



Agraarteadus
*Journal of
Agricultural Science*

Vol. 30
Special Issue 2
November 2019

Erinumber *Special Issue 2* • XXX • 2019
p-ISSN 1024-0845, e-ISSN 2228-4893

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

AGRAARTEADUS

JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE



~~~~~  
**Akadeemilise Põllumajanduse Seltsi väljaanne**  
*Estonian Academic Agricultural Society publication*  
**Tartu 2019**



## Toimetuskolleegium / Editorial Board

### Peatoimetaja / Editor-in-chief

**Alo Tänavots** Estonian University of Life Sciences

### Toimetajad / Editors

**Maarika Alaru** Estonian University of Life Sciences

**David Arney** Estonian University of Life Sciences

**Tanel Kaart** Estonian University of Life Sciences

**Marko Kass** Estonian University of Life Sciences

**Evelin Loit** Estonian University of Life Sciences

**Marten Madissoo** Estonian University of Life Sciences

**Toomas Orro** Estonian University of Life Sciences

**Ants-Hannes Viira** Estonian University of Life Sciences

### Nõukogu / Advisory Board

**Berit Bangoura** University of Wyoming, USA

**Ants Bender** Estonian Crop Research Institute, Estonia

**Edward Hernando Cabezas-Garcia** Agri-Food and Biosciences Institute, UK

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

**Edenio Detmann** Federal University of Viçosa, Brasil

**Margareta Emanuelson** Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden

**Martti Esala** Natural Resource Institute Finland, Luke, Finland

**Marek Gaworski** Warsaw University of Life Sciences, Poland

**Csaba Jansik** Natural Resource Institute Finland, Luke, Finland

**Aleksandrs Jemeljanovs** Latvia University of Life Sciences and Technologies, Latvia

**Iveta Kociņa** Institute of Food Safety, Animal Health and Environment "BIOR", Latvia

**Zita Kriaučiūnienė** Aleksandras Stulginskis University, Lithuania

**Olav Kärt** Estonian University of Life Sciences, Estonia

**Hussain Omed** Bangor University, UK

**Sven Peets** Harper Adams University, UK

**Jan Philipsson** Swedish University of Life Sciences, Sweden

**Vidmantas Pileckas** Lithuanian University of Health Sciences, Lithuania

**Jaan Praks** Estonian University of Life Sciences, Estonia

**Baiba Rivza** Latvia University of Life Sciences and Technologies, Latvia

**Mart Sõrg** Tartu University, Estonia

**Vita Tilvikienė** Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Lithuania

**Merko Vaga** Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden

**Rein Viiralt** Estonian University of Life Sciences, Estonia

---

**Abstracted / indexed:** AGRICOLA, AGRIS, CABI, CABI Full Text, DOAJ, EBSCO, SCOPUS

**p-ISSN:** 1024-0845, **e-ISSN:** 2228-4893

*Väljaandmist toetab Eesti Maaülikool / Supported by Estonian University of Life Sciences*

*Trükk / Print: OÜ Vali Press*

*Kaanepilt / Cover image by macrovector / Freepik*



Euroopa Liit  
Euroopa  
Regionaalarengu Fond



Eesti  
tuleviku heaks



**Eesti Maaülikool**

Estonian University of Life Sciences

Tehnikainstituut  
Institute of Technology

[www.emu.ee](http://www.emu.ee)

Käesoleva kogumiku väljaandmist toetab Eesti Maaülikooli ASTRA projekt „Väärtusahelapõhine biomajandus“. Erinumber on valminud Akadeemilise Põllumajanduse Seltsi ja EMÜ Tehnikainstituudi koostöös.

# AGRAARTEADUS

## JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE

Erinumber 2 ♦ XXX ♦ 2019

PÕLLUNDUSTEHNIKA 100

---

|                      |                                                                                                           |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Väljaandja:          | Akadeemiline Põllumajanduse Selts                                                                         |
| Peatoimetaja:        | pm-dr Alo Tänavots                                                                                        |
| Tehniline toimetaja: | pm-mag Irje Nutt                                                                                          |
| Aadress:             | Fr. R. Kreutzwaldi 1, 51006 Tartu                                                                         |
| e-post:              | jas@emu.ee                                                                                                |
| www:                 | <a href="https://aps.emu.ee">https://aps.emu.ee</a> , <a href="http://agrt.emu.ee">http://agrt.emu.ee</a> |

---

Agraarteaduses avaldatud teaduspublikatsioonid on retsenseeritud

### SISUKORD

#### KROONIKA

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>M. Arak</i>                                                                            |    |
| Hea lugeja .....                                                                          | 1  |
| <i>J. Olt, R. Ilves</i>                                                                   |    |
| EMÜ tehnikainstituudi põllumajandus- ja veotehnika töörühm .....                          | 3  |
| <i>E. Merisalu, M. Reinvee</i>                                                            |    |
| Ergonoomikaõpe Eesti Maaülikooli tehnikainstituudis .....                                 | 11 |
| <i>E. Aruvee</i>                                                                          |    |
| Füüsikud ja matemaatikud Eesti Maaülikoolis .....                                         | 17 |
| EMÜ tehnikainstituudi ja Tartu tehnikakolledži akadeemiline pere (seisuga 11.11.2019) ... | 21 |

#### TEADUSARTIKLID

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>A. Enn, E. Merisalu</i>                                                                                            |    |
| Tööõnnetuste levimus eesti põllumajanduses aastatel 2008–2017 .....                                                   | 23 |
| <i>V. Karpov, A. Nemtsev, T. Kabanen, A. Annuk</i>                                                                    |    |
| RETRACTION: Determination of efficiency in the design phase of the enterprise by the method of finite relations ..... | 32 |
| <i>V. Karpov, J. Zhguliiov, T. Kabanen, A. Annuk</i>                                                                  |    |
| Energy efficiency of consumption – methods of analysis and evaluation .....                                           | 39 |
| <i>V. Palge, A. Grigor</i>                                                                                            |    |
| Juhtumianalüüs: Energiakulu analüüs põllumajandustoodangu väärindamisel talus autoklaavi abil .....                   | 44 |
| <i>B. Reppo, J. Kuzmin</i>                                                                                            |    |
| PULSAVI meetod töötaja töö raskusastme ja energeetilise koormatuse määramiseks ja hindamiseks .....                   | 51 |
| <i>V. Shkrabak, S. Levashov, R. Shkrabak, V. Kaljuga, E. Merisalu, T. Kabanen</i>                                     |    |
| Analysis and evaluation of effectiveness of interventions for prevention of occupational accidents .....              | 56 |

# AGRAARTEADUS

## JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE

Special Issue 2 ♦ XXX ♦ 2019

AGRICULTURAL MACHINERY 100

---

|                   |                                                                                                           |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Published by:     | Estonian Academic Agricultural Society                                                                    |
| Editor in Chief:  | Alo Tänavots DSc (agriculture)                                                                            |
| Technical Editor: | Irje Nutt MSc (animal science)                                                                            |
| Address:          | Fr. R. Kreutzwaldi 1, 51006 Tartu,                                                                        |
| e-mail:           | jas@emu.ee                                                                                                |
| www:              | <a href="https://aps.emu.ee">https://aps.emu.ee</a> , <a href="http://agrt.emu.ee">http://agrt.emu.ee</a> |

---

Research articles published in *Agraarteadus* are peer-reviewed

### CONTENTS

#### RESEARCH ARTICLES

|                                                                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>A. Enn, E. Merisalu</i><br>The prevalence of work accidents in Estonian agriculture in 2008–2017 .....                                                                                        | 23 |
| <i>V. Karpov, A. Nemtsev, T. Kabanen, A. Annuk</i><br>RETRACTION: Determination of efficiency in the design phase of the enterprise by<br>the method of finite relations .....                   | 32 |
| <i>V. Karpov, J. Zhguliiov, T. Kabanen, A. Annuk</i><br>Energy efficiency of consumption – methods of analysis and evaluation .....                                                              | 39 |
| <i>V. Palge, A. Grigor</i><br>Case Report: Analysis of energy consumption at processing of agricultural production<br>by using an autoclave on a farm .....                                      | 44 |
| <i>B. Reppo, J. Kuzmin</i><br>PULSAVI: a method for determining and assessing the workload and energy expenditure<br>of workers .....                                                            | 51 |
| <i>V. Shkrabak, S. Levashov, R. Shkrabak, V. Kaljuga, E. Merisalu, T. Kabanen</i><br>Analysis and evaluation of effectiveness of interventions for prevention of occupational<br>accidents ..... | 56 |

## HEA LUGEJA

Tehnika ja tehnoloogia on tänases maailmas oluline kõikide eluvaldkondade juures. Eesti Maaülikoolis on see üks arengukavas märgitud kuuest fookusvaldkonnast ja on seotud kõikide EMÜ instituutide ja vastusvaldkondadega. Maaelu ja sellega seotud valdkondades on Maaülikool läbi aegade harinud üliõpilasi põllundus- ja tootmistehnika ning energeetika erinevatel erialadel ning oma valdkonnas insenere ette valmistanud. 20 aastat tagasi täienes see nimekiri ergonomiika valdkonna ja vastava õppekavaga ning alates 2007. aastast on õpetatud üliõpilasi ka tehnootronika ja biotehniliste süsteemide rakenduskõrghariduse õppekavadel.

Eelpool toodu elluviimiseks on Eesti Maaülikoolis kaks insenerivaldkonnas teadus-, arendus- ja õppetööd tegevat struktuuriüksust: tehnikainstituut ja Tartu tehnikakolledž (loodud aastal 2007). Kui EMÜ põhilise tegevuse võtab kokku biomajanduse valdkonna nimetus, siis tehnikainstituudi tegevused on fokusseerunud kahte vastusvaldkonda: biomajandustehnoloogiad ja energiakasutus. Nende tegevuste elluviimiseks töötab tehnikainstituut alates 1. septembrist 2017. a EMÜ nõukogu poolt kinnitatud korralduse

alusel järgmise struktuuriga: biomajandustehnoloogiate õppetool (õppetooli juht professor Timo Kikas), energiakasutuse õppetool (õppetooli hoidja professor Andres Annuk), matemaatika ja füüsika osakond (osakonna juhataja lektor Eve Aruvee), õppetöökoda ning instituudi administratsioon. Instituudiga sama katuse all töötab ka Tartu tehnikakolledž.

Tehnikainstituudis ja Tartu tehnikakolledžis on 2019/2020 õppeaastal ametis 72 töötajat, kes igapäevaselt seisavad hea selle eest, et meie kõikide tasemete üliõpilased oleksid hästi õpetatud ja hoitud, teadus oleks oma valdkonnas esirinnas ning arendustegevus ühiskonnale oluline ja vajalik.

Käesolev "Agraarteaduse" erinumber on pühendatud põllundustehnika õpetamise 100-ndale aastapäevale Eestis ning siit leiame ülevaate nii selle valdkonna ajaloost kui ka artikleid tänase tehnikainstituudi teiste tegevus- ja uurimisvaldkondade kohta.

Margus Arak  
EMÜ tehnikainstituudi ja  
Tartu tehnikakolledži direktor



# EMÜ TEHNIKAINSTITUUDI PÖLLUNDUS- JA VEOTEHNICA TÖÖRÜHM

Jüri Olt, Risto Ilves

Eesti Maaülikool, tehnikainstituut, biomajandustehnoloogiate õppetool,  
Fr. R. Kreutzwaldi 56/1, 51006 Tartu

E-mail: jyri.olt@emu.ee

## Sissejuhatus

Pöllumajandus- ja veotehnica töörühm moodustati 2009. aastal mootorite katselabori ja pöllumajandustehnika labori baasil. See tulenes loogikast, et pöllumajandusagregaat koosneb teatavasti kahest masinast, veo- või jõumasinast või energiamoodulist ning töömasinast. Nagu näiteks künniagregaat (traktor Fendt Vario + ader Pöttinger Servo Plus Nova), külviagregaat (John Deere 5R + 740 A), põimniiduk (Xerion + Cougar 1400C), või on kujundatud liikurmasinana, kus jõu- ja töömasin on kokku ehitatud, nagu näiteks teraviljakombain (Claas Lexion jt), liikurprits (Agrifac Condor Endurance II, jt), liikurniiduk (Krone Big M 420), liikurhekseldi (John Deere 8600i) ja suhkrupeedi-kombain (Holmer Terra) jne. Nüüdisaja masinaehitust ja tootmist iseloomustab see, et masinad, sh põllutöömehhanismid ja seadmed muutuvad üha keerukamaks, nende erinevate variantide ja tootegruppide arv suureneb, tootearenduse aeg ning toote kasutamise tsükkel lüheneb. Nende protsessidega tuleb arvestada inseneride ettevalmistamisel. Oluline on veel rõhutada, et nüüdisajal kujutavad pöllumajandusmasinad endast peaaegu täielikult mehhatroonilisi tehnilisi lahendusi. Nüüdisajal on muutunud aktuaalseks pöllumajandusagregaatide juhtimisega ja vajaduspõhise toimimisega seotud arengud. Tänapäeva pöllumajandusettevõtte ei ole kahjuks tähtis mitte sugugi ainult kõrge saagi saamine, vaid eelkõige kõrgema kasumi saamine. Sellest tulenevalt on ülioluline pöllumajandussaaduste tootmise erikulu vähendamine. See eeldab ühelt poolt sisendite (materjalide-, kütuse- ja tööjõukulu) optimeerimist ning teiselt poolt agregaatide tootlikkuse suurendamist, kusjuures tootlikkus  $W$  oleneb peamiselt pöllumajandusagregaatide töölaadusest  $B$ , töökiirusest  $v_m$  ja tööaja kasutamise efektiivsusest  $\tau$  ehk  $W = B \cdot v_m \cdot \tau$ .

## Pöllumajandus- ja veotehnica töörühma koosseis

Pöllumajandustehnikaga tegeleva grupi moodustavad professor Jüri Olt, teadur Kaarel Soots, doktorandid Margus Arak, Riho Kägo ja Tormi Lillerand ning oma lõputööd tegevd bakalaureuse ja magistriastme üliõpilased, ning tihti ka teiste struktuuriüksuste õppejõud, nagu näiteks hetkel mitme poolelioleva koostööga matemaatika ja füüsika osakonna dotsent Olga Liivapuu ja energia-kasutuse õppetooli lektor Erkki Jõgi. Tihedad koostöökontaktid on grupil välisteadlastega, kellest nimekamad

on Ukraina Maa- ja bioressursside ülikooli mehhanismide ja masinate teooria professor akadeemik V. Bulgakov ning Sankt-Peterburgi Maaülikooli mehaanika teaduskonna dekaan professor V. Maksarov.

Veotehnica grupi tuumiku moodustavad dotsent Risto Ilves ning doktorandid Veljo Raide ja Keio Küüt. Praegusajal kuulub grupi koosseisu veel külalisprofessor Marcis Jansons USA-st. Grupi ajutisteks liikmeteks võib pidada samuti oma lõputööd tegevd magistri- ja bakalaureuse astme üliõpilasi. Pöllumajandus- ja veotehnica töörühma koosseisu kuulub veel õppemeister Mihhail Ivanov.

## Õppetöö korraldamise loogika

Õppetöö on korraldatud nii, et bakalaureuse astmes tehnica ja tehnoloogia erialal on erialaainete "Pöllumajandusmasinad" ja "Autod-traktorid" peamiseks märksõnaks masinkasutus ehk need on sisuliselt kirjeldavad kursused. Magistri astmes on tootmistehnika erialal õppekava üldiseks märksõnaks tootearendus ehk erialaained on valdavalt teoreetilisi laadi kursused. Alates 2015. aastast sisaldab tootmistehnika õppekava eriala valikainete alammoduleid, millest töörühma kanda on "Autotehnica" ja "Pöllumajandustehnika". Mõlemad valitavad alammodulid koosnevad 4 erialaainest ja nende kummagi maht on kokku 20 EAP.

Pöllumajandustehnika õppelaboris hoitakse püsiekspositsiooni masinate näol vähe, kuna kasutatakse pöllumajandustehnika nn vastutavale hoiule võtmise taktikat. Sellest on võitnud nii üliõpilased, kes labortööde käigus saavad uurida peamiselt uusimat tehnikat, kui ka tehnikat vastutavale hoiule andvad müügiesindused, eelkõige masinate tasuta reklaami näol üliõpilaste hulgas. Püsiekspositsioonina kasutatakse näiteks pidevalt uuendatavat ja täiendatavat kobarstendi (joonis 1).

Mootorite katselabor on varustatud Schenck Dynas3 LI250 mootorite katsestendiga (joonis 2a). Katsemootoriks on AVL 5402 ühesilindriline diiselmootor, mis võimaldab läbi viia katsetusi erinevate biokütustega, muuta mootori juhtparameetreid ning tagab katseandmete stabiilsuse. Mootorikatsetuste käigus mõõdetakse kütusekulu (AVL 7351), õhukulu (AVL Flowsonix Air 100), ohtlike ühendite osakaal heitgaasides (Bosch BEA 350) ja põlemisrõhk silindris (AVL 621). Veotehnica katseseadmete juurde kuuluvad ka traktorite (joonis 2b) ja sõiduaudode katsestendid.



a)



b)

**Joonis 1.** Kobarstend: a – pneumokülvik, b – mineraalväetiselautur



a)



b)

**Joonis 2.** Mootorite katselabori seadestik: a – mootorite katsesend, b – traktorite katsesend

### Teadus- ja arendustöö temaatika ja tulemused

EMÜ tehnikainstituudi põllundus- ja veotehnika töörühma uurimisteemad on järgmised:

1) kultuurmarjade masinviljelustehnoloogiate arendus, sh väetus- (täppisväetusroboti), hooldus- (kontaktörjeseadme), koristus- (mustikakoristi/roboti), koristusjärgse esmatöötlusseadmete (sujuvalt muudetava fraktsioneerimispiluga marjasorteri) modelleerimine ja arendus;

2) põllundusmasinate, sh kartuli-, suhkrupeedi-, tööstuskanepi jm külvi- ja koristusmasinate jm tehnoloogiliste seadmete tööprotsessi modelleerimine ja arendus;

3) freesturba tootmise automatiseerimine;

4) biolagunevate ja komposteeruvate lauanõude tootmisprotsessi arendus;

5) biokütuste omaduste ja mõju uurimine sisepõlemismootori efektiivsusele ja ökonoomsuslikele parameetritele ja heitgaaside emissioonile;

6) biomanuste mõju uurimine kolbmootori kütusele ja masinaelementidele;

7) põllundusagregaadi liikumisdünaamika;

8) masinapargi monitooring ja kasutusefektiivsuse hindamine;



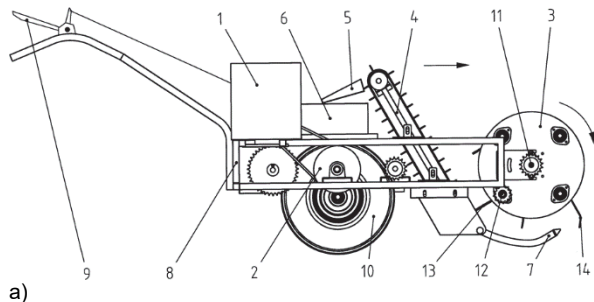
9) põllumajanduslik masinaehitus: materjalide löikeprotsessi dünaamika (laastutekkeprotsessi kirjeldamine, vibratsiooni mõju uurimine, laastumurdmine) renoveeritud või valmistatud detailide pinnaviimistlus, sh magnetabasiivne poleerimine jne.

Toodud loetelust nähtub, et teemad on paljuski tootearenduslikud. Meie arvates peab tootearendusliku tööga kaasnema leiutustegevus. Leiutustegevuses on tehnika-instituudis aegade jooksul olnud erinevaid aktiivsusperioode. Leiutustegevuse tulemusena on ajavahemikul 1967–2018 registreeritud 45 autoritunnistust, 23 patenti ja 2 kasuliku mudelit. Perioodil 1989–2009 leiutustegevust ei toiminud. Mõned iseloomulikud leiutised on järgmised: kobesturader (SU810096, F167285, SE421738, FR2500254), vurräke (SU1099859), kivi-kaitseeadis (SU1772901), haagik kahele külvikule (SU1250180, SU1473729, SU1732828, SU1839285, AU2834689, FI923036, HU202023), põimreasharimis-masin kartuli kloonvaliku meetodi tarbeks (SU1130182, SU1813321), põlluplaneer (SU1400525), mineraalväetiselaoti (SU1168129), mulla separaator kartuli koristusjärgsel töötlemisel (SU809679, SU1115671, SU1115812, SU1256717, SU1440400, 1181580), jaoturilaadur (SU1042648), konveierkaal (SU1224595) jt.

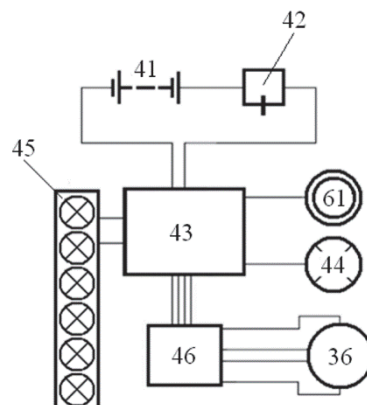
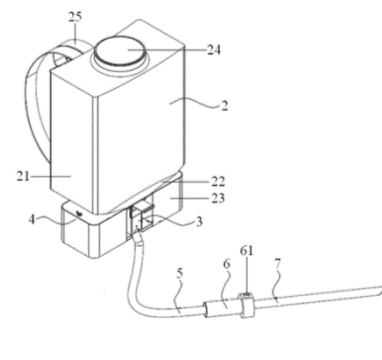
Järgnevalt esitame lühiülevaate viimasel kümnendil töörühma poolt tehtud tootearenduslikest töödest.

Põllumustehnika grupi mustika masinviljeluse arendamise töögrupi koosseisu kuuluvad Jüri Olt, Margus Arak, Kaarel Soots jt. Grupi arendusteemaks on ammendunud freesturbaväljadele rajatud mustikastandikele tehniliste ja tehnoloogiliste seadmete modelleerimine (Olt jt, 2013). Töögrupi eestvõttel on üliõpilaste tootearendusprojektide raames valmistatud mustikakombaini prototüüp (joonis 3), portatiivne kohtväetusseade (joonis 4), umbrohu kontakttõrjeseade (joonis 5), rihmsorteer (joonis 6).

Patendiga EE05488B1 kaitstud mustikakoristi on väikeliikurmasin, mis sisaldab ajamit koos ülekanedega, parallelogramkorjehasplit, marjasegu konveierit, marjasuunurit, marjamahutit, koperseadist, raami masinaelementide ja koostude toetamiseks, juhthoobasid ja veermikku (Arak, Olt, 2014). Mustikakoristi tööorganite ummistuste ja mustikataimede vigastuste vältimiseks on korjehasplid varustatud elementidega mustikavarte orienteerimiseks korjekammi ette, kusjuures korjekammi piid on taimevigastuste vältimiseks kujundatud elastsetena.



Joonis 3. Mustikakoristi põhimõtteskeem (a) ja prototüüp (b) (EE05488B1)



Joonis 4. Portatiivne kohtväetusseadme mudel (a), juhtseadis (b) ja prototüüp (c) (EE01058U1)

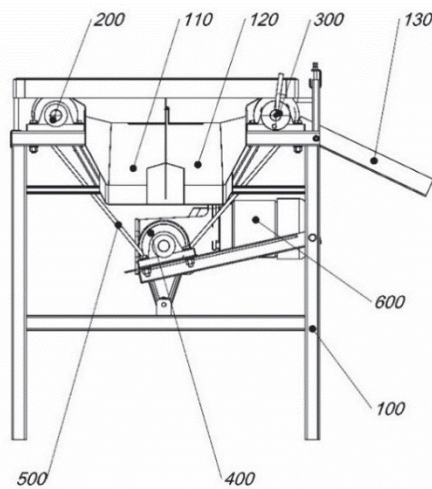
Portatiivne kohtväetuseade (joonis 4), mis on kaitstud kasuliku mudeli tunnistusega EE01058U1 sisaldab õlarihmadega varustatud seljas kantavat paagikujulist väetisekasti, annustamiseadist, käepidet, väetisejuha ja annustamisotsikut. Annustamistäpsuse tagamise eesmärgil on annustamiseadis kujundatud mahtannustina, kusjuures mahtannusti käitamiseks sisaldab seade ajamit, mis on kujundatud elektri-ajamina ning ühendatud ajami tööd juhtiva juhtseadisega. Annustamiseadme elektri-ajami ülesannet



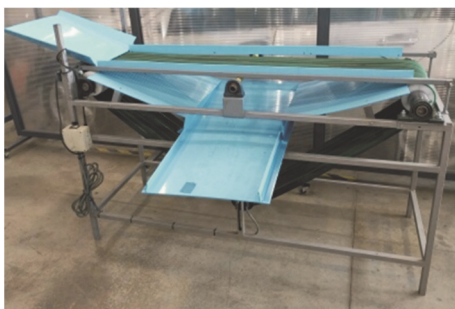
a)

**Joonis 5.** Umbrohu kontakttõrjeseade mudel (a) ja prototüüp (b)

Selle teema käigus uuriti ka mustikataime mehaanikalisi omadusi – mustikavarre tõmbetugevust ning marja ja selle saba vahelist kinnitustugevust ning saba ja varre vahelist kinnitustugevust. Selle töö tulemused on publitseeritud (Arak jt, 2018).



a)



b)

**Joonis 6.** Marjasorteer: a) üldvaade, b) prototüüp, c) reguleeritava rulli koostisosad, d) rulli mudel, e) rulli alternatiivne tehniline lahendus (EE05642B1 ja EE05798B1)

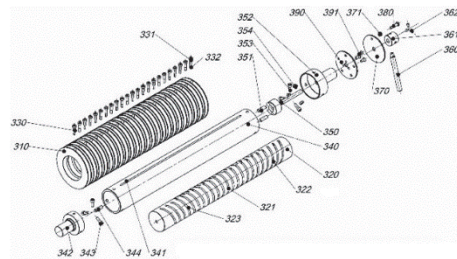
täidab samm-mootor. Annustamiskoguse reguleerimise eesmärgil on mahtannusti maht kujundatud muudatavana, kusjuures mahtannusti maht on sujuvalt muudetav ning varustatud mehaanilise reguleeriseadisega, mis kujutab endast kruviseadist.

Umbrohu kontakttõrjeseade (joonis 5) sisaldab tööelemendiga varustatud haaratsit, toruvalt, käepidet, päästikut, herbitsiidi paaki ja kanderihma. Seadme tööpõhimõtte seisneb umbrohu puudutamises herbitsiidist niiske tööelemendiga.

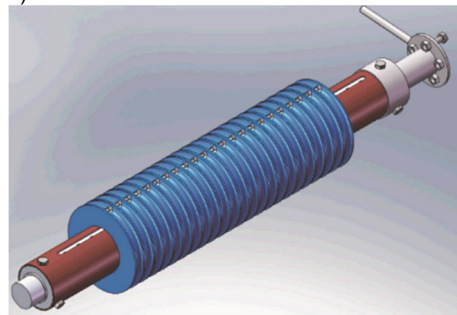


b)

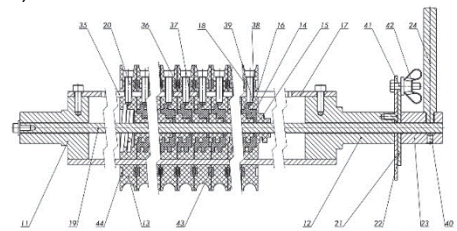
Joonisel 6 on kujutatud marjade rihmsorteer, mis võimaldab marjade koristusjärgsel esmatöötlusel astmevabalt ja kiiresti muuta rihmarataste vahekaugust, siis kui vahetub sorteerimist vajav marjasort või tüüp.



c)



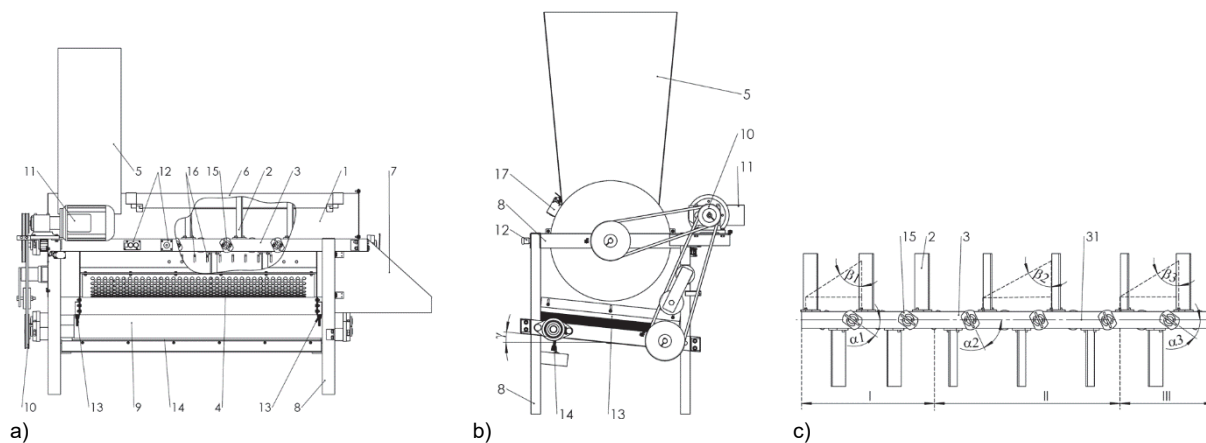
d)



e)

Astelpaju sorteeri (joonis 7) puhul on tegemist statsionaarse või teisaldatava masinaga, mis sisaldab ajamit koos ülekannetega, marjamassi segamise ja liigutamise eraldustrumlit ning võlli koos labadega, tihvte astelpajumarjade ja okste paremaks eraldamiseks, vahetatavat sõela astelpajumarjade eraldamiseks, ajami juhtnuppe ja ohutuslüliteid, astelpajumarjade ja

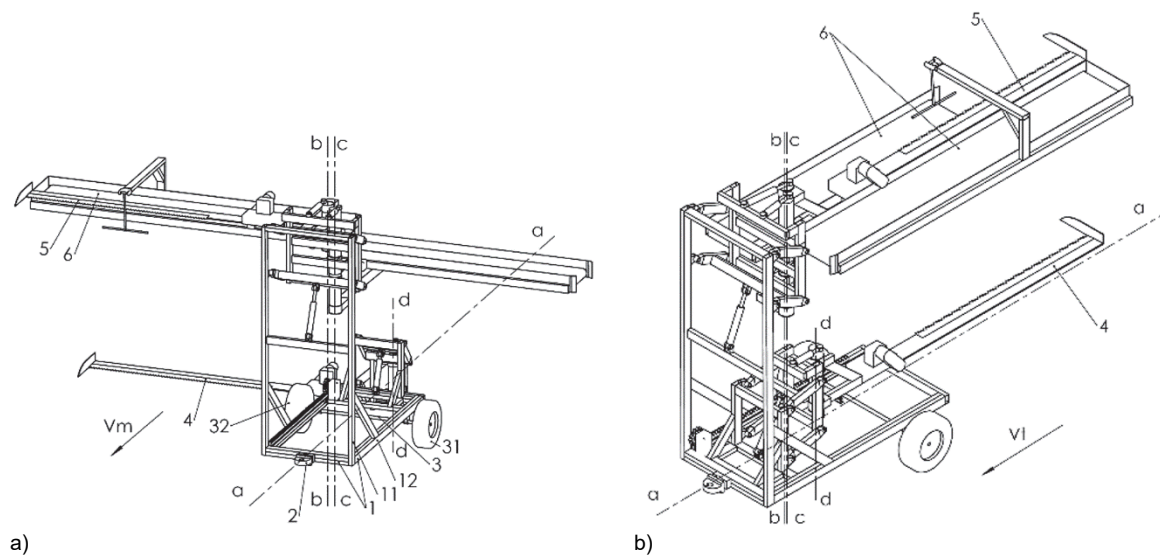
okste suunureid ning raami masinaelementide ja koostude toetamiseks. Astelpajumarjade okstest eraldamise seadme marjamassi liigutamise ja segamise võllil paiknevad labad piki võlli krüvijoonele ja on keeratud võlli telje suhtes nurga alla. Labade krüvijoonele paigutus ja nurk ühes trumli põhjas paikneva sõelaga tagavad astelpajumarjade parima eraldumise okstest.



Joonis 7. Astelpaju sorteeri: a – eestvaade, b – otsvaade, c – tööseadis (EE05717B1)

Töörühmas on projekteeritud kanepikoristi (joonis 8), mis sisaldab raami külge kinnitatud kahte, ülemist ja alumist lõikeseadet, ülekannet lõikeseadmete käitamiseks ja reguleerseadist lõikeseadmete lõikekõrguse seadistamiseks, põikkonveierit pöörise edastamiseks ja laadimiseks kõrval olevale veokile ning mehhanismi ülemise lõikeseadme ja põikkonveieri pööramiseks töö- ja teisaldusasendisse ning alumise lõikeseadme

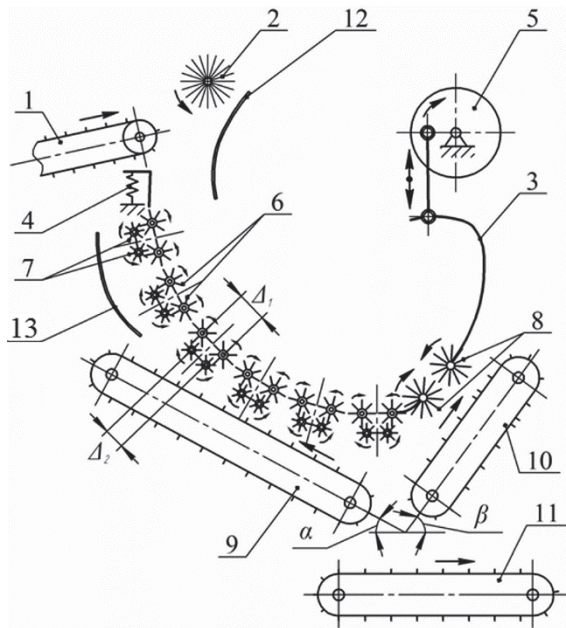
nihutamiseks ning pööramiseks töö- ja teisaldusasendisse. Ülemine lõikeseade ja põikkonveieri mõlemad osad on kinnitatud raami külge liigendite abil ning sisaldab hüdrosilindrit põikkonveieri ülemise osa pööramiseks. Alumine lõikeseade on samuti kinnitatud raami külge liigendi abil ning sisaldab hüdrosilindrit lõikeseadme pööramiseks ning hammasmehhanismi alumise lõikeseadme nihutamiseks pikisihis.



Joonis 8. Kanepikoristi töö-(a) ja teisaldusasendis (b) (EE05740B1)

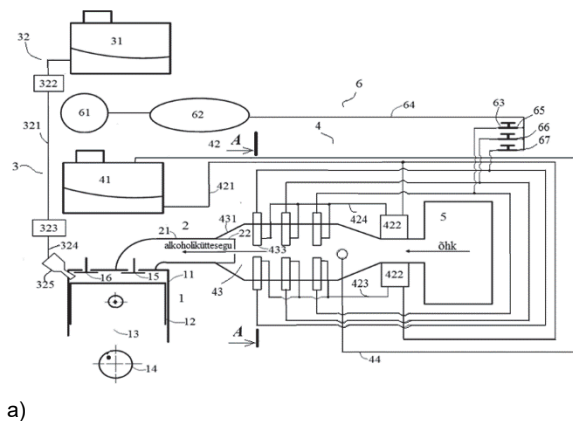
Koostöös Kiievi Maa ja bioressursside ülikooli professori Volodymyr Bulgakoviga on keskendunud põllundustehnika ja -tehnoloogia modelleerimisele. Koostöö hõlmab erinevate masinaagregaatide (traktor-põllutõmasin) liikumisdünaamikat (Adamchuk jt, 2016; Bulgakov jt, 2016a), sh külviagregaadi liikumisstabiilsuse parendamist (Bulgakov jt, 2016a), seemendi modelleerimist (Bulgakov jt, 2016b), teraviljakombainipargi kujundamise ja uuendamise teoreetilisi aluseid

(Bulgakov jt, 2015), kartuli koristusjärgse töötlemise kvaliteedi parendamist (Bulgakov jt, 2017, 2019), põllundusliku sild(portaal)agregaadi modelleerimist (Bulgakov jt, 2017, 2018). Koostöös Ukraina kolleegidega on projekteeritud mugul- ja juurviljade edastamise ning sõelumise meetod ja harisõelur (joonis 9).



**Joonis 9.** Mugul- ja juurviljade harisõeluri põhimõtteskeem (EE05817B1)

Praegusajal on üheks olulisemaks põllundustehnika arendusteamaks põllutehnoloogiate robotiseerimine



a)

**Joonis 10.** Alkoholkütuse toitesüsteem (EE05665B1): a – põhimõtteskeem, b – paiknemine katsemootoril

(Bakker jt, 2010; Bechar, Vigneault, 2016, 2017; Bonadies, Gadsden, 2019). Seetõttu tegeleb ka põllundus- ja veotehnika töörühm robotiseerimise temaatikaga, täpsemalt mustikaistanduse täppisväetustehnoloogia väljatöötamisega, mille eesmärgiks on mehitamata väetusroboti arendus. Teiseks uueks teemaks on turbatööstuse automatiseerimine, mille uurimused on tihedalt seotud mehitamata veokiga Milrem Robotics UGV (*unmanned ground vehicle*). Mõlemad nimetatud teemad kuuluvad põllumajandusliku mehhatroonika valdkonda.

2009. a alustati mootorite katselaboris uurimist bioetanooli kasutamiseks siseõlemismootori kütusena. Praeguseks on maailmas kasutusel väga erineva etanoolisisaldusega biokütused. Puudub piisav informatsioon selle kohta, kuidas mõjutavad erineva etanoolisisaldusega kütused tänapäevase mootori võimekust (mootori poolt arendatavat võimsust ja pöörde-momenti), mootori ökonoomsust (mootori kütusekulu, kütuse erikulu) ning heitgaaside keemilist koostist, või on informatsioon kohati vasturääkiv. Tollane bioenergeetika, praegune põllundus- ja veotehnika töörühm seadis eesmärgiks uurida mootori nimetatud omadusi erineva etanoolisisaldusega kütuste ja tavakütuse kasutamisel. Töötati välja kolbmootori küttesegu moodustamise uus meetod ja põimtoitesüsteem (joonis 10).



b)

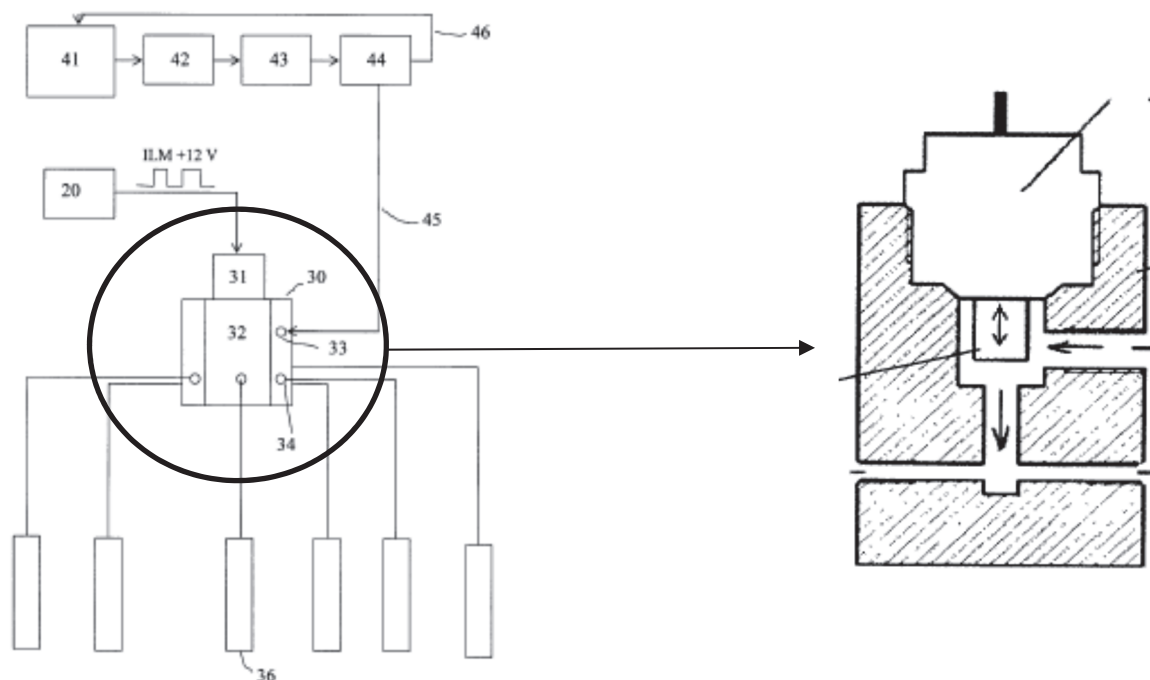
Sellele tööle järgnes lisatoitesüsteemi väljatöötamine vedelate biokütuste doseerimiseks siseõlemismootoris (EE05693B1), mis on näha joonisel 11. Väljatöötatud lisatoitesüsteem võimaldab doseerida biokütuseid mootoris iseseisva süsteemina, võttes arvesse mootori koormust.

Täienduseks patendile EE05665B1 töötati välja lisatoitesüsteem vedelate biokütuste doseerimiseks surveütega mootoris (EE05741B1). Toitesüsteem võimaldab moodustada küttesegu erinevatest biokütustest ning doseerida seda surveütega mootoris (joonis 12).

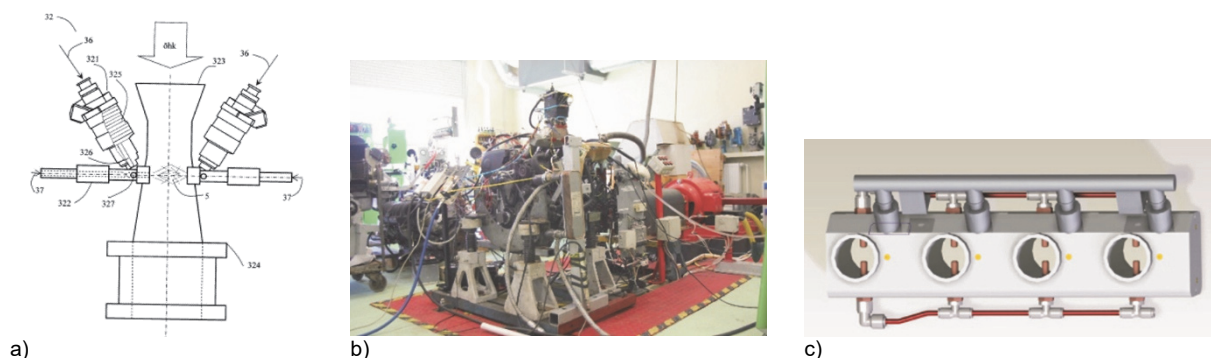
Lektor Ülo Traadi algatusel ja eestvedamisel tegeleti töörühmas juba eelmisel kümnendil põllumajandusliku

masinapargi kujunemise ja kasutuskulude uurimisega. Teema on oluline ja kuigi Ülo Traat on meie hulgast lahkunud, on töö selles suunas jätkunud tänaseni. Põllutöomasinapark Eestis on viimase kümnendi jooksul kardinaalselt muutunud nii mahult kui ka struktuurilt.

Perioodil 2009–2019 kaitsiti põllundus- ja veotehnika töörühmas 4 doktoritööd (K. Tamm, A. Küüt, R. Ilves, K. Soots), millest põllundustehnika valdkonda kuuluvad nendest kaks (K. Tamm ja K. Soots) ja veotehnika valdkonda kaks (A. Küüt ja R. Ilves). Praegu on põllundus- ja veotehnika töörühmas tegutsemas ja doktoriväitekirja koostamas viis doktoranti.



Joonis 11. Lisatoitesüsteem vedelate biokütuste doseerimiseks sisepelemismootoris (EE05693B1)



Joonis 12. Lisatoitesüsteem vedelate biokütuste doseerimiseks survesüütega mootoris (EE05741B1): a – põhmõtteskeem, b – selle paiknemine mootoril ning c – täiendatud prototüüp

### Kokkuvõte

EMÜ tehnikainstituudi biomajandustehnoloogiate õppetooli koosseisu kuuluv põllundus- ja veotehnika töörühm on kaasanud oma teadus- ja arendustöösse kõigi kolme astme (bakalaureuse-, magistri- ja doktoriõppe) üliõpilasi ning on teinud õppetööd teaduspõhiselt. Alates töörühma moodustamisest 2009. aastal on publitseeritud 55 kategooria 1.1 artiklit, saadud leiutiste eest 16 patenti ning 2 kasulikku mudelit. Mitmete teadusartiklite ja leiutiste kaasautorid on olnud üliõpilased.

### Kirjandus

Adamchuk, A., Bulgakov, V., Nadykto, V., Ilnatiev, Y., Olt, J. 2016. Theoretical research into the power and energy performance of agricultural tractors. – *Agronomy Research*, 14(5):1511–1518.

Arak, M., Soots, K., Starast, M., Olt, J. 2018. Mechanical properties of blueberry stems. – *Research in Agricultural Engineering (RAE)*, 64(4):202–208. doi: 10.17221/90/2017-RAE.

Arak, M., Olt, J. 2014. Constructive and kinematics parameters of the picking device of blueberry harvester. – *Agronomy Research*, 12(1):25–32.

Bakker, T., van Asselt, K., Bontsema, J., Müller, J., van Straten, G. 2010. A path following algorithm for mobile robots. – *Autonomous Robots*, 29(1):85–97. doi: 10.1007/s10514-010-9182-3.

Bonadies, S., Gadsden, S.A. 2019. An overview of autonomous crop row navigation strategies for unmanned ground vehicles. – *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 12(1):24–31. doi: 10.1016/j.eaef.2018.09.001.

Bechar, A., Vigneault, C. 2016. Agricultural robot for field operations: Concept and components. – *Biosystems Engineering*, 149:94–111. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014.

- Bechar, A., Vigneault, C. 2017. Agricultural robot for field operations. Part 2: Operations and systems. – *Biosystems Engineering*, 153:110–128. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2016.11.004.
- Bulgakov, V., Adamchuk, V., Arak, M., Olt, J. 2015. Mathematical modelling of the process of renewal of the fleet of combine harvesters. – *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 7:35–39.
- Bulgakov, V., Adamchuk, V., Arak, M., Nadykto, V., Kyurchev, V., Olt, J. 2016a. Theory of vertical oscillations and dynamic stability of combined tractor implement unit. – *Agronomy Research*, 14(3):689–710.
- Bulgakov, V., Adamchuk, V., Gorobey, V., Olt, J. 2016b. Theory of the oscillations of a toothed disc opener during its movement across irregularities of the soil surface. – *Agronomy Research*, 14(3):711–724.
- Bulgakov, V., Adamchuk, V., Kuvachov, V., Arak, M., Olt, J. 2017. Study into movement of wide span tractors (vehicles) used in controlled traffic farming. In: *Proceedings of the 28th International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation"* (Ed. B. Katalinic). 2017 November 08–11, Zadar, Croatia. Vienna, Austria: DAAAM International, 28(1):0199–0208. doi: 10.2507/28th.daaam.proceedings.027.
- Bulgakov, V., Melnik, V., Kuvachov, V., Olt, J. 2018a. Theoretical Study on Linkage Unit of Wide Span Tractor. – In: *Proceedings of the 29th International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation"* (Ed. B. Katalinic). 2018 October 24–27, Zadar, Croatia. Vienna, Austria: DAAAM International, 29(1):0180–0189. doi: 10.2507/29th.daaam.proceedings.026.
- Olt, J., Arak, M., Jasinskas, A. 2013. Development of mechanical technology for low-bush blueberry cultivating in the plantation established on milled peat fields. – *Agricultural Engineering*, 45(2):120–131.

# ERGONOOMIKAÕPE EESTI MAAÜLIKOOLI TEHNIKAINSTITUUDIS

Eda Merisalu, Märt Reinvee

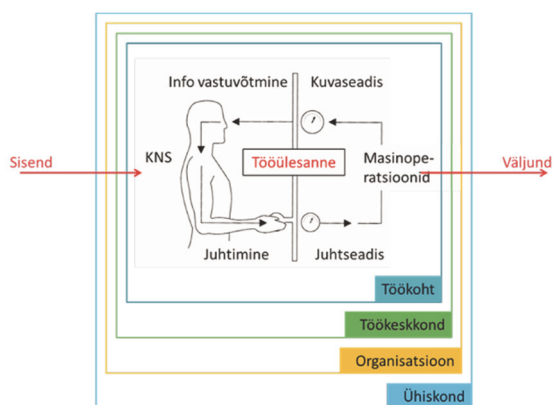
Eesti Maaülikool, tehnikainstituut, biomajandustehnoloogia õppetool,

Fr. R. Kreutzwaldi 56, 51006 Tartu

E-mail: eda.merisalu@emu.ee

## Sissejuhatus

Ergonoomika on rakendusteadus inimese töövahendite, töövõtete ja töökeskkonna optimeerimisest. Teaduse tasandil tegeleb ergonoomika süsteemi Inimene-Masin-Keskond (IMK) elementide (joonis 1) vastastikuse mõju uurimisega. Kutseala tasandil rakendatakse töötamiskohtade ja töövahendite kujundamisel ergonoomika põhimõtteid ja uurimismeetodeid ning teaduse tasandil kogutud andmeid, et luua töötajatele ohutud, mugavad ja tervist säästvaid töötingimused ja tõsta süsteemi IMK jõudlust (IEA, 2019).



Joonis 1. Süsteem inimene-masin-keskkond (Grandjean, 1988, EVS-EN ISO 26800:2011)

Tööandjat motiveerib töötingimusi parendama eelkõige see kui töökeskkonda tehtud investeering tasub end ära suurenenud tõhususe või tootlikkusena. Samas sõltub tootlikkus pikas perspektiivis töötaja tervise säilimisest ja lühikeses perspektiivis töötaja ebamugavustunde puudumisest. Mõlema eelduseks on see, et töökeskkond, töövahendid ja tööviisid arvestaksid inimese vajaduste, võimete ja puudujääkidega. Seetõttu on ergonoomika keskseks põhimõtteks inimkesksus (EVS-EN ISO 26800:2011) – töö tuleb kohandada inimesele, mitte vastupidi. Need inimese omadused millest inimkeskse tehnika või keskkonna loomisel lähtuda on seotud peamiselt inimese kehaliste ja vaimsete võimete, mille tundmine on kitsama spetsialiseerumisega ergonoomika spetsialisti ehk ergonoomi ülesanne. Rahvusvaheline Ergonoomika Assosatsioon eristab kolme spetsialiseerumist (IEA, 2019):

1) Füüsiline (kehaline) ergonoomika keskendub anatoomiast, antropomeetriast, füsioloogiast ja biomehaanikast lähtuvate tegurite seoste füüsilise aktiivsusega.

2) Kognitiivne (tunnetuslik) ergonoomika keskendub vaimsete protsesside (taju, mälu, info töötlemine ja õppimine) mõjule inimene-masin-keskkond süsteemis.

3) Organisatsiooniline ergonoomika keskendub sotsiotehniliste süsteemide optimeerimisele.

Enamik probleeme, mida ergonoom lahendada peab eeldavad mitme spetsialiseerumisvaldkonna teadmisi.

## Kes on ergonoom?

Kutsestandard "Ergonoom, tase 7" ütleb, et ergonoomi eesmärk on ennetada tööga seotud haigestumisi ja tööõnnetusi ning säilitada ja edendada töötaja tervist ja töövõimet, tagada töötaja heaolu ning tõsta tootlikkust. Kutsestandardi järgi on ergonoomi töö osadeks: 1) töökorralduse analüüsimine ja hindamine; 2) töökeskkonna riskianalüüs ja terviseriskide vähendamine; 3) töökeskkonna kujundamine; 4) inimene-masin-keskkond süsteemi optimeerimine; 5) osalemine tööõnnetuste ja tööga seotud haigestumiste ja õnnetusjuhtumite uurimises ning ennetamises; 6) tööandjate ja töötajate nõustamine ning teavitamine. Kutsestandardis loetletud ülesanded on mõnevõrra laiemad kui ette nähtud sotsiaalministri määrusega "Töötervishoiu-spetsialistide tööülesanded töötervishoiuteenuse osutamisel": 1) töökeskkonna füsioloogiliste ja psühholoogiliste ohutegurite väljaselgitamine riskianalüüsi käigus ning nende võimaliku mõju hindamine töötaja tervisele; 2) tööandja nõustamine töökoha ergonoomilisel kujundamisel ja töö kohandamisel töötajale, arvestades töötaja kehalisi ja vaimseid võimeid ning soolisi ja ealisi iseärasusi; 3) tööandja nõustamine töövahendite valikul ja ohutul kasutamisel.

Eeltoodu ühtib ka Rahvusvahelise Ergonoomika Assosatsiooni arusaamaga ergonoomi ülesannetest (IEA, 2001): 1) uurib ja analüüsib ergodisainilisi vajadusi, et saavutada vastavus töö, toodete või keskkonna omaduste ja inimese vajaduste, võimete vahel; 2) korraldab, analüüsib, tõlgendab ja dokumenteerib ergonoomikalisi hindamisi; 3) hindab inimese võimete töö nõuetele vastavust ja planeerib sellest lähtuvalt muudatused; 4) viib muudatused ellu ja hindab nende mõju.

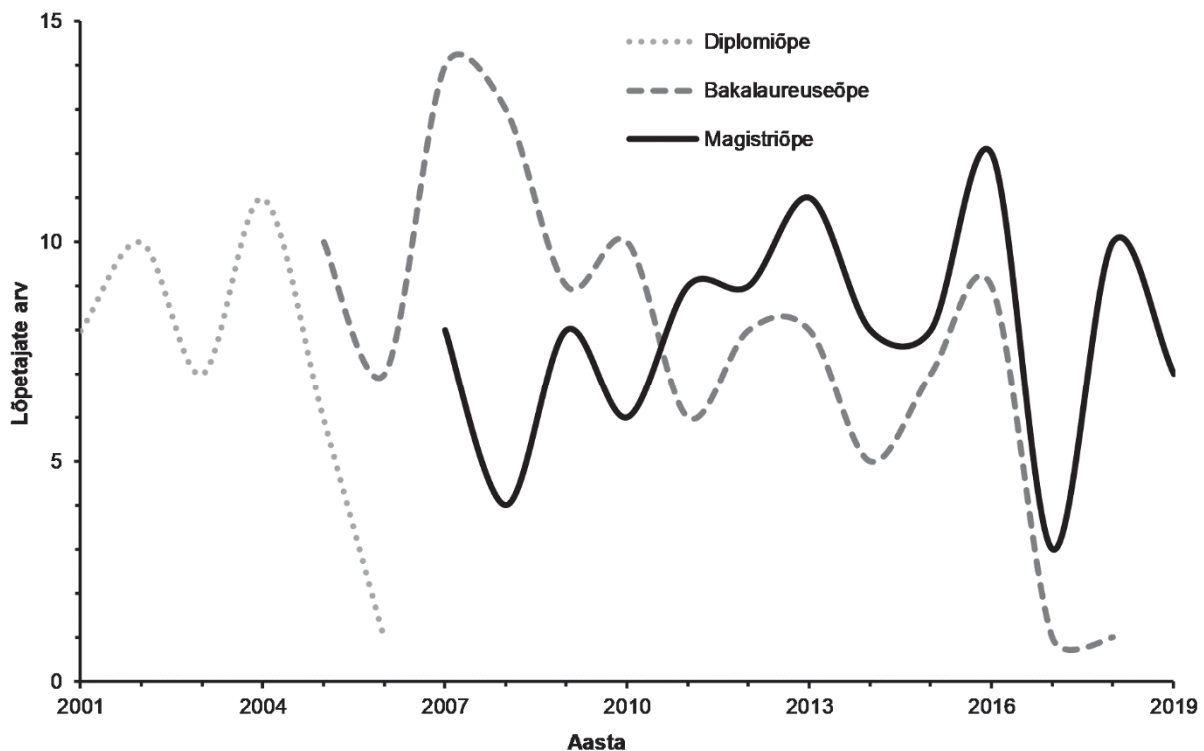
## Ajalugu

Ergonoomika mõiste oli kasutuses juba XIX saj Poolas, kus 1857. a Wojciech Jastrzębowski, lähtudes loodusteaduste põhitõdedest, oli kirjutanud raamatu "Ergonoomika ehk tööteadus". Laiemalt hakati ergonoomikast rääkima XX sajandi alguses kui 1919. a avaldas Poola teadlane Józefa Joteyko raamatu "Tööteadused ja selle korraldus", milles oli toodud tööteadusliku juhtimise printsiibid, seal hulgas tööväsimuse mõõtmise meetodika. Jaapanis loodi 1921. a Kurashiki Tööteaduste Instituut ja ilmus Kan-ichi Tanaka raamat "Tööefektiivsus: Ergonoomika". Inimkeskse lähenemise printsiip tugines siin psühholoogiale, kuid analüüsiti ka inimjõu ökonoomset kasutamist tööl. Nüüdisaegse ergonoomika algus jääb aga Teise maailmasõja järgsesse aega, kui 1949. aastal defineeris K. F. H Murrell ergonoomika mõiste kui tööteaduse kahe kreeka keelse sõna *εργον* (*ergon*, töö) ja *νομος* (*nomos*, seadus) põhjal. 1959. a loodi Rahvusvaheline Ergonoomika Assotsiatsioon (*International Ergonomics Association* ehk IEA) ja seejärel tekkis hulgaliselt ergonoomika seltsi ja ühinguid kogu maailmas (Pinder, 2017).

Ergonoomika valdkonna õpetamine Eesti Maaülikoolis (EMÜ) kasvas välja Eesti Põllumajandusülikooli (EPMÜ) töökaitse õppetoolist, mis loodi iseseisva üksusena EPMÜ Tehnikateaduskonnas 1992. a. Seoses EPMÜ reorganiseerimisega viidi töökaitse õppetool põllumajandustehnika instituudi koosseisu. Sel perioodil toimusid iseseisva Eesti ettevõtetes suured muudatused, mistõttu kasvas vajadus kvalifitseeritud töökeskkonnaspetsialistide järele. Sel ajal alustas tööd ka tööinspeksioon. Aastal 1994 viidi EPMÜs sisse

põllumajandustootmise ohutusõpe. Lektor Alar Seiler luges inseneridele töökaitse põhikursust, töökeskkonna ohutust ja ohutustehnikat. Kolm aastat hiljem toetas tööhutusalaiste õppekavade avamist sotsiaalministeeriumi töökeskkonna ja töökaitse osakond (juhataja dr Milvi Jänes) ja haridusministeerium (dr Ain Heinaru). EPMÜ Nõukogu otsusega kinnitati 1998. a kevadel ergonoomika diplomioõppe õppekava, mis alustas tööd sama aasta sügisel. Kuna aga 3-aastane õppekava ei võimaldanud omandada põhjalikke inseneeria ja erialaseid teadmisi, töötati välja uus õppekava kaasaegses Bologna süsteemis (3+2), mis sisaldas 3-aastast bakalaureuseõpet ja 2-aastast magistriõpet. Aastal 2002 alustasid bakalaureuseõppes esimesed 10 üliõpilast ja 2005. a jätkasid need kümme õpinguid magistriõppes (Veinla jt, 2009). Tänapäevaks on läbinud ergonoomika diplomioõppe 43 ja bakalaureuseõppe 148 üliõpilast. Ergonoomika magistriõppekava läbinud spetsialiste on kokku 103 (joonis 2).

Ergonoomika magistriõppekava läbinud spetsialist saab alates 2016. aastast ergonoomi kutse (tase 7). Hetkel on kutseregistris 18 ergonoomi (Kutsekoda, 2019). Varasema õppekava versiooni alusel lõpetanud (sisseastunud enne 2015) vajavad täiendõpet, et ühtlustada teadmised kutsestandardi nõuete tasemele. See annaks võimaluse ergonoomi kutsetunnistuse väljastamiseks ka varem lõpetanutele. Lisaks Eesti kutsesüsteemile on ergonoomil võimalik taotleda ka rahvusvahelisi kutseid. Alates 2018. a kannab euroergonoomi tiitlit ergonoomika magistriõppe lõpetanud ning hetkel Tartu Ülikoolis liikumisteaduste doktorandina ja eraettevõtte *Ergoway* tegevjuhina töötav Triinu Sirge.



Joonis 2. Ülevaade kõrgharidusega ergonoomika spetsialistidest



## Ergonoomika õppeprogramm

### Bakalaureuseõpe

Bakalaureuseõppe tasemel (3 aastat, 180 EAP) on ergonoomika üks kolmest spetsialiseerumisest tehnika ja tehnoloogia õppekavas. Ergonoomika bakalaureuseõppes omandatakse põhiteadmised töökeskkonna ohuteguritest ja nende mõõdistamistest, riskianalüüsist, ergonoomika ja ergodisaini alustest ning ohutusjuhtimisest tootmisettevõtetes. Ergonoomika spetsialiseerumise valinud üliõpilane omandab eriala õpeainete läbimisel järgmised teadmised ja oskused: 1) omab süsteemset teadmist töökeskkonda käsitlevatest seadustest; 2) oskab analüüsida ja hinnata riske töökeskkonnas; 3) oskab kasutada sisekontrolli-, riskianalüüsi- ja teisi diagnoosimeetodeid informatsiooni kogumiseks ning tulemuste tõlgendamiseks kriitiliselt ja loovalt; 4) tunneb mõõtetehnikat, mõõtmismeetodeid; 5) oskab iseseisvalt kavandada, teha ning vormistada töökeskkonnavalase uurimise tulemusi; 6) tunneb ehitustööde ohutuse tagamise aktuaalseid probleeme, oskab neid formuleerida, süsteemset käsitleda ja lahendada; 7) oskab turvalise ja mugava töökeskkonna ning töökoha loomisel kasutada tehniliselt ja ergonoomiliselt sobivaid vahendeid, tehnoloogiaid ja meetodeid; 8) valdab erialaseks tööks vajalikke suhtlusoskusi, rakendades tööohutuse psühholoogia-, tööfüsioloogia- ja hügieenilaseid teadmisi.

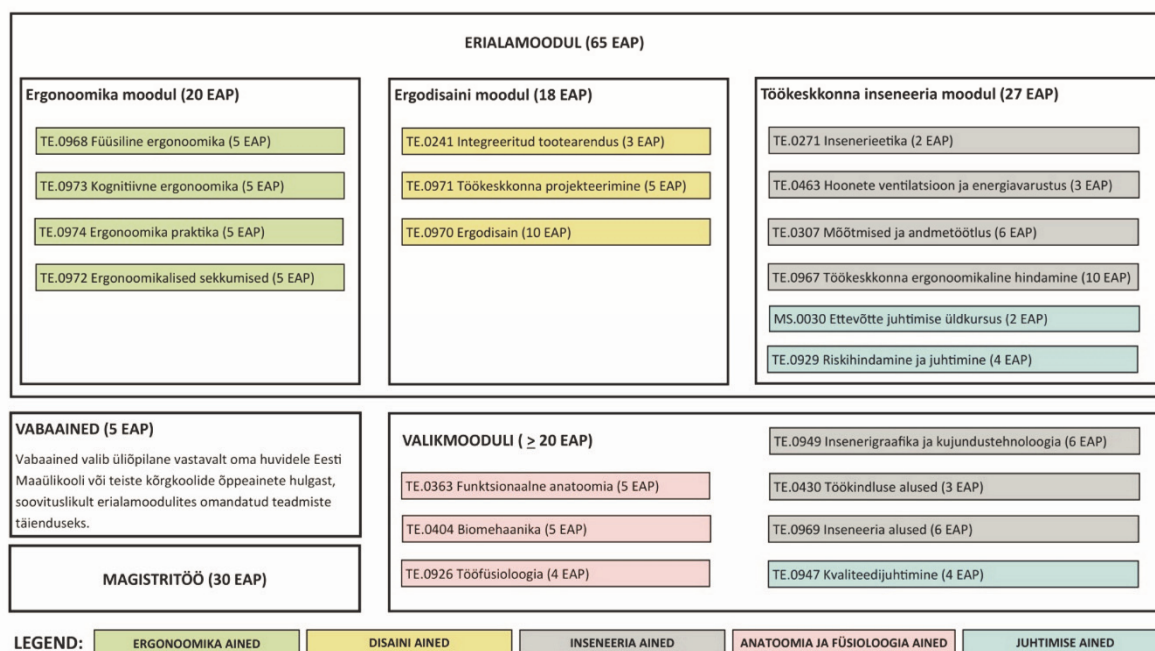
Tööturul on bakalaureuse haridusega ergonoom hinnatud spetsialist, kes katab tööhügieeniku eriala nõudmised. Ta nõustab tööandjat ja töötajaid töökeskkonna, töötamiskoha, masinate ja töövahendite ohutuse küsimustes; aitab leida ergodisainilisi lahendusi töökohtade, töövahendite ja töökeskkonna kujundamisel; hindab tööasenditest ja raskuste tõstmisega seotud skeletilihaste ülekoormusriski; oskab koostada ja

täiustada masinate ning töötajate tööga seotud ohutusjuhendeid; nõustab tööandjat ja töötajaid ohutute töövõtete ning tööprotsessi korraldamisel. Omandatud teadmised ja oskused võimaldavad jätkata õpinguid ergonoomika magistriõppes.

### Ergonoomika magistriõpe

Ergonoomika magistriõppekava (skeem joonisel 3) eesmärgiks on valmistada ette laiapõhjaliste teadmistega spetsialiste, kes oskavad alus- ja rakendusteaduse tasemel kavandada, projekteerida ning juhtida ettevõtte töötehnoloogiat. Magistriõppekava erialamoodul (65 EAP) sisaldab ergonoomika ja disaini aineid ning ettevõtte juhtimise ja inseneeria valdkonda puudutavaid teemasid. Valikmoodulis (20 EAP) on võimalus valida ainetel vahel, mis puudutab põhjalikumalt inimest (funktsionaalne anatoomia, tööfüsioloogia, biomehaanika ja kinesiooloogia). Samuti saab siin laiendada oma teadmisi inseneeria alal. Magistritöö (30 EAP) võimaldab ergonoomika üliõpilastel arendada teaduspõhist lähenemist praktiliste uurimisteede lahendamisel ja tulemuste kriitilisel analüüsil. Vabaained (5 EAP) valib üliõpilane vastavalt huvidele ja vajadustele EMÜ või teiste ülikoolide õppeainete hulgast. Magistritöö (30 EAP) võimaldab rakendada erialaseid teadmisi ergonoomikalistest uurimismeetoditest, mõõtmisest ja sekkumistegevustest töökohtadel ning kogu ettevõttes tervikuna. Ergonoomika uuringutes tuleb järgida teaduseetika printsiipe, mis tagavad uuritavatele isikuandmete kaitse ja anonüümsuse ning järgivad inimuuringu eetikat laiemas mõttes. See on oluline osa ergonoomi kutse-etikast, mil ta peab suhtlema erinevatel tasanditel ausalt ja avatult, hoidma nii firma kui toodangusaladust ning säilitama respekti töötajate isikuandmete suhtes (ICOH, 2012).

### ERGOONOOMIKA ÕPPEKAVA (436)



Joonis 3. Ergonoomika magistriõppekava ülesehitus

Ergonoomika õppekava (kokku 120 EAP) on üles ehitatud oskuste ja teadmiste kompleksseks omandamiseks, mida tulevane ergonoom saab rakendada oma tulevases töös. Õppekava läbinu: 1) omab süsteemset ülevaadet ergonoomikast ja sellega seotud valdkondadest, uurimismeetoditest ja ergonoomika printsiipide rakendamisest; 2) rakendab süvendatud teadmisi ergonoomika probleemide lahendamiseks erinevates ettevõtetes nii põllumajandus-, tööstus- kui teenindussektoris; 3) teeb koostööd multidistsiplinaarses meeskonnas toote- ja ergodisainiliste lahenduste leidmisel; 4) oskab valida ja kasutada sobivaid ergonoomika meetodeid, pakkudes nutikaid lahendusi töökohtade ja töövõtete parandamiseks; 5) on suuteline parandama ettevõtte konkurentsivõimet, tuginedes töö teadusliku organiseerimise põhimõtetele.

Ergonoomikaõpe programm koosneb peamiselt füüsilise ja kognitiivse ergonoomika paradigmat, kuhu on põimitud inseneeria ja juhtimisega seotud valdkonnad. Ergonoomika magistriõppes omandatud teadmised ja oskused võimaldavad tulevikus taotleda ergonoomikutset (VII tase) ning jätkata õpinguid doktoriõppes.

### Õppelaborid

Õppekava eesmärgi täitmist ja õpiväljundite saavutamist toetavad õppelaborid. Õppekavaga seotud laborites võib eristada kolme suunda: ergonoomikaline hindamine, töökeskkonna ohutegurite mõõtmised ja eksperimentaalse aparatuuri arendamine ning katsetamine. Töökeskkonna ohutegurite mõõtmiseks on olemas seadmed müra, vibratsiooni, valgustuse ja mikrokliima parameetrite mõõtmiseks. Enamik bakalaureuse- ja magistratöödest on seotud töökeskkonna ohutegurite mõõtmisega. Suur osa lõputöödest tegeleb ka ergonoomilisuse kriteeriumite hindamisega, mida

võimaldavad mitmed kognitiivse ja füüsilise ergonoomika valdkonna meetodid. Töötaja vaimse töökoormuse ja töövõime hindamiseks on õppelaboris kognitiivsete testide pakett. Füüsilise töökoormuse ja töövõime hindamiseks on õppelaboris seadmed lihaskõuet, kardiovaskulaarse koormuse, liigeste liikuvusulatuse ja lihaste mehaaniliste omaduste hindamiseks. Kõik õppelabori seadmed on portatiivsed, mis võimaldab neid kasutada uuringutes ettevõtete juures. Ettevõtete poolt tellitud uuringud on eripalgelised. Esineb ka olukordi, kus õppelabori seadmeid rakendada ei saa. Sellistel juhtudel on üliõpilased valmistanud vastavad eksperimentaalsed mõõturid ise. Näiteks üliõpilaste lõputööde koostamise käigus valmistatud müramõõturmannekeen, piesotakistitega käe pigistusjõu jaotuse mõõtmiskinnas, dünamomeetria stand, visuaalse tagasiside süsteem, visuaal-motoorika arendamise simulaator ja elektromüograaf-goniomeeter on seadmed, mis on lõputööde kaitsmise järgselt jäänud abistama tulevaste üliõpilaste oskuste ja teadmiste omandamist. Selles kategoorias väärrib esiletõstmist emeritprof Reppo eestvedamisel 2018. aastal patenteeritud (P201600025) PULSAVI-meetod tööprotsessi ja töötehnoloogia analüüsimiseks.

### Teadustöö

Teaduspõhise õppe aluseks on akadeemilised ja mitteakadeemilised töötajad, kes moodustavad töörühma Ergonoomika ja ergodisaini töörühmas (joonis 4) tegutseb professor Eda Merisalu eestvedamisel emeritprofessor, dotsent, kaks lektorit, külalislektor ja neli korraldust doktoranti. Töörühma uurimisvaldkonnaks on optimaalsete töötingimuste loomine tööprotsessi tõhustamise eesmärgil. Töörühma koosseis 2018. a sügisel on toodud joonisel 4.



**Joonis 4.** Ergonoomika ja ergodisaini töörühm 2018. aasta sügisel. Vasakult esimene rida: töörühma juht professor Eda Merisalu, emeritprofessor Boris Reppo, laborijuhataja Galina Kononenko; teine rida: spetsialist Märt Reinvee, lektor Taavi Leola, lektor Alar Seiler, nooremteadur Assar Luha, õppedirektor dotsent Arvo Leola

Töörühma tegemistesse kaastakse üliõpilasi, kelle peamine väljund on magistritöö. Magistritööde peamised uurimissuunad on seotud füüsilise ja kognitiivse ergonoomika valdkonnaga, kuhu sisse on põimunud organisatsiooniergonoomika elemente. Suur osa töörühmas juhendatud magistritöid hõlmavad nüüdisaegsete tehnoloogiate ja töökeskkonna ohutegurite mõju hindamist töötajate tervisele ja töövõimele. Olulisel kohal on ergonoomikaliste sekkumiste mõju hindamine ülekoormushaiguste vähendamiseks ja ennetamiseks. Viimaste aastate rõhuasetus on koondunud riskide ennetamisele ja ohutuskuultuuri parandamisele põllumajanduses. Samuti hinnatakse tööliigutuste vilumuse kujunemist simulatsioonimeetodil, kus uuritava kognitiivsed omadused (õppimisvõime, tähelepanu, reageerimiskiirus, koordineerimine) on määrava tähtsusega uute oskuste kujunemisel. Samuti on olulisel kohal ergonoomikaliste mõttemetoditega käsitööriistade, töövahendite ja masinate ergonoomilisuse hindamine. Paljud uuringud puudutavad ka töökeskkonna psühhosotsiaalsete tegurite ja töötajate vaimse tervise seoste hindamist töökohal, samuti tööstressi ja läbipõlemise ennetamist ja juhtimist.

Viimastel aastatel on üliõpilaste teadustööde riiklikul konkursil leidnud ära märkimist mitmed ergonoomikalased magistritööd:

- Kadi Hiir. "Masinõmblejate luu-lihaskonna vaevuste levimus, funktsionaalne seisund ja töövõime enne ning pärast sekkumistegevusi". – Haridus ja Teadusministeeriumi üliõpilaste teadustööde riiklikul konkursil magistritööde astmes I preemia terviseuuringute valdkonnas (2016).
- Kadi Hiir. "Masinõmblejate luu-lihaskonna vaevuste levimus, funktsionaalne seisund ja töövõime enne ning pärast sekkumistegevusi". Sotsiaalministeeriumi aastapreemia terviseteadustes (2016).
- Anni Enn. "Tööõnnetuste esinemine Eesti põllumajanduses 2008–2017". – Haridus ja Teadusministeeriumi üliõpilaste teadustööde riiklikul konkursil magistritööde astmes I preemia terviseuuringute valdkonnas (2018).

Õppe-teadustöös on olulisel kohal koostöö ettevõtete ja tihti saavad uuringud alguse tööandjate tellimusest. Koostööpartneriteks on Enics, Svärmil, TMB Element, Estiko Plaster, Samelin, Kodumaja, Saint Gobain jt. Koostööpartneritega tehtud uurimistööd aitavad hoida ergonoomikat ühiskonnas pildil.

Teadusmaastikul edukas olek eeldab teadustööde avaldamist akadeemiliste publikatsioonidena. Kehtiva paradigma kohaselt väärtustatakse publikatsioone mitmete kriteeriumite põhjal, sh publikatsioone indekseerivate andmebaaside alusel. Tabelis 1 on Ergonoomika ja ergodisaini töörühma viimase viie aasta publitseerimisaktiivsus. Andmebaasis *Scopus* indekseeritud rahvusvaheliste publikatsioonide arvu või pidada publikatsioonide üldarvuks, mille sees on ka nn kõrge teadusliku väärtusega publikatsioonid, mis on indekseeritud andmebaasis *Web of Science* (Tabel 1).

**Tabel 1.** Andmebaasides *Scopus* ja *Web of Science* (WoS) kajastatud ergonoomika ja ergodisaini töörühma publikatsioonide arv perioodil 2015–2019

| Andmebaas | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | Kokku |
|-----------|------|------|------|------|------|-------|
| Scopus    | 6    | 10   | 3    | 3    | 6    | 28    |
| WoS       | 3    | 3    | 1    | 2    | 2    | 11    |

Publitseerimise edukus sõltub paljuski koostöövõrgustiku suuruselt ja partnerite teadusaktiivsusest.

Hetkel osaleb töörühm kahes Euroopa koostööprojektis: 1) Riskide juhtimine ja ohutuskuultuur põllumajanduses "*Safety Culture and Risk Management in Agriculture*" (*COST Action CA16123 SACURIMA*); 2) Tööga seotud riskide, ekspositsiooni ja tervisemõju hindamine veebipõhistel andmebaasidel "*Network on the Coordination and Harmonisation of European Occupational Cohorts*" (*COST Action CA16216*) (*OMEGA-NET*).

Märkimisväärne on ergonoomika töögrupi liikmete osalemine valdkonna rahvusvahelistes võrgustikes ja seltsides ning retsensentidena rahvusvaheliste ajakirjade juures: ICOH (*International Commission on Occupational Health*) (Eda Merisalu, 2012–2020), BSN (*Baltic Sea Network on Occupational Health*) ja NDPHS (*Northern Dimension Partnership in Public Health and Social Well-being*) (Eda Merisalu), NJF (*Nordic Association of Agricultural Scientists*) (Oliver Sada). Töö rahvusvaheliste ajakirjade juures retsensendina: *BMC Musculoskeletal Disorders*, *Journal of Public Health*, *Clinical Health Promotion* (Eda Merisalu), *Agronomy Research* (Eda Merisalu, Märt Reinvee, Triinu Sirge, Riin Raimla, Taavi Leola, Anni Enn, Assar Luha, Oliver Sada).

## Kokkuvõte

Eesti Maaülikooli tehnikainstituudis on Eesti ainus ergonoomika õppekava. Alates 1998. a on ergonoomikaõpe läbi teinud mitmeid arenguid, eesmärgiga kaasajastada õppeaineid. Hetkel toimub ergonoomikaõpe Bologna süsteemis (3+2), kus ergonoomika bakalaureuseõpe (3 aastat, 180 EAP) on üks kolmest spetsialiseerumisest tehnika ja tehnoloogia õppekavas ning see annab lõpetanule kvalifikatsiooni töötada töökeskkonnaspetsialistina. Ergonoomika magistritööde (2 aastat, 120 EAP) läbinu saab ergonoom kutse (7. tase). Ergonoom aitab kaasa ergodisainiliste lahenduste leidmisel toodete ja töökohtade kujundamisel ettevõtetes, pakkudes nutikaid lahendusi töövõtete ja tööefektiivsuse parandamisel ning seeläbi kogu ettevõtte konkurentsivõime tõstmisel. Teaduspõhisus õppetöö läbiviimisel survestab ja motiveerib osalema rahvusvahelistes teadusprojektides ning kaasama projektitegevustesse ka kraadiõppe üliõpilasi. Üha suurenev praktiline vajadus töökohtade ergonoomikaliseks hindamiseks ja kujundamiseks annab alust jätkuvalt tihedale koostööle ettevõtetetega. Õppekava üks kaugemaid eesmärke on tagada lõpetanutele võimalused euroergonoomi staatuse taotlemiseks.

### Kirjandus

- Grandjean, É. 1988. *Fitting the Task to the Man: A Textbook of Occupational Ergonomics*. (4th ed.) – Taylor & Francis: London, 363 pp.
- ICOH. 2012. International code of ethics for occupational health specialists. [http://www.icohweb.org/site\\_new/multimedia/core\\_documents/pdf/code\\_ethics\\_eng\\_2012.pdf](http://www.icohweb.org/site_new/multimedia/core_documents/pdf/code_ethics_eng_2012.pdf)
- IEA. 2019. What is ergonomics? Definition and Domains of Ergonomics. – <https://www.iea.cc/whats/index.html> Accessed on 01/11/2019.
- IEA. 2001. Summary of Core Competencies in Ergonomics: Units and Elements of Competency. – [https://www.iea.cc/project/3\\_Summary%20of%20core%20competencies.pdf](https://www.iea.cc/project/3_Summary%20of%20core%20competencies.pdf) Accessed on 03/11/2019.
- EVS-EN ISO 26800:2011. Ergonomics: General approach, principles and concepts. – [https://www.en-standard.eu/bs-en-iso-26800-2011-ergonomics-general-approach-principles-and-concepts/?gclid=EAIaIQobChMIyPSciILW5QIViqQYCh0DRwH5EAAYAiAAEgIMUvD\\_BwE](https://www.en-standard.eu/bs-en-iso-26800-2011-ergonomics-general-approach-principles-and-concepts/?gclid=EAIaIQobChMIyPSciILW5QIViqQYCh0DRwH5EAAYAiAAEgIMUvD_BwE) Accessed on 05/11/2019.
- Kutsekoda. 2019. Väljastatud kutsed. Ergonoom. – <https://www.kutseregister.ee/kutsed> Viimati külastatud 30/10/2019.
- Pinder, A. 2017. Ergonomics. – <https://oshwiki.eu/wiki/Ergonomics> Accessed on 04/11/2019.
- Veinla, V., Reppo, B., Leola, A. 2009. 40 aastat loomakasvatuse mehhaniseerimise kateedri loomisest Eesti Põllumajanduse Akadeemias. – *Agraaarteadus*, 20(2):66–71.

## FÜÜSIKUD JA MATEMAATIKUD EESTI MAAÜLIKOO LIS

*Eve Aruvee*

*Eesti Maaülikool, tehnikainstituut, matemaatika ja füüsika osakond,  
Fr. R. Kreutzwaldi 56, 51006 Tartu*

E-mail: [eve.aruvee@emu.ee](mailto:eve.aruvee@emu.ee)

### Matemaatikute ajalugu

Eesti Põllumajanduse Akadeemias (EPA) loodi kõrgema matemaatika kateeder 1952. aastal põllumajanduse mehhaniseerimise teaduskonna koosseisus. Selle esimeseks juhiks sai prof Gerhard Rägo (töötas juhina 1952–1956), olles samaaegselt ka professoriks Tartu Ülikoolis. Sel ajal töötasid veel kateedris Sinaida Riives (töötamise aastad 1951–1987), Herbert Meriloo (1951–1969), Jakob Gabovitš (1952–1980). Juba 1954. aastal viidi matemaatikud üheks aastaks maakorralduse ja hüdro-melioratsiooni teaduskonna alluvusse ja 1955. aastal jälle tagasi põllumajanduse mehhaniseerimise teaduskonna alluvusse, mille koosseisus olid matemaatikud 1958. aastani. Sel ajal oli kateedri juhiks dots Jakob Gabovitš (1956–1958). Ajavahemikul 1958–1966 olid matemaatikud metsanduse teaduskonna koosseisus ja kateedrit juhatasid dots Herbert Muischneek (1958–1962), dots Aleksander Astaškin (1962–1966), dots Hillar Vallner (1966–1977). 1969. aastal viidi matemaatikud majandusteaduskonna koosseisu, kus alguses jätkas juhina Hillar Vallner ja hiljem oli juhiks dots Harry Espenberg (1977–1983). Uus muutus tuli 1983. aastal, mil matemaatikud paigutati metsanduse ja maaparanduse teaduskonna koosseisu ning juhiks oli dots Jaak Sikk (1983–2006). Viimane ümberpaigutus oli 2006. aastal, mil matemaatikud töötavad tehnikainstituudi koosseisus ja juhiks on lektor Eve Aruvee (2006–...).



**Joonis 1.** Matemaatikute 2013. aasta koosseis. Seisavad: Hillar Vallner, Helve Roots; keskel: Eve Aruvee, Erge Ideon; ees: Olga Liivapuu, Olga Panova, Kaarin Riives–Kaagjärv, Elvi Mettig

Matemaatika kateedri pikaajalised töötajad on olnud Elvi Virma (1960–1991), Laine Meeh (1961–1984), Hilja Õiglane (1962–2008), Uno Tiidt (1962–2005), Eino Ojastu (1963–1980), Helle Karolin (1968–1981), Nora Veske (1972–1987, 1992–2009), Kaarin Riives (1983–2012), Elvi Mettig (1968–2015), Hillar Vallner (1954–2015).

Ülikooli teenetemedali on pälvinud dotsent Hillar Vallner ja lektor Elvi Mettig. Eesti Maaülikooli aasta õppejõuks 2018. aastal nimetati dotsent Erge Ideon. Dotsent Olga Liivapuu on nimetatud parimaks õppejõuks üliõpilaste valikul Lennuakadeemias aastatel 2016–2018, kus ta õpetab koostöölepinguga kõrgemat matemaatikat.

### Füüsikute ajalugu

Põllumajanduse Akadeemia loomisel 1951. a jäi füüsika õpetamine EPA üliõpilastele TRÜ füüsikaosakonna ülesandeks kuni aastani 1962, mil loodi EPA füüsika kateeder põllumajanduse mehhaniseerimise teaduskonna koosseisus, mille esimeseks juhiks oli dots Paul Hellenurme (1962–1973). Kateedri juhid on olnud veel dots Ando Ots (1973–1975), v-õp Vello Anderson (1975–1976), v-õp Andres Karolin (1976–1979), dots Herbert Mägi (1979–1980), ass Leiger Mättas (1980–1981), dots Vello Ross (1981–1992), prof Mati Heinloo (1992–1994), prof Jaak Jaaniste (1994–2014, lektor Ott Krikmann (2014–2017).

Dotsent Jaak Jaaniste pälvis Eesti Maaülikooli teaduse populariseerimise auhinna II preemia 2009. aastal mitmekülgse tegevuse eest astronoomia valdkonnas ja 2013. aastal koos abikaasa Helle Jaanistega Tiiu Silla nimelise elutööpreemia pälvisid nad pikaajase astronoomia populariseerimise eest. Helle ja Jaak Jaaniste on olnud Tartu tähetorni alustalad alates 1990. aastate algusest. Professor Mati Heinloo nimetati 2007. aastal Eesti Maaülikooli aasta innovaatiliseks õppejõuks, kuna ta oli üheks esimeseks õppejõuks Maaülikoolis, kes hakkas e-õpet rakendama tehnika erialade üliõpilastele. Ta koostas erinevatele kõrgema matemaatika kursustele veebikeskkonnad alguses Blackboard hiljem Moodle vahendeid kasutades.

Alates 2017. aasta 1. septembrist töötavad füüsikud ja matemaatikud ühises matemaatika ja füüsika osakonnas, mille juhiks on lektor Eve Aruvee. Osakonnas töötavad Olga Liivapuu, Olga Panova, Annika Paltsepp, Erge Ideon, Ott Krikmann, Riho Kägo, Margus Arak, Iraida Jeršova, Eve Aruvee ja Vaike Tomann.



**Joonis 2.** EPA füüsikud aastal 1978. Seisavad vasakult: Leiger Mättas, Andres Karolin, Urve Rannaääre, Paul Hellenurme, Vello Anderson, Viktor Tumanov; istuvad: Zinaida Bichele, Ene Kelk, Ilme Kirs, Iraida Jeršova



**Joonis 3.** Füüsikute 2016. aasta koosseis. Seisavad vasakult: Vaike Tomann, Margus Arak, Leiger Mätas, Jaak Jõgi, Tanel Tärkla, Ott Krikmann; istuvad: Iraida Jeršova, Mati Heinloo, Jaak Jaaniste, Andres Karolin

## Teadustöö

### Füüsikud

Uurimistöega on füüsika kateedris tegeldud alates kateedri asutamisest. Tegeldi luminesseeruvate ioonsete kristallide haardetsentrite vastastikuse mõju uurimisega (P. Hellenurme ja I. Kirs). Nimetatud tööd kestsid 1982. aastani. Kateedri asutamisest kuni käesoleva ajani on tegeldud taimkatte produktsiooniprotsessi matemaatilise modelleerimise probleemidega. On uuritud produktsiooniprotsessi matemaatilisi mudeleid (Z. Bichele), taimkatte arhitektoonikat (V. Anderson, H. Mägi ja V. Ross), taimede vee- ja gaasivahetuse bilanssi (A. Karolin). Nimetatud temaatikal on kaitstud kaks kandidaaditööd (H. Mägi, 1974 ja Z. Bichele, 1981) ja üks magistriväitekiri (A. Karolin, 1994). Pärast ettevalmistusosakonna asutamist asus sellele vajalikke õppevahendeid koostama L. Mättas, kellelt on ilmunud viis originaalset õppevahendit. 1983. aastast töötab kateedris J. Jaaniste, kelle erihuvideks on galaktikate ja nende süsteemide teke ning evolutsioon, galaktikatevahelise aine ja väljade mõju galaktikate morfoloogiale, tehnilise ning inimfaktori osa füüsikateaduse arengus. R. Saare tulekuga EPA füüsika kateedrisse laienes fundamentaaluuringute temaatika mikromaailma. Uuriti kõrgema spinniga elementaarosakesi kirjeldavaid võrrandeid, vastasmõjusid ja nende seost aegruumi sümmeetriaga. Tulemuseks oli võrrandite aksiomaatika modifitseerimine, mis omakorda võimaldas uue algebra kasutamist osakeste kirjeldamisel. Kõrgema spinniga osakeste jaoks õnnestus välja töötada aeg-ruumi sümmeetriast tulenev nn dünaamiline vastasmõju, mille uurimine jätkub. Teadustöid sellel teemal on avaldatud USA-s. On valminud ja kaitstud üks magistriväitekiri (L. Mättas, 1994).

Keskonna aparatuuri laboratoorium (KAL) moodustati 1993. a detsembri lõpus eesmärgiga arendada koos teiste allüksustega töid keskkonna seisundi jälgimiseks vajaliku aparatuuri projekteerimise, valmistamise ja rakendamise edendamiseks ning vastavate teadusuuringute tegemiseks. Peamine tähelepanu on seni suunatud ultraviolettkiirguse mõõtmise ja tuuleenergia kasutamise seotud ülesannete lahendamisele. Laboratooriumi juhataja on Valdur Tiit (1993. a-st). Labor lõpetas tegevuse augustis 2010, seoses Kreutzwaldi 56 maja renoveerimisega.

Täna sel päeval on Riho Kägo tehnikainstituudi doktorant.

### Matemaatikud

Osakonnal on olnud teadusalaseid sidemeid TÜ, TTÜ, TPÜ, Taani Kuningliku Põllumajandusülikooliga, Bar Ilani Ülikooliga Iisraelis, Soome Põllumajanduse Arvutuskeskusega ja Rootsi Põllumajandusülikooliga, tihe koostöö Läti Põllumajandusülikooli ja Leedu Põllumajandusülikooli kolleegidega jätkub tänaseni. Alates 1998. aastast on toimunud iga kahe aasta tagant konverentside seeria "Agrometrics" põhiliselt Balti riikides, kuid 2002. aastal toimus konverents Rootsi Põllumajanduse Ülikoolis Uppsalas. Esimesel neljal korral toimus konverents Rootsi Instituudi grand

toel, hiljem Põhjamaade Ministrite Nõukogu haridusprogrammi Nordplus toel. Viimane konverents oli 2018. aastal Tartus. Aktiivselt on osaletud ka konverentsil "Teaching Mathematics: retrospective and perspectives", kus on esinenud Olga Liivapuu, Olga Panova, Erge Ideon, Kaarin Riives, Jaak Sikk ja Eve Aruvee.

Matemaatika osakonna õppejõududest on osakonnas töötamise ajal või pärast aspirantuuris olekut kaitsnud dissertatsiooni (füüsika-matemaatika kandidaat, filosoofiadoktor) H. Vallner, S. Riives, H. Espenberg, E. Virma, K. Riives-Kaagjärv, J. Sikk, A. Saks, J. Majak, O. Panova, O. Liivapuu ja E. Ideon. Annika Paltsepp on hetkel Tartu Ülikooli matemaatika ja statistika instituudi doktorant.

Osakonnas on uuritud ka õpetamise meetodikat, sealhulgas ka programmeeritud õpetamist. Koostatud on õppematerjale kõikides olulisemates õpetatavates ainetes. Õppematerjalidega tehti hulgaliselt meetoodilisi katseid, mille tulemustega on esinetud konverentsidel. Osakonnas on töötatud välja ja programmeeritud veiste jõudluskontrolli ja boniteerimise arvutuste programmid arvutile Minsk 32 ning rakendatud jõudluskontrolli arvutusi mitme rajooni kõigis majandites. Teostamaks kogu vabariigi jõudluskontrolli arvutusi, viidi töögrupp üle Eesti Loomakasvatuse ja Veterinaaria Instituuti, kus moodustati jõudluskontrolli keskus. Viimane eksisteerib praegugi iseseisva üksusena.

Lektor Eve Aruvee osales Euroopa Liidu 7. raamprogrammi "Keskonnaotsustuste tugisüsteem TESS (1.10.2008–30.04.2011)" töös.

Täna sel päeval on dotsent Olga Liivapuu peamisteks teadustöö uurimissuundadeks seostuse ja selle kõveruse üldistused mittekommutatiivse geomeetria ning laastutekkeprotsessi kirjeldus materjalide lõiketöötlemisel. Esimene teadussuund kuulub kaasaegse diferentsiaalgeomeetria valdkonda. Selle raames tehakse koostööd kolleegidega TÜ matemaatika ja statistika instituudist. Konstrueeritakse seostuse moodulil üldistust, mis põhineb gradueeritud q-diferentsiaalalgebra mõistel, uuritakse selle lokaalset struktuuri. Teise uurimisvaldkonna raames tehakse tihedat koostööd EMÜ tehnikainstituudi põllundustehnika töörühmaga. Teadustemaatika antud suunas on seotud metallilaastu moodustamise protsessiga. Uuritakse maha lõigatava kihi plastset deformatsiooni ja purunemist. Koostatakse tooriku töötlemise tehnoloogilise süsteemi matemaatiline mudel, mis arvestab tooriku elastseid-plastseid omadusi, laastutekkeprotsessi reoloogilisi iseärasusi. Olga Liivapuul on väga tihe koostöö Mälardaleni Ülikooli kolleegidega.

Dots Erge Ideoni peamine uurimisteema on hariliku teist järku diferentsiaalvõrrandi rajaülesande lahendamine lineaar/lineaar ja ruut/lineaar ratsionaalsplainidega kollokatsioonimeetodil. Selle uurimistööst eest on pälvitud Eesti Matemaatika Seltsi Humala preemia (2014) ja Eesti Rahvuskultuuri Fondi stipendiumi (2014). Koostöös Eve Aruveega on uuritud reaalinete õpetamise meetodeid kõrgkoolis ja sisseastumiskatsete ning koolimatemaatika kordamiskursuse mõju tudengite õppe edukusele.

## Õppetöö

Matemaatika osakonna põhiülesandeks on olnud kõrgema matemaatika, tehnilise joonestamise, inseneri-graafika, arvutusmatemaatika, matemaatilise programmeerimise, matemaatilise planeerimise, arvutustehnika, kujutava geomeetria, matemaatilise statistika ja informaatika õpetamine. Aastast 1990 läks kujutava geomeetria ja tehnilise joonestamise õpetamine üle ehitusmehaanika kateedrisse.

Matemaatika ja füüsika õpetamine üliõpilastele on olnud nende studiumi esimestel aastatel erinevatele erialadele olulisel kohal. Kuni õppeaastani 2003/04 õpetati Füüsika põhikursust inseneri erialadele (5 AP) kõikidele inseneri valdkonna erialadele ja Füüsika üldkursust (3 AP) loeti kõikidele teistele erialadele. Matemaatikat ei ole kunagi õpetatud veterinaaria üliõpilastele. Agronoomia ja zootehnika üliõpilastele on õpetatud kõrgemat matemaatikat vaheaegadega. Vaheajal 1998/99 kuni 2001/2002 õppeaastatel õpetati Kõrgema matemaatika kursust (3 AP) agronoomia ja zootehnika teaduskonna, metsanduse, maastikuarhitektuuri ja maastiku hoolduse eriala üliõpilastele. Inseneri erialadele (maaehitus, veemajandus, geomaatika, tehnika ja tehnoloogia üliõpilastele on alati kõige mahukamat kõrgema matemaatika kursuseid (8 AP) õpetatud. Kuid tänu 2002. aasta Bologna kokkuleppele, mille alusel nõuti, et inseneri erialadel õppivad üliõpilased peavad saama matemaatika aineid 14 AP ja füüsikat 8 AP ulatuses, suurenesid ka vastavalt ainete mahud. Alates 2003/04 õppeaastast on õpetatud kolme erinevat matemaatika kursust (Lineaaralgebra ja analüütiline geomeetria 3 AP, Matemaatiline analüüs I 4 AP ja Matemaatiline analüüs II 4 AP), Matemaatilist statistikat 3 AP ning Füüsikat 8 AP ja samas mahus jätkub see tänapäevani. Geomaatika õppekava muutuse tagajärjel loobuti sellest skeemist 2006/2007 õppeaastal. Siis alustati neile Kõrgema matemaatika (7 EAP) kursuse õpetamist ja loodi ka uus aine Kõrgema matemaatika rakendused (4 EAP) ning ka füüsika maht vähenes poole võrra. Sellest ajast tänaseni õpivad geomaatikud 6 EAP suurust füüsika kursust. Geomaatika eriala üliõpilastele õpetati 2010–2012 aastani Loogikat ja Programmeerimist. Samal ajal alustati neile ka Matemaatilise statistika (2 EAP) ja Tõenäosusteooria kursuse (2 EAP) õpetamist. Viimase õpetamine lõpetati 2017. aastal. 2009/10 õppeaastast muudeti ainete eest saadavate punktide süsteemi 1,5 AP vastab nüüd 1

EAP-le. Täna on programmeerimise kursus vabaaaine, mis kahjuks ei ole väga populaarne üliõpilaste hulgas. Lisaks on matemaatika kateeder õpetanud ka Informaatikat (5AP) maainseneri, geomaatika, maastikuarhitektuuri ja maastiku hoolduse eriala üliõpilastele ajavahemikul 1993–2003. Hiljem on kursuse mahud vähenenud 2 EAP-le ning seda õpetati maaehituse ja geomaatika üliõpilastele. Täna on Informaatika valikaine maaehituse üliõpilastele. Keskkonnafüüsikat on alates 2003/04 õppeaastast õpetatud metsanduse ja loodusvarade üliõpilastele. 2018. aastal peale suurt metsanduse õppekava muutust lõpetati metsanduse erialadele kõikide matemaatika ja füüsika ainete õpetamine. Kõrgema matemaatika üldkursus (4 EAP) jäi alles vaid puidutehnoloogia üliõpilastele. Alati on õpetatud Kõrgema matemaatika kursust (7 EAP) majanduse erialadele ning see on püsinud muutumatuna väga pikka aega. Viimasel ajal on lisandunud matemaatikutele õpetamiseks ka mõned magistri astmele õpetatavad ained: Lõplike elementide meetod (5 EAP), Analüütiline mehhaanika (4 EAP), Modelleerimine (4 EAP).

Kokkuvõttes peab nentima, et mitmetele erialadele on matemaatika ja eriti füüsika õpetamine lõpetatud erinevate õppekava muutuste käigus või on vähendatud õpetatava aine mahtu, mis on toonud kaasa ka töötajate arvu vähenemise nii füüsikute kui ka matemaatikute hulgas.

## Kasutatud kirjandus

- Karolin, A., Tomann, V. Füüsikute lugu <http://te.emu.ee/et/struktuur/matemaatika-ja-fuusikaosakond-fm/fuusiku-lugu/>
- Matemaatikute lugu <http://te.emu.ee/et/struktuur/matemaatika-ja-fuusikaosakond-fm/matemaatika/>
- Eesti Põllumajanduse Akadeemia Õppe-Teadusliku koosseisu bio-bibliograafiline teatmeteos 1951–1981. – Tartu, 1981.
- Eesti Põllumajanduse Akadeemia töötajad ja vilistlased 1981–1990. – Tartu, 1991.
- Eesti Põllumajandusülikool Õpitateatmik 1998/98. – Tartu, 1998.
- Eesti Põllumajandusülikool Õpitateatmik 2003/2004. – Tartu, 2003.
- Eesti Maaülikooli õppeinfosüsteem (ÕIS) <https://ois.emu.ee/pls/ois/tere.tulemast>



## EMÜ TEHNIKAINSTITUUDI JA TARTU TEHNIKAKOLLEDŽI AKADEEMILINE PERE (SEISUGA 11.11.2019. A)

### Energiakasutuse õppetool

Annuk, Andres

– energiavarustuse professor, energiakasutuse õppekava juht, õppetooli hoidja

Kabanen, Toivo

– energiakasutuse dotsent

Kokin, Eugen

– mõõtmise ja andmetöötluse dotsent

Hovi, Külli

– informaatika ja soojusõpetuse lektor, tehnika ja tehnoloogia bakalaureuse õppekava juht

Hovi, Mart

– soojusõpetuse ja informaatika lektor, doktorant

Jõgi, Jaak

– elektrotehnika lektor

Kalder, Janar

– elektroonika ja modelleerimise lektor, doktorant

Allik, Alo

– teadur

Jürjenson, Kuno

– emeriitprofessor, külalisõppejõud

Peets, Tõnis

– emeriitdotsent, külalisõppejõud

Palge, Veli

– külalisõppejõud

Jõgi, Erkki

– elektrihamaste ja elektrotehnika lektor

Lill, Heiki

– doktorant, tehnootronika õppekava juht

Muiste, Siim

– doktorant, spetsialist

Pihlap, Heino

– doktorant, energeetika spetsialist

Tooming, Allan

– doktorant, spetsialist

Saaremets, Heli

– vanemlaborant

### Biomajandustehnoloogiate õppetool

Kikas, Timo

– biomajandustehnoloogiate professor, õppetooli juht

Jansons, Mārcis

– nimetatud professor

Merisalu, Eda

– ergonoomika professor, ergonoomika magistriõppekava juht

Olt, Jüri

– põllundus- ja tootmistehnika professor

Rauwel, Erwan Yann

– materjalide- ja nanotehnoloogia nimetatud professor

Ilves, Risto

– sise põlemismootorite dotsent, tootmistehnika magistriõppekava juht

Leola, Arvo

– farmitehnika dotsent, õppedirektor

Rauwel, Protima

– materjalide- ja nanotehnoloogia nimetatud vanemteadur

Boris Reppo

– emeriitprofessor

Aan, Aare

– mehaanika lektor

Käis, Lemmik

– materjalitehnika lektor

Leemet, Tõnu

– mõõtetehnika teadur

Leola, Taavi

– farmitehnika ja tööohutuse lektor

Madissoo, Marten

– hüdraulika ja pneumaatika lektor

Ritslaid, Kaie

– kütuste ja määrdeainete lektor

Seiler, Alar

– töökeskkonna ohutuse lektor

Raud, Merlin

– bioenergeetika teadur

Soots, Kaarel

– teadur

Doddapaneni, Tharaka Rama Krishna Chowdar

– teadur-järeldoktor

Mardi, Epp

– külalisõppejõud

Da Rocha Meneses, Lisandra Marina

– nimetatud nooremteadur, doktorant

Lillerand, Tormi

– nimetatud nooremteadur, doktorant

Luha, Assar

– nimetatud nooremteadur, doktorant

Rooni, Vahur

– nimetatud nooremteadur, doktorant

Sjulander, Nikki

– nimetatud nooremteadur, doktorant

Avarand, Albert

– doktorant

Cahyanti, Margareta Novian

– doktorant

Enn, Anni

– doktorant

Hasanov, Isa

– doktorant

Küüt, Keio

– doktorant, dünlabori spetsialist

|                      |                                               |
|----------------------|-----------------------------------------------|
| Pitman, Kätlin       | – doktorant                                   |
| Podkuiko, Lara       | – doktorant                                   |
| Polma, Mailis        | – doktorant                                   |
| Raide, Veljo         | – doktorant                                   |
| Raimla Riin          | – doktorant                                   |
| Reinvee, Märt        | – doktorant, spetsialist                      |
| Aarend, Eino         | – spetsialist                                 |
| Virro, Indrek        | – operaator                                   |
| Ivanov, Mihhail      | – õppemeister                                 |
| Kononenko, Galina    | – õppetooli assistent (õppetöö)               |
| Prigoževa, Valentina | – õppetooli assistent (teadus- ja arendustöö) |

### Matemaatika ja füüsika osakond

|                  |                                                |
|------------------|------------------------------------------------|
| Aruvee, Eve      | – matemaatika lektor, osakonna juhataja        |
| Ideon, Erge      | – matemaatika dotsent                          |
| Liivapuu, Olga   | – matemaatika dotsent                          |
| Arak, Margus     | – keskkonnafüüsika ja agrometeoroloogia lektor |
| Jeršova, Iraida  | – rakendusfüüsika lektor                       |
| Krikmann, Ott    | – füüsika lektor                               |
| Kägo, Riho       | – füüsika lektor, doktorant                    |
| Paltsepp, Annika | – matemaatika lektor                           |
| Panova, Olga     | – matemaatika lektor                           |
| Tomann, Vaike    | – laborant                                     |

### Õppe- ja eksperimentaaltöökoda

|                     |               |
|---------------------|---------------|
| Sevastjanov, Valeri | – õppemeister |
| Varkki, Mihhail     | – õppemeister |

### Tehnikainstituudi ja Tartu Tehnikakolledži administratsioon

|               |                                                       |
|---------------|-------------------------------------------------------|
| Arak, Margus  | – Tehnikainstituudi ja Tartu Tehnikakolledži direktor |
| Leola, Arvo   | – õppedirektor                                        |
| Plato, Kerli  | – juhiabi, õppekorralduse spetsialist                 |
| Mäesepp, Heli | – õppekorralduse spetsialist                          |



Joonis 1. EMÜ tehnikainstituudi ja Tartu tehnikakolledži akadeemiline pere 30.08.2019 (Erkki Jögi)



## TÖÖÕNNETUSTE LEVIMUS EESTI PÕLLUMAJANDUSES AASTATEL 2008–2017

### THE PREVALENCE OF WORK ACCIDENTS IN ESTONIAN AGRICULTURE IN 2008–2017

Anni Enn, Eda Merisalu

*Eesti Maaülikool, tehnikainstituut, biomajandustehnoloogiate õppetool,  
Fr. R. Kreutzwaldi 56, 51006 Tartu*

Saabunud: 26.10.2019  
Received:  
Aktsepteeritud: 15.11.2019  
Accepted:  
Avaldatud veebis: 29.11.2019  
Published online:  
Vastutav autor: Anni Enn  
Corresponding author:  
E-mail: anni.enn@student.emu.ee

**Keywords:** work accidents,  
agriculture, gender, severity,  
location, regional distribution.

doi: 10.15159/jas.19.11

**ABSTRACT.** Occupational accidents in agriculture are a problem all over the world. The costs of accidents are high to the employer and to the national economy as a whole. Work-related ill-health and injury is costing the European Union 3.3% of its GDP. In Estonia, the estimates of the costs of work accidents (WA) in 2012 showed €2.4 billion per year and due to permanent lost workability €25 billion costs in total for society. Even if the most sectors become more automated, there are also self-employed farmers, who cannot always use the newest technologies. At the same time, family members and farm workers are facing risks higher than in most other occupations. Many accidents involve the handling of machinery or animals. The objective of the study was to analyse fatal and non-fatal work accidents by demographic parameters, severity, type, causes and body location of injuries in Estonian agriculture in 2008–2017. **Method.** The database of accidents in agriculture was obtained from the Estonian Labour Inspectorate and the data by absolute numbers, percentages and incident rates have described. **Results.** The total number of accidents at work in agriculture was 1696, which formed 4% from the total economic sector. The average incident rate in the past decade was 678 accidents per 100 000 workers. Predominantly minor accidents and usually among male workers have taken place. There are mainly 3 types of injuries – wounds and superficial injuries (40.4% of the total), bone fractures (25.6%) and concussion and internal injuries (16.2%). The most common causes of work accidents are lack of internal control (20.3%), poor instruction (18.5%) and other factors (18.1%). The most often locations of the injuries throughout the years were upper or lower limbs (35.7% and 33.0% respectively). The biggest number of accidents was taken place at Järva county.

© 2019 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2019 Estonian Academic Agricultural Society.

#### Sissejuhatus

Hoolimata sellest, et ohtlikumad tööalad on muutunud üha enam automatiseerituks ning kvaliteedinõuetelt rohkem reglementeerituks, tuleb tagada töötajatele erinevates valdkondades ohutum töökeskkond ennetamiseks tööõnnetusi ning tööst põhjustatud haigestumisi. Siinjuures võib nentida, et ka põllumajanduses on toimunud suur hüpe tehnika arengus, kuid tööohutuse rakendamine pole Eestis senini olnud prioriteetseks teemaks. Kuna valdavalt mängivad põllumajanduses

rolli väike- või pereettevõtted, kes on sageli registreeritud kui FIE-d (füüsilisest isikust ettevõtja), siis viimastele seadustega etteantud nõuded (nt tööõnnetuste registreerimine) alati ei laiene (Enn, 2018; Merisalu jt, 2019). Väikeettevõtetel napib ka ressursi, et saada ohutusala koolitust ja rakendada nõuetekohaseid ohutusreegleid oma ettevõttes. Seega on põllumajandus kogu maailmas endiselt üks kõige ohtlikumatest töökeskkondadest (Gasperini, 2017).

Kogu põllumajandussektoris on üle maailma hinnanguliselt umbes 1,3 miljardit töötajat – see moodustab



poole maailma tööjõust. Kui võtta arvesse kõik tööga seotud surmajuhtumid, vigastused ja tervisehäired on see üks kolmest kõige ohtlikumast tegevusvaldkonnast (koos ehitus- ja kaevandusvaldkonnaga). Rahvusvahelise Tööorganisatsiooni (ILO, International Labor Organisation) hinnangul sureb vähemalt 170 000 põllumajandustöötajat igal aastal – seega on põllumajandustöötajatel kaks korda suurem risk sattuda surmaga lõppevasse tööõnnetusse kui teiste tegevusvaldkondade töötajatel. Viimase kümne aasta jooksul on surmaga lõppenud tööõnnetuste arv põllumajanduses endiselt kõrgel tasemel, kuigi paljudes teistes sektorites on see arv vähenenud. Lisaks mainitud surmaga lõppenud tööõnnetustele saavad miljonid põllumajandustöötajad vigastada tööõnnetustes, mis on sageli seotud just masinate, loomade ja kemikaalidega. Samuti on põllumajanduses laialt levinud tööõnnetustest mitte teavitamine, mis muudab olemasoleva ametliku statistika küsitavaks ja ehk veelgi kriitilisemaks (International Labour Organization, n.d.; Alvanaja jt, 1996).

Veel mõned põlvkonnad tagasi oli eestlaste üheks põhiliseks tegevusalaks põllumajandus. Kui näiteks 1989. a moodustas põllumajandussektor ligi 21% kõikidest tegevusaladest, siis täna töötab Eestis selles sektoris kõigest mõni protsent kõikidest töötajatest. 2017. a oli hõivatute arv põllumajandussektoris 3,5% kõikidest tegevusaladest (Lauri, 2005).

Euroopa Liidus (EL) juhtunud tööõnnetuste kohta kogub statistikat *Eurostat*, kuid on raske võrrelda Euroopa Liidu siseselt tööõnnetuste arvu kümne aasta taguse ajaga, sest mitmed suured riigid on vahepeal lisandunud. Samuti on 2008. a muutunud tööõnnetuste registreerimise kord – registreeritakse vaid tööõnnetusi, mis põhjustasid haiguslehel viibimist neli ja rohkem päeva. Enamasti puudub tööõnnetuste info kahe viimase aasta kohta, mistõttu on vanemate andmete põhjal raske teha poliitilisi otsuseid riigi või Euroopa tasandil. Sealjuures väikesed perefirmad ja FIE-d ei ole kohustatud raporteerima tööõnnetusi, mistõttu see statistika ei avaldu ei Tööinspektsiooni ega ESAW andmebaasides (Merisalu jt, 2019). 2014. aastal toimus Euroopa Liidu 28 liikmesriigis ligi 3,2 miljonit surmaga mittelõppenud tööõnnetust (mille puhul võeti vähemalt neli päeva haiguslehte) ja 3739 surmaga lõppenud tööõnnetust, s.o üks surmaga lõppenud tööõnnetus 850 mitte surmaga lõppenud tööõnnetuse kohta (suhe 1:850). Võrreldes 2013. aastaga kasvas nii surmaga lõppenud kui mittelõppenud tööõnnetuste arv (Eurostat, 2018).

Lisaks tööõnnetuste absoluutarvudele saab neid väljendada ka seoses hõivatud isikute arvuga, s.o esinemissagedus, annab märku tööõnnetusse sattumise tõenäosuse kohta. 2013. ja 2014. aastal surmaga lõppenud tööõnnetustest madalaimad esinemissagedused oli Rootsis, Ühendkuningriigis, Soomes, Kreekas, Hollandis ja Islandil – vähem kui üks tööõnnetus saja tuhande töötaja kohta, samas kui suurimad väärtused, rohkem kui neli õnnetust saja tuhande töötaja kohta, esinesid Bulgaarias, Lätis, Leedus ja Rumeenias. Surmaga mittelõppenud tööõnnetuste osas oli madalamad väärtused (alla 100 õnnetuse saja tuhande kohta) Kreekas,

Bulgaarias ja Rumeenias ja kõrgeim väärtus (üle 3000 õnnetuse saja tuhande kohta) Prantsusmaal. Eriti madalate väärtuste osas võib aga eeldada, et neis Ida-Euroopa riikides pole riigipoolne toetus tööõnnetuse korral piisav ja seetõttu jäävad paljud tööõnnetused registreerimata, surmaga lõppenud tööõnnetuste osas on veidi teisiti sest neid ei ole võimalik varjata (Eurostat, 2018; Euroopa Tööõnnetusalane Statistika ..., 2001).

Tööõnnetusse sattunud meeste osakaal oli märkimisväärselt suurem võrreldes naistega – 68,7% surmaga mittelõppenud tööõnnetustest toimus meestega. Osa soolisest erinevusest võib seostada asjaoluga, et hõivatimise seas ongi rohkem mehi kui naisi, kuid ka peale tingimuste võrdsustamist on näha, et meeste osas jääb tööõnnetuste esinemissagedus tunduvalt kõrgemaks võrreldes naistega (Eurostat, 2018).

Analüüsides 2014. aasta andmeid vigastuse liigi järgi, võib öelda, et kõige rohkem s.o 30,0% kõikidest vigastustest oli seotud haavade ja pindmiste vigastustega, sellele järgnesid 27,2%-ga nihestused, nikastused ja venitused, seejärel põrutused ja sisemised vigastused (17,2%) ja luumurrud (11,5%) (Eurostat, 2018).

Ühed sagedamini tööõnnetusi põhjustavad tegurid põllumajanduses on masinad, täpsemalt traktorid. Paljud õnnetused juhtuvad masinate ja teiste töövahendite ebaõigest kasutamisest, valedest töövõtetest või masina ehituse ja konstruktsiooniga seotud vigadest. Töötaja võib masina pealt maha kukkuda, selle alla jääda või masina ja mingi teise seadme vahele kinni jääda. Sellised õnnetused lõpevad sageli surmaga (Kogler jt, 2014; Moreschi jt, 2017).

Itaalias viidi läbi uuring, mille käigus uuriti põllumajanduses kasutatavaid traktoreid ja tulemusena leiti, et 1,7 miljonist kasutatavast traktorist 35% olid vanemad kui 44 aastat ja 50% olid vanemad kui 25 aastat. Vanemad traktorid on aga tunduvalt ebaturvalisemad – neil puuduvad sageli turvavööd ning süsteem, mis kaitseb traktori ümber minemise eest (sage surmaga lõppenud õnnetuse põhjus) (Cividino jt, 2018).

Teiseks suurimaks tööõnnetuste põhjuseks põllumajanduses on loomad – mitmete uuringute andmetel moodustavad suure osa tööõnnetustest (rasked tööõnnetused) just veiste või hobustega (Gerberich jt, 2001; Hendricks jt, 2001). Ühes suuremas vigastusi analüüsivas uuringus tuvastasid autorid, et loomadega olid seotud 12% kuni 33% kõikidest tööõnnetustest, see seos oli seda suurem, mida rohkem oli töötaja avatud loomadega kokkupuutele ja loomade lähedusele (McCurdy, 2000). Teises uuringus, mis viidi läbi farmis töötavate naiste seas, leiti, et lausa 43% tööõnnetustest oli põhjustatud loomade poolt (Stueland jt, 1997).

Antud uurimuse eesmärk on anda ülevaade tööõnnetuste dünaamikast Eesti põllumajandussektoris aastatel 2008–2017. Lähtuvalt uuringu eesmärgist analüüsiti tööõnnetuste esinemissagedust raskusastmeti, sõltuvalt soo-vanuselisest ja tööga seotud aspektidest, vigastuse tüübist ja kehaosast, põhjustest ja tagajärgedest ning

õnnetuse toimumise asukohast. Tulemusi võrreldi kolmes alasektoris – taime- ja loomakasvatases, metsanduses ja kalanduses.

### Materjal ja meetodika

Käesolev artikkel kirjeldab ühte osa läbilõikeuurin-gust tööõnnetuste esinemisest Eesti põllumajandussektoris aastatel 2008–2017. Tööõnnetuste statistika põhineb tööandjate poolt Tööinspeksioonile ametlikult esitatud kirjalike tööõnnetuste teatiste andmetel. Informatsioon tööhõive kohta on pärit Statistikaameti kodulehelt.

Artikli autorid said 2018. a alguses lõplikud tööõnnetuste andmed põllumajandussektori kohta Tööinspeksioonist elektroonselt. Saadud andmebaas sisaldas 1696 tööõnnetuse kirjet ja 42 tunnust. Uuritavaks grupiks on põllumajandussektoris tööõnnetustesse sattunud töötaja (vanuses 15–74 a), kellega toimunud tööõnnetus registreeriti Tööinspeksioonis perioodil 2008–2017. Sellesse gruppi kuulusid suur-, keskmiste-, väike- ja mikroettevõtete palgatöölised põllumajanduses. Samuti hooajatöötajad, ettevõtjad, renditöölised, õpilased, praktikandid, täis- ja osalise ajaga töötajad, tähtajatu ja tähtajalise lepinguga töötajad. Valimisse kuulusid erinevate ametite esindajad: juhid, spetsialistid, oskus-, käsi- ja lihttöölised kolmest põllumajandussektori alavaldkonnast (taime- ja loomakasvatus, metsandus, kalandus). Siia ei kuulu lapsed ja noored alla 15 a.

Käesolevas artiklis antakse ülevaade kuue tunnuse kohta – tööõnnetuste arv, raskusaste, sugu, vigastuse liik, vigastatud kehaosa ja toimumiskoht (maakond).

### Tulemused ja arutelu

Viimasel kümnel aastal on registreeritud tööõnnetuste arv Eesti põllumajandussektoris vähehaaval, kuid stabiilselt tõusnud. Võrreldes tööõnnetuste arvuga kõikides majandussektorites kokku, on põllumajanduses tööõnnetuste kasv tagasihoidlikum. Kuid tööõnnetuste esinemissagedus (saja tuhande töötaja kohta) on teatud aastatel (2008–2010, 2014 ja 2017) kõrgem kui kogu majandussektoris keskmiselt kokku. Kui tööõnnetuste üldarv kõikides majandussektorites aastal 2009. oli saja tuhande töötaja kohta 495 (s.o viimase kümne aasta madalaim) siis 2016. aastaks kasvas see 788-ni (s.o kümnendi kõrgeim). Põllumajandussektori madalaim oli 2012. aastal 543 ja kõrgeim 2017. aastal 801 tööõnnetust saja tuhande töötaja kohta. Keskmiselt oli aastatel 2008–2017 põllumajandussektoris 678 tööõnnetust saja tuhande töötaja kohta. Seda on veidi enam kui kõikides tegevusalades kokku ( $n = 672$ ).

Tööinspeksiooni tööõnnetuste andmebaasist selgub, et aastatel 2008–2017 toimus Eesti põllumajandussektoris 1696 tööõnnetust. Põllumajandussektor jaguneb omakorda kolmeks alavaldkonnaks: taime- ja

loomakasvatus, mis hõlmab endas ka jahindust ja neid teenindavaid tegevusalasid; metsamajandus, mis hõlmab ka metsavarumist ja kalapüük, mis hõlmab ka vesiviljelust.

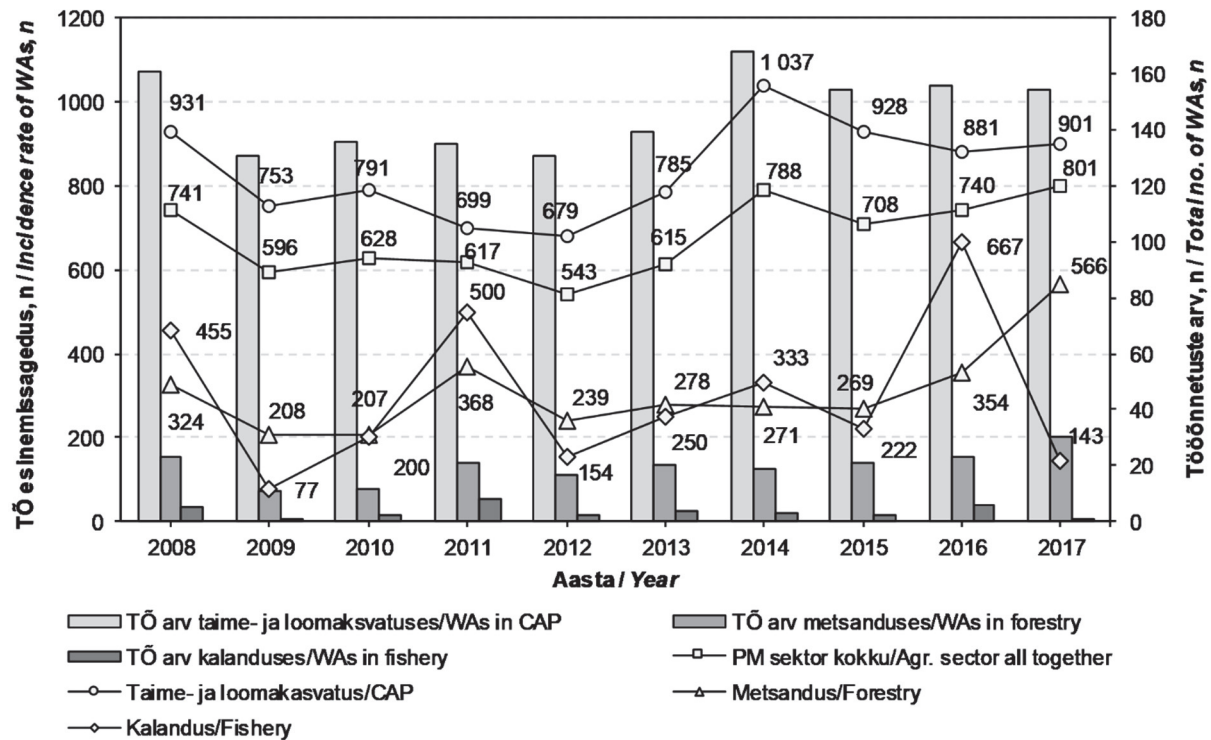
Suurim osa tööõnnetustest toimusid taime- ja loomakasvatuse valdkonnas, kus sai vigastada 1465 töötajat, s.o 86,4% kõikidest selles sektoris toimunutest. Metsanduses sai vigastada 197 töötajat (11,6%) ning kalanduses 34 töötajat (2,0%). Registreeritud tööõnnetuste arv vaadeldud ajaperioodil kasvab nii taime- ja loomakasvatases kui metsanduses, kalanduse valdkonnas on olukord stabiilsem (Enn jt, 2019).

Joonisel 1 on primaarteljel kujutatud esinemissagedus saja tuhande töötaja kohta nii taime- ja loomakasvatases, metsanduses, kalanduses kui ka kogu põllumajandussektoris – taime- ja loomakasvatases jäävad numbrid kõikide aastate jooksul kõrgemale kui sektoris kokku (ka kõikides majandussektorites toimunud tööõnnetuste esinemissagedus on igal vaadeldaval aastal madalam), neist aastatest õnnetusterohkeim oli 2014. aasta, kui toimus 168 tööõnnetust. Kuid tööga hõivatute arv oli kümne aasta madalaimal tasemel (16 200 inimest), sellest tulenevalt on ka esinemissagedus saja tuhande töötaja kohta rekordiliselt suur – 1037. Metsanduses ja kalanduses jäävad esinemissagedused kõikide aastate jooksul madalamale kui sektoris kokku. Sekundaarteljel on näha tööõnnetuste arvud kolmes põllumajandussektori alavaldkonnas.

Kuigi taime- ja loomakasvatuse alavaldkonnas on juhtunud kõige rohkem tööõnnetusi ja ka töötajate hulk, kes selles valdkonnas töötavad on kõige suurem, tuleb mainida, et tööga hõivatute arv jaguneb nende kolme valdkonna vahel järgmiselt: taime- ja loomakasvatases 70%, metsanduses 25,8% ja kalanduses 4,5% tööga hõivatuid. Seega juhtub 70% taime- ja loomakasvatases töötavate inimestega ligi 87% tööõnnetustest. Metsanduses ja kalanduses on olukord vastupidine – suurema osaga töötajatest juhtub väiksem osa tööõnnetustest, metsanduses – 25,8% töötajatest esineb 11,1% õnnetusi ja kalanduses 4,5% töötajaid 2,2% õnnetusi.

Põllumajandussektoris tööõnnetusse sattunud meeste ja naiste osakaal jaguneb järgmiselt – 51,8% mehed ja 48,2% naised. Naiste osakaalu suurendab taime- ja loomakasvatuse alavaldkonnas piimakarjakasvatus, kus juhtub palju õnnetusi lüpsjatega. Taime- ja loomakasvatuse alavaldkonnas juhtus 54,2% tööõnnetustest just naistega. Võrdluseks võib tuua metsanduse, kus naistega juhtus 21% tööõnnetustest ja kalanduses – vaid 2%.

Tabelis 1 on näha kuidas jagunevad aastatel 2008–2017 toimunud tööõnnetuste arvud meeste ja naiste vahel, seda nii taime- ja loomakasvatases, metsanduses, kalanduses ja ka kogu põllumajandussektoris kokku.



**Joonis 1.** Tööõnnetuste (TÕ) esinemissagedus põllumajandussektoris (PM) ja alavaldkondades ning absoluutarvud vaid alavaldkondades aastatel 2008–2017 (tööõnnetuste esinemissagedus saja tuhande töötaja kohta,  $n$  – vasakul; tööõnnetuste absoluutarv,  $n$  – paremal)

**Figure 1.** Dynamics of incidence rate and absolute numbers of accidents at work (WAs) in Estonian agriculture and subsectors (CAP – crop and animal production) from 2008 to 2017 (incidence rate for 100 000 workers,  $n$  – on the left; absolute number,  $n$  – on the right)

**Tabel 1.** Tööõnnetuste sooline jaotuvus põllumajandussektoris ja selle valdkondades aastatel 2008–2017

**Table 1.** Gender distribution of accidents at work from 2008 to 2017

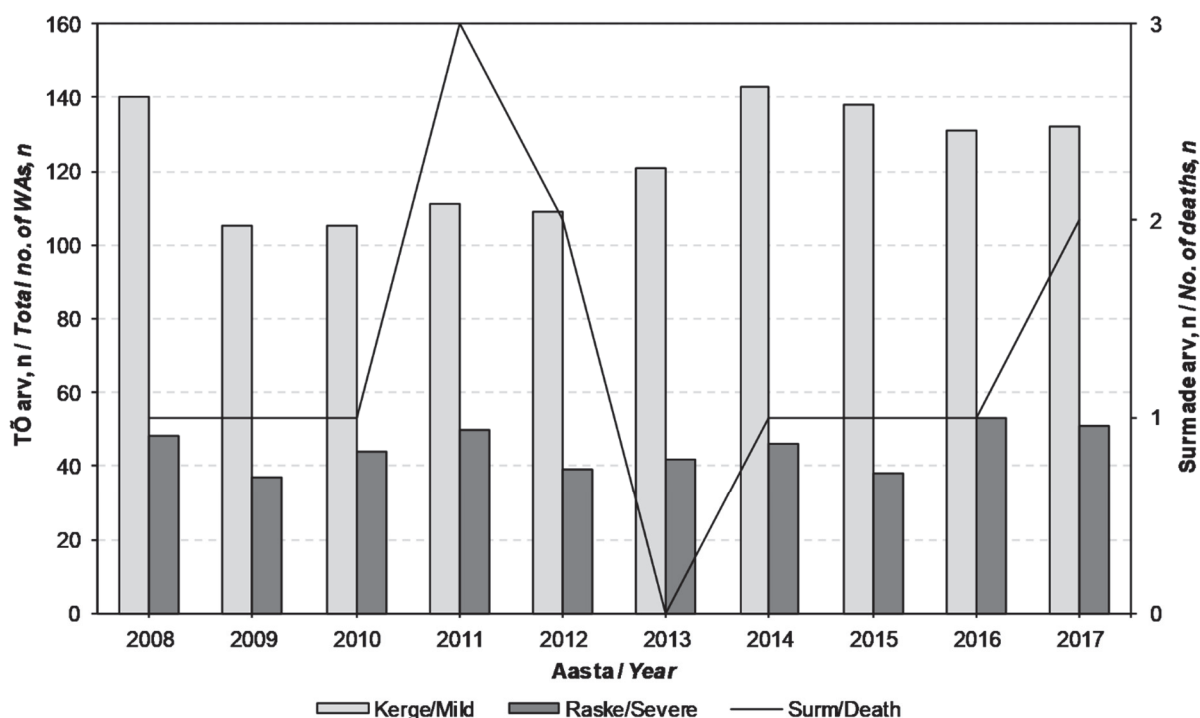
| Aasta<br>Year  | Põllumajandus<br>Agriculture |               |                | Metsandus<br>Forestry |               |                | Kalandus<br>Fishery |               |                | Kogu põllumajandussektor<br>Entire agricultural sector |               |                |
|----------------|------------------------------|---------------|----------------|-----------------------|---------------|----------------|---------------------|---------------|----------------|--------------------------------------------------------|---------------|----------------|
|                | Naisi<br>Females             | Mehi<br>Males | Kokku<br>Total | Naisi<br>Females      | Mehi<br>Males | Kokku<br>Total | Naisi<br>Females    | Mehi<br>Males | Kokku<br>Total | Naisi<br>Females                                       | Mehi<br>Males | Kokku<br>Total |
| 2008           | 79                           | 82            | 161            | 3                     | 20            | 23             | 0                   | 5             | 5              | 82                                                     | 107           | 189            |
| 2009           | 73                           | 58            | 131            | 1                     | 10            | 11             | 1                   | 0             | 1              | 75                                                     | 68            | 143            |
| 2010           | 72                           | 64            | 136            | 0                     | 12            | 12             | 0                   | 2             | 2              | 72                                                     | 78            | 150            |
| 2011           | 70                           | 65            | 135            | 2                     | 19            | 21             | 1                   | 7             | 8              | 73                                                     | 91            | 164            |
| 2012           | 75                           | 56            | 131            | 2                     | 15            | 17             | 0                   | 2             | 2              | 77                                                     | 73            | 150            |
| 2013           | 81                           | 58            | 139            | 2                     | 18            | 20             | 0                   | 4             | 4              | 83                                                     | 80            | 163            |
| 2014           | 79                           | 89            | 168            | 2                     | 17            | 19             | 0                   | 3             | 3              | 81                                                     | 109           | 190            |
| 2015           | 80                           | 74            | 154            | 2                     | 19            | 21             | 0                   | 2             | 2              | 82                                                     | 95            | 177            |
| 2016           | 95                           | 61            | 156            | 4                     | 19            | 23             | 0                   | 6             | 6              | 99                                                     | 86            | 185            |
| 2017           | 90                           | 64            | 154            | 3                     | 27            | 30             | 0                   | 1             | 1              | 93                                                     | 92            | 185            |
| Kokku<br>Total | 794                          | 671           | 1465           | 21                    | 176           | 197            | 2                   | 32            | 34             | 817                                                    | 879           | 1696           |

Raskusastmeti juhtub kõige rohkem kergeid tööõnnetusi (joonis 2). Uuritud kümne aasta jooksul toimus põllumajandussektoris 1235 kergemat (72,8%), 448 rasket (26,5%) ja 13 surmaga lõppenud tööõnnetust (0,8%). Tööõnnetuste arvud näitavad kõigi kolme raskusastme osas tõusvat trendi.

Surmaga lõppenud tööõnnetused viimasel kümnendil jagunesid taime- ja loomakasvatuse ( $n = 9$ ) ning metsanduse vahel ( $n = 4$ ). Kalanduses surmaga lõppenud tööõnnetusi ei esinenud.

Jooniselt 2 võib näha, et 2013. aastal ei esinenud põllumajanduses ühtki surmaga lõppevat tööõnnetust. Samas, surmaga lõppenud tööõnnetuste arv oli suurim 2011. aastal, kui põllumajandussektoris toimus kolm surmaga lõppenud tööõnnetust (kõik kolm toimusid taime- ja loomakasvatuse valdkonnas).

Kui kõrvale jätta surmaga lõppenud tööõnnetused ja võrrelda kergeid ja raskete tööõnnetuste suhet alasektorite kaupa, siis taime- ja loomakasvatuse osas on see suhe 3:1 (74,3% vs 25,1%), metsanduses 2:1 (65,5% vs 32,5%) ja kalanduses ligi 1:1 (52,9% vs 47,1%).

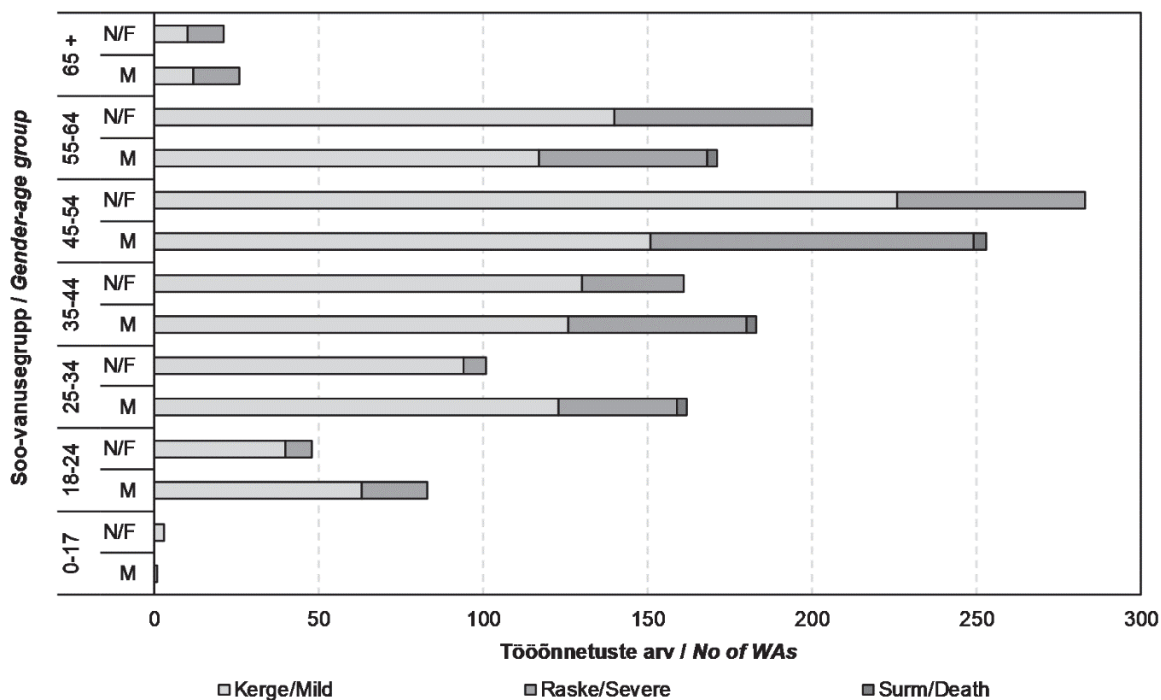


**Joonis 2.** Kerged, rasked ( $n$  – vasakul) ja surmaga ( $n$  – paremal) lõppenud tööõnnetused (TÕ) kogu põllumajandussektoris aastatel 2008–2017

**Figure 2.** Mild, severe ( $n$  – on the left) and fatal ( $n$  – on the right) work accidents (WAs) from 2008 to 2017

Joonisel 3 on toodud tööõnnetuste soo-vanuseline jaotus sõltuvalt vigastuse raskusastmest. Jooniselt on näha, et kõige rohkem kergeid tööõnnetusi juhtus naistega vanusegrupis 45–54 aastat ( $n = 226$ ). Kolmandiku võrra vähem juhtus õnnetusi samas vanusegrupis meestega ( $n = 151$ ), järgnesid naised vanuses 55–64 ( $n = 140$ ) ja 35–44 ( $n = 130$ ) aastat. Raskeid tööõnnetusi oli samuti

kõige rohkem vanusgrupis 45–54 aastat, kuid enam meestega ( $n = 98$ ). Seejärel on raskeid vigastusi registreeritud naistega vanuses 55–64 ( $n = 60$ ) ja 45–54 ( $n = 57$ ) ning meestega vanuses 35–44 ( $n = 54$ ). Raskeid tööõnnetusi on viimasel kümnendil esinenud rohkem meestega kui naistega (274 vs 174).



**Joonis 3.** Tööõnnetuste arv sõltuvalt soo-vanuselisest (N – naised; M – mehed) jaotumisest ja vigastuse raskusastmest Eesti põllumajandussektoris

**Figure 3.** The absolute numbers of work accidents by severity, gender (F – female; M – male) and age in Estonian agriculture

**Tabel 2.** Tööõnnetusse sattunud töötajate enim esinenud vigastuste liigid ja vigastatud kehaosad, aastate 2008–2017 lõikes  
**Table 2.** Most common injuries and injured body parts, from 2008 to 2017

| Vigastuste liik<br><i>Type of injuries</i>                               | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | Kokku<br><i>Total</i> | %    |
|--------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|------|
| Haavad ja pindmised vigastused<br><i>Wounds and superficial injuries</i> | 70   | 77   | 70   | 46   | 47   | 50   | 61   | 102  | 93   | 70   | 686                   | 40,4 |
| Luumurrud<br><i>Bone fractures</i>                                       | 54   | 39   | 45   | 48   | 32   | 47   | 42   | 29   | 58   | 41   | 435                   | 25,6 |
| Põrutused ja sisemised vigastused<br><i>Internal injuries</i>            | 24   | 12   | 20   | 46   | 45   | 52   | 53   | 10   | 2    | 11   | 275                   | 16,2 |
| Vigastatud kehapiirkond<br><i>Injured body part</i>                      | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | Kokku<br><i>Total</i> | %    |
| Ülajäse<br><i>Upper limb</i>                                             | 69   | 54   | 55   | 59   | 54   | 50   | 64   | 71   | 78   | 52   | 606                   | 35,7 |
| Alajäse<br><i>Lower limb</i>                                             | 74   | 50   | 49   | 59   | 51   | 60   | 73   | 52   | 53   | 49   | 570                   | 33,6 |

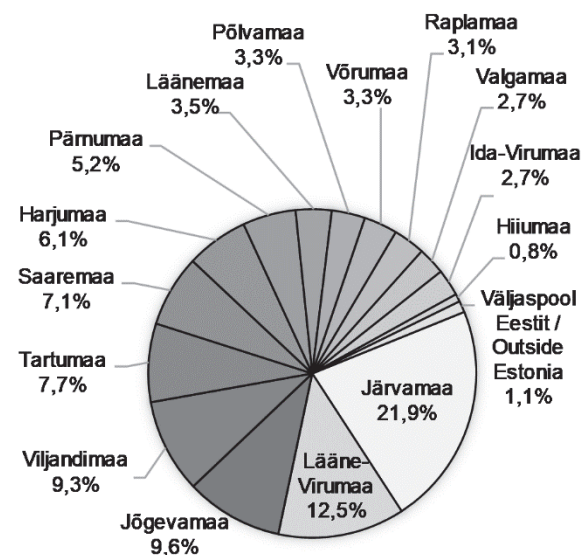
Peamiseks tööõnnetuste põhjuseks raporti põhjal oli tööohutusnõuete rikkumine töötaja poolt (53,9%) ja seejärel puudulik väljaõpe ning juhendamine (28,9%). Tööõnnetuste põhjuste uurimine aga näitas, et peamiseks tööõnnetuse põhjuseks oli puudulik töökeskkonna sisekontroll (20,3%), puudulik väljaõpe (18,5%) ja muud põhjused (18,1%). Kõige rohkem toimus tööõnnetusi taime ja loomakasvatuses kontrolli kaotamisel looma üle (30,5%). Metsanduses esines enam tööõnnetusi kontrolli kaotamisel masina, teisaldusseadme või -objekti üle (29,4%), kus enamasti kaotati kontroll mootorsae üle. Kalanduses oli enam õnnetusi seotud libastumise või kukkumisega (35,3%) ning seejärel kontrolli kaotamine masina või seadme üle (26,5%). Suur osa tööõnnetustest (77%) toimus töötajatega, kelle tööstaaz oli alla 10 aasta, sh 31% staažiga 3–9 aastat, 25% staažiga alla aasta ja 21% staažiga 1–3 aastat. Pooled tööõnnetustest on põhjustanud haiguspuudumisi 15–90 päeva.

Tabelis 2 on esitatud tööõnnetusse sattunud töötajate hulgas enim esinenud vigastuste liigid ja vigastatud kehaosad. Aastate dünaamikas on näha, et kõige suurem osa vigastusi olid kergelt laadi – haavad ja pindmised vigastused – 40,4%, järgnesid aga juba tõsisemad, kinnised ja lahtised luumurrud, – 25,6%, seejärel põrutused ja sisemised vigastused – 16,2%. Kõige sagedamini vigastati üla- või alajäset (35,7% ja 33%).

Joonisel 4 on näidatud tööõnnetuste arvu protsentuaalne jagunemine Eesti maakondades. Tööõnnetusi on toimunud vaadeldaval perioodil kõikides Eesti maakondades kuid kõige rohkem Järva maakonnas ( $n = 372$ ), järgnevad Lääne-Virumaa ( $n = 212$ ), Jõgevamaa ( $n = 163$ ) ja Viljandimaa ( $n = 157$ ). Kui vaadelda aga esinemissagedust saja tuhande töötaja kohta, toimub esineliikus muutus – Järvamaal 2260, Saaremaal 931, Jõgevamaal 908 ja Lääne-Virumaal 895 tööõnnetust saja tuhande töötaja kohta. Ülejäanud üheteistkümmes maakonnas oli tööõnnetuste esinemissagedus väiksem kui keskmiselt põllumajandussektoris – 671.

### Kokkuvõte ja arutelu

Antud uurimus tööõnnetuste detailsest statistikast on Eestis esmakordne. Seni on avaldatud tööinspektsiooni aastaaruannetes vaid tööõnnetuste üldised näitajad tegevusalade kaupa. Uuringu tulemustest selgub, et põllumajandussektoris toimuvate tööõnnetuste esinemissagedus on teatud aastatel kõrgem kui kõigis teistes Eesti majandussektorites keskmiselt kokku. Kõige rohkem tööõnnetusi põllumajanduses toimub taime- ja loomakasvatuses. Enamik tööõnnetustest on kergelt laadi, haavad ja pindmised vigastused ning hõlmavad sagedamini üla- ja alajäsemeid. Kuid ka rasked ja surmaga lõppenud tööõnnetusi on palju, mida saaks põhjuste analüüsimisel varakult ennetada või ära hoida. Tööõnnetuste arvud on kõigi kolme raskusastme osas tõusvas trendis. Kuigi põllumajandussektoris üldiselt töötab veidi rohkem mehi, on taime- ja loomakasvatuses rohkem naisi, kelle hulgas toimub kõige enam tööõnnetusi, mida on põhjustanud loomad. Metsanduses on sagedamaks põhjuseks kontrolli kaotamine masina või seadme üle. Kalanduses on ligi pooled tööõnnetustest rasked ja sagedaimaks põhjuseks komistamine, libastumine ja kukkumine. Rasked tööõnnetusi esineb meestega enam kui naistega. Rasketest vigastustest



**Joonis 4.** Tööõnnetuste jagunemine maakonniti kogu põllumajandussektoris aastatel 2008–2017

**Figure 4.** Distribution of accidents at work in Estonian counties, from 2008 to 2017



osakaal on suurim metsanduses. Kõige rohkem tööõnnetusi, arvestades töötajate arvu, esineb Järvamaal.

Antud tulemused näitavad sarnasust teiste maade uuringutega, kus enam saavad vigastada mehed (Eurostat, 2018). Samuti on sarnasusi tööõnnetuste põhjustes, kus on mainitud kontrolli kaotamist masina (Kogler jt, 2014; Moreschi jt, 2017; Cividino jt, 2018) või looma üle (Gerberich jt, 2001; Hendricks jt, 2001; McCurdy 2000; Stueland jt, 1997). Eurostati andmebaasidest selgus, et 2013. a oli tööõnnetuste esinemissagedus (saja tuhande töötaja kohta) Eesti naiste hulgas Euroopas esimese kolme hulgas (Soomes 4158 vs Eestis 3335,5 vs Itaalias 3205,9) (Eurostat, 2018).

Kui võrrelda surmaga lõppenud tööõnnetuste esinemissagedust selliste Euroopa suuremate põllumajandusriikidega, nagu Taani, Holland, Prantsusmaa ja Suurbritannia, võib öelda, et Holland on viimase kümnendiga surmaga lõppenud tööõnnetused viinud miinimumini (aastatel 2013–2017 oli keskmine surmaga lõppenud tööõnnetuste esinemissagedus 0,81). Eestis on viimasel viiel aastal olnud olukord veidi parem kui teistes mainitud riikides (esinemissagedused vastavalt: Eestis 4,7; Suurbritannias 8,7; Prantsusmaal 9,4; Taanis 11,3) (Eurostat, 2019a). Kui surmaga mittelõppenud õnnetuste osas võib Eesti paigutada ühele pulgale nii Hollandi, Taani kui ka Suurbritanniaga (tööõnnetuste esinemissagedused vastavalt: Eestis 1455; Hollandis 1490; Taanis 1592; Suurbritannias 2137), siis Prantsusmaa näitab kogu Euroopa Liidu kõige kõrgemaid arve surmaga mittelõppenud tööõnnetuste osas ( $n = 4928$ ) (Eurostat, 2019b).

Kuna tööõnnetustesse satuvad põllumajandustöötajad enamasti tööstaažiga alla kümne aasta ja veerand juhtudest toimub äsja tööle asunud töötajatega (staaž alla aasta), siis on oluline anda noortele põhjalikud ohutus- ja teadmised juba koolipingis (kutse- ja kõrgharidustasemes). Ka Eesti Maaülikoolis tuleks rohkem tähelepanu pöörata tööohutusele kõikides diplomioõppe valdkondades ja tasemetes. Oluline on ära märkida ka tööõnnetustes elu kaotanud või pikaajaliselt haiguslehel viibivate töötajate tõttu kujunenud majanduslikke kulusid ja eelkõige kahju põllumajandusele.

Kuigi põllumajanduse osakaal moodustab vaid 3,5% kõikidest majandussektoritest, jääb see valdkond ikkagi mingil määral Eesti inimese toidulaua kujundajaks. Seetõttu tuleb võtta tööõnnetuste suurt osakaalu ja selle jätkuvat tõusutrendi Eesti põllumajanduses tõsiselt. Arvesse tuleb võtta ka asjaolu, et tegemist on alaraporteerimisega – kõiki tööõnnetusi ei registreerita. Põhjuseks on asjaolu, et see seaduse nõue ei laiene füüsilisest isikust ettevõtjatele, kellest paljud tegutsevad ka n.ö pereettevõttena. Seadus ütleb, et füüsilisest isikust ettevõtjaga toimunud tööõnnetusest tuleb teatada tööinspeksioonile vaid siis, kui ta töötab samal töökohal koos ühe või mitme tööandja töötajatega. Kui aga FIE on üksikettevõtja ja endale tööandja, siis registreerimiskohustust ei ole (Tööõnnetuste ja kutschaiguste ..., 2019).

See, et viimasel kümnendil on Järvamaal registreeritud keskmisest oluliselt kõrgem tööõnnetuste arv, ei pea veel tähendama seda, et ohutuskultuur on eriti halb. Põhjuseks võib olla ka hoolikam tööõnnetuste registreerimine, võrreldes teiste maakondadega. Samuti võib mõjutada tööõnnetuste esinemissagedust selle piirkonna suurem osalus taim- ja loomakasvatuses ning ka mitmed muud põhjused. Selgema ülevaate saamiseks töötajate ohutusteadlikkusest Eesti põllumajanduses uuringud jätkuvad.

## Järeldused

Lähtuvalt uuringu tulemustest ja rahvusvahelise kirjanduse analüüsist võib öelda, et põllumajandussektor on üsna ohtude ja tööõnnetuste rohke ala ja seda ka Eestis. Kuna viimase kümnendil tööõnnetuste esinemissagedus põllumajanduses ületab kohati teiste majandusharude näitajaid ja üldarv näitab tõusutendentsi, siis tuleks suuremat tähelepanu pöörata ettevõtjate ohutusteadlikkusele ja tööõnnetuste ennetamisele. Erilist tähelepanu nõuavad maakonnad, kus tööõnnetuste esinemissagedus on keskmisest suurem. Samuti tuleks parandada tööõnnetuste registreerimise süsteemi seadusandlikul tasemel, et statistikas kajastuksid võimalikult tõelähedased arvud.

Töötervishoid ja tööohutus mängivad suurt rolli nii sotsiaalses kui majanduslikus heaolus. Tööõnnetuste ennetamine aitab säästa haiguskulusid põllumeeste hulgas ja üldist majanduslikku kahju nii antud sektori tasemel kui ka riiklikult tervikuna. Samuti on oluline, et tööõnnetuste statistika oleks usaldusväärne ja tegelekkusele vastav, et kasutusele võtta vajalikud ohutusmeetmed ja ennetavad tegevused.

### Huvide konflikt

Autorid kinnitavad artikliga seotud huvide puudumist.

### Conflict of interest

*The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.*

### Autorite panus

AE, EM – katse kontseptsioon ja planeerimine;  
AE, EM – andmete kogumine;  
AE, EM – katseandmete analüüs ja tõlgendamine;  
AE – käsikirja mustandi kirjutamine;  
AE, EM – lõpliku käsikirja toimetamine ja heaks kiitmine.

### Author contributions

AE, EM – study conception and design;  
AE, EM – acquisition of data;  
AE, EM – analysis and interpretation of data;  
AE – drafting of the manuscript;  
AE, EM – critical revision and approval of the final manuscript.

### Kasutatud kirjandus

Alvanaja, M.C., Sandler, D.P., McMaster, S.B., Zahm, S.H., McDonnell, C.J., Lynch, C.F. 1996. The agricultural health study. – *Environ. Health Perspect.* 104(4):362–369, doi: 10.1289/ehp.96104362.

- Cividino, S.R.S., Pergher, G., Zucchiatti, N., Gubiani, R. 2018. Agricultural Health and Safety Survey in Friuli Venezia Giulia. – *Agriculture*, 8(1)9, 11 pp, doi: 10.3390/agriculture8010009.
- Enn, A. 2018. Prevalence and dynamics of work accidents in Estonian agriculture. – Master Thesis. Estonian University of Life Sciences, Tartu, Estonia, 114 pp.
- Enn, A., Merisalu, E. 2019. Dynamics of WA incidence by severity, gender and lost workdays in Estonian agricultural sector and sub-sectors in 2008–2017. – *Agronomy Research*, 17. In Press, doi: 10.15159/ar.19.169.
- Euroopa Tööõnnetusalane Statistika (ESAW). Metodoloogia – 2001. a väljaanne. 2001. – <http://osh.sm.ee/publications/esaw.pdf> Viimati külastatud 18/10/2018.
- Eurostat. 2017. Accidents at work (ESAW, 2008 onwards). – [https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/hsw\\_acc\\_work\\_esms.htm](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/hsw_acc_work_esms.htm) Accessed on 18/10/2018.
- Eurostat. 2018. Accidents at work statistics. – [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents\\_at\\_work\\_statistics#Further\\_Eurostat\\_information](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents_at_work_statistics#Further_Eurostat_information) Accessed on 18/10/2018.
- Eurostat. 2019a. Fatal accidents at work by NACE Rev. 2 activity. – [https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=hsw\\_n2\\_02&lang=en](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=hsw_n2_02&lang=en) Accessed on 11/11/2019.
- Eurostat. 2019b. Non-fatal accidents at work by NACE Rev. 2 activity and sex. – <https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do> Accessed on 11/11/2019.
- Gasperini, F.A. 2017. Agricultural Leaders' Influence on the Safety Culture of Workers. – *Journal of Agromedicine*, 22(4):309–311, doi: 10.1080/1059924X.2017.1357514.
- Gerberich, S.G., Gibson, R.W., French, L.R., Renier, C.M., Lee, T.-Y., Carr, W.P., Shutske, J. 2001. Injuries among children and youth in farm households: Regional Rural Injury Study-I. – *Inj. Prev.* 7(2):117–22, doi: 10.1136/ip.7.2.117.
- Hendricks, K.J., Adekoya, N. 2001. Nonfatal animal-related injuries to youth occurring on farms in the United States, 1998. – *Inj. Prev.* 7(4):307–311, doi: 10.1136/ip.7.4.307.
- International Labour Organization. n.d. Agriculture: a hazardous work. – [http://www.ilo.org/safework/areasofwork/hazardous-work/WCMS\\_110188/lang-en/index.htm](http://www.ilo.org/safework/areasofwork/hazardous-work/WCMS_110188/lang-en/index.htm) Accessed on 18/10/2018.
- Kogler, R., Quendler, E., Boxberger, J. 2014. Accident at work with fertilizer distributors in Austrian agriculture. – *Agric. Eng. Int.: CIGR Journal*, 16(3):157–165.
- Laansalu, A. 2002. Kriis põllumajanduses 90. aastatel. – [http://www.estonica.org/et/Maamajandusest\\_2001\\_aastani/Kriis\\_p%C3%B5llumajanduses\\_90\\_aastatel/](http://www.estonica.org/et/Maamajandusest_2001_aastani/Kriis_p%C3%B5llumajanduses_90_aastatel/) Viimati külastatud 17/10/2018.
- Lauri, M. 2005. Põllumajandus ja metsandus. – *Estonica – Entsüklopeedia Eestist*. [http://www.estonica.org/et/Majandus/Eesti\\_majandusest\\_%C3%BCldiselt/P%C3%B5llumajandus\\_ja\\_metsandus/Viimati\\_k%C3%BClastatud\\_17/10/2018](http://www.estonica.org/et/Majandus/Eesti_majandusest_%C3%BCldiselt/P%C3%B5llumajandus_ja_metsandus/Viimati_k%C3%BClastatud_17/10/2018).
- Merisalu, E., Leppälä, J., Jakob, M., Rautiainen, R.H. 2019. Variation in European and national statistics of accidents in agriculture. – *Agronomy Research*. 17. In Press, doi: 10.15159/ar.19.190.
- Moreschi, C., Broi, U.D., Fanzutto, A., Cividino, S., Gubiani, R., Pergher, G. 2017. Medicolegal Investigations into Deaths Due to Crush Asphyxia after Tractor Side Rollovers. – *Am. J. Forensic Med. Pathol.* 38(4):312–317, doi: 10.1097/PAF.0000000000000334.
- McCurdy, S.A., Carroll, D.J. 2000. Agricultural injury. – *Am. J. Ind. Med.* 38(4):463–480, doi: 10.1002/1097-0274(200010)38:4<463::aid-ajim13>3.0.co;2-n.
- Stueland, D.T., Lee, B.C., Nordstrom, D.L., Layde, P.M., Wittman, L.M., Gunderson, P.D. 1997. Case-control study of agricultural injuries to women in central Wisconsin. – *Women Health*, 25(4):91–103, doi: 10.1300/J013v25n04\_05.
- Tööõnnetuse ja kutseshaigestumise registreerimise, teatamise ja uurimise kord. Vabariigi Valitsuse 03.04.2008 vastu võetud määrus nr 75. RT I 2008, 17, 120, jõust. 19.04.2008. Viimati muudetud 01.01.2019, RT I, 05.12.2018, 16. – <https://www.riigiteataja.ee/akt/12950663?leiaKehtiv> Viimati külastatud 18/10/2018.
- Eurostat. 2019. Your key to European statistics. – <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database> Accessed on 19/10/2019.

### The prevalence of work accidents in Estonian agriculture in 2008–2017

Anni Enn, Eda Merisalu

Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology, Chair of Biosystems Engineering, Fr. R. Kreutzwaldi 56, 51006 Tartu, Estonia

#### Summary

Work accidents (WA) in agriculture are a problem all over the world. There are over 1.3 billion agricultural worker that counts more than 50% of all the worlds' workforce. Even if the most of work tasks become more automated, farmers, family members and farm workers are facing risks at work that are higher than in most other occupations. Many accidents involve the handling of machinery or animals. The costs of WAs are increasing, exhausting national economy as a whole. Work-related ill-health and injury is costing the European Union 3.3% of its GDP. That's €476 billion every year which could be saved with the right occupational safety and health strategies, policies and practices. In Estonia, the estimates of the costs of WAs in 2012 showed €2.4 billion per year and due to permanent lost workability €25 billion costs in total for

society. The aim of this study is to analyse accidents at work depending on demographics and job-related factors in Estonian agriculture in the past decade.

The database of accidents in agriculture (2008–2017) has obtained from the Estonian Labour Inspectorate. The dynamics of absolute numbers of WAs and incidence rate per 100 000 workers in agriculture have been described by the sub-sectors – horticulture and farming, forestry and fishery. Also, the statistics of WAs by gender, severity, type and body region and regional distribution of injuries.

The total number of WAs in agriculture in 2008–2017 was 1696, and it formed a whole 4% of all WAs in Estonia. There were 1683 non-fatal accidents from which 1235 mild and 448 severe accidents. In the past decade, only 13 fatal work accidents have recorded. The number of WAs shows the tendency to increase during the observed period. The incidence rate of WAs was the lowest in 2012 – 543 and highest in 2017 – 801 cases per 100 000 workers. Most often WAs took place

at the age of 45–54 and mostly among the males (879 M vs 817 F). However, in crop and animal production work accidents dominated among the females (671 M vs 794 F) but in forestry and fishery *vice versa* – about 90% of WAs happened to males. There were 1235 mild (72.8%), 448 severe (26.5%) and 13 fatal (0.8%) WAs. By the type of injury most often wounds and superficial injuries (40.4% of the total), bone fractures (25.6%) and concussion and internal injuries (16.2 %) have been registered. Upper and lower limbs (35.7% and 33.0%) were the most often injured body regions. The highest incidence rate of WAs was in the Järva-, Saare- and Jõgeva county (n = 2260, n = 931 and n = 908 respectively).

The agriculture is the sector with high risks of activities, where injury rate shows steady tendency to increase. It is important to pay more attention on improvement of safety culture and prevention of work accidents in agriculture in Estonia.



## RETRACTION

## DETERMINATION OF EFFICIENCY IN THE DESIGN PHASE OF THE ENTERPRISE BY THE METHOD OF FINITE RELATIONS

Valerij Karpov<sup>1</sup>, Artem Nemtsev<sup>1</sup>, Toivo Kabanen<sup>2</sup>, Andres Annuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Saint-Petersburg State Agrarian University, Pushkin-1, Box No 1, 196600, St.-Petersburg, Russia*

<sup>2</sup>*Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology, Chair of Energy Application Engineering, Fr. R. Kreutzwaldi 56, 51006 Tartu, Estonia*

|                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Saabunud:<br/>Received:<br/>Aktsepteeritud:<br/>Accepted:</p> <p>Avaldatud veebis:<br/>Published online:</p> <p>Vastutav autor:<br/>Corresponding author:<br/>E-mail: andres.annuk@emu.ee</p> <p>doi: 10.15159/jas.19.12</p> | <p>03.11.2019</p> <p>15.11.2019</p> <p>29.11.2019</p> <p>Andres Annuk</p> | <p>The manuscript "DETERMINATION OF EFFICIENCY IN THE DESIGN PHASE OF THE ENTERPRISE BY THE METHOD OF FINITE RELATIONS" by Valerij Karpov, Artem Nemtsev, Toivo Kabanen and Andres Annuk was submitted to Agraarteadus on 3 November 2019, accepted on 15 November 2019 and published on In Press on 29 November 2019. In December 2021, we received expressions of concern from the Academic Ethics Commission of the Estonian University of Life Sciences about similarities with the article entitled "Determination of efficiency in the design phase of the enterprise by the method of finite relations" ("Opredelenie jenergeticheskoy jeffektivnosti na jetape proektirovaniya predpriyatija metodom konechnyh otnosheniy") [In Russian] <a href="https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-energeticheskoy-effektivnosti-na-etape-proektirovaniya-predpriyatija-metodom-konechnyh-otnosheniy/pdf">https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-energeticheskoy-effektivnosti-na-etape-proektirovaniya-predpriyatija-metodom-konechnyh-otnosheniy/pdf</a> by Valerij Karpov and Artem Nemtsev submitted to Bulletin of MSTU, vol. 18, no. 4, 2015, pp. 709–718 (Vestnik MGTU, tom 18, # 4, 2015 g. str. 709–718). The expert of the Academic Ethics Commission of the Estonian University of Life Sciences analysed articles for similarities. The analysis revealed that the two articles reported the same experiments and the same results. Small divergences existed in the list of authors, in the Introduction, and the References. These divergences, however, are minor and were explained by the corresponding author. The corresponding author admitted that he was not aware of a previously published article. As a result, the article in Agraarteadus, accepted at a later date, is considered a duplicate publication. On this basis, we have decided to retract the article.</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



















## ENERGY EFFICIENCY OF CONSUMPTION – METHODS OF ANALYSIS AND EVALUATION

Valerij Karpov<sup>2</sup>, Jevgenij Zhguliiov<sup>2</sup>, Toivo Kabanen<sup>1</sup>, Andres Annuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology, Chair of Energy Application Engineering,  
Fr. R. Kreutzwaldi 56, 51006 Tartu, Estonia

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University, Pushkin-1, Box No 1, 196600, St.-Petersburg, Russia

Saabunud: 16.10.2019  
Received: 16.10.2019  
Aktsepteeritud: 15.11.2019  
Accepted: 15.11.2019

Avaldatud veebis: 29.11.2019  
Published online: 29.11.2019

Vastutav autor: Andres  
Corresponding author: Annuk  
E-mail: andres.annuk@emu.ee

**Keywords:** energy saving, finite relations method, energy efficiency, product energy contents, energy differentiation, the structure of energy contents.

doi: 10.15159/jas.19.13

**ABSTRACT.** Technical, economic, and social need to define and control the efficiency of energy usage – consumer energy efficiency implies the necessity to determine the exact contents of this new concept. A deeper analysis of a consumer energy system in order to support the consumer energy efficiency value appropriate for the contents should be carried out to find the factors that affect the value. This article shows that for the purposes of advanced energy consumption analysis, the consumer energy system becomes an integral part of the whole energy system (starting with the energy generation facility) which forms the demand for the produced energy and its usage efficiency. The consumer energy system is so important that in the course of developing and improving the electric supply and consumption systems, it questions the traditional priority of the first component (energy supply) and adaptive dependence of the second one. This article proves, inter alia, that manufacturers can raise their consumer energy efficiency by improving the production technology, using materials with new properties, modernizing the energy equipment, switching to automatic enterprise design systems and using other means commonly known as scientific and technical progress.

© 2019 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2019 Estonian Academic Agricultural Society.

### Introduction

Generally, material production implies to manufacturing a product by means of energy use. This approach corresponds to the currently accepted (free-market-driven) consumer energy efficiency (EE) index (Nur *et al.*, 2015; Fazek *et al.*, 2017) defined as specific energy consumption per unit of the manufactured product and per unit of earning received from the sales of a product. A reasonable question is how the amount of energy consumed and the amount of the product manufactured are inter-connected within a company. If there is any straightforward relation, then it would be possible to find a function and analyze it in various manufacturing conditions. Another extremity is the eventually used approximation, not as an analytical method but as a way of reporting, which does not include any information required to manage the EE. This is understandable, as it is quite difficult to find an easy way to analyze EE due to many reasons the most important of which are: the use of various types of energy, co-existence of two energy-related terms (energy and power) (Allik, Annuk, 2017), great variety of technical equipment processing energy (Maheswaran *et al.*, 2012; Huawei,

Wen, 2011) (transmission, changes of the energy parameters, energy transformation from one type into another, *etc.*), energy effect on various environments and objects (Zheng *et al.*, 2014; Kolozali *et al.*, 2016).

To get a comprehensive presentation of the variety of the processes and the types of energy and equipment involved in farming, it is sufficient to divide the processes into static and mobile. Additionally, all energy processes include energy losses, which cannot be directly measured. Therefore, the methods of mathematical analysis, -which are a part of the theory of functions and widely used in engineering practice, need adaptation to the conditions and tasks requiring solutions within the framework of a consumer energy field.

System approach, determined by production technology, is the basic generalization condition of the analysis. Production technology defines energy application processes and the types of energy equipment. The selection of equipment is an important stage, which affects energy efficiency. Professionally, the correct selection is made by determining nominal power, which corresponds to the maximum load. The reason for this choice is the necessity to ensure equipment-



operating stability in all possible operating modes. However, because of this choice, the data becomes too indefinite to use it for the purposes of describing, analyzing and controlling the technical part of the company's energy installation.

Nevertheless, there is no reason to change this equipment selection approach, as the technical basis of energy installation, thus created, really ensures reliable system operation. Therefore, it is necessary to search for more opportunities to improve the technical basis taking into account the modern requirements of energy usage, new energy measuring techniques, and information technologies.

The first attempts to search for solutions (Karpov, 1999) used energy processes which take place in each technical element (TE) and which are available for measuring both, energy increase (integral index, numbers) when passing through a TE and the changes of power as a function of time. That is why it is possible to use not only the law of storage conservation of energy but also the higher mathematical theorems on the function differentiability for the purposes of the analysis. Adding energy-technological processes (ETPs) to the end of each consumer's energy efficiency (CES) energy line (Figure 1) allowed introducing a new concept – the result of energy operation where the numeric value of the result is defined by the technological requirements of the production process.

Generally, the available scientific physical knowledge is sufficient to calculate the amount of energy required to obtain the result (minimal amount without losses), which makes the EE calculation in ETPs comparative and its numeric value limited on one side. Besides, the use of ETP entails the inclusion of physical values and regularities, which complement the technical basis with the theory of the processes in the energy consumption analysis. Firstly, the peculiarities of the mathematical analysis of energy processes are considered.

The aim of the research was to give an overview of the features of the mathematical analysis of energy processes.

## Methods

There are two energy terms – energy  $Q$  and power  $P$ , which are mathematically related.

Power  $P$  is a function of energy, *i.e.*  $P = dQ dt^{-1}$ , while energy can be defined by integrating the power-dependent expression  $dQ = P dt$  as  $Q = \int P(t) dt$ .

Modern measuring techniques allow to obtain the integral as, for example, the reading of an energy meter. Seemingly, it opens new possibilities for mathematical analysis of energy processes. Still, the meters integrate the values by adding-up the discrete values of energy increases, which means that the function is not used, and the mathematical analysis methods are inapplicable. Nevertheless, energy function can be differentiated by finding the average power  $P_{av} = Q t^{-1}$ .

However, this procedure requires special attention. The matter is that  $Q(t)$  function is time-ascending in

Cartesian coordinates, but any period of time may include horizontal sections, *i.e.* zero power, which do not affect the meter readings but may affect the results of the analysis reducing the average value.

Another substantial peculiarity of CES energy parameters is their (both power and energy) inter-connection with the specifications of the technical elements which are specially selected to perform the energy processes under specific manufacturing technology.

The most common processes and corresponding TEs include energy transmission by conductors to the point of destination, transformation of energy parameters (for electric energy – single- or three-phase current or voltage, for heat energy – temperature and pressure), energy transformation from one type into another (various transformers), ETPs), final energy lines of CES), special effect of various energies or power on technological mediums and objects with the aim to obtain the final numerical results (integral or differential), as required by applicable technology.

The above-mentioned processes are either transitional (energy passes through TEs) and terminal (where energy movement through CES ends).

An empirical experiment (water heating with electric power) to demonstrate the formation of EE index is given as an example below.

First, the amount of energy required obtaining the expected result (new property of water) – final water temperature has to be calculated. Heat formula from physics can be used:

$$Q = cm(T_{fin} - T_{start}), \quad (1)$$

where  $m$  – water mass;  $c$  – the specific heat of the water.

$T$  – temperature  $C^0$  (the capital letter is used to distinguish from the time designation).

Assuming that water weight and 'c' are constant, we multiply the values and define the result as  $Q^{SP}$ . Then, the formula will read:

$$Q = Q^{SP}(T_{fin} - T_{start}) \quad (2)$$

This formula is of primary importance for EE. Firstly, because energy calculation is specific for production technology (technology defines the value of  $T_{fin}$ ), secondly, the formula does not consider energy losses, and therefore the result shows the minimum energy required heating up the given amount of water, thirdly, we get a coefficient between energy and temperature increase. For the purposes of generalizing, the difference in temperature  $T$  (the result of the procedure) is defined.

By introducing the effect of energy application at the end of the energy line in the CES processes analyses, by the means of simple calculation, a primary (for the whole energy system) numeric value of the energy demand for the specific ETP is obtained. However, the value is introduced as energy units only without any relation thereof to power and time required to receive

the result. Since the  $Q$  calculation does not include energy losses, (from an energy efficiency point of view), the obtained value corresponds to the maximum efficiency of the process.

Therefore, ETP as the energy-demand maker returns a limiting (minimal) value of energy, which can be used to compare with other values, obtained in the process of the equipment operation. As the heater is a real technical device (we have a tubular electric heater with a known constant power capacity  $P$ , which is technical value, *i.e.* not determined by function differentiation or by measurement), it is possible to calculate the heating time  $t$  (minimal). If in the course of the experiment the result  $R$  (consuming the input energy) is kept under control, any deviation from the pre-calculated values may be explained by losses, which cannot be determined by calculations or direct measurements.

It should be highlighted that introducing ETPs in CES makes it possible not only to monitor adherence to the technological procedure with technical means (measurements) but also to minimize the process uncertainty, which affects the energy usage efficiency control.

The water heating experiments conducted showed that the actual heating time and energy consumption were higher than the pre-calculated values.

Since it was an empirical experiment, we attempted to register the growth curve  $R(t)$ . Due to the physical reasons, it was not possible to register the whole curve, but we managed to register the end section of the curve with the non-linear part. It allowed to linearize the process of the action result growth and receive the average growth speed value  $R'$ , which formed a differential disparity when compared to the calculated average speed:

$$R' = Q r^l, t = Q P^{-l} \quad (3)$$

The general result of the experiment, when compared to the pre-calculated data, was that the resultant growth speed decreased and the energy consumption and time to achieve the result increased. The numeric values obtained made it possible to calculate the negative increase of the power supplied into the process  $-\Delta P_n$  (*i.e.* the lost power), using the formula:

$$-\Delta P_n = Q^{SP} (R' - R'_{AV}) \text{ or } -\Delta P_n = Q^{SP} \Delta R' \quad (4)$$

Taking into account the process duration  $(t + \Delta t)$ , we can also find a negative increase in the energy power action using a similar formula  $\Delta P_a = Q^{SP} \Delta R'$ . Thus, we obtained the numeric evidence that the lost power increase equals the action increase. The analysis of the limiting values of these factors gives the following results:

$$\text{for } \Delta t \rightarrow 0 \ R'_{AV} \rightarrow R', \text{ and if } \Delta t \rightarrow t, \\ \text{then } R'_{AV} \rightarrow 0.5R' \text{ and } P_{AV} \rightarrow 0.5P_A \quad (5)$$

Measuring the amount of energy supplied to the heated water allowed to define (immediately after the end of the experiment) the losses as the difference  $Q_{suppl} - Q = \Delta Q$ , which justified the qualification of the experiment as an empirical one, *i.e.* bringing new knowledge, in particular, about the efficiency of energy use.

This brief summary of the experiment confirms that it is expedient to introduce the concept of energy action, as this is the property of energy, which is widely studied and allows getting the minimal value of the energy contents of the result by means of calculation. This energy content is primary within CES and unbiased scientifically. The totality of energy contents of all CES results sums up, finally, in the energy contents of the company's final product.

This latter factor makes energy efficiency increase the internal task of the management and the professional duty of the company's energy department. Attention should be drawn to other  $Q^{SP}$  characteristics in addition to its unbiased value. Firstly, it is indifferent, *i.e.* the factor is proportional to numeric values (and, hence, the function) of both energy and power.

The above-described experiment showed that the losses reduce the effective energy, therefore the time (duration) of the energy-technological process increases in inverse proportion to the losses. The introduction of the 'effective energy' concept in CES defines both the calculated minimum of the energy consumption and other limitations significant for EE.

Still, the analytical possibilities of function differentiation offer more than that. Since no company covers all the target energy consumption fields (social, domestic, cultural, security, *etc.*), then a parameter summarising the consumption of all types of energies within a territory (both industrial and other) may be more appropriate.

Besides, it would be useful to switch from a product energy contents to another parameter, which includes investment payback, *i.e.* find a relation between the consumed energy and the profit. Thus, a formula of gross product energy contents would be:

$$Q_{GP} = (Q_{gas} + Q_{oil} + Q_{el})(\Sigma profit)^{-1}, \quad (6)$$

where the energy contents of the companies' products play a key role. Therefore, the CES diagram in Figure 1 should be analysed and explained what part of the energy contents of each company is included in the gross product energy contents formula.

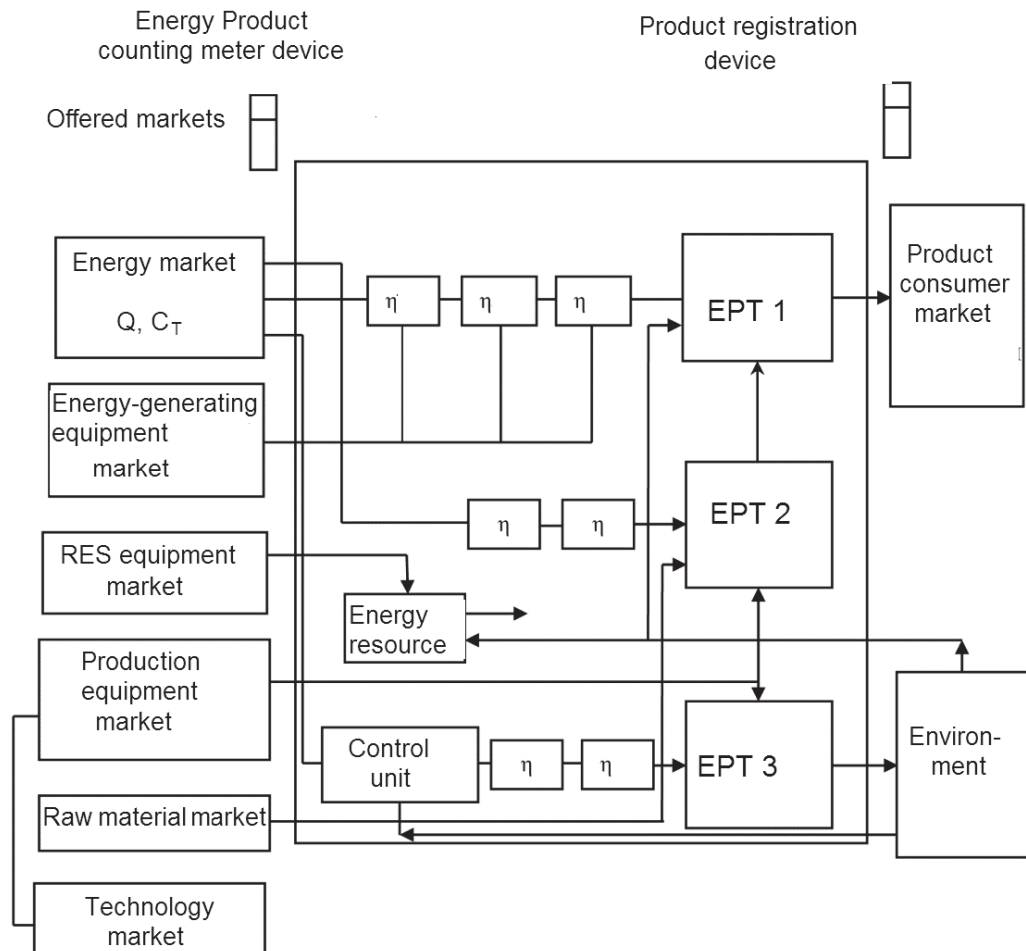


Figure 1. Energy diagram of CES

## Results and discussion

This article proves that in any ETP the supplied energy is divided into effective energy, which produces the expected technological result and losses. For the purposes of the experiment, the ways to reduce the losses in order to increase the EE can be found by analyzing the grounds for the technical values included in the technology, hot water usage mode, presence or absence of heater body thermal insulation, body shape.

If any mistakes or inaccuracies in the design are found and analyzed, they should be rectified at this stage. The selection of energy equipment should be analyzed for both the expected nominal power and EE. It is always possible to choose equipment made of modern, energy-efficient materials.

This approach corresponds to the integral design and sustainable development principles as formulated by researchers Stasinopoulos *et al.* (2008).

It should also be noted that the totality of the effective energy and losses is supplied to CES from the incoming panel with a meter installed and then to ETP by the line, composed of TE, each of which creates its own losses. The energy measured with the meter at the beginning of the line is the energy supplied to ETP multiplied by relative energy contents of all TEs in the line (Karpov, Yuldashev, 2010; Karpov, Kabanen, 2018). In order to

determine the losses, the active energy should be deducted from this multiplication. Thus, for the purposes of a product energy contents calculation, the sum of the meters' readings can be defined by the separate sums of effective energy and losses.

The CES diagram and the above-described transition from the energy supplied to ETP to the energy measured by the meter prove that both effective energy and ETP losses should be multiplied by the energy contents of the line. Therefore, within the framework of CES, the table-based value of the resulting energy contents ( $Q^{SP}$  in our experiment) will increase due to the losses in ETP and the technical line supplying the energy. The amount of the increase can be found using the energy diagram of the finite relations method (Karpov, Kabanen, 2018).

The importance of this explanation is that it reveals the necessity to introduce the physical concept of energy action in CES only (it cannot be found at any section of the line before CES) and determines the reason for the primary increase of energy contents as a part of general increase of a product energy contents increase within CES.

The product energy contents (including action energy) can be found by dividing separately the sum of the effective energies and the sum of losses by the

amount of the product. The first quotient would mean the minimal system energy contents and maximum specific (per unit of product) efficiency of energy usage.

Since economic researches have introduced the 'non-economical production growth' (Daily, 2005) and the above-mentioned formula of the gross product energy contents establishes the relation between it and the amount of the consumed energy, then the analysis methods described in this article allow to calculate the numeric value of the share of consumed energy which exceeds the energy contents and has to be reduced.

### Conclusion

The mathematical analysis of energy processes proved that the consumer energy system plays a crucial role in monitoring and controlling the energy use efficiency. The layout of a consumer system has to include energy-technological processes. This requirement implies to changing the company design procedure, as it is necessary to reduce the company energy contents in order to ensure its sustainable development by targeted (for each TE) monitoring of loss growth and managing these losses. The article reveals a rather complicated mechanism of information collected about the existing company's energy contents value, therefore the design stage should include informational and measurement system, data collection, and the processing unit.

As common handling energetic processes proceeded evaluation from an input energy to through efficiency to end used energy. This handling is not allowed to recognize amounts of end used energy. In this approach, in the opposite way, is started evaluation from useful used energy to input energy. This means, that we meter in a process used energy and then some coefficient what take into account efficiency. This approach allows recognizing usefully used energy in the process and then find ways to arise efficiency of the process(es). It is not allowed to evaluate one process, but and also full technology chain.

### Acknowledgements

This research was supported by the Estonian Centre of Excellence in Zero Energy and Resource Efficient Smart Buildings and Districts, ZEBE, grant 2014-2020.4.01.15-0016 funded by the European Regional Development Fund.

### Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

### Author contributions

VK – main author idea of the paper, writing the manuscript;  
JZ – writing the manuscript, sampling analysis;  
TK – editing and approval final manuscript, idea development.

### References

- Allik, A., Annuk, A. 2017. Interpolation of Intra-Hourly Electricity Consumption and Production Data. – 6-th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) Book Series: International Conference on Renewable Energy Research and Applications, 131–136, doi: 978-1-5386-2095-3/17/\$31.00 © 2017 IEEE
- Daily, G., 2005. Narrow World. – World of Science (Scientific American), 12:61–67.
- Fazek, K., Luca, S., Giuliano, D. 2017. Building Energy Retrofit Index for Policy Making and Decision Support at Regional and National Scales. – Applied Energy, 206:1062–1075, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.08.237
- Huawei, X., Wen, H. 2011. The Research Framework of The Technical Integration in "Green Renovation" for the Existing Residential. – International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, 5560–5563, doi: 978-1-4244-9171-1/11/\$26.00 ©2011 IEEE
- Karpov, V. 1999. Implementation of Energy Efficiency at companies of Agro-Industrial Complexes. – St. Petersburg: St. Petersburg's State University of Agriculture, 72 pp. (in Russian).
- Karpov, V., Yuldashev, Z. 2010. Energy Efficiency. Finite Ratio Method. – St. Petersburg: St. Petersburg's State University of Agriculture, 147 pp. (in Russian).
- Karpov, V., Kabanen, T. 2018. Improving energy efficiency of biotechnical agricultural systems – scientific and organisational issues. – Agronomy Research, 16(S1):1062–1068, doi: 10.15159/AR.18.043.
- Kolozali, S., Puschmann, D., Bermudez-Eco, M., Bamaghi, P. 2016. On the Effect of Adaptive and Nonadaptive Analysis of Time-Series Sensory Data. – IEEE Internet of Things Journal, 3(6):1084–1098, doi: 10.1109/JIOT.2016.2553080
- Maheswaran, D., Kailas, K.K.J., Ranagaraj, V., Kumar, W.A. 2012. Energy Efficiency in Electrical Systems. – 2012 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems, 1–6, doi: 978-1-4673-4508-8/12/\$31.00 ©2012 IEEE
- Nur, N.A.B., Mohammad, Y.H., Hayati, A., Hasimah, A.R., Md, P.A., Farridah, H., Masillah, B. 2015. Energy Efficiency Index as an Indicator for Measuring Building Energy Performance: A Review. – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44: 1–11, doi: 10.1016/j.rser.2014.12.018
- Stasinopoulos, P., Smith, M.H., Hargroves, K., Desha, C. 2008. Whole System Design: An Integrated Approach to Sustainable Engineering. – The Natural Edge Project, Earthscan, London, pp.183.
- Zheng, B., Zhao, Y., Yu, J.C., Ikeuchi, K., Zhu, S.-C. 2014. Detecting Potential Falling Objects by Inferring Human Action and Natural Disturbance. – IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA), 3417–3424, doi: 978-1-4799-3685-4/14/\$31.00 ©2014 IEEE



## JUHTUMIANALÜÜS: ENERGIAKULU ANALÜÜS PÕLLUMAJANDUSTOODANGU VÄÄRINDAMISEL TALUS AUTOKLAAVI ABIL

### CASE REPORT: ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION AT PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION BY USING AN AUTOCLAVE ON A FARM

Veli Palge<sup>1</sup>, Andres Grigor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eesti Maaülikool, tehnikainstituut, energiakasutuse õppetool, Fr. R. Kreutzwaldi 56, 51006 Tartu

<sup>2</sup>Filter AS, Ilmatsalu 1, 50412 Tartu

Saabunud: 17.10.2019  
Received:  
Aktsepteeritud: 13.11.2019  
Accepted:

Avaldatud veebis: 29.11.2019  
Published online:

Vastutav autor: Veli Palge  
Corresponding author:  
E-mail: veli.palge@emu.ee

**Keywords:** energy consumption,  
autoclave, food product.

doi: 10.15159/jas.19.14

**ABSTRACT.** The purpose of this article is to analyze the causes and distribution of autoclave energy consumption between the various stages of the technological process and identify ways to reduce energy costs. It was found that the recovery of waste heat is the most effective way to reduce energy consumption.

© 2019 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2019 Estonian Academic Agricultural Society.

### Sissejuhatus

Maamajanduses talude tulude suurendamiseks kasulik realiseerida on töödeldud produkti. Võrreldes linnas asuva tehasesse ümbertöötlemise koondamisega hajutab taludes-farmides toodangu töötlemine reostuskoormust, tekitab maapiirkonnas töökohti. Produktide tootmiskohal ümbertöötlemine vähendab bioloogiliste toorainete riknemist ja produktide ümbertöötlemine säästliku tehnoloogiaga vähendab energia- ja veekulu võrreldes toiduainete töötlemisega tarbimiskohtades (kodudes, toitlustusettevõtetes). Mõlemad efektid on olulised puhta looduse säilitamiseks.

Talude-farmide toodangu ümbertöötlemine hoidisteks või poolfabrikaatideks on seotud toorproduktide kuumutamise (allpool termini "produkt" all mõeldakse viljapuudelt, marjapõõsastelt korjatud saadusi, samuti ka juurvilju ja loomakasvatussaadusi). Produkte on võimalik kuumutada elektrotehnoloogia vahenditega: takistuskuumutuse ja dielektrilise kuumutuse tehnoloogiate abil, kuid rohkem on levinud autoklaavide kasutamine. Põhjuseks on autoklaavide kasutamise võimalus erisuguse olemusega produktide ja erinevate

taarade kasutamise korral. Autoklaavides produktide suurte koguste töötlemisel kaasnevad ka suured energia ning joogivee kvaliteediga vee kulud, kuigi tooteühiku kohta on need kulud väiksemad kui toiduainete/põllumajandusproduktide töötlemisel tarbimiskohtades (näiteks toitlustusettevõttes või kodus). Kaasajal seostatakse energia kasutamist CO<sub>2</sub> emissioonidega ja kliima soojenemisega. Seetõttu vastavalt kaasaegsetele tõekspidamistele on ka autoklaavide kasutamisel vaja leida võimalusi energiakulude vähendamiseks.

Energiakulude vähendamise eestvedajad on ühiskondlikud- ja maailmaorganisatsioonid kelle initsiatiivil juhivad valitsused seaduste kaudu elukorraldust. On organiseeritud palju nõupidamisi ja vastu võetud otsuseid (Euroopa Liidu Teataja C 487/24 28.12.2016), (ENMAK 2030). Varem või hiljem jõuab nende organisatsioonide tähelepanu ja seadusandlus ka Eestis põllumajandusproduktide töötlemisel kasutatavate tehnoloogiateni. See on käesoleva artikli loomise põhjus.

Toorainete ettevalmistusel nende töötlemiseks autoklaavides on vaja joogivee kvaliteediga vett, mis peale tehnoloogilise protsessi läbimist satub linnas asuva tootmisettevõtte korral kanalisatsiooni ja suunatakse





selle kaudu puhastusseadmetesse. Näiteks linnas asuvas ettevõttes "aastas jääb kasutamata heitsoojusenergiat üle 9000 GJ" (Grigor, 2019, lk 8) ja jahutusvett kasutati "päevas keskmiselt 326 m<sup>3</sup>" (Grigor, 2019, lk 15) ning see suunati kanalisatsiooni.

Talu tingimustes tekib filosoofiline probleem: mis-sugusel määral põllult või marjapõõsastelt võetud produktiga kaasnevad mullaosad ja taimede osad Eesti hõreda asustuse tingimustes loodusesse tagasi suunates reostavad loodust (need olid ju enne looduses ja nende olemus produkti pesemise käigus ju ei muutu), eriti kui neid tahkeid jäätmeid komposteeritakse ja pesuveesi saadetakse settetiiki või biopuhastisse.

### Materjal ja meetodika

Autoklaavi tööparameetrite väärtuste määramisel on kasutatud soojustehnika põhimõtteid, mis on kirjeldatud allikas Holman, 2010, HEAT TRANSFER (Holman, 2010).

Alljärgnevalt vaadeldakse hoidiste valmistamisega seostuvat kahte aspekti: energiakasutust ja veekasutust.

Vaadeldavas tekstis analüüsitakse ligikaudu 2 m<sup>3</sup> kambri mahuga autoklaavi tööga seostuvaid iseloomustussuursusi. See autoklaav mahutab ligikaudu 600 kg väikestes pakendites produkti. Vaadeldakse juhtu, kui töödeldavat produkti soojendatakse 130 °C auruga 15 minutiga ligikaudu 110 °C-ni absoluutsel rõhul 2 bar (0,2 MPa) ja hoitakse sellel temperatuuril 15 min. Peale seda jahutatakse produkt külma veega kuni 50 °C-ni ja võetakse autoklaavist välja ning peale lühiajalist jahtumist pakendatakse turustamiseks.

2 m<sup>3</sup> kambri mahuga autoklaav on talus kasutamiseks sobiv. Ligikaudu omab selliseid mõõde kaasaegne autoklaav "Cascading water Steriflow shaka" (Steriflow, 2019). Selles kasutatakse produkti loksutamist pastöriseerimise/steriliseerimise ajal, mille tulemusena protsessi kestus lüheneb oluliselt, sest materjal soojeneb mahu ulatuses ühtlasemalt.

Autoklaavi kasutamise tehnoloogia sisaldab järgmisi operatsioone:

1. *Töödeldava materjali ettevalmistamine autoklaavi konteinerisse paigutamiseks: tooraine pesemine, puhastamine, ettevalmistatud produkti taarasse paigutamise.* Vaadeldava teema seisukohast on tehnoloogilise protsessi selle etapi olulisim küsimus puhta vee kasutamise viis: kas puhast vett kasutatakse ainult ühekordselt või vett puhastatakse peale kasutamist ja kasutatakse uuesti. Nende operatsioonide sooritamise viis, abivahendid ja veekulu sõltuvad töödeldavast materjalist. Näiteks on need oluliselt erinevad marjade ja juurviljade korral. Tehnoloogilise protsessi sellel etapil kasutatakse pesemiseks palju vett, kuid kogu tehnoloogilises protsessis selle operatsiooni energiakulu moodustab väikese osa kogu protsessi energiakulust, sest vett soojendatakse vaid 15 °C-ni. Kaevust võetavat veehulka on autoklaaviga seostuvates protsessides lihtsate vee puhastusseadmete kasutamise vähendada, sest on võimalik vee korduvkasutus. Võrreldes toorprodukti tarbimiskohtadel (kodudes,

restoranides) kulutatava veekogusega on suurte koguste töötlemisel loodusest võetav veekogus valmisprodukti massiühiku kohta oluliselt väiksem ja vastavalt sellele ka looduse reostus. Veekulu materjali ettevalmistamisel muutub suurtes piirides sõltudes produktist ja tehnoloogiast. Allpoolesitatud arvutustes arvestame 1 liitri 15 °C vett produkti 1 kg kohta. Kui kaevuvee temperatuur on 7 °C, siis vett on vaja soojendada töötajate tervislike tingimuste tagamiseks vähemalt 15 °C-ni. 600 kg produkti kohta kulub seoses sellega energiat 20 160 kJ ehk 5,6 kW·h.

2. *Autoklaavi ja konteineri(te) ettevalmistamine neisse produkti paigutamiseks.* Jällegi on oluline puhta vee kasutamise tehnoloogia. Autoklaavi konteinerite ettevalmistus seisneb vajaduse korral nende pesus. Selle operatsiooni energiakulu on väike. Valitud parameetritega autoklaavi jaoks ja vee kulul 0,05 m<sup>3</sup> on vaja vaid 0,56 kW·h energiat, mis kulub 7 °C kaevuvee soojendamiseks 15 °C-ni. Kuid jällegi tuleks kaaluda vee korduvkasutust.

3. *Produkti paigutamine konteineritesse ja produkti sisaldavate konteinerite laadimine autoklaavi.* Vett sellel etapil ei kasutata ja vaadeldava teema seisukohast tuleks tähelepanu pöörata vaid selle operatsiooni juures energia kasutamise määrale. Selles operatsioonis kulutavad energiat lühiajaliselt vaid väikese võimsusega elektrimootorid. Kuid võrreldes soojendamise ja jahutamise juures käsitletavate energiahulkadega on selles operatsioonis kasutatav energia oluliselt väikesem ja edaspidi sellele operatsioonile tähelepanu ei pöörata.

4. *Kuumtöötlus – ülessoojendamine, pastöriseerimine/steriliseerimine, jahutamine.* Selles etapis kulub kõige rohkem energiat, eriti produkti ülessoojendamiseks.

Ülessoojendamiseks vajalik energiakulu on ligikaudu  $Q = \sum m_i c_i (t_i - t_{alg})$ , J, (Holman, 2010, lk 148) kus  $m_i$  –  $i$ -nda eristatava materjali mass, kg;  $c_i$  –  $i$ -nda eristatava materjali erisoojusmahtuvus, J/(kg·K);  $t_i$  –  $i$ -nda eristatava materjali lõpptemperatuur, °C ja  $t_{alg}$  –  $i$ -nda eristatava materjali algtemperatuur, °C.

Energiakulu arvutuse täpsus sõltub materjalide masside ja alg- ning lõpptemperatuuride õigest määramisest ja erisoojusmahtuvuste õigest valikust. Valime vee erisoojusmahtuvuseks 4,2 kJ/(kg·K), metallkonstruktsioonide erisoojusmahtuvuseks 0,44 kJ/(kg·K) (metalli erisoojusmahtuvus on vee erisoojusmahtuvusest ligi 10 korda väiksem). Arvutustega analüüsime ligikaudu 2 m<sup>3</sup> mahuga konteineriga autoklaavi energiatarvet (teistsuguse mahuga autoklaavi ligikaudsete väärtuste saamiseks tuleb saadud tulemused läbi korrutada suhteteguriga).

Sisemise metallkorpuse siseläbimõõdu 1,3 m korral on sisemise silindrilise ruumi otsa pindala 1,33 m<sup>2</sup>, kahe otsa pindala on kokku 2,66 m<sup>2</sup>, ümbermõõt on 4,1 m ja pikkuse 2,6 m korral on külgpindala 10,6 m<sup>2</sup>. Seega kogupindala on 13,2 m<sup>2</sup>. Kui sisekesta seinapaksus on 1 cm, siis sisekesta maht on 0,132 m<sup>3</sup>.

Metalli tihedus on 7800 kg/m<sup>3</sup> – sellest tulenevalt on 0,132 m<sup>3</sup> metalli mass 1029,6 kg. Lisame sellele ülessoojendamise ajal autoklaavis oleva produkti hoidmise

konteineri ja autoklaavis olevate konstruktsioonielementide massi (ligikaudu 100 kg) saame ülessoojendatava metalli massiks ligikaudu 1130 kg. Kui algtemperatuur on 15 °C ja steriliseerimise temperatuur 110 °C, siis metallmaterjali ülessoojendamiseks kulub energiat  $Q_{met} = 47\,234$  kJ (13,1 kW·h). Kui materjal on vaja üles soojendada 15 minutiga, siis metallmaterjali üles soojendamiseks vajalik võimsuskomponent on  $P_{met} = 52,5$  kW.

Vaatamata kambri gabariitmõõtudele, mahutab autoklaavi asetatava produkti konteinerisse vaid ainult ligikaudu 600 kg töödeldavat produkti. Selle produkti erisoojusmahtuvuseks, kuna ülessoojendatava produkti massi moodustab valdavalt vesi, valime vee erisoojusmahtuvuse – 4,2 kJ/(kg·K). Vastavalt sellele kulub töödeldava materjali ülessoojendamiseks  $Q_{mat} = 239\,400$  kJ (66,5 kW·h) (see energia on ligikaudu 5 korda suurem, kui metallkonstruktsiooni ülessoojendamiseks, kuigi produkti mass on väikesem). Kui produkt tuleb 15 minutiga üles soojendada, siis kujuneb materjali ülessoojendamiseks vajalikuks võimsuse komponendiks  $P_{mat} = 266$  kW (samuti 5 korda suurem, kui metallkonstruktsiooni ülessoojendamiseks).

Seega on seadme ülessoojendamiseks kokku vaja energiat ligikaudu  $Q_{sum} = Q_{mat} + Q_{met} = 286\,634$  kJ (79,6 kW·h) ja selleks, et ülessoojenemine toimuks 15 minutiga, on vajalik võimsus  $P_{sum} = P_{met} + P_{mat} = 318,5$  kW. Autoklaavi ülessoojendamiseks kasutatakse soojuskandjana ülekuumendatud auru temperatuuriga kuni 130 °C.

Vajalik auru kogus, kui entalpia on 2108 kJ/kg, on  $m_{aur} = 136$  kg, ehk teisiti öeldes, on autoklaavi üles soojendamiseks vaja kasutada temperatuuril 130 °C juures oleva 136 kg auruks muudetud vees sisalduvat energiat. Selle auru energia antakse edasi nii töödeldavale produktile, kui ka autoklaavi sisemisele kestale, mille tulemusena produkti temperatuur tõuseb 110 °C kraadini ja aur seejuures kondenseerub veeks. Tuleb meele pidada, et protsessi lõpuks tõuseb rõhk autoklaavi sees absoluutse rõhuni 2 bar (0,2 MPa), mille korral 110 °C juures vesi ei aurustu, kuid 130 °C juures on vesi auru kujul. Selles protsessis rõhk autoklaavi sisemuses muutub väliskeskkonna rõhust kuni rõhuni mille juures vee keemistemperatuur on 110 °C. Selles protsessis autoklaavi sisemuses oleva rõhu ja temperatuuri muutumist kirjeldab Clausius-Clapeyron'i võrrand.

*Pastöriseerimine/steriliseerimine.* Peale temperatuuri tõusmist ettenähtud kõrgusele on seda vajalik hoida ligikaudu püsivana sõltuvalt töödeldava materjali omadustest kogemustega määratud aja kestel, et jõuaks üles soojeneda ka pakendatud produkti sisemus. Vaadeldaval juhul arvestame ajaga 15 minutit. Sellel ajavahemikul energiakulu võrdub ligikaudu soojuskaoga autoklaavi välispinnalt. Reeglite kohaselt ei tohi seadmete välispinna temperatuur olla (see tagatakse sobiva soojusisolatsiooniga) üle 60 °C. Oletame, et välispinna temperatuur on vaid 40 °C (kasutati paremat soojusisolatsiooni), siis on soojuskaod temperatuuride erinevusel 20 K vaadeldava nädis-

autoklaavi välispinnalt vaid 2012 W. Sellel võimsusel on 15 min. steriliseerimisaja kestel soojuskaod vaid 0,503 kW·h. Võrreldes energiakuluga ülessoojendamisele on see väga väike. Seda arvesse võttes lõpetatakse kuuma auru autoklaavi lisamine peale materjali ülessoojenemist. Arvtulemuste baasil saab määrata ka autoklaavi soojusliku kasuteguri – töödeldava materjali ülessoojenemise energia ja kogu kulutatud energia suhte kaudu: see on  $66,5/(79,6 + 0,5) = 0,82$ , ehk 82%.

Peale pastöriseerimist/steriliseerimist on autoklaav vaja jahutada temperatuurilt 110 °C võimalikult kiiresti vähemalt 50 °C-ni. Selleks saab kasutada puhast külma vett. Kuid esmalt tuleb alandada autoklaavi sisene temperatuur alla 100 °C ehk vaadeldaval juhul 10 K võrra. Selle tulemusena lakkab autoklaav olemast plahvatusohtlik ja võib hakata autoklaavist vett välja laskma. Sisemiste metallkonstruktsioonide 10-kraadisele temperatuuri muutusele vastab (algandmete 1130 kg ja 0,44 kJ/(kg·K) korral) energia 4972 kJ ja produkti koos kondenseerunud auruga mass on 600 + 136 kg. Selle energiamuut 10-kraadise temperatuuri alanemise ja soojusmahtuvuse 4,2 kJ/(kg·K) korral on 30 192 kJ (~8,4 kW·h). Kokku on vaja eemaldada produkti ja metalli temperatuuri alandamiseks 100 °C-ni 30 192 + 4972 = 35 884 kJ (~10 kW·h) energiat. Kui kasutatakse vett temperatuuril 7 °C ja selle vee temperatuur tõuseb jahutamise esimese faasi käigus 100 °C-ni, siis on vaja jahutamiseks  $35\,884/(93 \cdot 4,2) = 92$  kg (~92 liitrit) puhast külma kaevuvett. Seega tõusis soojendamiseks-jahutamiseks vajalik veekulu 136 + 92 = 228 liitrit. Peale vee ja produkti temperatuuri alanemist vähemalt 100 °C-ni võib hakata autoklaavist rõhu all olevat vett välja laskma. Energia ratsionaalse kasutamise seisukohast oleks õige see vesi võimalikult kiiresti ümber paigutada soojuslikult isoleeritud mahutisse, mille puhul saaks soojas vees sisalduvat energiat edaspidistes protsessides maksimaalselt ära kasutada. Kuid teisest küljest on produkti kõrge kvaliteedi saamiseks oluline selle kiire jahutus. Kui kasutada eespoolviidatud autoklaavi (Steriflow, 2019), milles produkti temperatuur muutub produkti kogu ulatuses loksutamise tõttu kiiresti ja seega saab kõrgel temperatuuril hoidmise aega lühendada, võib mõni produkt taluda kiiresti vee väljalaskmisest tingitud jahutusaja pikenemist, teine aga mitte. Kui kiire allajahutamine on mõõdapääsmatu, tuleb autoklaavi külma vett lisada kuni temperatuur on retseptiga määratud lõpptasemel. Viimasel juhul autoklaavist väljalastud vett kõrgtemperatuurilistes protsessides ilma täiendava soojendamiseta ei saa kasutada ja kulud vee uuesti ülessoojendamise vajaduse tõttu suurenevad.

*5. Produkti autoklaavist välja võtmine, konteinerite ja produkti täiendav töötlemine* (puhastamine, pakendamine) – selles protsessis energia ja veekulu on eespool loetletud protsessidest väiksemad ja selle optimeerimine suurt vee- ja energiakulu kokkuhoidu ei anna. Seetõttu tehnoloogia seda etappi ei analüüsita.

*6. Autoklaavi puhastamine ja korrastamine* ülevii-

*miseks hoidmisrežiimi.* Seda on vaja teha vaid järjekordse tööperioodi lõppemisel. Selle operatsiooni juures on vaadeldava teema seisukohast oluline vee kasutamise viis. Vee ringlusse võtt võib anda täiendava positiivse efekti.

### Tulemused ja arutelu

Iga autoklaavi töö etappide loetelus sisalduv operatsioon sisaldab veel alamoperatsioone ja on seotud energiat tarbivate seadmetega. Energia kokkuhoid tekib energiat tarbivate seadmete võimsuse õige valiku ja kaasaegsemate lahenduste (konstruktsioonid, ajamid, juhtimisautomaatika, tehnoloogia) kasutamine.

Osade loetletud operatsioonide sooritamiseks kasutatakse pikaajaliselt väljakujunenud ja ennast õigustanud tehnoloogiaid, osade korral aga on võimalik valida erinevate tehnoloogiate vahel, mistõttu nii energia kui ka veekulu sama eesmärgiga operatsiooni tegemisel võib olla erinevate talude korral erinev. Operatsioonides kasutatava tehnoloogia iseloomustussuurused sõltuvad töödeldavast produktist, töötlemisviisist (steriliseerimine või pastöriseerimine), temperatuuri muutumise aja-graafikust, mis kõik võivad oluliselt erineda.

Vaadeldavas töös ei analüüsitud mingi konkreetse autoklaavi tööga seosesolevaid iseloomustussuursusi vaid abstraktse autoklaavi abstraktse temperatuurigrافیku alusel tootava autoklaavi tööga seostuvaid iseloomustus-suursusi. Saadud tulemusi on võimalik reaalse autoklaavi tööle üle kanda suhtarvude kasutamiseks.

Autoklaavi töö kuues eristatud etapis kulub kõige rohkem energiat pastöriseeritava/steriliseeritava produkti ülessoojendamiseks ja sellel ajal kandub produktile energia üle kõige intensiivsemalt. Seejuures saab eristada eesmärgi saavutamiseks vajalikke energiakulusid – energiakulu materjali ülessoojendamiseks ja kaasnevaid energiakulusid – autoklaavi metallkonstruktsioonide ülessoojendamiseks ja energiakadudeks, vastavalt 66,5 kW·h ja 13,6 kW·h. Nende numbrite alusel saab määrata autoklaavi töö soojusliku kasutegurit, mis arvutustega saadud tulemuste alusel oli 82%. Samuti sai määrata energia tarbimise intensiivsuse – ülessoojendamise ajal kandus energia autoklaavi üle võimsusega 318,5 kW. See võimsus saavutati tänu 136 kg vee aurustamisel tekkinud ülekuumendatud auru kasutamiseks. Selliste numbrite korral kerkib küsimus energiaallika kohta: missugune peab/saab olla autoklaavile auru tekitamiseks vajalik energiaallikas, mis energia tarbimise graafiku järgi on põhiliselt jõude ja vaid produkti ülessoojendamise ajal lühiajaliselt kasutatust leiab? Ükskõik missuguse olemusega energiavarustuse süsteemile on väga lühiajaliselt suure võimsusega seadmete kasutamine mittevastuvõetav. Autoklaavi korral on võimalik energiavarustussüsteemist energia tarbimist ja selle kasutamist autoklaavi ülessoojendamiseks ajaliselt eraldada kui kasutada seadet, mis suudab energiat koguda kas suure aurukoguse või elektrienergia näol ja vajadusel seda kogutud auru või elektrienergiat produkti soojendamiseks kasutada.

Auru kogumisel võib vee aurustamise seade olla autoklaavi ülessoojendamiseks vajalikust võimsusest oluliselt väiksema võimsusega. Väiksema võimsusega vee aurustamise seadet ei pea energiaga varustama tavapäraselt fossiilkütuse arvel vaid on võimalik kasutada ka biokütust või hoopis päikese- või tuuleenergiat.

Autoklaavi ülessoojendamise võimsusest väiksema võimsusega tuulikute või päikesepaneelide korral on vajalik elektrienergia salvestamine akudesse ja niisugusel korral saab salvestatud energiat kasutada isegi autoklaavi soojendusvõimsusega võrdse võimsusega aurustusseadme küttekehade toitmiseks. Sel puhul auru kogumine ei ole vajalik (näiteks võrdluseks uue elektrilise Volkswagen Golf ID.3 aku mahutavus võib olla sõltuvalt modifikatsioonist kuni 77 kW·h ja elektrimootori võimsus 150 kW (Shahan, 2019)). Volkswagen Golf ID.3 aku mahutavus on samas suurusjärgus autoklaavi ühe töötükli kestel kasutatud energiaga, kuid sellist energiat tarbiva elektrimootori võimsus on siiski autoklaavi võimsusest ligikaudu kaks korda väiksem (150 kW). Juhul kui akusid ei või koormata autoklaavi tööks vajaliku võimsusega küttekehade, siis tuleks kasutada rööbiti mitut akut ja seega täislaaditud akude energiast piisaks isegi mitme töötükli tegemiseks.

Biokütuse, päikese- või tuuleenergia kasutamine vastab CO<sub>2</sub>-neutraalse tootmise korraldamise eesmärgile. Maapiirkondades on kirjeldatud infrastruktuuri rajamine kaasajal tehniliselt teostatav.

### Järeldused

1. Taludes on autoklaavi kasutamine eelistatud teiste produktide kuumutusviiside ees seoses võimalusega kuumutada erinevaidprodukte ja kasutada erineva konstruktsiooniga ja erinevast materjalist valmistatud pakendeid.

2. Kuigi autoklaaviga seotud tehnoloogia kasutab palju energiat ja esinevad intensiivsed energia ülekandumised, ei tähenda see seda, et kasutatavad energiaallikad peavad olema suure võimsusega. Autoklaavis produkti ülessoojendamiseks vajalikku energiat saab koguda ülekuumutatud auru näol aurukogujasse.

3. Autoklaavi tööd saab korraldada soojuse taaskasutusega, mis võimaldab kasutada väiksema võimsusega energiaallikaid.

4. Auru tekitamiseks saab kasutada nii bio-, tuule-, kui ka päikeseenergiat, millede rakendamisel saab autoklaavi tööd korraldada CO<sub>2</sub>-neutraalsena.

#### Huvide konflikt

Autorid kinnitavad artikliga seotud huvide puudumist.

#### Conflict of interest

*The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.*

#### Autorite panus

VP – käsikirja kirjutamine ja lõplik toimetamine;  
AG – andmete kogumine, käsikirja toimetamine.

**Author contributions**

VP – manuscript writing and final editing;

AG – data collection, manuscript editing.

**Kasutatud kirjandus**

- Grigor, A. 2019. Autoklaavide jahutusprotsessi käigus vabaneva heitsoojuse kasutamise võimalused soojuspumbaga. – Magistritöö. Eesti Maaülikool, Tartu, 84 lk
- Holman, J.P. 2010. Heat Transfer. 10-th ed. – McGraw-Hill, New York, USA, 758 pp.
- ENMAK 2030. Energiamaajanduse arengukava aastani 2030. – [https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak\\_2030.pdf](https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak_2030.pdf) Viimati vaadatud 12/10/2019.
- Euroopa Liidu Teataja C 487/24 28.12.2016, Euroopa Majandus- ja Sotsiaalkomitee arvamus teemal "Pariisi kliimakonverentsi tulemused" <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016IE2544&from=DA> Viimati vaadatud 12/10/2019.
- Steriflow. 2019. "Cascading water Steriflow shaka", <https://www.steriflow.com/en/shaka-autoclave> Viimati vaadatud 12/10/2019
- Shahan, Z. 2019. Volkswagen ID.3 Arrives – Superb Mix Of Quality & Affordability. September 9<sup>th</sup>, 2019 <https://cleantechnica.com/2019/09/09/volkswagen-id-3-arrives-superb-mix-of-quality-affordability/> Viimati vaadatud 12/10/2019

**Case Report: Analysis of energy consumption at processing of agricultural production by using an autoclave on a farm**

Veli Palge<sup>1</sup>, Andres Grigor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology, Chair of Energy Application Engineering  
Fr. R. Kreutzwaldi 56, 51006 Tartu, Estonia

<sup>2</sup>Filter Ltd, Ilmatsalu 1, 50412 Tartu, Estonia

**Summary**

To increase the income of farms in the rural economy, it is beneficial for them to realize the processed product. Compared to concentrating on recycling in an urban factory, processing farm products will disperse the pollution load and create jobs in rural areas. The conversion of farm products into a preserve or semi-finished products involves the heating of raw products. Autoclaves are more suitable than other heating methods/means. The reason is the possibility of using autoclaves for products of different natures and different containers. Today, energy use is associated with CO<sub>2</sub> emissions and global warming. Therefore, according to modern beliefs, the use of autoclaves also needs to find ways of reducing the amount of energy or even of using renewable energy. The preparation of raw materials for autoclave processing requires drinking water-quality water, which, once the technological process has been completed, is discharged to a sewage treatment plant in a city-based manufacturing plant and is then diverted to treatment plants. For example, a

large city-based company "wastes more than 9,000 GJ of waste heat per year" (Grigor, 2019, p. 8) and cooling water was used "on average 326 m<sup>3</sup> per day" (Grigor, 2019, p. 15) and was discharged into sewers. In farm conditions, the question arises: to what extent do the soil and plant parts of the product taken from the field or berry bushes contaminate nature when they are reintroduced into the wild in sparsely populated Estonia, especially when the solid waste is composted and the washing water is sent to a sediment pond or a biological treatment plant. Autoclave performance values are determined using the principles of thermal engineering described in Holman, 2010, HEAT TRANSFER (J.P. Holman, 2010).

This paper analyzes the work-related parameters of an autoclave with a volume of about 2 m<sup>3</sup>. An autoclave of this size holds about 600 kg of product in small packages, the product to be treated is heated at 130 °C for 15 minutes to about 110 °C at 2 bara (0.2 Mpa) and held at this temperature for 15 minutes. After that, the product is cooled to 50 °C with cold water and taken out of the autoclave and, after a short cooling, is packaged for marketing.

Autoclave technology includes the following operations:

1. *Preparation of the material to be processed for placing in the autoclave container:* washing of the raw material, cleaning, tare of the prepared product. From the perspective of the issue under consideration, the most important question at this stage of the technological process is the use of clean water: either pure water is used only once or water is purified and reused after use. Although a large amount of water is used at this stage of the technological process, the energy consumption of this operation in the entire technological process is a small part of the overall process energy consumption, as the water is only heated to 15 °C. Calculations include 1 liter of water at 15 °C per 1 kg of product. If the water temperature of the well is 7 °C, the water must be heated to a minimum of 15 °C to ensure the health of the workers. This consumes 20,160 kJ or 5.6 kW·h per 600 kg of product.

2. *Preparation of the autoclave and container(s) for product placement:* Again, clean water technology is important. For an autoclave with selected parameters and water consumption of 0.05 m<sup>3</sup>, only 0.56 kW·h of energy is needed to heat 7 °C of well water to 15 °C.

3. *Placing the Product in Containers and Loading the Product Container Autoclave:* No water is used at this stage and only the amount of energy used in this operation should be considered. The energy used in this operation is significantly reduced and this operation will be ignored.

4. *Heat treatment* – heating, pasteurization/sterilization, cooling. At this stage, most energy is consumed, especially to heat the product.

The energy required to heat up is divided into two.

With a starting temperature of 15 °C and a sterilization temperature of 110 °C, the energy required to heat the metal material is  $Q_{met} = 47,234$  kJ (13.1 kW·h).

If the material needs to be warmed up in 15 minutes, the power component needed to warm up the metal material is  $P_{met} = 52.5$  kW.

Accordingly, it takes  $Q_{mat} = 239,400$  kJ (66.5 kW·h) to heat the material to be processed (this energy is approximately 5 times higher than heating the metal structure, although the weight of the product is lower). If the product is to be warmed up in 15 minutes, the power component needed to heat the material is  $P_{mat} = 266$  kW (also 5 times higher than that for the metal structure).

Thus, the total energy required to preheat the device is approximately  $Q_{sum} = Q_{mat} + Q_{met} = 286,634$  kJ (79.6 kW·h), and for the warm-up to occur in 15 minutes, the required power is  $P_{sum} = P_{met} + P_{mat} = 318.5$  kW. The autoclave is heated with superheated steam up to 130 °C as the heat carrier.

The required amount of steam for enthalpy of 2108 kJ/kg is  $m_{steam} = 136$  kg, in other words, to heat the autoclave, use the energy contained in 136 kg of vaporized water at 130 °C.

Pasteurization/sterilization. After the temperature has risen to the desired height, it is necessary to keep it approximately constant, depending on the nature of the material being processed, over a period time determined by experience, so that the inside of the packaged product can also warm up. In this case, we count the time to 15 minutes. As a rule, the temperature of the external surface of the equipment (guaranteed by the use of suitable thermal insulation) must not exceed 60 °C. Assume that the outside temperature is only 40 °C (better thermal insulation was used), then the heat loss at the temperature difference of 20 K from the exterior surface of the sample autoclave in question is only 2012 W. At this power the heat loss during 15 min. during the sterilization period is only 0.503 kW·h.

From the numerical results, it is also possible to determine the autoclave's thermal efficiency - the ratio of the heat-up energy of the material being processed to the total energy consumed: it is  $66.5/(79.6 + 0.5) = 0.82$ , or 82%.

After pasteurisation/sterilization, the autoclave must be cooled from 110 °C to at least 50 °C as soon as possible. However, the temperature inside the autoclave must first be lowered to below 100 °C, in this case by 10 K. The 10-degree temperature change of the internal metal structures (at 1130 kg and 0.44 kJ/(kg·K) of the input data) corresponds to an energy of 4972 kJ and a mass of condensed steam of 600 + 136 kg. It has an energy change of 30,192 kJ (~8.4 kW·h) for a 10-degree drop in temperature and the heat capacity of 4.2 kJ/(kg·K). In total, it is necessary to remove the energy of the product and metal to 100 °C to  $30,192 + 4972 = 35,884$  kJ (~10 kW·h). If the water at 7 °C is used and its temperature rises to 100 °C,  $35,884/(93 \cdot 4.2) = 92$  kg (~92 liters) of pure cold well water is required for cooling. Thus the water consumption for heating and cooling increased to  $136 + 92 = 228$  liters. After the temperature of the water and the product has dropped to at least 100 °C,

pressurized water may be drained from the autoclave. For the rational use of energy, it would be right to transfer this water as quickly as possible to a thermally insulated tank, which would allow maximum use of the energy contained in the hot water in future processes. On the other hand, rapid cooling is essential to the high quality of the product.

If rapid quenching is unavoidable, add cold water to the autoclave until the temperature is at the final level specified by the recipe. In the latter case, the water discharged from the autoclave cannot be used in high-temperature processes without additional heating and the cost increases due to the need to reheat the water.

5. *Removal of product from the autoclave, further processing of containers and product* (cleaning, packaging). In this process, energy and water consumption are lower than those listed above and optimization does not result in significant water and energy savings. Therefore, technology is not analyzed at this stage.

6. *Autoclave cleaning and rearrangement to switch to hold mode*. You only need to do this at the end of another working period. In this operation, how water is used is important to the subject under consideration. Water recycling can have an additional positive effect.

### Results and discussion

In this work, the characteristic values associated with the work of a particular autoclave were not analyzed, but the characteristic values associated with the work of an autoclave operating based on an abstract autoclave's abstract temperature graph. The results obtained can be transferred to the work of a real autoclave using ratios. In the six distinct stages of the autoclave's work, it takes the most energy to warm up the product to be pasteurized/sterilized, during which time the energy is transferred to the product most intensively. There is a distinction between the amount of energy required to achieve the target – the energy used to heat the material and the associated amounts of energy – to heat the autoclave metal structures and the energy losses of 66.5 kW·h and 13.6 kW·h respectively. These numbers can be used to determine the thermal efficiency of the autoclave's work, which was 82% based on the results. The intensity of energy consumption could also be determined - during heating, the energy was transferred to the autoclave with a power of 318.5 kW.

This capacity was achieved through the use of superheated steam generated by evaporating 136 kg of water.

With such numbers, the question arises as to the source of energy: what must / can be the source of energy that is essentially idle and only briefly used during the warm-up of the occasion? An autoclave requires the use of a device capable of collecting a large amount of steam and, if necessary, using it at some point. Thus, the power of the water vaporization device may be substantially less than the power required to warm the autoclave.

Smaller water vaporizers do not usually need to be fossil fuels, but they can also use biofuels or solar or

wind power. It is possible to use electricity from lower power wind turbines or solar panels. The use of biofuels, solar or wind power is in line with the objective of carbon-neutral production. In rural areas, such infrastructure is now technically feasible.

#### **Conclusions**

1. On farms, the autoclave is preferable to other products because of the ability to heat different products and packaging of different designs and materials.
2. Although the technology involved in the autoclave

is energy-intensive and there are intensive energy transfers, this does not mean that the power sources used must be high in power. The energy needed to heat the product in the autoclave can be collected in the form of superheated steam in a steam collector.

3. Autoclave work can be organized by heat recovery, which allows the use of lower power sources.

4. The steam can be produced using bio, wind or solar energy, which will make the work of the autoclave carbon neutral.



## PULSAVI MEETOD TÖÖTAJA TÖÖ RASKUSASTME JA ENERGEETILISE KOORMATUSE MÄÄRAMISEKS JA HINDAMISEKS

### PULSAVI: A METHOD FOR DETERMINING AND ASSESSING THE WORKLOAD AND ENERGY EXPENDITURE OF WORKERS

*Boris Reppo, Jüri Kuzmin*

*Eesti Maaülikool, tehnikainstituut, biotehnoloogiate õppetool,  
Fr. R. Kreutzwaldi 56, 51006 Tartu*

Saabunud: 23.10.2019  
Received:  
Aktsepteeritud: 14.11.2019  
Accepted:  
Avaldatud veebis: 29.11.2019  
Published online:  
Vastutav autor: Boris Reppo  
Corresponding author:  
E-mail: boris.reppo@emu.ee

**Keywords:** heart rate, workload, work process, patent.

doi: 10.15159/jas.19.15

**ABSTRACT.** Human-centred evaluation of technology and work techniques requires the determination of the workload category and the internal workload, which is the internal response of the worker to exposure to external load factors in the work environment. The aim of this paper is to present a method for a human-centred analysis of the work process. The method requires the worker's physiological data, which is used to process their wirelessly transmitted heart rate. The processed heart rate is combined with a video feed and displayed in real time on a computer. This allows monitoring the worker's actions and the corresponding workload category, total energy expenditure, work-related energy expenditure, and base metabolic rate. Using the method does not interrupt the work process and it is possible to save the data for further analysis. The method has been recognised as an invention and is protected with patent EE 05807 B1.

© 2019 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2019 Estonian Academic Agricultural Society.

#### Sissejuhatus

Töötamisel mõjuvad inimesele töökeskkonna füüsilised, psüühilised ja ümbritseva keskkonna koormusfaktorid, mis tekitavad inimesele energeetilise koormatuse, ehk energiakulu. On oluline uurida töötaja energeetilist koormatust, mille kaudu võib avastada ebatervislikke töövõtteid või olla isegi põhjuseks töötehnoloogia uuendamiseks. Vale töövõtte või tehnoloogia võib põhjustada töötaja luu- ja lihaskonna vaevusi ning selle kaudu vähendada tema töövõimet ja -kvaliteeti (Priya jt, 2010). On määratud energiakulu inimese töötamisel hapnikutarbimise mõõtmise alusel, kuid reaalses tingimustes on see meetod tülikas ning on püütud kasutada teisi lahendusi (Smolander jt, 2008).

On meetodeid (Tuure, 1991, 1995), kus inimese energeetilist koormatust määratakse tema tööasendi või töövõtte alusel, nagu näiteks OWAS, kus määratakse 85 näitaja alusel töötaja energiakulu rasketel töödel, ERGOLOG – kasutatakse töökohal töötava inimese testimiseks, VIRA – testib istuva inimese tööasendit ja -viisi, kus tööd jäädvustatakse videole, ARBAN –

arvestab inimese asendit ja teisaldatavat raskust, tööd tehakse seistes või liikudes, Spitzer-Hettingeri tabelid – määratakse lihaste tööks kuluv energia, olenevalt inimese tööasendist ja -viisist, antakse ka füsioloogia- tarbeks energiakulu (85 W) eraldi. Summaarse energeetilise koormatuse määramiseks need liidetakse (Hettinger jt, 1989).

Esitatud meetodid määravad inimorganismile mõjuva füüsilise töökoormuse, kuid ei arvesta psüühilisi ja ümbritseva keskkonna füüsikalisi koormusfaktoreid. Inimese töö raskusastet ei ole võimalik määrata.

Inimese süda oma löögisagedusega reageerib tundlikult töökeskkonna muutustele. Teades, et südame löögisageduse (pulsi) ja inimese organismi energiakulu, ehk energeetilise koormatuse vahel on lineaarne seos (Andersen jt, 1978), hakati kasutama töövõtete ja töötehnoloogiate hindamiseks EMÜ farmitehnika õppetooli poolt välja töötatud meetodit, kus tööprotsessis oleva töötaja südame löögisageduse pideva mõõtmise alusel määratakse tema töö raskusaste ja summaarne energeetiline koormatus, mis sisaldab nii otseselt tööks kui ka füsioloogia- tarbeks kuluvat



energiat. Näiteks, määrati, analüüsiti ja hinnati farmides erinevatel töötehnoloogiatel töötavate lüpsjate (Reppo, Saarma, 1996; Reppo, 1997) ja karjakute (Reppo, Käämer, 1998) töö raskusastet ja energiakulu.

Meetod on eelkirjeldatavatest lihtsam ja töötajat vähem häiriv, kuid uurija peab pingsalt jälgima tööprotsessi ja registreerima ning kronometreerima töövõtteid, et hiljem tulemuste hindamisel viia huvipakkuv pulsiväärtus vastavusse töövõttega.

Uurimistöõ lihtsustamiseks võeti kasutusele meetod, kus tööprotsessis toimub samaaegselt töötaja südamepulsi mõõtmine ja tema filmimine. Hiljem kuvatakse arvuti ekraanil videona töötaja pildi taustal ajaliselt sünkronis tehtavate töövõtetega diagrammina tema pulsiväärtused ja töö raskusaste ning energeetiline koormatus (Nautras jt, 2016). Meetod on arendatult kvaliteetsem, kuid töötajal mõõdetud südame pulsi muutuse ja tööprotsessi filmimise tulemuse hiljem ajaliselt sünkronis kuvamine arvuti ekraanil töötaja pildi taustal nõuab lisategevust. Ei ole võimalik ka kohe, reaalselt võrrelda ja hinnata erinevate töövõtete kvaliteeti.

Käesoleva töö eesmärgiks oli täiustada seni kasutatud lahendust ja töötada välja meetod (edaspidi PULSAVI meetod), mis võimaldaks inimese pulsi ja füsioloogiliste andmete alusel määrata tema töö raskusaste ja energeetiline koormatus, kasutades arvuti rakendusprogrammi PULSAVI ja videot, ning selle alusel hinnata reaalselt või hiljem salvestatuna töövõtete ja töötehnoloogia sobivust inimesele, seejuures inimese tööd häirimata.

Meetodi uudsust kinnitab selle tunnistamine leiutisena ja on kaitstud patendiga EE 05807 B1 (Kuzmin jt, 2018).

### Materjal ja metoodika

PULSAVI meetod põhineb töötaja südamepulsi muutuse mõõtmisel tööajal ja samaaegselt tööprotsessi filmimisel videokaameraga. Töötegevuses oleval töötajal mõõdetakse pulsianduriga (pulsivõõga) südame löögisagedust ja andmed edastatakse juhtmevabalt vastuvõtjasse, mis suunab need arvutisse, kasutamata vaheseadmeid (joonis 1). Arvutis on kasutatav PULSAVI-rakendusprogramm, kuhu sisestatakse töötaja füsioloogilised andmed, nagu sugu, vanus, pikkus, mass ja ka pulss puhkeolekus (Kuzmin jt, 2018).

Samaaegselt südame pulsi muutuse edastamisega jäädvustatakse arvutiga kaabelühenduses oleva videokaameraga (või arvuti videokaameraga) video töötaja sooritatavast tegevusest.

Arvuti programmi abil toimub andmete töötlemine. Kasutades andmeid südame pulsi muutuse ja lisaks ka töötaja füsioloogiliste andmete kohta määratakse tema töö raskusaste, summaarne energeetiline koormatus (S), füsioloogiatarbeks kuluv energia (F) ja otseselt tööga seotud energiakulu ( $T = S - F$ ) (joonis 1).

Töö raskusastme määramise aluseks on võetud (WHO) poolt heaks kiidetud liigitus südame löögisageduse järgi kergeteks (K) kui pulss on alla 100, keskmiselt

raskeks (KR) 100–124, raskeks (R) 125–150 ja väga raskeks (VR) üle 150 südamelööki minutis (Andersen jt, 1978; Tuure 1991, 1995; Nautras jt, 2016).

Töötaja summaarne energeetiline koormatus, ehk summaarne energiakulu /total enetgetic workload/  $S_{naine}$  ja  $S_{mees}$ ; ( $S_{women}$  and  $S_{men}$ ) on määratav tabelite kaudu (Andersen jt, 1978; Tuure 1995; Nautras jt, 2016) või võrranditega (Keytel jt, 2005):

$$S_{naine} = -20,4022 + 0,4472 \cdot SLS - 0,1263 \cdot M + 0,074 \cdot V \text{ kJ/min;} \quad (1)$$

$$S_{mees} = -55,0969 + 0,6309 \cdot SLS + 0,1988 \cdot M + 0,2017 \cdot V \text{ kJ/min,} \quad (2)$$

kus SLS – südame pulss, lööki/min / heart rate, beats/min;

M – keha mass, kg / mass, kg;

V – vanus, aastates / age, years;

1 kJ/min = 16,67 W.

Füsioloogiatarbeks kuluv energia (*physiological energy expenditure*) (F) sõltub inimese massist (*mass*) (G, kg), pikkusest (*height*) (H, cm) ja vanusest (*age, years*) (V, aastates) ning on määratav nais- ( $F_n$ ,  $F_{wom}$ ) ja meestöötaja ( $F_m$ ,  $F_{men}$ ) kohta vastavalt (Hettinger jt, 1989; Tuure 1995):

$$F_n = 1,934 + 0,0278 \cdot G + 0,00538 \cdot H - 0,0136 \cdot V \text{ kJ/min,} \quad (3)$$

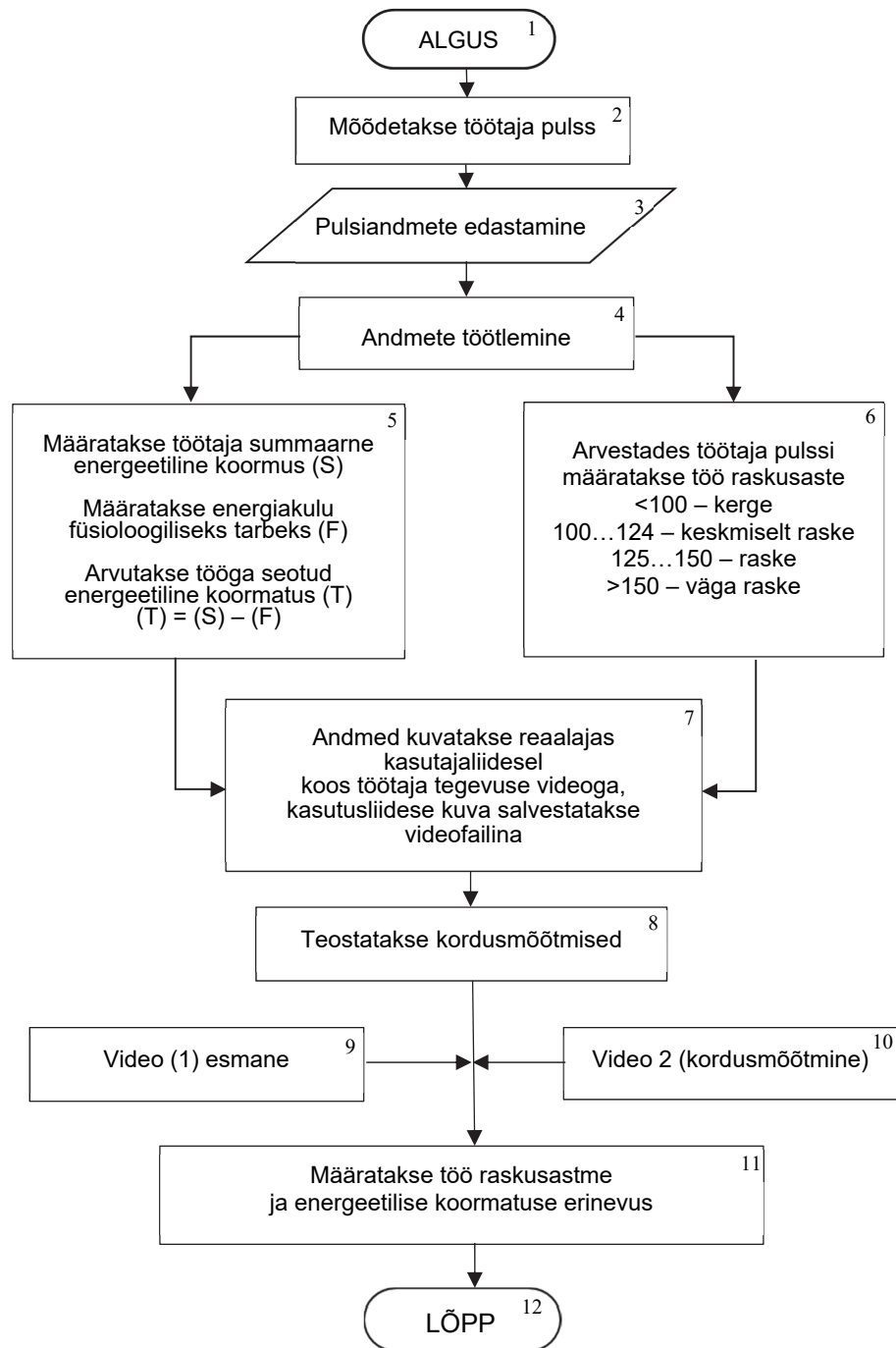
$$F_m = 0,193 + 0,0400 \cdot G + 0,01454 \cdot H - 0,0196 \cdot V \text{ kJ/min.} \quad (4)$$

Arvuti rakendusprogrammi PULSAVI abil kuvatakse reaalselt hetkeliselt arväärtusena ja ka diagrammina töötaja pulsi muutus ning vastavalt sellele ka töö raskusastmed ja energeetilised koormatused, andmed ka salvestatakse. Töötaja tegevus ja andmed salvestatakse videofaili selleks, et oleks võimalus ka hiljem hinnata ja omavahel võrrelda erinevate töötehnoloogiate või töövõtete, -asendite mõju inimesele. Selleks tehakse uus mõõtmine või kordusmõõtmine (joonis 1). Andmete võrdlemisel määratakse muutused töötaja südame löögisageduses, töö raskusastmetes ja energeetilises koormatuses.

### Tulemused ja arutelu

Kasutustasemest on tuntud mitmed meetodid inimese pulsi alusel energiakulu määramiseks ning selle hindamiseks. Näiteks, vastavalt patendile (Wehman, Nolic, 2005) on kasutusel meetod ja seade, mille abil määratakse isiku pidevat ja suurimat hapniku tarbimist reaalse kulu mõõtmisega. Samas mõõdetakse ka pulsi muutust, et määrata energiakulu ning metabolismi taset, mille alusel määratakse inimese keha sooritatud töö ulatust. Tuntud on patent (Wehman jt, 2005), ehk meetod, seadmed ja arvutused selleks, et määrata inimese hapnikutarbimine, pulss ja energiakulu. Lahenduses tuuakse esile, et füüsiline aktiivsus ja kogu energiakulu on otseses seoses inimese paranemisega.





**Joonis 1.** Meetodi realiseerimise plokk skeem (Kuzmin jt, 2018)

**Figure 1.** Block diagram of the implementation of the method: 1 – Start; 2 – Heart rate measurement; 3 – Heart rate data transmission; 4 – Data processing; 5 – Determine total energetic workload (S) Determine physiological energy expenditure (F) Determine directly work-related energy expenditure  $T = (S) - (F)$ ; 6 – Considering the employee's heart rate determine difficulty level of the work <100 – easy, 100...124 – average, 125...150 – heavy, > 150 – very hard; 7 – Data are displayed in real time with worker activity. The data is also saved as video; 8 – Repeat measurements; 9 – First video (1); 10 – Repeated measurements video (2); 11 – Changes in the worker's heart rate, difficulty level of the work, and the total energetic workload are determined based on the comparison of data; 12 – End (Kuzmin et al., 2018)

PULSAVI meetodile on kõige lähedasem lahendus, vastavalt dokumendile (Ahmed jt, 2014), kus tagatakse füsioloogiliste näitajate mõõtmiste süsteem, seadmed ja meetodid tervisliku seisundi ja treenituse pidevaks jälgimiseks. Sisuks on kergekaaluline kaasakantav süsteem, mille abil kogutakse inimeselt pidevalt füsioloogilisi andmeid. Süsteem võimaldab jälgida pulssi,

kehatemperatuuri, südame löögisagedust, liikumist, und, energiakulu, õhurõhku jne. Saadud andmed salvestatakse ja kuvatakse visuaalselt selleks, et aidata kasutajal juhtida oma tervist (Kuzmin jt, 2018).

Tuntud lahendused määravad inimese pulsi ja energiakulu, kohati kasutatakse ka videot, kuid nad ei kasuta andmeid inimese töö raskusastme ja summaarse

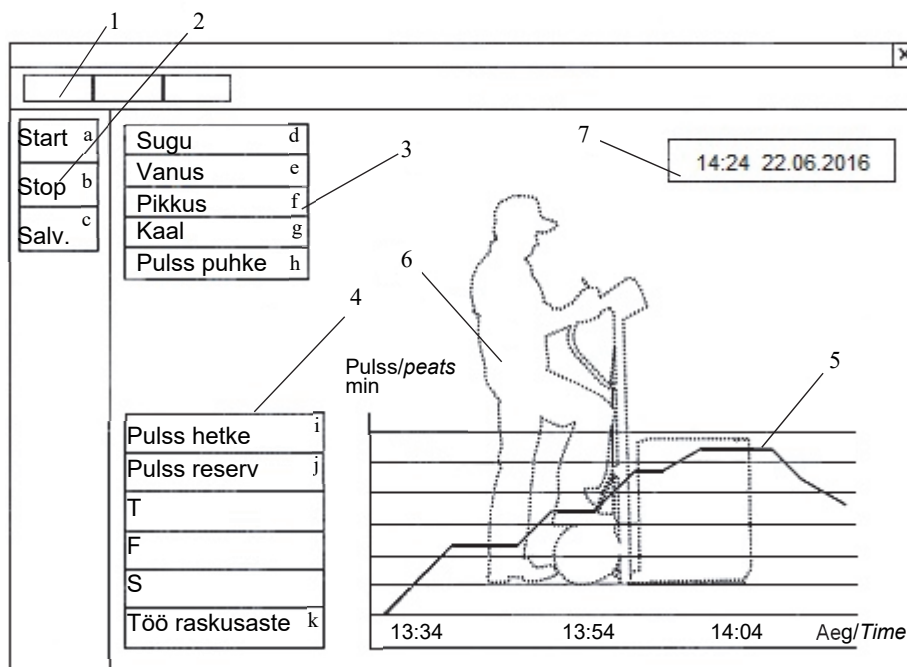
ning otseselt tööga seotud energiakulu määramiseks ja tehnoloogiate võrdlemiseks ning analüüsimiseks. Tuntud meetodid on suunatud suuremas osas tervise jälgimisele, spordianalüüsiks või kaaluvähendamisele. Kasutatakse vahemooduleid, kuhu sisestatakse andmed ning kust need hiljem kantakse arvutisse. Tuntud meetodite puuduseks on ka võimetus reaajas andmeid omavahel võrrelda ning teha nende alusel võrdlushinnanguid.

PULSAVI meetod töötaja töö raskusastme ja energeetilise koormatuse määramiseks ning hindamiseks erineb tuntud meetoditest sellega, et arvuti ekraanil (joonis 2) kuvatakse video, kus reaajas tegevuses oleva töötaja 6 taustal esitatakse tema füsioloogilised andmed 3, pulsi ajaline muutus 5, töötaja summaarse (S), füsioloogiatarbeks (F) ja otseselt tööks (T) kuluva energia ning töö raskusastme muutus 4. Kuvatakse

kasutajaliidese ekraanil töötegemise kuupäev ja kella-aeg, 7.

Töövõtete või -asendite võrdlushindamiseks võib teha kordusmõõtmisi. Kasutades kahte videofaili või varasemalt salvestatud videofaili ja videot, määratakse andmete võrdlemisel muutused töötaja pulsis, energeetilises koormatuses ja töö raskusastmes. Tulemuse-na saab hinnata töötehnoloogia sobivust isikule, samuti videolõikude abil välja selgitada energiasäästlikke töövõtteid (joonis 1).

Meetodi kasutamine töötaja töö raskusastme ja energeetilise koormatuse hindamiseks toimub tööprotsessis inimest häirimata, kuna kasutatakse spordis tuntud pulsivööd või mõnda traadita edastamiseadet ja arvutit koos rakendusprogrammiga, mis võimaldab ühendada inimese füsioloogiliste andmete vastuvõtmise seadme ja videokaamera.



**Joonis 2.** Arvuti kasutusliidese ekraanikuv: 1 – menüünupud; 2 – juhtnupud; 3 – töötaja füsioloogilised andmed; 4 – määratud hetkeandmed; 5 – pulsi muutuse diagramm; 6 – töötaja tegevus; 7 – töötegevuse aeg (Kuzmin jt, 2018)

**Figure 2.** Screenshot of the computer user interface: 1 – menu buttons; 2 – control buttons: a – Start, b – Stop, c – Save; 3 – physiological data of the worker: d – Gender, e – Age, f – Height, g – Weight, h – Heart rate at rest; 4 – instantaneous data: i – Heart rate, j – Heart rate reserve, k – Difficulty level of work; 5 – heart rate chart; 6 – worker's activity; 7 – time of working (Kuzmin et al., 2018)

### Kokkuvõte

PULSAVI meetod kuulub ergonoomika valdkonda ja võimaldab inimese südame löögisageduse ja füsioloogiliste andmete alusel määrata tema töö raskusaste ja energeetiline koormatus, mis on vajalik tööprotsesside ja töötehnoloogiate või töövõtete analüüsimiseks ja hindamiseks. Seda saavutatakse töötaja füsioloogiliste andmete sisestamisega arvutisse, tema töötamise ajal pulsimuutuse edastamisega, samaaegselt töötaja tegevuse videokaameraga jäädvustamisega, andmete arvuti rakendusprogrammiga töötlemisega ja tulemuste kuvamise reaajas arvutiekraanil oleval kasutusliidisel,

hinnates reaajas või hiljem salvestatuna töötehnoloogia (töövõtete, -asendite) sobivust inimesele, häirimata seejuures tema tööd. Meetod on tunnustatud leiutisena ja kaitstud patendiga EE 05807 B1 (Kuzmin jt, 2018).

#### Huvid konflikt

Autorid kinnitavad artikliga seotud huvid puudumist.

#### Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

**Autorite panus**

BR, JK – kavandamine ja materjali kogumine;  
 JK – joonised;  
 BR – käsikirja kirjutamine ja toimetamine.

**Author contributions**

BR, JK – design, collection of materials;  
 JK – preparation of Figures;  
 BR – writing and editing text.

**Kasutatud kirjandus**

- Ahmed, W., Capodilupo, J., Nicolac, A. 2014. Systems, devices and methods for continuous heart rate monitoring and interpretation. – Patent US 2014/0073486A1, US, 26 pp.
- Andersen, L.K., Maisirani, R., Rutenfranz, J., Seliger, V. 1978. Habitual Physical activity and health. – World Health Organization Regional office for Europe. European Series no. 6.
- Hettinger, T., Müller, H., Gebhardt, H. 1989. Ermittlung des Arbeits Energieumsatzes bei dynamisch-muskulärer Arbeit. – Schriftenreihe der Bundeshaus-halt für Arbeitsschutz. Dortmund, 22:1–80.
- Keytel, J., Goedecke, T., Noekes, H., Hiiloskorpi, R., Laukkanen, L., Van der Merwe, Lambert, E. 2005. Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise. – Journal of Sports Sciences, 23(3):289–297, doi: 10.1080/02640410470001730089.
- Kuzmin, J., Reppo, B., Sada, O. 2018. Method for analysing workflow and technology. – Patent EE 05807 B1, Estonian Patent Office, Tallinn, 9 pp.
- Nautras, A., Reppo, B., Kuzmin, J. 2016. Pulse-video method for determining the workload and energy expenditure for assessing of work environment. – Agronomy Research, 14(3):846–852.
- Priya, V.V.S., Johnson, P., Padmavathi, R., Subhashini, A.S., Ayyappan, R., Surianarayanan, M. 2010. Evaluation of the Relationship between Workload and Work Capacity in Petrochemical and Tannery Workers – A Pilot Study. Life Sciences and Medicine Research, Volume 2010: LSMR-19.
- Reppo, B. 1997. Lehmafarmi tehnoloogiliste elementide ja biotehniliste süsteemide töökindluse määramine ja parendamise meetodid. – Doktoriväitekirj. Eesti Põllumajandusülikool, Tartu, 113 lk.
- Reppo, B., Käamer, J. 1998. Arbeitszeitaufwand und energetisch Belastbarkeit des Viehwärters bei der Entmistung der Viehanlage. – Agricultural Machinery, Building and Energy Engineering, 24–29.
- Reppo, B., Saarma, U. 1996. Milkers Energy load in Different Pipeline Milking Technologies. – Agricultural Machinery and Energy Engineering, 189:89–93.
- Smolander, J., Juuti, T., Kinnunen, M.L., Laine, K., Louhevaara, V., Männikkö, K., Rusko, H. 2008. A new heart rate variability-based method for the estimation of oxygen consumption without individual laboratory calibration: Application example on postal workers. – Appl. Ergon. 39(3):325–331, doi: 10.1016/j.apergo.2007.09.001.
- Tuure, V. 1991. Determination of physical stress in agricultural work. – Työtehoseura: Helsinki, 130 pp.
- Tuure, V. 1995. Working environment in cold loose housing barns. – Maatalousteknologian julkaisu 18, Helsinki, 143 pp.
- Wehman, T., Nikolic, S., Backovic, M., Muller, P., Lovewell, J., Peuverell, K. 2005. Method and apparatus including altimeter and accelerometers for determining work performed by an individual. Patent US 2005/0054938A1, US, 6 pp.
- Wehman, T., Nikolic, S. 2005. Method and Apparatus for determining Work Performed by an individual from measured physiological parameters. – Patent US 2005017723A1, US, 8 pp.

**PULSAVI: a method for determining and assessing the workload and energy expenditure of workers**

*Boris Reppo, Jüri Kuzmin*  
 Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology, Chair of Biosystems Engineering,  
 Fr. R. Kreutzwaldi 56, 51006 Tartu, Estonia

**Summary**

The PULSAVI method belongs to the field of ergonomics and allows determining the difficulty level of work and the total energetic workload of a person based on their heart rate and physiological data. This is required for analysing and assessing the working processes, technologies, and techniques and is achieved by recording the physical and physiological data of the worker on a computer, transmitting changes in heart rate, recording the person's activity with a camera, processing the data on a computer with an application program, and displaying the results in real time using a computer screen interface, while assessing (in real time or later, based on recorded footage) the suitability of working technologies (techniques, postures) for the person without interrupting them. The method has been recognised as an invention and is protected with the patent EE 05807 B1 (Kuzmin *et al.*, 2018).



## ANALYSIS AND EVALUATION OF EFFECTIVENESS OF INTERVENTIONS FOR PREVENTION OF OCCUPATIONAL ACCIDENTS

Vladimir Shkrabak<sup>1</sup>, Sergei Levashov<sup>1</sup>, Roman Shkrabak<sup>1</sup>, Vasily Kaljuga<sup>1</sup>, Eda Merisalu<sup>2</sup>, Toivo Kabanen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University, Pushkin-1, Box No 1, 196600, St.-Petersburg, Russia, E-mail: v.shkrabak@mail.ru

<sup>2</sup>Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology, Chair of Energy Application Engineering,  
Fr. R. Kreutzwaldi 56, 51006 Tartu, Estonia

Saabunud: 07.11.2019  
Received:  
Aktsepteeritud: 19.11.2019  
Accepted:  
Avaldatud veebis: 29.11.2019  
Published online:  
Vastutav autor: Eda Merisalu  
Corresponding author:  
E-mail: eda.merisalu@emu.ee

**Keywords:** work safety, traumas, efficiency of safety management.

doi: 10.15159/jas.19.16

**ABSTRACT.** Transition to the concept of professional risk management assumes the transfer of focus from measures of response to accidents after they have happened to activities for preventive measures, *i.e.* risk management of workers' health. The strategy of "reactive" response within the framework of the traditional system of managing occupational safety of workers focused primarily on compensating for the negative consequences of accidents. However, it does not focus on eliminating the systemic causes of their occurrence and, as a result, does not lead to positive changes in reducing traumas and injuries. The results of the analysis of the socio-economic efficiency of this strategy suggest the need for a transition to a different type of occupational safety management – which is "proactive", therefore the priorities are not the management of "occupational environment", but the management of "employee work safety", based on identification and assessment of professional risks. The calculation of the economic efficiency of measures for employee protection and the prevention of industrial injuries on the example of agricultural workers in the Kurgan region was the aim of the present study.

© 2019 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2019 Estonian Academic Agricultural Society.

### Introduction

One of the main directions of reforming the system of occupational safety and health in the Russian Federation is the creation of mechanisms for economic incentives for employers to ensure healthy and safe working conditions, workplace health and safety. The need to improve occupational safety and health (OSH) cannot be justified only by economic benefits and the positive results of cost-benefit analysis. The implementation of the right of workers to workplace health and safety should be ensured even if economic analysis shows that long-term investments are required, which not all business structures tend to include in the mandatory unavoidable expenses. Traditionally, it has been believed that measures to ensure the well-being of workers should be attributed to production costs, but the logic of the modern transition to the "knowledge-based economy" fundamentally changed the attitude towards "human capital", and the role of experience in production and industry acquired until then appeared in a completely new light. Under the knowledge economy is observed as a system of consumption and production that is based on intellectual capital as a value of workers' knowledge

representing a large component of all economic activity in developed countries (Kenton, 2019).

Despite improving OSH in the past Century the rate of occupational injuries show steady increase. An estimated 6.9 million worker injuries occurred in the European Union (EU) during 2006 and 8.5 million occurred in the United States during 2007 (Chau *et al.*, 2014; Leigh, Marcin, 2012). An estimated 317 million nonfatal occupational injuries and 321 000 occupational fatalities occur globally each year or 151 workers sustain a work-related accident every 15 seconds (ILO, 2013). In 2014 an estimated rates of fatal and non-fatal occupational injuries were increased compared to the statistics of global crisis year in 2008 (Hämäläinen *et al.*, 2017). In Estonia the incidence rate of work accidents in agriculture has shown continuous increase in the past decade. In the period 2008–2017 the incidence of work accidents in agriculture rose from 741–801 and in some years it was higher compared to the rate of WA in all sectors of the economy (Anni, Merisalu, 2019).

Interest in the economic aspects of occupational protection has recently increased markedly. The earlier study estimated \$249.64 billion costs in total in 2007 with \$67.09 billion attributed to medical costs and



\$182.54 attributed to indirect or productivity costs. The indirect costs: (1) lost earnings (\$110.02 billion); (2) lost fringe benefits (\$29.03 billion); and (3) lost home production (\$43.49 billion). As data given later indicates, \$37.232 billion representing medical costs and \$160.675 representing indirect costs were not paid by workers' compensation (Leigh, Marcin, 2012). The International Social Security Association (ISSA) suggest that costs associated with nonfatal workplace accidents alone equal approximately 4 percent of world gross domestic product (GDP) each year (ISSA, 2014).

In this regard, it should be noted that the results of a number of scientific studies have demonstrated the effectiveness of investments in occupational health and safety, in improving fitness for work and well-being of workers – which gives high economic returns and increases the productivity of the enterprise (Levashov, 2012; Levashov 2007a; Levashov 2007b). These results can be used to further motivate companies to expand activities to improve workplaces and improve working conditions.

The aim of the study was to calculate the economic efficiency of measures for employee protection to prevent the industrial injuries on the example of agricultural workers in the Kurgan region.

### Materials and methods

There is a number of theoretical models for calculating the costs and losses associated with industrial (occupational) accidents, but only a few of them are applicable in practice. As it is not possible to carry out a detailed calculation of the costs of all enterprises within the agro-industrial complex (AIC) structure at the regional level, it is appropriate for further calculations to use an adapted cost calculation method developed by the ILO Sub-Regional Bureau for Eastern Europe and Central Asia under the project 'Improving the North-West of Russia's occupational health and safety system' (ILO, 2007).

This methodology can be used to forecast the annual cost of agricultural enterprises associated with occupational accidents and incidents. As a result of the calculations, the possible minimum and maximum annual costs of these enterprises for accidents are specified. An accident in this methodology means an event at the workplace, as a result of which the person received some traumatic health damage. An incident is an event that did not lead to injuries to workers, but a malfunction in the work process, damage to equipment, materials, *etc.*

The costs associated with various incidents are divided into three groups (Labor protection and business, 2007):

1. Costs in connection with occupational accidents (with the issuance of temporary incapacity for work certificate). Because of such an accident, the employee is absent from the workplace for a number of days, *i.e.* these are accidents in the "classical" sense.

2. Costs in connection with microtraumas (without certificate of temporary incapacity for work). This group includes accidents, as a result of which the employee was unable to work for only a few hours, or no longer than up to the end of the working day (so-called microtrauma). At agricultural enterprises, such accidents, as a rule, are not investigated and are not recorded, but they occur more often than the "classical" ones and, as a whole, lead to remarkable losses. Such accidents deserve special attention.

3. Costs associated with incidents that did not result in trauma or injuries to workers, but which led to a malfunction in the work process. Foreign companies, as a rule, record such cases, since they are directly related to the safety and health of employees. The absence of serious trauma from the incident is more often just a happy accident; with a little change in circumstances, it could have had more serious consequences. Agricultural enterprises, as a rule, do not record, account for and analyse incidents that have not caused injuries to workers, but have led to disruption in the working process.

To calculate the projected annual costs of agricultural enterprises of the Kurgan region in connection with industrial (occupational) accidents, micro-injuries, and incidents that did not lead to trauma or injuries to workers, but caused a malfunction in the work process, the following initial data are required:

- the annual number of accidents at the enterprise with the registration of certificates of temporary incapacity for work ( $N_1$ );
- the annual number of microtraumas in the enterprise (without a certificate of temporary incapacity for work) ( $N_2$ );
- the annual number of incidents at the enterprise ( $N_3$ ).

The dynamics of occupational traumas and injuries in the agro-industrial complex of the Kurgan region for the period 2000–2014 are presented in Table 1.

The average number of employees in the agro-industrial complex of the Kurgan region has stabilized over the past years and the basis for calculations is 23 235 people. The frequency of occupational traumas and injuries (per 1000 employees,  $P_1$ ) at the agricultural enterprises over the past five years is also relatively stable and is about 25 affected persons per 10 000 employees.

The costs of the main items of expenses related to accidents and incidents are estimated according to the methodology presented by the Department of Labour Protection of the Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland (TUTA model):

- the average cost of accidents with the issuance of certificate of temporary incapacity for work  $C_1 = 215$  €.
- the average cost of accidents without the registration of the certificate of temporary incapacity for work  $C_2 = 115$  €.
- the average cost of incidents that did not lead to employee injuries, but caused a malfunction in the work process  $C_3 = 45$  €.

**Table 1.** Indicators of occupational traumas and injuries in the agricultural sector of the Kurgan region

| Year | The average number of employees in the agricultural sector | Number of injured persons | Frequency of occupational traumas and injuries (No per 1000 workers, P <sub>1</sub> ) |
|------|------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 2000 | 79 263                                                     | 855                       | 10,82                                                                                 |
| 2001 | 79 561                                                     | 710                       | 8,92                                                                                  |
| 2002 | 83 009                                                     | 581                       | 7,02                                                                                  |
| 2003 | 71 478                                                     | 354                       | 4,95                                                                                  |
| 2004 | 63 457                                                     | 311                       | 4,90                                                                                  |
| 2005 | 53 692                                                     | 200                       | 3,72                                                                                  |
| 2006 | 35 188                                                     | 149                       | 4,26                                                                                  |
| 2007 | 33 164                                                     | 128                       | 3,87                                                                                  |
| 2008 | 31 479                                                     | 103                       | 3,27                                                                                  |
| 2009 | 23 651                                                     | 75                        | 3,16                                                                                  |
| 2010 | 24 658                                                     | 85                        | 3,44                                                                                  |
| 2011 | 23 345                                                     | 66                        | 2,83                                                                                  |
| 2012 | 23 119                                                     | 47                        | 2,04                                                                                  |
| 2013 | 22 198                                                     | 54                        | 2,45                                                                                  |
| 2014 | 23 235                                                     | 59                        | 2,56                                                                                  |

Calculation of the average annual costs of enterprises of the agro-industrial complex of the Kurgan region, related to occupational traumas and injuries, was made according to the following procedure.

The average number of accidents with the issuance of a certificate of temporary incapacity for work per year:

$$N_1 = P_1 / 1000 * A = (2.5 / 1000) * 23\,235 * 1.5 = 87$$

The minimum estimated number of accidents without a certificate of temporary incapacity for work per year:

$$N_{2min} = P_1 / 1000 * A * P_2 = (2.5 / 1000) * 23\,235 * 1.5 * 10 = 870$$

The maximum estimated number of accidents without a certificate of temporary incapacity for work per year:

$$N_{2max} = P_1 / 1000 * A * P_2 = (2.5 / 1000) * 23\,235 * 1.5 * 17 = 1479$$

The minimum estimated number of incidents without a certificate of temporary incapacity for work per year:

$$N_{3min} = P_3 / 1000 * A * P_3 = (2.5 / 1000) * 23\,235 * 1.5 * 27 = 2349$$

The maximum estimated number of incidents without a certificate of temporary incapacity for work per year:

$$N_{3max} = P_3 / 1000 * A * P_3 = (2.5 / 1000) * 23\,235 * 1.5 * 30 = 2610$$

The minimum annual costs for the region due to accidents and incidents:

$$Q_{min} = N_1 * C_1 + N_{2min} * C_2 + N_{3min} * C_3 = 87 * 215 + 870 * 115 + 1479 * 43 = 18\,700 + 100\,050 + 63\,600 = 182\,350 \text{ €}$$

The maximum annual costs for the region due to accidents and incidents:

$$Q_{max} = N_1 * C_1 + N_{2max} * C_2 + N_{3max} * C_3 = 87 * 215 + 115 * 1479 + 45 * 2349 = 1\,305\,000 + 11\,832\,000 + 7\,830\,000 = 294\,495 \text{ €}$$

The calculations of the cost-effectiveness of trauma and injury prevention in the agricultural industrial complex were calculated from roubles to euros (by currency rate 1 € = 70.62 RUB).

## Results and discussion

The results of the calculations, as well as an assessment of the cost-effectiveness of trauma and injury prevention in the agricultural industrial complex are presented in Table 2.

From the calculations in the table 2 above we can see, that the expected annual cost savings from the implementation of the prevention of the incidents range 10–30% from expected annual costs. These results quite similar to the results of ratio analyses of construction industry where the benefits of accident prevention far outweigh the costs of accident prevention by a ratio of approximately 3:1 and the results demonstrated that for every £1 spent on accident prevention, contractors gained £3 as benefits (Ikbe *et al.*, 2012).

**Table 2.** Results of calculations (€) according to statistics in the agro-industrial complex of the Kurgan region annually occur

| Statistics in the agro-industrial complex of the Kurgan region annually occur (€):                                                                 | Min.    | Max.    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
| – accidents with the registration of sick leave;                                                                                                   | 58      | 90      |
| – accidents without the registration of sick leave;                                                                                                | 580     | 986     |
| – incidents.                                                                                                                                       | 1566    | 1740    |
| The expected annual costs of agricultural enterprises due to the occurrence of these incidents (€).                                                | 182 350 | 294 495 |
| The expected annual cost savings from the implementation of the methods worked out for the prevention of these incidents (%).                      | 10      | 30      |
| Expected annual cost savings for agricultural enterprises from the implementation of the methods worked out for prevention of these incidents (€). | 18 120  | 89 860  |

Traditionally, the economic aspects of occupational health are considered through the prism of reducing production costs (reducing the loss of working time due to illness, reducing the severity of work-related injuries and the associated costs of compensating for the consequences, preventing early retirement, *etc.*). The initial

parameters for the calculation are the price of one day of sick leave, calculated as the sum of the minimum wage of an affected employee and the corresponding expenses of the employer. Obviously, this estimate does not reflect the full amount of losses. Nevertheless, even such a simplified assessment of the cost of one lost

day allows us to visually show the scale of the problem and therefore arise the interest of the companies' management in a more accurate estimate of losses. It is noted in (Dorman, 2000): Accidents at work lead to consequences that go beyond the immediate and obvious damages". Potential indirect losses due to occupational accidents at the company level:

- disruption of the production process immediately after an accident;
- moral impact on co-workers;
- involvement of personnel in accident investigation and reporting;
- hiring and training costs for new employees;
- damage to equipment and materials (if it is not indicated as part of normal accounting procedure);
- declining product quality after an accident;
- reducing the productivity of injured workers who are transferred to an easier job;
- the cost of maintaining reserve capacities to cover losses associated with accidents.

In most cases, the prospects for reducing costs are very limited, so you need to consider the problem more broadly even in cases where the total cost of paid sick leaves, compensation payments due to injuries or early retirement are themselves significant enough. Often, in addition to these payments, additional costs are required for hiring temporary workers to replace the ones unable to work, as a result of which a specific factor of staff turnover must also be included in the calculation of total losses.

The economic efficiency of implementing occupational health and safety measures is expressed in reducing the cost of a production unit and is manifested, ultimately, in improving production efficiency. The main sources of economic benefits from measures to improve working conditions and occupational health and safety are the following:

- growth in labour productivity;
- an increase in the efficiency of working time as a result of a reduction in time losses due to temporary incapacity for work caused by occupational traumas and injuries;
- improving the efficiency of equipment;
- reduction of losses from damage caused by labour turnover due to unsatisfactory working conditions;
- reduction of insurance payments and compensations to employees.

Currently, funds allocated by the Social Insurance Fund (SIF) of Russia for the financial provision of preventive measures to reduce occupational traumas and injuries are targeted financing. According to the current Regulations (2012), "financial support for preventive measures to reduce occupational traumas, injuries and occupational diseases of workers, carried out at the expense of the Social Insurance Fund of the Russian Federation for compulsory social insurance against occupational accidents and occupational diseases, provides:

1. Conducting a special assessment of working conditions;

2. Implementation of measures to bring exposure levels of harmful and (or) hazardous occupational factors at workplaces in accordance with the state regulatory requirements for labor protection;
3. Occupational safety training for the following specific categories of workers;
4. Acquisition of special clothing, special footwear and other personal protective equipment for employees;
5. Sanatorium-resort treatment for workers;
6. Mandatory periodic medical examinations;
7. Providing medical and preventive nutrition for employees;
8. Acquisition of instruments to detect the presence and level of alcohol;
9. Acquisition of devices for monitoring the work and rest arrangement of drivers;
10. Acquisition of first-aid kits;
11. Acquisition of individual instruments, devices, equipment and systems directly designed to ensure the safety of workers and (or) control the safe conduct of work within the framework of technological processes;
12. Acquisition of individual instruments, devices, equipment and complexes that directly provide training on workplace safety".

The results of the analysis indicate that the economic efficiency of preventive measures to reduce occupational traumas, injuries and occupational diseases, formed on the basis of indicators of the current system for monitoring safety and working conditions, is extremely low (Levashov, 2012; Levashov 2007a; Levashov 2007b).

Analysis of statistical data indicates that, for the period of 1999–2012 the total costs of occupational health and safety in the agro-industrial complex of the Kurgan region in current prices increased 9,5 times (1,20–10,9 million €); occupational health and safety costs per worker increased 18 times (5,15–93,65 €); Kurgan region expenses for providing preventive measures to reduce occupational traumas, injuries and occupational diseases, even for the period of 2007–2013 only, increased 2,3 times (192,90–445,43 thousand €). At the same time, the number of days per person of incapacity for work for one working day or more per one victim, which amounted to 21–23 in 1999–2006, increased to 30–35 by 2011–2012; the total amount of temporary incapacity benefits for compulsory social insurance against occupational accidents and occupational diseases for the period of 2007–2012 increased 1,8 times (101,6–181,8 thousand €).

An analysis of the items of expenses shows that the policy of financial support for occupational health and safety, based on the principle of compensation, does not provide for active measures to prevent trauma and injuries. Table 3 presents the items of expenditure on occupational safety and health protection (OSH) recommended in the EU countries (Dorman, 2000).

**Table 3.** Trauma and injury prevention costs

| Measures                                                                                  | Percent of total expenditure on OSH, % |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Prevention, including:                                                                    | 56                                     |
| personal protective equipment                                                             | 28                                     |
| health checks                                                                             | 15                                     |
| equipment for collective protection                                                       | 13                                     |
| Training, instruction, information, including:                                            | 37                                     |
| training                                                                                  | 27                                     |
| instruction                                                                               | 9                                      |
| information                                                                               | 1                                      |
| Predictive risk assessment, including:                                                    | 4                                      |
| identification of risks, monitoring                                                       | 3                                      |
| planning and documentation                                                                | 1                                      |
| Formation of the OSH system                                                               | 3                                      |
| Registration and investigation of occupational trauma, injuries and occupational diseases | 1                                      |

Numerous studies of costs and results show that investments in occupational safety and health give positive results when individual measures have combined into a comprehensive program. Enterprises benefit from measures to improve occupational hygiene, safety and health, since the costs of preventing occupational traumas, injuries and diseases are incomparably lower than the costs of treatment and compensation for the consequences. Often, indirect costs associated with occupational incidents are ten times higher than direct costs (Grachev, 2015). Often the safety practitioners have used the ratio of indirect to direct costs of work accidents and the most commonly it's 4:1, but they must follow good research protocols to provide valid cost ratio data (Manuele, 2011).

The largest costs per year are associated with the purchase of personal and collective protective equipment, with training workers in occupational health and safety requirements, and also with checking the health checks of hired personnel. These activities require up to 90% of the funds allocated annually to the Health and Safety Organization. All other activities (registration and investigation of occupational accidents and diseases, providing specialists and representatives of workers on occupational safety and health, as well as conducting predictive risk assessments) during the year comprise a small fraction of the costs of employers.

Most large enterprises and multinational companies are capable of organizing services and provide working conditions conducive to maintaining the health of staff. Often, they allocate sufficient resources to ensure occupational safety and health. The introduction of a safety and health management unit into the existing management system makes it possible to really include occupational safety and health issues in the daily program of company administrative personnel. Studying the action mechanisms of various management systems opens the way for strengthening the positions of specialists in occupational health and safety at all levels of management – from strategic planning to operational control of the production process.

Optimal planning of preventive measures ("interventions") at the company level should be carried out, so

that they are not reduced to purely medical, technical or organizational activities. An integrated approach to the development of methods of prevention and risk management of occupational traumas and injuries provides for the implementation of measures to prevent, control and minimize risks in two strategies – reactive, using safety barriers, and proactive, based on the use of key risk indicators (Levashov, 2018).

The reactive risk management strategy is based on the fact that accidents are "defects" in the functioning of the occupational health and safety management system. Effective implementation of these measures is ensured by the formation of security barriers representing physical systems (objects), technical or hardware measures, procedural or organizational actions that are aimed at preventing negative consequences in the human-equipment-technology-environment system.

A reactive management strategy is formed on the basis of information on the effectiveness and consequences of implemented risk reduction initiatives. The necessary safety functions are implemented using protection barriers aimed at preventing, controlling or minimizing hazards. In accordance with the specified functions, the barrier can act on the source of danger, reducing the level of its impacts, existing between the source and the employee, increasing the security of the employee or reducing the effect of exposure by mitigating the negative health effects.

An effective professional risk management process involves the implementation of preventive measures aimed at ensuring safe working conditions. Management of professional risks should be carried out to enable the adoption of proactive decisions that provide the ability to systematically identify existing risks and develop measures to reduce them. Actions must address the hazards associated with the work environment and human behaviour before an accident occurs. Their goal is to minimize risk where it is not possible to eliminate it and to guarantee control of risks that cannot be eliminated.

## Conclusions

The calculation of the economic efficiency of measures for employees' protection and the prevention of industrial injuries on the example of agricultural workers in the Kurgan region was carried out in the present study. The main goal of risk management in the field of occupational safety is to provide measures for controlling and reducing risks. This can be achieved by implementing risk management strategies that prevent the occurrence of negative events and/or reduce the severity of possible consequences.

A proactive management strategy is based on active monitoring methods. Proactive monitoring assumes the existence of an effective incident and accident reporting system that records not only the immediate causes of deviations but also any serious failures that could potentially lead to incidents. It includes research, analysis and subsequent implementation of measures to ensure that lessons learned are applicable to future processes.



Based on the analysis of the ways and methods of injury prevention worked out in the project "Improving the North-West of Russia's occupational health and safety system", the reduction of accidents up to 30% for agricultural enterprises of the Kurgan region provides annual cost savings ranging from 18 120 to 89 860 €. So, due to the fact that the economic effect of the implementation of a number of measures is apparent after a certain period of time, and also depends on the scale of their implementation, the real economic efficiency seems to be significantly higher.

Particular attention should be paid to the economic aspects of wellness programs and measures to improve working conditions. This is important both for top managers who operate in the field of health care management and for companies, as it affects their profitability and market image. In many companies, analyses on investment efficiency are a mandatory component of management activities that provides the basis for planning and implementing wellness programs.

#### Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

#### Author contributions

VSh, SL, RS, VSe, EM, TK contributed to the design and implementation of the research, to the analysis of the results and to the writing of the manuscript.

### References

- Anni, E., Merisalu, E. 2019. Dynamics of WA incidence by severity, gender and lost workdays in Estonian agricultural sector and sub-sectors in 2008–2017. – *Agronomy Research*, 17, doi: 10.15159/ar.19.169. (in Press).
- Chau, N., Dehaene, D., Benamghar, L., Bourgard, E., Mur, J.M., Touron, C., Wild, P. 2014. Roles of age, length of service, and job in work-related injury: A prospective study of 63,620 person-years in female workers. – *American Journal of Industrial Medicine*, 57(2):172–83, doi: 10.1002/ajim.22259
- Dorman, P. 2000. Three preliminary reports on the economics of labor protection. – Geneva. <http://www.ilo.org/public/russian/region/eurpro/moscow/info/publ/dorman1r.pdf> Accessed on 06.11.2019
- Grachev, N. 2015. Development of OSH management systems in agriculture. – Thesis. Ryazan, pp. 274. (in Russian)
- Hämäläinen, P., Takala, J., Kiat, T.B. 2017. Global Estimates of Occupational Accidents and Work-related Illnesses. – Workplace Safety and Health Institute, Singapore. Ministry of Social Affairs and Health, Helsinki, Finland, pp. 21.
- Ikbe, E., Hammon, F., Oloke, D. 2012. Cost-benefit analysis for accident prevention in construction projects. – *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(8):1943–1956, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000496
- ILO, International Labour Organization. 2013. ILO Calls for Urgent Global Action to Fight Occupational Diseases. – Geneva, Switzerland. [https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS\\_211627/lang-en/index.htm](https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_211627/lang-en/index.htm) Accessed on 06.11.2019.
- ILO. 2007. Labor Protection and Business. – ILO publication, International Labour Office, CH-1211. Geneva, pp 22.
- ISSA, International Social Security Association. 2014. Towards a Global Culture of Prevention: Working Conditions Have a Major and Direct Impact on the Health and Well-Being of Workers. – ISSA, Geneva. <http://www.issa.int/topics/occupational-risks/introduction> Accessed on 06.11.2019.
- Kenton, W. 2019. Knowledge Economy. – Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/k/knowledge-economy.asp> Accessed on 06.11.2019
- Leigh J.P., Marcin, J.P. 2012. Workers' Compensation Benefits and Shifting Costs for Occupational Injury and Illness. – *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 54(4):445–50, doi: 10.1097/JOM.0b013e3182451e54.
- Levashov, S. 2018. The substantiation of ways and methods of preventive maintenance of industrial herbarism of workers of agrarian and industrial complex on the basis of estimation and management of professional risks. – The author's abstract of the dissertation. St. Petersburg, pp. 43.
- Levashov, S. 2012. Professional risks of SRT car repair auto repair in the Russian Federation and for the ruble Statistics zoom. – *Problems of risk analysis*, 6:54–65. (in Russian)
- Levashov, S. 2007a. Probabilistic analysis and modeling of the risk of professional activity. – *Labor safety in industry*, 2:53–59. (in Russian)
- Levashov, S. 2007b. Classification of industrial hazards. – *Labor safety in the industry*, 11:64–66. (in Russian)
- Manuele, F.A. 2011. Accident Costs. Rethinking ratios of indirect to direct costs. – *Safety Management*, 39–47.
- Rules for the financial provision of preventative measures for the reduction of the region of severe injuries and occupational diseases of employees and sanatorium and spa-treatment of workers engaged in work with harmful and (or) dangerous production factors: approved by order of the Ministry of Labor of Russia No. 580H of 10.12.2012.





