure 1.** Pakri wind park forecast MAPE and MPE chart

Joonisel 2 on kujutatud Eesti tuuleparkide kumulatiivne väljundvõimsus, et näha paremini valitsevaid trende, MAPE ja MPE on märgatavalt suured siis, kui tuuleparkide väljundvõimsus on väike. Samuti suurimad MAPE väärtused esinevad enamasti koos

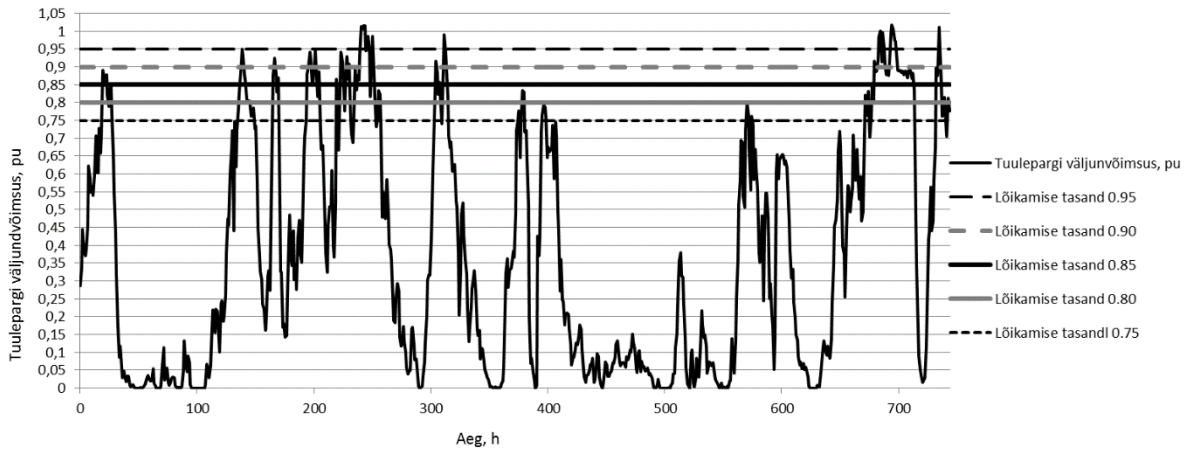
negatiivsete MPE suurustega. Negatiivne MPE väärtus tähendab, et on prognoositud rohkem kui tegelikult toodetud. Jooniselt 1 ja 2 selgub, et enam kasutatud MAPE ei ole alati kõige parem viis tuuleparkide väljundvõimsuste prognoosiandmete analüüsimiseks.



**Joonis 2.** Eesti tuuleparkide kumulatiivsed tunnikeskmsed väljundvõimsused ja nende MPE ja MAPE (1/1/2011–31/12/2011) (Planned...2012)  
**Figure 2.** Cumulative wind hourly averaged capacities in Estonia and these MPE and MAPE (1/1/2011–31/12/2011) (Planned...2012)

Joonisel 3 on esitatud üks võimalusi vähendada prognoosivigu, milleks on tuulepargi tootmisgraafiku tippude lõikamine (Annuk *et al.*, 2010). Ära lõigatud energiat saaks kasutada näiteks vesiniku tootmiseks, mille tehnoloogiat on vaadelnud oma artiklis Andrijanovitš *et al.*, 2010. Selle tehnoloogiaga oleks võimalik energiat salvestada ning tuulevaiksetel perioodidel uuesti elektrit toota. Tuulest saadud energia kasutamist on käsitletud artiklis Lepa *et al.*,

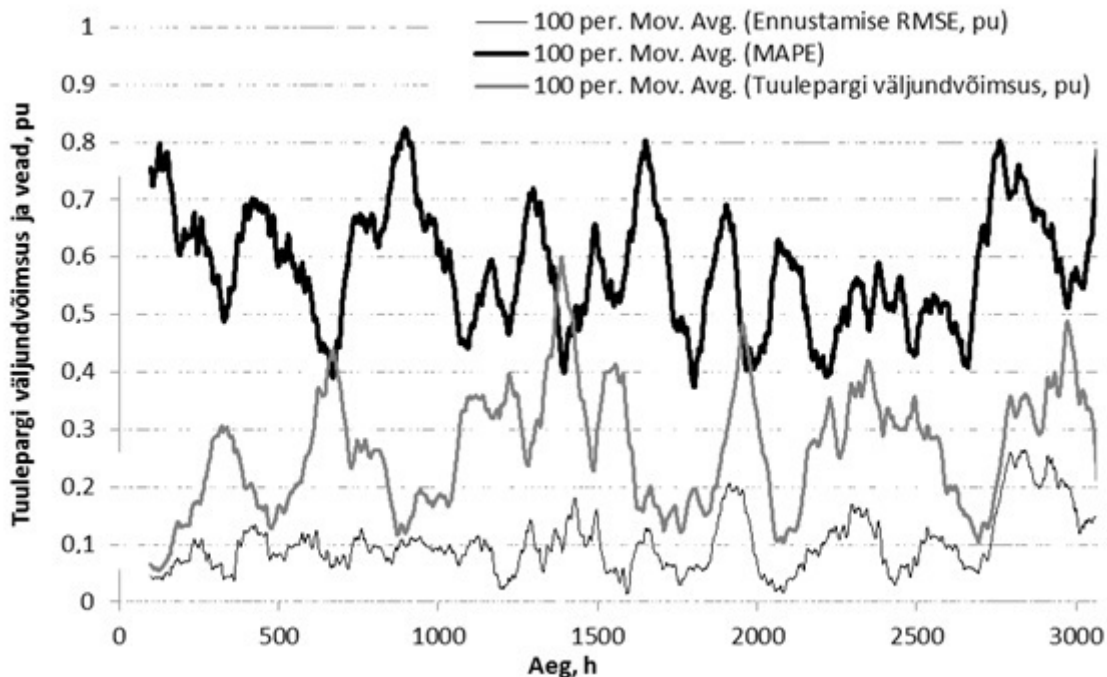
2010. Selgub, et tuuleenergiat on võimalik mõningatel juhtudel soojusvõrkudes kasutada, aga kerkivad esile ka mõned probleemid. Tootmise ja tarbimise graafikud on aastaajati erinevad. Kuna Eestis puuduvad täna tuuleparkide vajadustele vastavad elektrienergia salvestusmahud (näiteks hüdro-pump elektrijaam), siis oleks võimalik väikseid lokaalseid soojusvõrke kasutada tipuenergia salvestamiseks.



**Joonis 3.** Pakri tuulepargi väljundvõimsus ja selle lõikamise tasandid (1/1/2011–31/1/2011)  
**Figure 3.** Pakri wind park power production chart and its cutting levels (1/1/2011–31/1/2011)

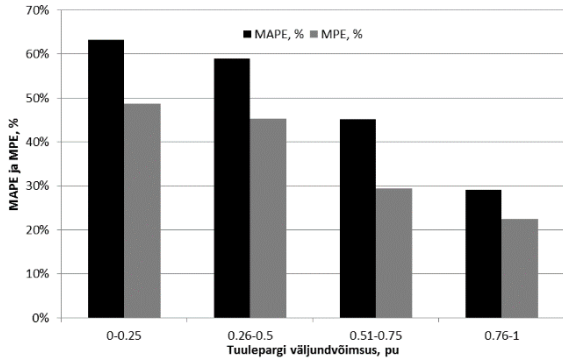
Jooniselt 4 selgub, et mida suurem on tuulepargi väljundvõimsus, seda väiksem on MAPE ja vastupidi. Prognoosi RMSE suureneb kui tuulepargi väljundvõimsus suureneb. Vaadeldud perioodil keskmine tuulekiirus oli  $4,4 \text{ m s}^{-1}$ , keskmine MAPE 58,8% ja keskmine RMSE 0,135.

Joonisel 5 selgub, et MAPE ja MPE suurus on suuremad tuulepargi väiksematel väljundvõimsustel. See aga tähendab, et lõigates tuulepargi tootmisgraafiku tippe, muutuvad MAPE ja MPE suuremaks.



**Joonis 4.** Aulepa tuulepargi tootmisgraafik koos prognoosi RMSE ja MAPE graafikutega (1/8/2009–31/12/2009)

Figure 4. Aulepa Wind Park production chart with forecast RMSE and MAPE chart (1/8/2009–31/12/2009)

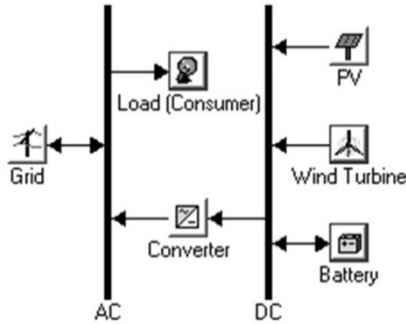


Joonis 5. MAPE ja MPE proportsioonid Aulepa tuulepargis (1/8/2009–31/12/2009)

Figure 5. MAPE and MPE of proportional power in Aulepa Wind Park (1/8/2009–31/12/2009)

**Tuule-päikese PV hübriidsüsteem**

Võrku ühendatud taastuvenergia süsteem koosneb tarbijast, tuule generaatorist, päikse paneelidest, DC/AC konverterist ja salvestusseadmetest (joonis 6).



Joonis 6. Tuule-päikese PV hübriidsüsteem (Homer Energy, 2011)  
Figure 6. System wind-PV solar hybrid system

Analüüsil on kasutatud tüüpilise Eesti maakoha talu aasta elektritarbimise mõõtetulemusi (E. Jõgi). Tarbija juures mõõdetud aasta keskmine tunni tarbimine oli natuke rohkem kui 1 kWh. Et üle kanda mõõdetud tarbimisgraafiku kuju ühiktarbija graafikule mille aasta keskmine võimsus on  $P_{mean} = 1$  kW kasutame järgnevat valemit:

$$P_C = \frac{\sum_{i=1}^{8760} P_{Ri}}{\sum_{i=1}^{8760} P_{meani}} \cdot P_R \quad (4)$$

kuna  $\sum_{i=1}^{8760} P_{meani} = 1 \text{ kW}$

- kus
- $P_C$  on 1 kW ühiktarbija energia tarbimine tunnis, kW;
  - $P_R$  – mõõdetud tarbija energia tarbimine tunnis, kW;
  - $P_{mean}$  – ühiktarbija keskmine energia tarbimine, kW.

Valemis 4 'energia tarbimine' tähendab tarbitud tunni keskmist võimsust kW-des. Samal ajal on see kirjeldatud kui energia tarbimine kWh/h. Selline lähenemine võimaldab andmeid võrrelda ja annab ka praktilise väljundi. Kui me hindame erinevaid tarbijaid, saame graafiku korrutada lihtsalt vastava konstandiga. Standardhälve on leitud aastastest tarbimisest ning antud juhul on  $\sigma = 0,76$  kW. Kui keskmine energia tarbimine tunnis  $P_C = 1$  kW, siis standardhälbe ja suhtelise standardhälbe arvulised väärtused on samad. Tarbimisgraafikute kujutamiseks erinevate standardhälvete juures, kui keskmine tarbimine jääb samaks kasutame valemit 5:

$$P_\sigma = P_C + (P_{mean} - P_C) \cdot \sigma \quad (5)$$

- kus
- $P_\sigma$  on ühiktarbija energia tarbimine muudetud standardhälbega, kW;
  - $P_C$  – 1 kW ühiktarbija energia tarbimine tunnis, kW;
  - $P_{mean}$  – ühiktarbija keskmine energia tarbimine tunnis, kW;
  - $\sigma$  – standardhälve.

Päikese kiirusandmed on võetud Tõraverest, kuna kirjeldab kõige paremini Eesti keskmist (Tomson, 2000). Tuule andmed on Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi (EMHI) Tiirikoja vaatluspunktist. Ühik tuulegeneraatori väljundvõimsus on arvatud iga tunni kohta, kus tuuleandmed on teisendatud kõrgusele 30 m ja väljundvõimsus on leitud lähtudes järgmistest tehnilistest piirangutest:

$$v < 2.5 \text{ m s}^{-1} \Rightarrow P = 0 \text{ kW ja kui } v > 12 \text{ m s}^{-1}, P = 1 \text{ kW} \quad (Pöder et al., 2009).$$

$$P = 0.0078 \cdot v^2 - 0.0229 \cdot v + 0.00866022 \quad (6)$$

- kus
- $v$  on tunni keskmine tuule kiirus,  $\text{m s}^{-1}$ ;
  - $P$  – väljundvõimsus, kW.

DC/AC konverter on valitud kasuteguriga 90%. Energia salvestamiseks on kasutatud spetsiaalseid sügavühendus tsükliga akusid mahtuvusega 200Ah. Akud on nelja kaupa jadamisi ühendatud, mis annab väljundpingeks 48 V. Ühiktarbija keskmine võimsusvajadus on 1 kW, mis tähendab 8760 kWh tarbimist aastas. Et katta erinevad kaod nii salvestusseadmetes, inverteris, suurendame veidi tuule generaatori ja päikesepaneelide energiatoodangut, mis on 10 000 kWh/aasta.

**Tulemused**

**Prognoosi vead**

Tabelis 1 on näha tulemused Pakri tuulepargi tootmisgraafiku tippude lõikamise kohta erinevatel tasanditel. Prognoosi RMSE väheneb, kui tippe lõigata. MAPE ei muutu märgatavalt. Keskmine

prognoosimise RMSE Pakri tuulepargis oli 0,125 pu. Keskmise prognoosimise RMSE Eestis on 0,134 pu (Wind power in Estonia, 2010). Näiteks Saksamaal on sama näitaja 0,106 pu ja Taanis 0,084 pu. Paremad

tulemused tulenevad põhiliselt sellest, et tuuleparkide koguväljundvõimsused on suuremad ja kogemusi prognoosimise osas on ka rohkem.

**Table 1.** Pakri tuulepargi tootmisgraafiku tippude lõikamine  
**Table 1.** Cutting off production chart peaks in Pakri wind park

Lõikamise tasand, pu <i>Cutting level, pu</i>	Väljund võimsus, pu <i>Output power, pu</i>	Allesjääv energia, % <i>Remaining energy, %</i>	MAPE, %	Prognoosi RMSE, pu <i>Forecast RMSE, pu</i>	Prognoosi RMSE vähenemise % <i>Forecast RMSE decreasing %</i>
Ilma lõikamata / <i>No cutting</i>	0,277	100	52,2	0,125	–
0,95	0,267	94,8	52,4	0,124	2,9
0,90	0,261	92,0	52,6	0,122	4,3
0,85	0,245	84,3	53,3	0,119	6,8
0,80	0,234	79,0	53,7	0,116	9,0
0,75	0,218	71,2	54,8	0,115	10,3

Tabelis 2 on toodud tulemused Aulepa tuulepargi tootmisgraafiku tippude lõikamise kohta erinevatel tasanditel. Prognoosi RMSE väheneb, kui tippe

lõigata. MAPE ja MPE muutub vähe. Keskmise prognoosi RMSE Aulepa tuulepargis oli 0.135 pu.

**Table 2.** Aulepa tuulepargi tootmisgraafiku tippude lõikamise tulemused  
**Table 2.** Cutting off production chart peaks in Aulepa wind park

Lõikamise tasand, pu <i>Cutting level, pu</i>	Allesjääv energia, % <i>Remaining energy, %</i>	Prognoosi RMSE, pu <i>Forecast RMSE, pu</i>	MAPE, %	MPE, %
0,80	94,5	0,134	59,3	45,0
0,70	86,2	0,130	60,0	45,6
0,60	74,1	0,123	61,1	46,5
0,50	61,5	0,112	61,9	47,7
0,40	47,6	0,098	62,7	48,9
0,30	32,4	0,077	62,8	49,2

Tabelis 3 on esitatud Pakri tuulepargi keskmised prognoosi RMSE-d, mis jaotatud nelja vahemikku. Selgub, et 79,5% aastast oli tuulepargi väljundvõimsus

alla 0,5 pu. Kui lõikame 0,9 tasandilt, siis ärälõigatav väljundvõimsuse osa on 2,3%.

**Table 3.** Pakri tuulepargi keskmine prognoosi RMSE  
**Table 3.** Average forecast RMSE in Pakri windpark

Väljundvõimsus / <i>Output power, pu</i>	0–0,25	0,25–0,5	0,5–0,75	0,75–1
Keskmine prognoosimise RMSE, pu <i>Average forecast RMSE, pu</i>	0,0860	0,1509	0,1941	0,2557
Väljundvõimsuse tundide osakaal, % <i>Number of hours of Wind Power, %</i>	58,2	21,3	11,2	9,3

Tabel 4 annab võrdleva ülevaate Eesti ja Lõuna-Saksamaa tuuleparkide kohta (Wind power in South-Germany, 2012). Maksimaalne prognoosi viga võib

mõnikord olla 72% tegelikust kogu Eesti tuuleparkide väljundvõimsusest. Pakri tuulepargis oli see 74%.

**Table 4.** Kokkuvõtte aastal 2010 Eestis, 2011 Eestis ja Saksamaal  
**Table 4.** Summary of year 2010 in Estonia, 2011 in Estonia and Germany

Aasta <i>Year</i>	Keskmine väljundvõimsus, MW <i>Average wind power, MW</i>	Maksimaalne väljundvõimsus, MW <i>Maximum wind power, MW</i>	Keskmine MAPE, % <i>Average MAPE, %</i>	Keskmine prognoosimise RMSE, MW <i>Average forecast RMSE, MW</i>	Maksimaalne prognoosi- mise RMSE, MW <i>Maximum forecast RMSE, MW</i>
2010 Eesti/Estonia	34,2	127,8	50,5	11,7	92,4
2011 Eesti/Estonia	43,3	161,7	53,0	11,4	83,6
2011 Saksamaa/Germany	48,0	458,0	46,6	15,5	230,0

**Tuule-päikese PV hübriidsüsteem**

Juhul kui tuule-päikese PV hübriidsüsteemis võtta energiat minimaalselt välisvõrgust, siis päiksepaneeli ja tuulegeneraatori omavaheline suhe oleks 30/70 (Annuk, 2011; Caralis, 2011). Kasutades seda suhet, on meil parimad süsteemi tasakaalustamise võimalused (näiteks suurim taastuvenergia osakaal tarbimises, tulemused on sarnased allikatele (Annuk,

2011; Caralis, 2011). Seda suhet on kasutatud ka siis, kui akud on süsteemi lisatud, et vähendada veel võrgust võetava energia kogust. Selleks tuleb piirata võrgust võetavat võimsust. Andmete (tabel 5) analüüs näitab, et akude lisamine aitab suurendada taastuvenergia osakaalu ja vähendada energia kogust võrgust tarbimises.

**Tabel 5.** Salvestamise vajadus erinevatel võrgust võetavatel võimsuse piirangutel võrgust  
**Table 5.** Storage needs on different levels of limiting capacities for energy from grid

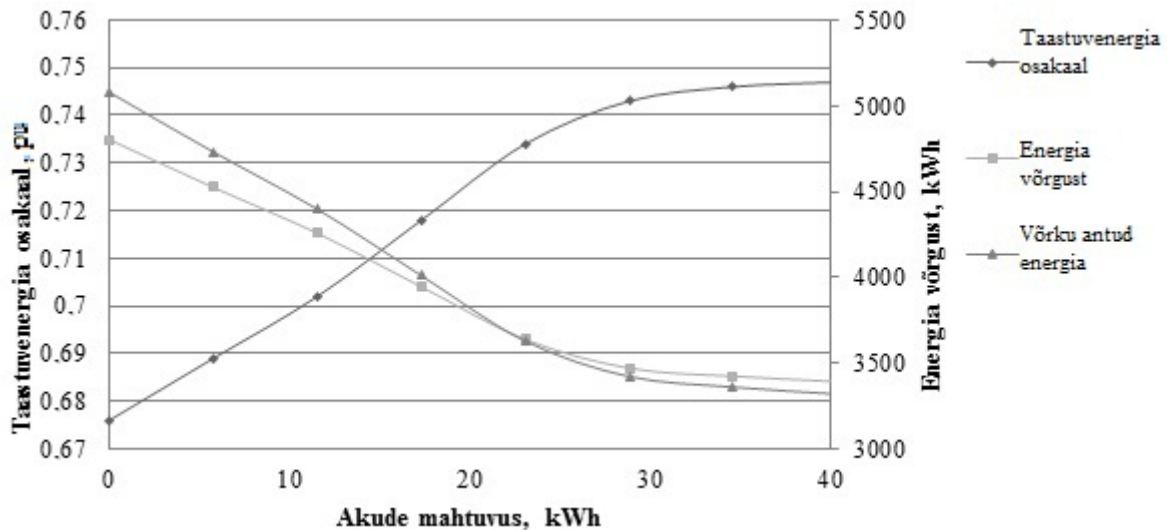
Piiratud võimsus võrgust, $P_P$ , kW <i>Limit capacity of energy from grid, <math>P_P</math>, kW</i>	Salvestamise mahtuvus, $W_{St}$ , kWh <i>Storage capacity, <math>W_{St}</math>, kWh</i>	Võrgust võetud energia, $W_{Gp}$ , % <i>Obtained energy from grid, <math>W_{Gp}</math>, %</i>	Taastuvenergia osakaal, $W_R$ , % <i>Renewable fraction, <math>W_R</math>, %</i>	Salvestamise puudujääk, $W_{Sh}$ , % <i>Capacity shortage, <math>W_{Sh}</math>, %</i>
3	0	32	68	0,46
	9,6	32	68	0
	19,2	32	68	0
2,5	0	31	68	1,92
	9,6	30	69	0
	19,2	30	70	0
2	0	31	69	5,57
	38,4	27	73	0,21
	48	26	74	0
	57,6	26	74	0
1,5	0	29	71	12,7
	67,2	21	79	1,4
	76,8	21	79	1,19
	86,4	21	79	0,99
1	0	25	75	25
	86,4	16	84	4,77
	480	13	87	1,13
	576	13	87	0,64

Antud juhul on otstarbekas võrgust võetavat võimsust piirata 1,6 kW juures, kuna väiksema väärtuse juures suureneks vajamineva salvestamise mahtuvus hüppeliselt. 1,6 kW juures on vajaminev akude mahtuvus 59 kWh ja võrgust võetava energia osakaal 23%. Tabelis 6 on esitatud tulemused taastuvenergia osakaalu suurendamise kohta, kui tarbimisgraafiku standardhälbe  $\sigma = 0,76$  kW.

Tabelist 6 selgub, et akude lisamine suurendab taastuvenergia  $W_R$ , vähendab võrgust võetava energia vajadust  $W_{Gp}$  ja vähendab energiahulka, mis antakse võrku  $W_{Gf}$ . Korrelatsioonid akude mahtuvuse taastuvenergia osakaalu, võrgust võetava ja võrku antava energia koguste vahel on näha ka joonisel 7.

**Tabel 6.** Parameetrid hübriidsüsteemis kui  $\sigma = 0.76$  kW  
**Table 6.** The parameters of the hybrid system when  $\sigma = 0.76$  kW

Aku mahtuvus $W_B$ , kWh <i>Battery, capacity <math>W_B</math>, kWh</i>	Energia võrgust, $W_{Gp}$ , kWh <i>Energy from grid, <math>W_{Gp}</math>, kWh</i>	Kogu saadud energia $W_T$ , kWh <i>Total energy received <math>W_T</math>, kWh</i>	Võrku antud energia $W_{Gf}$ , kWh <i>Energy fed to the grid <math>W_{Gf}</math>, kWh</i>	Maksimaalne võimsus võrgust $P_L$ , kW <i>Maximal power from the grid <math>P_L</math>, kW</i>	Taastuvenergia osakaal $W_R$ <i>Renewable fraction <math>W_R</math></i>	Toodetud energia $W_{Bl}$ , kWh <i>Produced energy <math>W_{Bl}</math>, kWh</i>
0	4803	14843	5079	0	0,676	1004
5,76	4524	14564	4731	2,5	0,689	996
11,52	4257	14297	4397	2,4	0,702	989
17,28	3945	13984	4010	2,2	0,718	983
23,04	3637	13676	3628	2	0,734	972
28,8	3470	13509	3421	1,9	0,743	967
34,56	3423	13462	3360	1,9	0,746	966
40,32	3392	13431	3319	1,9	0,747	965



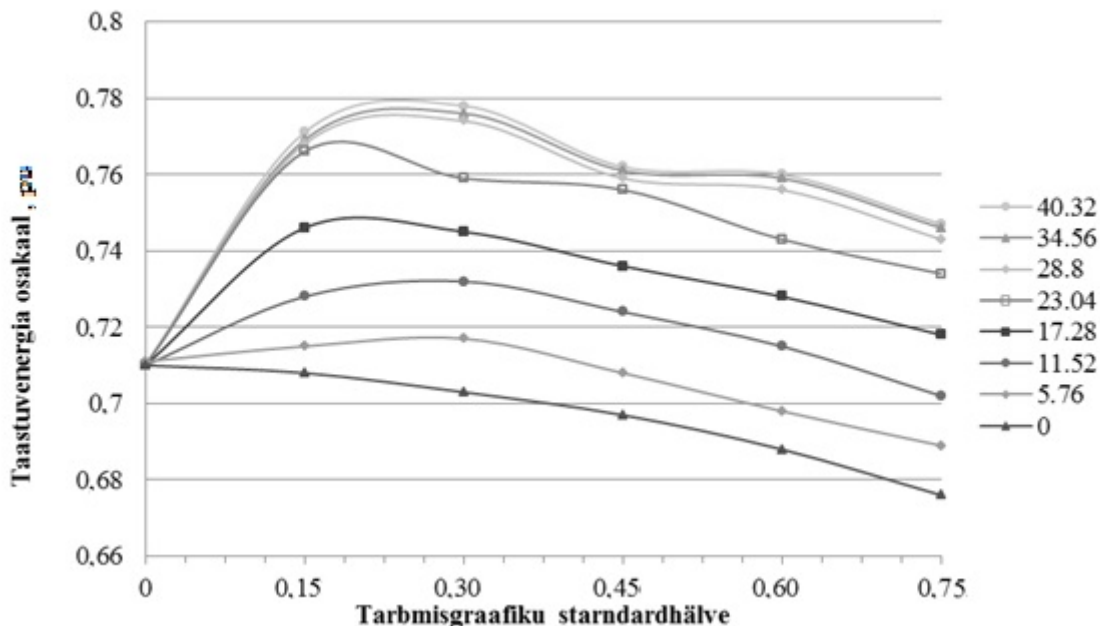
**Joonis 7.** Taastuenergia osakaal, võrgust võetav ja võrku antava energia koguste sõltuvus akude mahtuvusest, tarbimisgraafiku standardhälbe  $\sigma = 0,76$  kW juures

**Figure 7.** Renewable fraction, energy obtained from the grid and given to the grid dependency on the batteries capacities, with dispersion  $\sigma = 0.76$  kW of the consumption chart

Taastuenergia osakaalu suurenemine on akude lisamisel lineaarne kuni mahtuvuseni 23,0 kWh, samal ajal võrgust võetav energia kogus väheneb suuruseni, mis on väiksem kui võrku antav energia.

Joonisel 8 on näha akude mahtuvuse mõju taastuenergia osakaalule tarbimises erinevate tarbimisgraafiku standardhälvete juures. Kui standardhälvet

suurendada ilma, et akusid oleks süsteemi lisatud, siis taastuenergia osakaal väheneb. Kui akusid lisada, siis taastuenergia osakaal suureneb ja saavutab maksimumi  $W_R = 0,779$  kui  $\sigma = 0,25 \pm 0,05$  kW. Lisades akude mahtuvusi üle 23 kWh ei suurenda see märkimisväärselt taastuenergia osakaalu.



**Joonis 8.** Akude mahtuvuse mõju taastuenergia osakaalule erinevate tarbimisgraafiku standardhälvete juures

**Figure 8.** Influence of battery capacity to renewable fraction in several standard deviations values of consumption curve

### Järeldused

1. Prognoosi vigade hindamise peamised kolm meetodit on ruutkeskmine viga (RMSE), keskmine absoluutne suhteline viga (MAPE) ja keskmine suhteline viga (MPE), kus MAPE ja MPE ei anna

teatavatel tingimustel olukorrast adekvaatset ülevaadet.

2. Andmete analüüsist selgub, et kõige enam ja suuremad prognoosi vead on tuulepargi suhteliste väljundvõimsuse vahemikus 0,5–0,8. Mida suurem on

tuulepargi väljundvõimsus, seda väiksem on MAPE (keskmine absoluutne suhteline viga) ja vastupidi. Ruutkeskmine viga (RMSE) suureneb tuulepargi väljundvõimsuse suurenemisega. Tuulepargi tootmisgraafiku tippude lõikamisel ruutkeskmine viga väheneb, keskmine absoluutne suhteline viga (MAPE) ja keskmine suhteline viga (MPE) ei muutu väga palju.

3. Tänapäeval kasutatakse tuule-päikese PV hübriidsüsteemi kahel viisil: autonoomselt ja võrku ühendatuna. On väga oluline võrku ühendatud süsteemis, et minimaalselt kasutatakse energiat võrgust ja saavutatakse niimoodi võimalikult suur taastuvenergia osakaal optimaalse konfiguratsiooni juures ning ei kasutata teisi energiaallikaid. Seega väheneb energiasõltuvus ning energia julgeolek paraneb. Analüüsist selgub, kui akud on lisatud võrku ühendatud tuule-päikese PV süsteemi, siis taastuvenergia osakaal on suurim tootmisgraafiku standardhälbe  $\sigma = 0,25 \pm 0,05$  kW juures. Kui standardhälbe väärtus on suurem või väiksem, siis taastuvenergia osakaal väheneb. Seega tarbimisköver ei tohiks olla liiga lame.

#### Tänuavaldus

Autorid avaldavad tänu EMHI töötajatele hea koostöö eest tuule- ja päikeseandmete hankimisel.

#### Kasutatud kirjandus

- Andrijanovitš, A., Egorov, E., Lehtla, M., Vinnikov, D. 2010. New Method for Stabilization of Wind Power Generation Using Energy Storage Technology. *Agronomy Research*. Ed. by R. Lillak, No. 8 (S1) p. 12–24.
- Annuk, A., Pikk, P., Kokin, E., Karapidakis, E., Tamm, T. 2011 Performance of wind-solar integrated grid connected energy system. – *Agronomy Research*, Vol. 9, No. 1–2, p. 273–281.
- Annuk, A., Tammoja, H., Agabus, H., Toom, K., Tamm, T. 2010. Possibilities for Correcting Forecast Errors by Cutting off Production Chart Peaks. – *Agronomy Research*. Ed. by R. Lillak, No. 8(S1), p. 25–32.
- Boone, A. 2005. Simulation of short-term wind speed forecast errors using a multivariate ARMA(1,1) time-series model. – Ph.D. dissertation, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Caralis, G., Delikaraoglu, S., Zervos, A. 2011. Towards the optimum mix between wind and PV capacity in the Greek power system. – In: European Wind Energy Conference & Exhibition Scientific Proceedings Brussel- Belgium, p. 75–79.
- Eriksen, P.B., Orths, A. 2008. The challenges and solutions of going from 20 to 50 percent of wind energy coverage in Danish power system until 2025. Workshop proceedings of '7<sup>th</sup> International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power in to Power Systems as well as on transmission Networks for Offshore Wind Farms' in Madrid, Spain, 26–27 May, 2008.
- Homer Energy <http://homerenergy.com/> (05.11.2012)
- Kilk, K. 2007. Piirangud juhuslikele genereeriva võimsuse muutustele Eest süsteemis – maksimaalselt võimalik installeeritud tuulikute võimsus. [http://www.tuuleenergia.ee/uploads/File/Maksimaalne\\_tuulevoimsus\\_Eestis.pdf](http://www.tuuleenergia.ee/uploads/File/Maksimaalne_tuulevoimsus_Eestis.pdf) (05.11.2012)
- Klessmann, C., Nabe, C., Burges, K. 2008. Pros and cons of exposing renewables to electricity market risks – A comparison of the market integration approaches in Germany, Spain and the UK. *Energy Policy*, Vol. 35, Issue 10, 2008, p. 3646–3661.
- Lepa, J., Annuk, A., Toom, K., Jürjenson, K., Pennar, M., Palge, V. 2010. Wind Power in Heat Energy Systems. – *Agronomy Research*. Ed. by R. Lillak, No. 8(S1), p. 141–148.
- Madsen, R.H. 2004. A protocol for standardizing the performance evaluation of short-term wind power prediction models. – Technical University of Denmark, IMM, Denmark, Tech. Rep.
- Pakri tuulepark. <http://www.4energia.ee/projektid/pakri-tuulepark/> (02.12.2012)
- Tuuleparkide tegelik ja planeeritud toodang. <http://elering.ee/tuuleparkide-tegelik-ja-planeeritud-toodang/> (02.12.2012)
- Pöder, V., Lepa, J., Palge, V., Peets, T., Annuk, A., 2009. The Estimation of Needed Capacity of a Storage System According to Load and Wind Parameters. – *Oil Shale*, 26 (3S), p. 283–293.
- Rosen, J., Tietze-Stöckingen, I., Rentz, O. 2007. Model-based analysis of effects from large-scale wind power production. – *Energy* 32(4), p. 575–583.
- Tomson, T. 2000. *Helioenergeetika (Helio Energetics)*. Humare, Tallinn, p. 136.
- Traiteur, J.J. 2011. A short term ensemble wind-speed forecasting system for wind power applications. – Ph.D. dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Wind power in Estonia. Elering OÜ. 2010. <http://elering.ee/tuuleenergia-uuring/> (02.12.2012)
- Wind power in South-Germany. <http://transnetbw.com/key-figures/renewable-energies-res/wind-infeed/?app=wind&activeTab=csv&auswahl=month&selectMonat=3> (02.03.2012)

#### Possibilities for balancing wind generators' output power

Kaupo Toom, Tõnis Peets, Andres Annuk

#### Summary

The importance of renewable energy is growing. More and more wind parks, CHP-s and biogas stations are being erected and connected to the electrical grid. Of the range of different renewable resources, the proportion and growth of wind generated electricity is the highest. Due to the stochastic nature of wind, the output of wind generators changes quickly, but the

production and consumption in the energy system must be in balance. The actual production from wind generators and the forecasted energy are usually different and this energy must be obtained somewhere else, which means extra expense. Wind generator output power is harder to forecast than for example heat power plant output. Errors in forecasting should be minimized.

The aim of the research was to find ways to balance wind generators' output power. Wind generators with greater power must forecast their production and send information to TSO. To reduce errors on forecasting, wind generators production chart peaks could be cut. To balance small wind generators, PV panels and batteries could be added to systems.

Data from Pakri and Aulepa wind park was collected and analysed from different angles. At the beginning of the research the data series were shorter. Then methodology and hypotheses were developed, which were also confirmed on long data series. Forecast errors were calculated and the results compared with wind parks in Estonia, Germany and Denmark. Single wind park results are comparable with Estonian wind parks total.

Wind data was also collected from Tiirikoja (EMHI), solar irradiation data was collected from Tõravere (EMHI) and annual electricity consumption data from an Estonian typical countryside dwelling (E. Jõgi). Data have been used in a system, where a wind generator, PV panel and battery are added. Different parts of the system and their sizes, also their production, are explored and analysed, so that the system would be optimal to the unit consumer.

### Results and conclusions:

1. The forecast error is estimated by three methods: Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and Mean Percentage Error (MPE), where MAPE and MPE don't give an adequate picture of the situation in certain circumstances.

2. Analysis of the data reveals, that the biggest forecast errors could be observed when the wind park output power was in the range of 0.5–0.8. The higher the wind park output power, the lower is MAPE, and vice versa. The forecast error increases as the wind park output power increases. The forecast error decreases as the production chart peaks are cut off. MAPE and MPE do not change significantly.

3. Nowadays PV-wind hybrid systems are used in two ways: autonomous and grid connected. It is important for a grid-connected system to minimize energy from the grid and to have the highest share of renewable fraction possible, while having an optimal configuration and not using other fuels. It is important, since by doing so energy dependence is decreased and therefore energy security is increased. When batteries are added to the grid-connected wind-PV system, the renewable fraction is the highest at the standard deviation is  $\sigma = 0.25 \pm 0.05$  kW of the consumption curve. If the value is higher or lower, the renewable fraction decreases. Therefore the consumption curve should not be too flat.



## KROONIKA

## 90 AASTAT KATSEASJANDUSE NÕUKOGU ASUTAMISEST

Ants Bender

Noores Eesti vabariigis, 5. detsembril 1920, toimus Põllutöoministeriumis minister Theodor Pooli eesistumisel koosolek, kus arutati katsetegevusega seotud küsimusi. Kohale olid kutsutud Tartu Ülikooli põllumajandusteaduskonna professorid, Tooma Sookatsejaama ja äsjaloodud Jõgeva Sordikasvanduse juhid. Osalejad pidasid vajalikuks uurimistöö edendamiseks asutada Põllutöoministeriumi juurde Katseasjanduse nõukogu. Mõte realiseerus 7. aprillil 1923. aastal, mil nõukogu tegelikult tööd alustas. Tookordne nõukogu koosseis pandi kokku asutuste esindajatest: üks esindaja Põllutöoministeriumist, üks Põllumeeste Keskseltsist, kaks põllutöökoolide poolt, viis ülikooli katsejaamade poolt, kolm Jõgeva Sordikasvandusest, üks Riigi põllutöö katsejaamast, üks Kehra katsejaamast, üks Tooma sookatsejaamast ja üks Seemnekontrolljaamast. Katseasjanduse nõukogu ülesanne oli uurimistöö teaduslik ja tehniline edendamine. Nõukogu kinnitas asutuste katsekavad, esitas taotlused katsetööde finantseerimiseks, vaatas läbi ja kinnitas uurimistööde aruanded ning korraldas katseandmete publitseerimist.

Katseasjanduse nõukogu tegevorgan oli viieliikmeline büroo, mis töötas Põllutöoministeriumi juures ja mille ülesanne oli katsetegevust nõukogu otsuste piires teaduslikult ja tehniliselt juhtida. Büroo esimesse koosseisu valiti Jaak Ümarik (Põllutöoministerium), Jaan Mets ja Mihkel Pill (mõlemad Jõgeva Sordikasvandus), Leo Rinne (Tooma sookatsejaam) ning professor Anton Nõmmik (Tartu Ülikool).

Eesti vabariigi esimesel iseseisvusajal pöörati põllumajandusteadusele palju tähelepanu. Mõödunud sajandi kolmekümnendate aastate lõpul töötas Eestis seitse põllumajanduslikku uurimisasutust või katsejaama, lisaks Tartu Ülikooli põllumajandusteaduskonnale 11 instituuti ja 7 katsejaama ning teadustööde kohad Piistaoja talus (Th. Pool), Sangaste mõisas (Fr. Berg) ja Tõlla talus (H. Meltsas).

Oluliselt kasvanud uurimistöö ja katsetegevuse juhtimine reorganiseeriti Riigikogu dekreediga 'Põllumajandusliku uurimise ja katseasjanduse seadus' 1. aprillil 1938. Katseasjanduse nõukogu asemel moodustati Põllumajandusliku Uurimise ja Katseasjanduse Komitee. Komitee koosseisu kuulusid:

- 1) eriteadlased Põllutöoministeriumi, Haridusministeriumi, Põllutöökoja ja Agronoomide Koja poolt;
- 2) kõigi tegutsevate instituutide ja katsejaamade osakonnajuhatajad;
- 3) ülikooli põllumajanduslike katseasutuste juhatajad;

4) põllumajandusliku tegevuse ja uurimise alalt kuni seitse liiget Põllutöoministri määramisel. Komitee tööd juhtis kolmeliikmeline juhatus: esimees (J. Ümarik), abiesimees ja sekretär. Komitee tegevusala laienes põllumajanduselt ka kalandusele.

Komitee ülesanne oli:

- 1) Eesti põllumajanduse ja kalanduse alal katse- ja uurimistöö sihtide ja eesmärkide ülesseadmine;
- 2) Põllutöoministeriumi või vastavate kutseliitude komiteele lahendada antud põllumajanduse ja kalanduse edendamist ning nende ühenduses olevate teaduslike, tehniliste ja majanduslike küsimuste selgitamine;
- 3) katse- ja uurimistöö meetodika ühtlustamine;
- 4) teaduskongresside ja koosolekute korraldamine;
- 5) kontakti loomine ja hoidmine katseasutuste ja tegeliku põllumajanduse ning kalanduse vahel;
- 6) seisukohtade avaldamine uute katseasutuste avamise ja katseasutuste tööplaanide ning aruannete kohta;
- 7) seisukohtade avaldamine katseasutuste tegevuse lõpetamise kohta;
- 8) katseasutuste teadusuurimuste toimetamine trükis avaldamiseks.

Komitee juurde moodustati kuue eriala sektsioonid: põllumajanduse ratsionaliseerimine ja mehhaniseerimine (juhataja Th. Pool), taimekasvatus (N. Roots), loomakasvatus (J. Mägi), piimandus (M. Järvik), aianus ja mesindus (A. Mätlik) ning kalandus (A. Määr).

Riiklike ja riigi toetusel töötavate katseasutuste uurimistöö tulemused avaldati trükis Katseasjanduse nõukogu, hiljem Põllumajandusliku Uurimise ja Katseasjanduse Komitee toimetistena (kokku üle 100), milleks Põllutöoministeriumile määrati riigi eelarvest tarvilikud summad. Lisaks uurimistöö aruannetele koostati ja avaldati töötulemuste perioodilisi kokkuvõtteid, sh kogu esimest iseseisvusaega hõlmav kogumik 'Eesti põllumajandusteadus põllumehe teenistuses. Lühikokkuvõtteid uurimis- ja katseasutuste töötulemustest 1920.–1940. a'. (toimetanud J. Ümarik). Tartu, 1946, 616 lk. Nimetatud väljaanne jäi viimaseks selles sarjas ja kannab toimetiste järjekonnanumbrit 122.

Komitee tegevusaeg jäi lühikeseks. See katkes peatselt alanud poliitiliste sündmuste ja järgneva maailmasõja tõttu. Erilise panuse nii Katseasjanduse nõukogu kui hilisema komitee töö korraldamisse enne teist maailmasõda andis mõlema juhiks valitud Jaak Ümarik. Tema elukäigu ja tegevuse kohta on ajakirjas Agraarteadus 2001, nr 1, lk 56–64 avaldanud pikema kirjutise Meinhard Karelson.

Pärast Eesti taasiseseisvumist kerkis Katseasjanduse nõukogu taasloomise idee. 7. märtsil 2002 kutsuti

Põllumajandusministeeriumi initsiatiivil kokku koosolek, kus otsustati taimekasvatustliku teadusliku uurimistöö tõhustamiseks taasluua ministeeriumi juurde Katseasjanduse nõukogu. Koosolekul osalesid Põllumajandusministeeriumi, Taimetoodangu Inspeksiooni (nüüd Põllumajandusamet), Taimse Materjali Kontrolli Keskus (nüüd Põllumajandusuuringute Keskus), Eesti Põllumajandusülikooli agronoomiateaduskond (nüüd Eesti Maailikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut), EPMÜ Polli Aiandusinstituut (nüüd EMÜ Polli Aiandusuuringute Keskus), EPMÜ Taimebiotehnoloogia Uurimiskeskus EVIKA (nüüd EMVI taimebiotehnoloogia osakond EVIKA), Eesti Maaviljeluse Instituut (käib instituudi liitmisprotsessis Jõgeva Sordiaretuse Instituudiga) ja Jõgeva Sordiaretuse Instituut (nimi kahe instituudi liitmisprotsessis muutmisel).

Koosolekul osales 17 inimest, keda võib lugeda Katseasjanduse nõukogu taasasutaja liikmeteks. Koosolekust võtsid osa Toomas Kevvai, Andrus Õunmaa, Õne Sagur Põllumajandusministeeriumist, Illar Lemetti ja Endel Jaggo Taimse Materjali Kontrolli Keskusest, Roland Nymann ja Raina Mõttus Taimetoodangu Inspeksioonist, Rein Viiralt Eesti Põllumajandusülikooli agronoomiateaduskonnast, Toivo Univer ja Kersti Kahu EPMÜ Polli Aiandusinstituudist, Herki Saaremägi EPMÜ Eksperimentaalbioloogia Instituudist, Katrin Kotkas EPMÜ Taimebiotehnoloogia Uurimiskeskusest EVIKA, Arvi Kallas ja Erkki Honnolainen Eesti Maaviljeluse Instituudist ning Mati Koppel ja Ants Bender Jõgeva Sordiaretuse Instituudist. Koosolek valis artikli autori nõukogu juhatajaks, ülesandega moodustada töögrupp ja kavandada nõukogu ülesanded.

Asutuste esindajatest koostatud töögrupp kogunes 26. aprillil 2002 Eesti Maaviljeluse Instituudi ruumes ja sõnastas Katseasjanduse nõukogu peamised ülesanded, arutles nõukogu edasise liikmeskonna ning esialgse töökava üle. Koostatud materjale tutvustati ja kohendati sõnastust nõukogu koosolekul 25. juulil 2002 ning kinnitati need Põllumajandusministeeriumis 9. oktoobril 2002. Nõukogu ülesanded on:

- 1) taimekasvatustliku katsetegevuse teaduslik ja tegelik edendamine;
- 2) teadus- ja arendusasutuste vahelise teadusliku uurimistöö koordineerimine, kaasa aitamine kompleksuuringute planeerimisel ja läbiviimisel, teaduritevahelise koostöö toetamine;
- 3) tootmiskatsete korraldamise koordineerimine;
- 4) Eesti põllumajanduslikes uurimisasutustes läbiviidavate põld-, katmikala- ja laboratoorse katsete andmebaasi koostamine, igaaastane uuendamine ja elektrooniliselt kättesaadavaks tegemine;
- 5) vajadusel ka muude andmebaaside koostamine;
- 6) läbiviidavate katsete meetoodika läbiarutamine, kaasajastamine lähtuvalt hea katsetava põhimõtetest ning vajaduse korral taimekasvatustlikus uurimistöös eksperthinnangute andmine;

- 7) katsete läbiviimise ja heast katsetavast kinnipidamise jälgimine;
- 8) katseasutuste töötajale õppepäevade ja erialaekskursioonide korraldamine;
- 9) nõukogu täidab muid talle Põllumajandusministeeriumi pandud teadusliku uurimistööga ning katseasjandusega seotud ülesandeid;
- 10) nõukogu osaleb põllumajandusliku teabekirjanduse publitseerimisel. Nõukogu ei vähenda teadus- ja arendusasutuste õigusi ega piiranda nende initsiatiivi.

Katseasjanduse nõukogu liikmeskond on valitud asutuste ja nende suuremate allüksuste esindamise printsiibist lähtuvalt. Nõukogu korraldatavad üritused on aga mõeldud kõigile soovijale sõltumata sellest, kas ollakse liige või mitte. Nõukogu tööd juhib kolmeks aastaks valitud esimees ja viieliikmeline juhatus. Viimase koosseisu kuuluvad ka esimees ja Põllumajandusministeeriumi esindaja. 2013. aastaga lõpevad järjekorras neljanda juhatuse volitused. Aastatel 2002–2007 juhtis Katseasjanduse nõukogu Ants Bender, 2008. aastast tänaseni Enn Lauringson.

Möödunud 12 tegevusaastat annavad mõningase võimaluse vaadata tehtule tagasi ja mõtiskleda lähimivõimaliku üle.

Mis on vahepeal muutunud?

- 1) Nagu eespool märgitud, on Katseasjanduse nõukogu veel üsna lühikese tegutsemise aja jooksul muutunud kõigi nende asutuste nimetused (või on need artikli kirjutamise ajal muutmisel), kes olid nõukogu loomise juures ja kelle töötajad nõukogu tööst osa võtavad. Koos nime muutumisega muutusid ka asutuste struktuur ja isikkoosseis.
- 2) Mõödanikku silmas pidades oli esialgu planeeritud Katseasjanduse nõukogule sõnaõigus kaasa rääkida taimekasvatustliku uurimistöö finantseerimise küsimustes. Selle funktsiooni täitmiseks loodi aga hiljem Põllumajandusministeeriumi juurde teadusnõukogu.
- 3) Taimekasvatustlike rakendusüuringute aruannete ja projektitaotluste hindamiseks on Põllumajandusministeeriumi juurde moodustatud eraldi 7-liikmeline ekspertgrupp, kuhu kuuluvad tootja, töötaja, nõustaja, teadlane, kaks ministeeriumi töötajat ja aiandusliidu tegevjuht.
- 4) Tootmiskatsete paremaks läbiviimiseks on avatud eraldi toetusmeede 1.7.1.
- 5) Katseasjanduse nõukogu taasloomise ajal püsis arusaam, et teaduritel võib tekkida probleeme oma katsetulemuste publitseerimisel. Üsna pea need hirmud hajusid. Kujunes hoopis vastupidine olukord, kus eestikeelsetel väljaannetel napib kaastöid, sest emakeelseid trükiseid teadustöötaja töö hindamisel ei aktsepteerita ja teadurid ei ole sellisest publitseerimisest huvitatud.

Katseasjanduse nõukogu otsene töö on peamiselt olnud suunatud ülesannete 4–9 täitmisele. Loodame aga, et kogu meie tegevus on olnud suunatud ühtlasi katse-

tegevuse teaduslikule ja tegelikule edendamisele ning oleme sellega ka teaduritevahelist koostööd toetanud.

Kõigepealt seati sisse põld-, katmikala- ja laboratoorsete katsete elektrooniline andmebaas, mida uuendatakse kaks korda aastas. Andmebaas annab huvilistele võimaluse tutvuda ühes või teises asutuses läbiviidavate (või läbiviidud) katsetega, aitab vältida dubleerimist, kattuvate või lähedaste huvide korral saab koostöö korras ühe rajamisega lahendada mitut probleemi. Andmebaas on Põllumajandusuuringute Keskuse kodulehel ja kättesaadav kõigile, sh tegelikele põlumeestele, nõustajatele, kraadiõppureile jne. Artikli kirjutamise ajal on andmebaasis 330 põldkatset, lisaks katmikala ja laboratoorsed katsed. Arhiivist võib leida andmeid üle 800 katse kohta, mis on lõpetatud.

Põllumajandusteaduses (ka taimekasvatusteaduses) on probleeme teadurite järelkasvuga. Et saada olukorrad ülevaadet, seati sisse Katseasjanduse nõukoguga seotud kaheksas asutuses töötavate teaduskraadiga töötajate andmebaas, kus artikli kirjutamise ajal on andmed 105 inimese kohta. Kättesaadav on see samal kodulehel.

Tuginedes neile kahele andmebaasile, on Katseasjanduse nõukogu laiendatud koosolekutel koos tootjate, nõustajate ja Põllumajandusministeeriumi töötajatega läbi analüüsitud teadusliku uurimistöö seisukorra ja kaetuse teadlaskaadriga teravilja, kartuli ja heintaimede valdkonnas.

Nõukogu on igal aastal korraldanud ühe õppepäeva, kus on käsitletud katsete meetodika küsimusi. Eraldi õppepäevad on toimunud lüsimetrikatsete, rohumaa viljeluse katsete, viljapuude ja marjakultuuridega läbiviidavate katsete ning teraviljakatsete meetodika eripära tutvustamiseks. Lisaks korraldati Jõgeval õppepäev põldkatsete külviks ja koristamiseks soetatud kaasaegse katsetehnika kasutamise võimaluste tundmaõppimiseks.

Mitmel korral on korraldatud õppusi katsekoha mulda kirjeldamiseks. Neid on aidanud läbi viia EMÜ dotsendid, põllumajandusdoktor Enn Leedu ja filosoofiadoktor Endla Reintam, aga ka tehnikadoktor Edvin Nugis Eesti Maaviljeluse Instituudist. Eraldi on korraldatud teadureile õppus geoinfosüsteemide kohta ja nende kasutamise võimalustest katsetöödel, mida aitasid läbi viia EMÜ dotsent, filosoofiadoktor Alar Astover ja tehnikamagister Taavi Vösa Eesti Maaviljeluse Instituudist. Rohkearvulise osavõtjaskonnaga on olnud alati katseandmete statistilise töötamise õppused. Tunustatud selle ala õppejõud filosoofiadoktor Tanel Kaart on neid mitmest tsüklis koosnevaid õppusi läbi viimas ka praegusel ajal.

Katsete läbiviimise kulgu on nõukogu kontrollinud teadus- ja arendusasutustes korraldatud ringsõitudel. Nende käikude eesmärk on olnud hoida liikmeid kursis vabariigis läbiviidava taimekasvatuse uurimistööga, soodustada teaduritevahelisi kontakte ning anda impulsse asutustevaheliseks koostööks. Katsete ülevaatusel on kutsutud lisaks nõukogu liikmetele ka põllumajandusministeeriumi, ministeeriumi teadusnõukogu ja ekspertkomisjonidesse kuuluvaid tööta-

jaid. Ringsõidu lõppedes on koostatud nähtu kohta kirjalik kokkuvõte, kus antakse hinnang olukorrale ja tehakse ettepanekud edaspidi vajalike õppepäevade temaatika kohta. Osalejate salajasel hääletamisel on selgitatud ringsõidul nähtute seast parim katse ja selle esitleja, samuti külastatud asutuste seast parim asutus. Parimaks ülevaatusel esitatud katseks on osutunud Eesti Maaviljeluse Instituudis läbiviidud rapsi väetuskatse, esitleja põllumajanduskandidaat Karl Kaarli (aastal 2002), Eesti Maaviljeluse Instituudis külvikorra katse, esitlejad professor Paul Kuldkepp ja dotsent Enn Leedu (2003), Eesti Maaviljeluse Instituudi pikaajaline külvikorra ja diferentseeritud mullaharimise katse Kuusiku Katsekeskuses, esitleja põllumajanduskandidaat Peeter Viil (2004), talurukki 'Sangaste' säilitusaretuseks Jõgeva Sordiaretuse Instituudi Sangaste katsepunktis läbiviidav katse, esitleja Lea Ranniku (2005), maheviljeluse katse Põllumajandusuuringute Keskuse Kuusiku katsekeskuses, esitleja põllumajandusmagister Karli Sepp (2010), vana viljapuuaia kohale uue aia rajamise katse Eesti Maaviljeluse Polli Aiandusuuringute keskuses, esitleja põllumajanduskandidaat Toivo Univer (2011) ja teraviljade majanduskatse Põllumajandusuuringute Keskuse Viljandi katsekeskuses, esitleja Ülla Põldur (2012). Katseasjanduse nõukogu on ülevaatusel parimaks osutunud katsete esitlejaid autastanud diplomi ja meenega. Vahepealsetel aastatel katsete ülevaatusi ei korraldatud.

Katseasjanduse nõukogu on pidanud oma kohuseks hoida aktiivsemaid liikmeid kursis naaberriikides toimuvaga. Taimekasvatuse uurimistöö ja teadlaskaadri ettevalmistusega on käidud tutvumas Lätis, Leedus, Poolas, Saksamaal, Soomes, Rootsis ja Venemaal. Neil käikudel on nähtud mõndagi huvipakkuvat, saadud häid ideid, tutvutud kolleegidega, loodud sidemeid edaspidiseks koostööks.

Korduvalt on Katseasjanduse nõukogu külastanud kõiki taimekasvatuse uurimistööga seotud kodumaiseid uurimisasutusi, kus on saadud ülevaade jooksvast uurimistemaatikast, külastatud laboratooriume ja tutvutud kasutada oleva katsetehnikaga. Täname asutuste juhtkondi alatise valmisoleku eest meid vastu võtta.

Et hoida liikmeid kursis Eestis tootmises toimuvaga, on Katseasjanduse nõukogu ajastanud oma üritusi eri paigus toimunud vabariiklike põllupäevadega ja sügiseste künnipäevadega Olustveres, andes nii osavõtjatele võimaluse lisaks oma päevakorrale osaleda neil rahvarohkeil üritustel ka vaatlejaina.

Taimekasvatusteadlastele ja agronoomidele on korraldatud hulgaliselt õppepäevi, kus teadmisi on jaganud oma eriala kõrge kvalifikatsiooniga spetsialistid. Taimefüsioloogia õppepäevadel tutvustas fotosünteesi ja taimekasvu vahelisi seoseid Tartu Ülikooli emeriitprofessor, akadeemik Agu Laisk, taimede veerežiimi sama ülikooli rakendusökoloogia vanemteadur, bioloogikandidaat Anu Sõber, ülikoolis läbiviidavaid taimefüsioloogia katseid ja katseadmeid tutvustas professor Heino Moldau.

Geenitehnoloogia õppepäeval käsitles geneetilisel muundatud organismide olemust ja nende loomisvõimalusi Tallinna Tehnikaülikooli professor Erkki Truve (nüüd TTÜ teadusprorektor), Geenitehnoloogia instituudi õppekavasid ja läbiviidavat teadustööd instituudis tutvustas aga dotsent Kadri Järve.

Taimekasvatussaaduste uuemaid töötlemisviise käsitlev õppepäev viidi samuti läbi Tallinna Tehnikaülikoolis, kus professor Raivo Vokk pidas Katseasjanduse nõukogu liikmetele teemakohase sissejuhatava loengu "Taimekasvatussaaduste töötlemise suunad ja tootarenduslikud näited", sensoorset analüüsi käsitles oma ettekandes filosoofiadoktor Erge Tedersoo, toidu andmebaasi ja kohalike tooteid tutvustas filosoofiadoktor Tagli Pitsi. Samas tutvuti õppe- ja teadustöö korraldusega TTÜ Toiduainete instituudis.

Nõukogu korraldas seeria õppepäevi teemal "Taimekasvatusteaduslik teadusfoto", mille teoreetilise osa koos praktiliste õppustega aitasid läbi viia Tartu Kõrgema Kunstikooli õppejõud Vallo Kalamees, Tiit Lepp ja Toomas Vahur, mikrofotoograafia alal jagasid oma teadmisi kuulajatele toorkordse Zooloogia Botaanika Instituudi teadussekretär, bioloogiakandidaat Mart Rahi (fotograferimine elektronmikroskoobiga) ja instituudi direktor professor Urmas Tartes (fotograferimine valgusmikroskoobi abil ja fotode arvutitöötlus). Õppe lõpetuseks korraldas Katseasjanduse nõukogu Ants Benderi fotode baasil Eesti Põllumajandusmuuseumis fotonäituse pealkirjaga "Taimekasvatusteadus ja teadlased".

Taimekasvatusteaduslik uurimistöös põldkatsetel kasutatavaid aparate ja seadmeid õpiti tundma Eesti Maa- ja metsanduse Instituudis läbiviidud õppepäeval, kus ettekande tegid teaduste kandidaadid Jüri Kadaja, Peeter Viil, Jaanus Siim, Erkki Honnolainen ja teaduste magistrid Taavi Vösa ning Laine Keppart.

Maheviljeluse temaatikas on Katseasjanduse nõukogu käsitletud umbrohtusid ja nende tõrjet (ettekandjad EMÜ dotsent, põllumajandusdoktor Enn Lauringson, põllumajandusmagister Liina Talgre), aga ka herbitsiidide kasutamise kaasnõude ohtusid (ettekandja põllumajanduskandidaat Luule Metspalu). Eraldi on käsitletud väetamise temaatikat maheviljeluse tingimustes (emeritdotsent, põllumajandusdoktor Ervi Lauk). Koos Eesti Taimekaitse Seltsiga korraldati ühisüritus taimehaiguste esinemisest mahe- ja tavaviljeluses, kus käsitleti hallitussente esinemist teraviljakasvatuses, nende ohtlikkust ja hinnanguid toiduohutuse seisukohalt lähtudes (ettekandja EMVI vanemteadur, põllumajanduskandidaat Heino Lõiveke). Sama temaatikat rapsikasvatuses käsitles EMVI teadur, põllumajandusmagister Ene Ilumäe. Jõgeval läbiviidud õppepäeval olid vaatluse all mahetingimustesse sobivate sortide valiku printsiibid ja sealsete aretajate sellesuunaline tegevus.

Katseasjanduse nõukogu liikmetele korraldati õppusteemal "Taimekasvatusteaduslik teaduskirjanduse kättesaadavus ja selle parandamise võimalused", mille viisid läbi Eesti Maaülikooli raamatukogu juhataja pr Tiina Toivre ja pearaamatukoguhoidja pr Kai Paabumets. Samuti on korraldatud informeeriv üritus põllumajandusteadusliku ja populaarteadusliku teabe avaldamise ja levitamise võimaluste kohta. Viimast aitasid läbi viia Akadeemilise Põllumajanduse Seltsi president, ajakirja Agraarteadus väljaandmise eest vastutav EMÜ dotsent, põllumajanduskandidaat Heldur Peterson, ajakirjade Maamajandus ja Maakodu peatoimetaja hr Ülo Kalm, ajakirja Agronomy Research peatoimetaja, filosoofiadoktor Rein Lillak, väljaande Hüva Nõu toimetaja pr Merike Koov ning instituutide teadusväljaannete koostajad-toimetajad.

Katseasjanduse nõukogu on korraldanud ühisüritusi koos Eesti Rohumaade Ühinguga, Eesti Taimekaitse Seltsiga ja koos põllumajandusnõustajatega.

Katseasjanduse nõukogu on osalenud Kuusiku katsekeskusesse põllumajanduspari rajamisel, andes seal oma panuse kivivaia ehitamisel. Selleks korraldati Saaremaalt pärit asjatundja hr Kalmer Raua juhendamisel eraldi õppepäev. Eesti Maaülikooli Rõhu katsejaamas õpiti ühiselt viljapuude suvist hooldusloikust (juhendas põllumajandusmagister Madli Jalakas), tutvuti uusimate õuna- ja maguskirsi sortidega (teene-line teadlane, põllumajandusdoktor Kalju Kask). Puuvilja- ja marjasortide degusteerimisi on mitmel korral läbi viidud EMÜ Polli Aiandusuringute Keskuses (juhendajad põllumajanduskandidaadid Toivi Univer, Heljo Jänes ja Asta- Virve Libek).

Külastatud on tegelikke tootjaid, et selgitada probleeme, mis vajaksid uurimist. Meenuvad külaskäigud Marjamaa tallu Vana-Kuustes (peremees hr Tõnu Oks) ja Pilsu tallu Tartumaal, kus kõrvuti mahetootmine (pr Marge Ajaots) ja tavatootmine (vabariigi populaarseim põllumees 2010 hr Madis Ajaots), ning osatühingusse Männiku Piim, kus kõrgel järjel nii taime- kui loomakasvatus. Tootmist juhib hr Avo Samartüütel (aasta põllumees 2011).

Katseasjanduse nõukogu liikmeskond tänab kõiki, kes on õppe- ja teabepäevade korraldamisele lektoritena kaasa aidanud. Tänu võlgname ka pikaajalistele juhatuseliikmetele põllumajandusdoktor Ervi Laugile ja hr Endel Jaggole, kes on andnud oma kaaluka panuse nõukogu töö jooksva korraldamisel.

Katseasjanduse nõukogu tänab Põllumajandusministeeriumi rahalise toe eest.

## ILMAR JÜRISSEON – 100



13. augustil 2012. a möödus 100 aastat põllumajandusteadlase ja riigitegelase Ilmar Jürissoni sünnist. Tema sünnikodu on Halinga vallas Pärnumaal, tema vanemad olid talupidajad. Ilmar Jürissoni koolitee algas Halinga algkoolis ja jätkus Jänedal Põllutöökeskkoolis. 1948. a lõpetas ta NLKP KK Kõrgema Parteikooli ja 1953. a Eesti Põllumajanduse Akadeemia.

Ilmar Jürissoon oli hingelt põllumees. Jänedal õpitud tarkusi ja Taanis praktilik olles nähtut asus ta rakendama oma kodutalus. Noore haritud põllumehe unistused katkesid 1940. aasta juunisündmuste keerises. Aktiivse ühiskonnategelasena tõmmati ta kaasa oma koduvalla ja Pärnumaa võimuorganite töösse. 1941. a evakueerus I. Jürissoon Kurgani oblastisse ja 1943. a heideti lennukilt koos oma salga liikmetega Pärnumaale. Eduka tegevuse eest partisani-na anti talle Lenini ja Punalipu orden. Need autasud pehmendasid talle 1950. a EKP KK VIII pleenumil esitatud süüdistusi kodanlikus natsionalismis ja piirduti tema perifeeriasse saatmisega.

Pärast sõja lõppu sai Ilmar Jürissoonist Pärnumaa TSN Täitevkomitee esimees. 1946. a määrati ta loomakasvatuse ministriks. Ministeerium likvideeriti varsti ja I. Jürissoon asus taas Pärnumaa TSN TK esimehe ametikohale. Kahel korral (1949–1950 ja 1957–1959) oli Ilmar Jürissoon põllumajandusministri asetäitja. Vahepealsetel aastatel oli ta koolimees: aastast 1950 Väimela Loomakasvatustehnikumi ja aastast 1954 Kolhooside Juhtiva Kaadri Ettevalmistamise Keskkooli direktor Kehtnas. Kõige pikemaks ja viljakamaks kujunes Ilmar Jürissoni töötamine aastatel 1959–1979 Eesti Maaviljeluse ja Maaparanduse Teadusliku Uurimise Instituudi direktorina ja aastatel 1979–1985 teadusdirektorina Sakus.

Saku instituudil olid uurimisbaasid kogu vabariigis. 1985. a oli instituudil 19 uurimisüksust, mille koosseisu kuulus 22 sektorit ja laboratooriumi, 28 uurimisgruppi ja 7 katsemajandit. Juba Väimelas ja Kehtnas pööras Ilmar Jürissoon suurt tähelepanu uusehitiste projekteerimisele ja ehitamisele. Lisaks tootmis- hoonetele valmis Kehtnas ka uus koolihoone. Sakku rajati isotoopide labor koos katseväljakuga, silolabor, mehhaniseerimise osakond koos töökodadega, köögiviljanduse osakonna tööruumid koos kasvuhoonetega. Peahoones leidis koha arvutuskeskus. 1974. a valmis taimekaitsejaam ja seejärel keemiahoone ning näitusepaviljon. Palju ehitati töötajatele korterelamuid. Saku asulast sai teaduslinnak, mis pälvis üleliidulise autasu.

Teadlasena oli Ilmar Jürissoon pühendunud piimakarja suurfarmide ja kultuurkarjamaade rajamisele. Majandusteaduste kandidaadi väitekirja *Kultuurkarjamaasööda ja suveperioodil toodetava piima ning veiseliha omahinna alandamise teed Eesti NSV-s* kaitses Ilmar Jürissoon 1963. a. Kandidaaditöö edasiarendusena kaitses ta 1973. a majandusteaduste doktori väitekirja *Eesti NSV veisekasvatuse kasutatavate söötade ökonoomiline hinnang ja kultuurkarjamaade osatähtsus suurfarmide arengus*. Väitekirjade laialdane temaatika haaras inimese, taime ja looma omavahelisi seoseid ning poliitilisi ja majanduslikke suhteid. Korduvalt esines ta rohumaa- viljeluse rahvusvahelistel kongressidel ja viibis teaduskomandeeringutel Soomes ja Rootsis. 1977. a anti talle Helsingi Ülikooli audoktori tiitel. Ilmar Jürissoni teeneid hinnati kõrgelt ka riiklikul tasandil. Seda kinnitavad arvukad medalid, ordenid ja aukirjad.

Direktorina oli Ilmar Jürissoon oma kaastöötajate ja alluvate suhtes tähelepanelik ja abivalmis. Samas oli ta väga seltskondlik, lõi kaasa EMMI estraadiorkestris trompetistina, propageeris ja harrastas tervisesporti. Ta oli hea poeg oma vanematele, hea abikaasa ja isa oma lastele.

Ilmar Jürissoon suri 13. veebruaril 1985. a ja on maetud Metsakalmistule.

E. Vesik





