

EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut



XIII MAGISTRANTIDE TEADUSKONVERENTS
INIMENE JA TEHNOLOOGIAD

Artiklite kogumik

Tartu 2019

Eesti Maaülikool

Tehnikainstituut

XIII Magistrantide teaduskonverents INIMENE JA TEHNOLOOGIAD

Tehnikamajas 18.04.2019

TOIMKOND

esimees:	lektor	Küllli Hovi		
liikmed:	doktorant	Mart Hovi	magistrant	Heino Pihlap
	doktorant	Assar Luha	magistrant	Siim Ansberg
	doktorant	Keio Küüt	magistrant	Tormi Lillerand
sekretär:		Heli Saaremets		

SISUKORD

ENERGIAKASUTUS	5
Päikeseenergia kasutusvõimalused pereelamutes	
J. Birjuk.....	5
Mida teha tööstuses tekkiva heitsoojusega	
A. Grigor.....	11
Välised andmete hankimise võimalused EMÜ Taastuvenergia labori jaoks	
O. Hellaste.....	17
Scilabis modelleeritud katsekambri soojusleviprotsesside võrdlus konstrueeritud katsekambriga	
R. Kändla.....	22
Liposoomsete mikrokaplite saagikus ultrahelitöötusel	
S. Muiste.....	31
Dünaamiliselt juhitud sagedusmodulaator	
M. Plaado, E. Jõgi.....	35
Võrguteenuse kvaliteedi analüüs keskpinge elektrivõrgus üldistatud näitaja SAIDI alusel	
E. Prüüs.....	41
Taastuvenergiaallikate kasutamise osakaal Eestis	
U. Raudsepp, E. Jõgi.....	47
Elektrivõrgu rikete analüüs Veeriku ja Ülejõe piirkonnas	
V. Saarepuu, A. Annuk.....	54
Autonoomse elektrivarustussüsteemi optimaalne toimimine koos alternatiivsete energiaallikatega	
M. Salem.....	59
Lõiketugevuse analüsaatori arendamise võimalused	
A. Tooming.....	65
Inverteri juhtimine Labview tarkvara abil	
A. Tsaussov, E. Jõgi.....	69
Eesti elektrivõrkude desünkroniseerimine elektriühendusest BRELL	
E. Valgemäe, A. Annuk, A. Hamburg.....	75

ERGONOOMIKA

Erivajadustega inimeste tegevusjuhendajate psühhosotsiaalne töökeskkond ja tervis

A. Alas, E. Merisalu81

Ergonoomilise jalutuskepi disain osteoartriiti põdevale isikule

S. Ansberg, A. Roogsoo, M-L. Štrik-Ott, E. Org, M. Reinvee88

Tervisedenduse ja töövõime säilimise olulisus Eestis ning mujal maailmas

E. Org, E. Merisalu95

Betoontoodete ettevõtte tootmistöötajate töökoha ergonoomika ja tervis

A. Roogsoo, E. Merisalu105

Elektromüograafial põhinevate tagasisideseadmete patendiuring

M. Štrik-Ott, M. Reinvee112

TOOTMISTEHNKA

Teravilja koppelevaatori pöördjaoturi motoriseerimine

H. Kurgpõld, M. Madissoo118

Küttepuude toormaterjali etteande konveieri lahendused

S. Kaaver, A. Aan122

Manipulaator uArm kauglabori võimalus

S. Kallisaar, I. Virro.....127

APJ freespingi makroprogrammeerimise õppevahend

A. Kenk, T. Leemet.....131

4-teljeline töötlus Fusion 360 CAM tarkvaras

A. Kukk, T. Leemet.....137

Vertikaalse fotobioreaktori valguse intensiivsuse modelleerimine

R. Leheveer, T. Kikas.....137

Probleemid purkide kaanetamisel

T. Lillerand, M. Madissoo.....149

Süsinikfiiberelemendiga tugevdatud sisetreitera hoidik

R. Raudsepp, M. Madissoo156

ENERGIAKASUTUS

Päikeseenergia kasutusvõimalused pereelamutes

J. Birjuk

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

Abstract. The aim of the report is to define the value of solar radiation and capacities in the world and especially in Estonia. This report showing the degree of solar energy development in the world and demonstrate the possibilities of usage solar energy in family houses.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic, Capacity, Solar Irradiation.

SISSEJUHATUS

Päikeseenergia saabub maa peale kiirguse teel. “Tänu päikesele on meie planeedil võimalk elu. Tänu fotosünteesile elavad taimed, tänu taimedele saavad toitu loomad ja inimene“[1]. Teisisõnu, päikest tuleb maapinnale nii palju energiat, et kui perspektiivis areneda antud taastuvenergia allika kasutamisevõimalused – võib kata kogu inimkonna energiavajadust. Antud ettekanne eesmärk on anda esmane ülevaade auditooriumile päikesekiirgusest ning kaasaegsetest päikeseenergia kasutamisevõimalustest pereelamutes.

MATERIAL JA METOODIKA

Vaatlusaluses töös kasutatakse kirjanduses [1] esitatud arvutusmetoodikat. „Horisontaalse pinna kiirgustingimuse kujundavad nii sinna langevad kui ka sealt lahkuvad kiirgusvood. Pinnale langevaid kiirgusi loetakse positiivseks, lahkuvaid negatiivseks. Peale atmosfääri sisenemist kiirgusvood jagunevad vastavalt allikale [1] järgmiselt:

- otsene päikesekiirgus;
- hajus kiirgus;
- pinnalt hajusalt peegeldunud päikesekiirgus;
- atmosfääri soojuskiirgus;
- aluspinna soojuskiirgus;
- aluspinnalt peegeldunud atmosfääri soojuskiirgust.

Päikese otsene kiirgus on see osa kiirgusest, mis jõuab päikeseketta suunast maapinnale praktiliselt paralleelsete kiirte kimbuna. Seda mõõdetakse tavaliselt kiirtega risti pinnal ja tähistatakse S . Horisontaalpinna tingimuste seisukohalt on oluline teada horisontaalsele pinnale langeva otsese kiirguse (S'), väärtust. Seda arvutatakse vastavalt allika [1] seosest:

$$S' = S \cdot \sin h_0, \quad (1)$$

kus S' on horisontaalsele pinnale langev otsene kiirgus, kW·h/m²;
 S – päikese otsene kiirgus, kW·h/m²;
 h_0 – päikese kõrgus.

Päikese kõrgus on nurk horisondi ja vaatlejast Päikese suunas mõtteliselt kulgeva kiire vahel. Sageli kasutatakse Päikese kõrguse asemel tema seniitkaugust. See on nurk Päikese kiirte suuna ja seniidi vahel. Päikese kõrgus ja seniitkaugus on omavahel seotud lihtsa valemiga [1]:

$$h_0 + Z_0 = 90, \quad (2)$$

kus Z_0 on päikese seniitkaugus.

Seda osa päikesekiirgusest, mis pärast hajumist õhu molekulidel, aerosoolil, veeaurul ja pilvedes langeb maapinnale, nimetatakse hajusaks kiirguseks ja tavaliselt tähistatakse D [1].

Päikese otsese ja hajusa kiirguse summat nimetatakse summaarseks kiirguseks ja tähistatakse Q [1]. Summaarne kiirgus iseloomustakse:

$$Q = S' + D, \quad (3)$$

kus Q on päikese summaarne kiirgus, kW·h/m²;
 D – päikese hajus kiirgus, kW·h/m².

Osa päikesekiirgusest, mis peegeldub maapinnalt tagasi atmosfääri nimetatakse peegeldunud kiirguseks ja tähistatakse tavaliselt R_Q . Peegeldunud kiirgust iseloomustab Albeedo arv. Albeedo on arv, mis näitab, mitu protsenti aluspinnale langenud kiirgusest peegeldub hajusalt tagasi atmosfääri. Albeedo arv tavaliselt tähistatakse A_Q ja ta avaldub valemiga [1]:

$$A_Q = \frac{R_Q}{Q} \cdot 100, \quad (4)$$

kus A_Q on albeedo arv, %;
 R_Q – peegeldunud kiirgus, kW·h/m². [1]

Kiirguskliima maa erinevates regioonides on väga erinev. Sõltuvalt geograafilisest asukohast päikesekiirguse intensiivsused muutuvad oluliselt kasvades lõuna ja põhjapoolusest ekvaatori suunas. Kõige rohkem päikesekiirgust langeb maapinnale Lõuna-Ameerika läänerrannikul, Araabia poolsaarel, Lõuna Aafrikas ning Lääne Austraalias. Nendes asukohtades summaarne aastane kiirgus ületab 2700 kWh/m².

Eestis keskmise aastane otsese kiirguse summa on ligikaudu „1000 kW·h/m²“ [2]. Vastavalt kiirguskliima teatmikule [1] on Tõraveres keskmine aastane otsese kiirguse väärtus aastatel 1955-2000 on 950 kW·h/m², Tiirikojas 966 kW·h/m². Kõige päikeserikkam asukoht on Sõrve poolsaar Saaremaal. Otsese päikese kiirguse aastane

suurus seal saavutab $1200 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ päikesekiirtega risti oleval pinnal ning summaarne kiirguse suurus aastas on $1075 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$.

Tabel 1.1. Kiiritustiheduse andmed Tõravere ja Tiirikojas aastatel 1955-2000. Solar irradiation data in Tõravere and Tiirikoja 1955-2000 [1].

Asukoht	Otsene kiirgus S , $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$	Hor.aluspinnale langev otsene kiirgus S' , $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$	Hajus kiirgus D , $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$	Summaarne kiirgus Q , $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$	Pegeldunud kiirgus R_q , $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$	Albedo arv A_q , %
Tõravere	950,1	461,6	508,1	969,7	260,4	26,8
Tiirikoja	966,8	468,4	515,9	986,1	260,9	26,5

Päikeseenergia on energia, mis saadud päikesekiirgusest. Põhiliselt muundatakse seda elektriks ja soojuseks.

Aasta 2015 seisuga maailmas oli paigaldatud 200 GW võimsusega päikeseenergiat muundavaid seadmeid. Aastal 2016 tõusis see võimsus 300 GW-ni ning aastal 2017 oli see juba 400 GW. Prognoosi järgi tõuseb aastaks 2022 päikeseenergiat muundavate võimsuste summa 1 TW-ni [3].

Võrreldes teiste energialiikidega kõige rohkem ehitatakse maailmas päikese ja tuule energial töötavaid võimsusi.

Elektrienergia saamiseks päikesekiirgusest kasutatakse PV (*photovoltaic*) paneele. PV paneelide tööpõhimõtte baseerub fotoelektrilisel efektil.

Tavaliselt PV-paneelid koosnevad puhastatud ränist, mis lisandite abil muutub kas p- või n-tüüpi räniks. Ráni n-tüübil on laengukandjaks elektronid ning p-tüüpi ränil on laengukandjaks augud. Valguse langemisel PV-paneeli pinnale hakkavad ülemise kihi elektronid liikuma alumisse kihti. Kuna mõlemad pooljuhid on ühendatud omavahel juhtmetega, siis moodustab see kinnise vooluringi, millesse saab lülitada energiatarbijad. [4]

Kuna enamus elektrienergiast kasutatakse vee soojendamiseks (eriti majapidamises), siis on otstarbekas kasutada päikesekollektorit. Päikesekollektor on soojusvaheti, mis absorbeerib tema pinnale langenud päikese kiirgust ning juhib selle energia soojusena kollektori sees voolavale soojuskandjale. Päikesekollektoreid on kahte liiki: lamekollektorid ja vaakumkollektorid.

Lamekollektor on kaetud läbipaistva katteplaadiga. Päikesekiirgus läbib selle plaadi ning langeb absorbeerivale pinnale. Absorbeeriv pind kontakteerub soojuskandja torudega ning juhib soojuse torudes voolavale soojuskandjale. Soojuskandja transpordib soojuse akumulatsioonipaaki. Lisaks on kollektori alumine osa valmistatud soojusisolatsioonimaterjalist vähendamaks soojuskadusid. Lamekollektoris voolava soojuskandja töötemperatuur on vahemikus $30\text{-}80 \text{ }^\circ\text{C}$. [5]

Vaakumkollektori konstruktsiooni põhielementideks on soojustorud, mis asetsetud välise kesta sisse. Välimise kesta sees on vaakum, mis suurendab soojusisolatsiooni ning vähendab soojuskadusid. Selletõttu vaakumtorukollektoritega on võimalik saavutada kõrgemaid temperatuure võrreldes lamekollektoritega (30-120 °C) [5]. Vaakumtoru kollektor absorbeerib sarnaselt lamekollektoritega nii otsest, kui ka hajuskiirgust. Soojustorud on kontaktis soojusvahetis olevatega absorbeeripindadega.

Päikesekollektorite kasutegur võib ulatada kuni 80% väärtust ning seega ta on neli korda efektiivsem võrreldes PV paneelidega. Päikesepaneeli kasutegur avaldub kirjanduse [6] järgi lihtsustatud valemiga:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k \cdot \Delta T}{E}; \quad (5)$$

kus η on päikesepaneeli arvutuslik kasutegur;

η_0 – päikesepaneeli nimikasutegur, kui $\Delta T = 0$;

k – kollektori tüübist ja tema isolatsioonist sõltuv tegur;

ΔT – soojuskandja ja välistemperatuuri vahe;

E – kiiritustihedus, kW/m².

Valemist 5 järeldub, et kollektori kasutegur sõltub soojuskandja ja väliskeskkonna temperatuuride vahest ning mida väiksem on väliskeskkonna temperatuur seda väiksem on kasutegur. Sellest järeldub, et talvisel ajal ei ole kollektoritega heliosüsteem nii efektiivne kui suvel.

Tänapäeval päikeseenergia kasutamisevõimaluste efektiivsuse tõstmise küsimus on suure aktuaalsusega, mis järeldub peatükis ülaltoodud faktidest. Päikeseenergeetika on perspektiivsem kaasaegsetest energeetika harudest ning eriti taastuvenergeetika harudest. Peatükis 2 selgub, et koduses majapidamises on mitu võimalust päikeseenergia kasutamiseks. Süsteemi valimisel tuleb lähtuda kõigepealt selle süsteemi otstarbest. Teisisõnu on vaja selgeks teha, kas on soov saada elektrit või soojust. Märgatav on see, et elektrit saab muundada soojuseks ilma suurte kadudeta, kuid vastupidine protsess on keerulisem ja tavaliselt koduses majapidamises seda ei ole otstarbekas kasutada.

Kui esimene valik on PV paneelid, siis tuleb arvestada, et nende kasutegur on neli korda väiksem kui kollektoritel. See kõigepealt tähendab, et sama võimsuse saavutamiseks tuleb kasutada heliosüsteemiga kuni neli korda suuremat pindala. Kui tingimused võimaldavad kasutada suurt pindala, siis eeliseks on PV paneelide odavam hind võrreldes kollektoritega. Internetist otsides on võimalik leida PV paneelidega heliosüsteemi paigalduse lõpphinda, kuid kollektorite süsteemi puhul lõplik hind väga erinev sõltuvalt kollektorite tüübi ja ülejäänud seadmestiku valikust.

PV-paneelide süsteemi põhielemendiks on paneelid ise, kuid edukaks süsteemi juurutamiseks vaja ka soetada sellised elemendid nagu akumulaatorid, kontrollid ja inverter. Need on neli põhilist elementi, ilma milleta süsteemi efektiivselt kasutada ei

saa. Päikeseenergia elektrienergiaks muundamise eeliseks on paneelide lihtne paigaldus ja ühendatavus ülejäänud süsteemi osadega painduvate juhtmetega, lihtne kasutada automaatjuhtimist.

Kollektoritega süsteemi kogu hind jaguneb kolmeks osaks:

- Päikesekollektori(te) hind ligikaudu 1/3 kogu summast;
- Akumulatsioonipaagi hind ligikaudu 1/3 kogusummast;
- Paigaldus ja ühenduskulude hind ligikaudu 1/3 kogusummast. [7]

TULEMUSED JA ARUTELU

Vastavalt ülaltoodud andmetele koostati tabel 3.1. erinevate süsteemide maksumuse võrdluseks.

Tabel 2. Erinevate heliosüsteemide maksumuse võrdlus. Different heliosystem cost comparison [8,9].

	PV paneel	Kollektor	
		Lame	Vaakum
Pindala, m ²	10	2	2,5
Hind, EUR	2611	816	2604
EUR/m²	261,1	408	1041,6

Tabelist 3.1. selgub, et ühe vaakumtorukollektori pinnaühiku hind on ligikaudu neli korda suurem kui PV-paneeli pinnaühiku hind. Lamekollektori süsteemi hind on kaks ja pool korda madalam võrreldes vaakumtorudega kollektori süsteemi hinnast, aga vaakumkollektori kasutegur on suurem tänu oma kiirgusenergiat neelavate torude paremale soojusisoleerimisele. Kui põhikriteeriumiks on maksimaalne kasutegur pinnaühiku kohta, siis valida tuleks kõige kõige kallima konstruktsiooniga vaakumtorudega päikesekollektori süsteemi. Kui süsteemi tasuvus on tähtsam efektiivsusest, on tänapäeval otstarbekam valida lamekollektoreid.

Valemist 5 selgub, et kollektorite kasutegur otseselt sõltub soojuskandja ja väliskeskkonda temperatuuride vahet. Seega kui vajadus sooja veest on aastaringne siis kollektorite süsteem ei suuda tagada sooja veega elamut talvisel ajal. Eestis päikesekollektorid sobivad suvilate jaoks, kus vajadus sooja vee tootmisest on hooajaline, näiteks maist oktoobrini. PV paneelide kasutegur on aastaringelt ühtlane ning süsteemi suure pindalaga teoorias võib katta elamu elektrienergiavajadus väiksema investeringuga. Kuna tegemist on elektri tootmisega, siis PV paneelide kasutusvõimalused on laiemad.

Päikese kiirgusvood maapinnal koosnevad otsesest päikesekiirgusest ning hajusast kiirgusest. Kiiritustingimuste määramiseks on oluline teada horisontaalsele pinnale langeva otsese kiirguse väärtust. Eestis on võrreldes kõige päikeserikkamate kohtadega

maailmas aastane kiiritustihedus on kolm korda väiksem, kuid isegi sellest kiirgusest saab küllalt palju energiat kaasaegse päikeseenergeetika süsteemidega.

JÄRELDUSED

Viimastel aastatel on kõige rohkem võimsusi maailmas ehitatud taastuvenergia lahendusel ja eriti päikeseenergiat. Päikese energiat saab kasutada elektri või soojuste tootmiseks, kasutades PV paneele või kollektoreid. PV-Paneelide kasutegur on neli korda väiksem kõige efektiivsemast vaakumtorudega kollektori kasutegurist, kuid hinnad on ka umbes neli korda suuremad. Lamekollektoritega süsteemi hind on märgatavalt madalam ning seega soojuste tootmiseks see on kõige mõistlikum variant vaatamata sellele, et lamekollektoritel on ka kasutegur madalam vaakumkollektoritega võrreldes.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1]. Russak, V, Kallis, A. Eesti kiirguskiirguse teatmik. – Tallinn: Eesti meteoroloogia ja hüdroloogia instituut: 2003. – 384 lk.
- [2]. Solar resource maps and GIS data for 180+ countries. Kättesaadav: <https://solarGIS.com/maps-and-gis-data/download/> (21.03.2019).
- [3]. Watson, J; Schmela, M. Global market outlook for solar power 2018-2022. Brussel. Solar Power Europe, 2018. Kättesaadav: <http://www.solarpowereurope.org/global-market-outlook-2018-2022/> (23.03.19).
- [4]. PV paneelide tööpõhimõtte ja tootlikus. Kättesaadav: <http://solarest.eu/kasulik-teada>. (23.03.19).
- [5]. Rosin, A; Link, S; Drovtar, I. Energia lokaalse tootmise analüüs büroofoonele Osa I. Taastuvenergialahendused. – Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2013. – 82 lk.
- [6]. Количество поставляемой энергией солнечным коллектором. Kättesaadav: http://solar-kollektor.ru/solar_collector_kpd.htm (31.03.2019).
- [7]. Про эффективность и КПД солнечного коллектора. Kättesaadav: <http://www.teplodarom.com/site.xp/049054051124051048057.html> (31.03.2019)
- [8]. Päikeseküte. Päikesekollektor. Kättesaadav: <http://www.ehitusinfo.ee/index.php?aid=1713> (30.03.19).
- [9]. Energogen. Päikesepaneelide hinnad. Kättesaadav: <https://energogen.ee/paikeseenergia/naidislahendused/> (31.03.19)

Mida teha tööstuses tekkiva heitsoojusega

A. Grigor

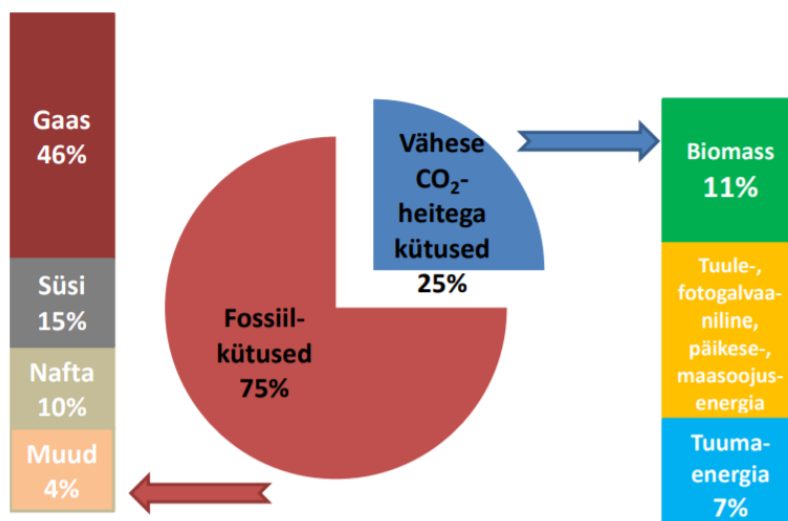
Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

Abstract. Half of all energy used in the European Union is spent on heating and cooling. But most of this energy is lost as waste energy. This research examines the possibilities of using waste energy in the Estonian company, which uses the heating of the products in production and after end of heating their cooling. The company uses cold water pumped from the borehole to cool down the products. After cooling process water with waste heat energy is directed into the sewer. Example the cooling water, what is directed into the sewer during the year, contains in a significant amount of waste heat - 9004 GJ. The work focuses on the possibility of using a heat pump to recycle this waste energy.

Keywords: Waste heat, waste cold, CO₂, heat pump.

SISSEJUHATUS

Euroopa Liidus kasutatud kogu energiast pool kulub küttele ja jahutusele. Kuid suurem osa sellest energiast läheb kaduma heitjahutusenergiana, mis tekib tööstuslikes tehnoloogilistes protsessides. Ja ehkki kütte- ja jahutussektor liigub keskkonna-sõbraliku vähese CO₂-heittega energeetiliste protsesside suunas, pärineb 75 % sektori kasutatavatest kütustest ikka veel fossiilsetest allikatest (peaaegu poole nendest moodustab maagaas) [1].



Joonis 1. Kütteks ja jahutuseks kasutatud primaarenergia, 2012. [1]

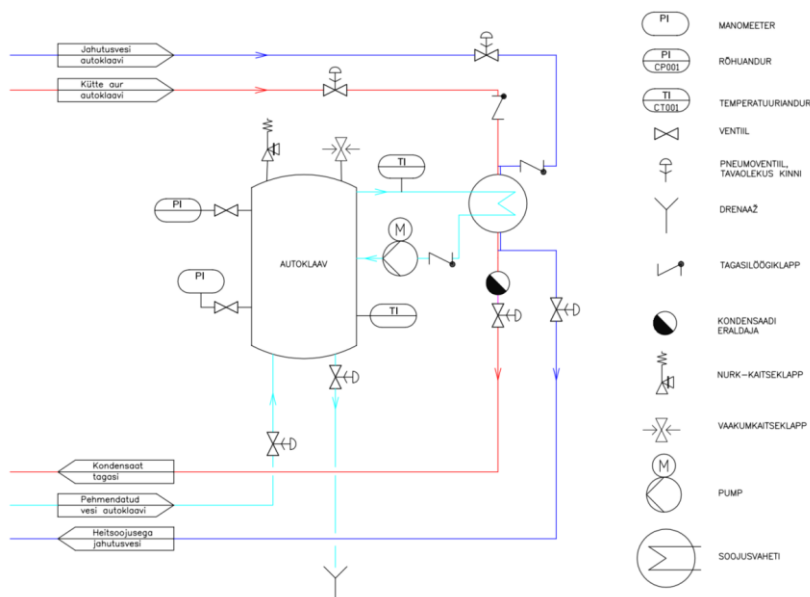
Figure 1. Primay energy used for heating and cooling, 2012.

Samas saaks suurt osa tekkivast heitenergiast kasutada lähedalasuvates ehitistes kütteks või muudes soojust vajavates protsessides.

Eestis on ettevõtteid, kes kasutavad tootmises kas toodete või materjalide kuumutamist ning peale kuumutamise lõppu nende jahutamist. Näiteks võib tuua toiduainetööstust, kus pakendatud valmistoodang läbib enne tarbijale saatmist kuumtöötlemise autoklaavides, või farmaatsiatööstus, kus eeskätt klaastaarat kuumutatakse enne toodete pakendamist. Loetletud juhtudel on kuumutamise eesmärk toote või materjali steriliseerimine. Eesti Keele Instituudi „Eesti keele seletav sõnaraamat“ annab autoklaavi definitsiooniks: „õhukindlalt suletav (silindriline) anum v. kamber mitmesuguste protsesside teostamiseks kuumuses ja atmosfäärirõhust kõrgemal rõhul“ [2].

MATERIAL JA METOODIKA

Tulenevalt tehnoloogiast järgneb kuumutamisele toote või materjali jahutamine. Jahutamiseks võib kasutada erinevaid lahendusi. Kõige lihtsam on jätta tooted ja materjalid ruumi jahtuma. Kuna jahutatavad kogused võivad olla suured, siis kulub nende jahutamisele palju aega ning näiteks toiduainete korral on oht, et aeglase jahtumise tõttu võib pakendatud toodang kaotada tarbijale vastuvõetava struktuuri ja maitseomadused. Selle vältimiseks ning tootmisprotsesside kiirendamiseks kasutatakse sundjahutust. See võib olla jahutamine külma õhuga, jahutamine külmade vedelikega. Joonisel 2 on toodud auruga köetava ning külma veega jahutatava autoklaavi tehnoloogiline skeem.



Joonis 2. Materjalide autoklaavi abil soojendamise ja jahutamise tehnoloogiline skeem.

Figure 2. Technological schema for heating and cooling materials in the autoclave.

Protsess algab autoklaavi soojendamisel auruga, mille liikumistee on joonisel 2 tähistatud punase joonega. Soojendamise lõppedes jahutatakse autoklaavi külma veega, mis suunatakse peale autoklaavis jahutustsükli läbimist koos vees sisalduva heitsoojusega edasi kanalisatsiooni. Jahutusvee teekond on joonisel 2 tähistatud tumesinisega. Helesinisega on tähistatud autoklaavis ja soojusvaheti sees tsirkuleeriv vesi. Reeglina on jahutamiseks kasutatav külm vesi saadud ettevõtte omandis olevast puurkaevust. See omakorda tähendab, et jahutuseks kasutatud vee omahind on madal, koosnedes ainult pumpamiseks kuluvast elektrienergia hinnast ning vee erikasutusõiguse tasumäärast.

Jahutusvee kulu ühele soojendamisele järgnevale jahutustsüklile on erinev ja sõltub jahutatavast tootest või materjalist ning kogustest. Siin ja edaspidi on käesolevas uurimuses näitena vaadatud ettevõtte Steriflow autoklaavi Barriquand mahuga 5,3 m³. Tootja andmetel on sellise autoklaavi jahutusvee kogus ühe tsükli kohta 5,5 m³ [3]. Vaadeldavas ettevõttes on kasutusel kokku 7 autoklaavi ning perioodil 01.03.2018 kuni 28.02.2019 oli kasutatud jahutusvee kogus kokku 89 549 m³.

Jahutusprotsessi käigus jahutamiseks kasutatud vee algtemperatuur on enne autoklaavi sisenemist 7 °C, autoklaavist väljudes on jahutustsükli kasutatud vee keskmine temperatuur 31 °C, temperatuuride vahe seega 24 K.

Jahutusvees sisalduva kanalisatsiooni suunatava energia saab leida valemi 1 abil. Tabelis 1 on toodud kuude lõikes perioodil 01.03.2018 kuni 28.02.2019 kasutatud jahutusvee ja kanalisatsiooni suunatud jahutusvee kogused ning selles sisalduv energia.

$$Q = m \cdot c (t_1 - t_2), \quad (1)$$

- kus Q on soojushulk J;
 m – vedeliku mass kg;
 c – vedeliku erisoojus J/(kg·K);
 t_1 – lõpptemperatuur °C;
 t_2 – algtemperatuur °C.

Tabel 1. Perioodil 01.03.2018-28.02.2019 kasutatud jahutusvee kogus ning veega kanalisatsiooni suunatud keskkonda reostav energia.

Kuu	Kasutatud jahutusvesi m ³	Vees sisalduv energia GJ
Märts	5958	599
Aprill	7303	734
Mai	8608	866
Juuni	100	10
Juuli	13 114	1319
August	12 833	1290
September	8700	875
Oktoober	7534	758
November	7612	765
Detsember	4609	463
Jaanuar	6576	661
Veebruar	6603	664
Kokku:	89 549	9004

Tabelis toodud juuni näitajad on teistest oluliselt erinevad kuid siiski õiged. Tegu ei ole eksitusega, põhjuseks on ettevõtte kollektiivpuhkus juunis ning tootmist sel ajal ei toimu.

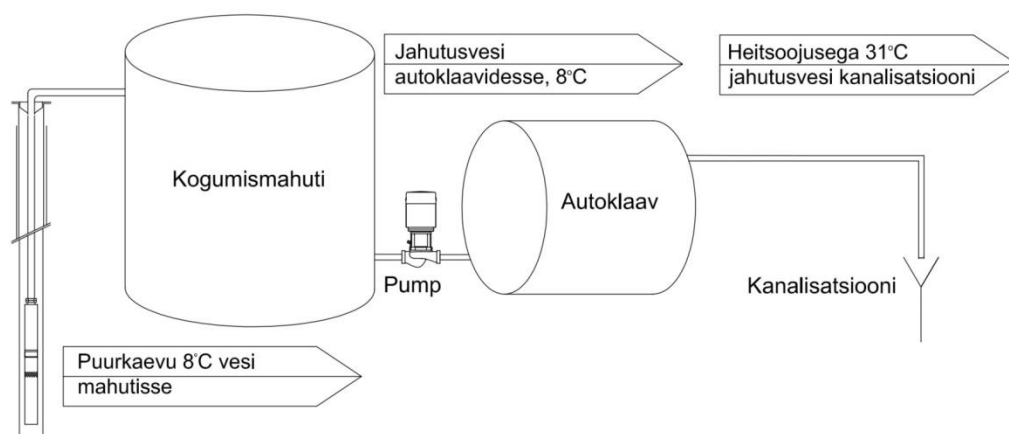
TULEMUSED JA ARUTELU

Heitsoojusena kvalifitseeruv ning kanalisatsiooni suunatud jahutusvees sisalduv energiakogus on märkimisväärne – 9004 GJ. Selle energia saamiseks tuleb näiteks põletada 272 848 m³ maagaasi. Gaasi kuupmeetri hind koos aktsiisi ning võrgutasudega on vaadeldava ettevõtte jaoks 0,331 senti/m³ + käibemaks ning 272 848 m³ gaasi maksumus on 90 312,69 € + käibemaks. 272 848 m³ maagaasi põletamisel tekkiv CO₂ kogus on 504,7 t.

Samuti on suur aastane kasutatud jahutusvee kogus - 89 549 m³. Tartu Veevärk AS kodulehel toodud andmetel kasutatakse Euroopas ühe inimese kohta keskmiselt 140 l vett ööpäevas [4]. See teeb 4-liiklemise pere kohta 560 l vett ööpäevas. 4-liiklemisele pere jätkuks 89 549 m³ vee kogusest 438 aastaks.

JÄRELDUSED

Eelnevalt toodud tabel 1. käsitleb ainult vaadeldavas ettevõttes tekkivaid jahutusvee koguseid, kuid arvestades, et sarnast tehnoloogiat kasutavad paljud ettevõtted, siis iseloomustab see uuritavat probleemi üldisemalt – pool küttele ja jahutusele kasutatavast energiast Euroopa Liidus läheb kaduma heitsoojus- ja heitjahutusenergiana. Uurimise tulemusena jõuab autor järeldusele, et mõistlik on leida hetkel kanalisatsiooni suunatavale jahutusveele ja selles sisalduvale energiale erinevaid kasutusvõimalusi. Joonisel 3 on esitatud hetkel kasutusel olev jahutusvee liikumise tehnoloogiline skeem.



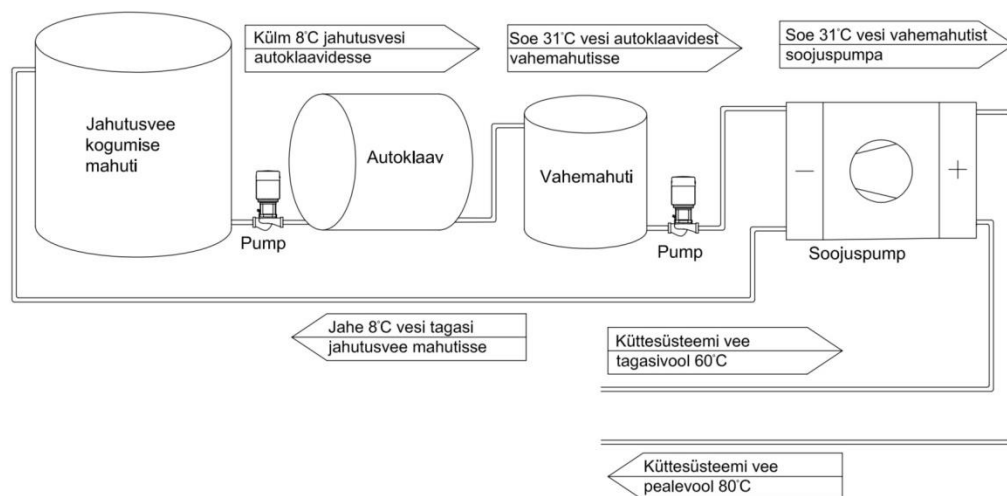
Joonis 3. Autoklaavi jahutamise protsess.

Figure 3. Autoclave cooling process.

Üks alternatiiv heitsoojusenergia kanalisatsiooni suunamisele on võtta kasutusele soojuspump, mille abil tõsta jahutussüsteemist väljuva vee temperatuur 31°C kõrgemale

temperatuurile, näiteks 80°C, mis annab võimaluse kasutada energiat müügiks kaugkütte võrgule. Selle võimaluse kasuks on kaugkütte võrgu suurus ning pidev energiavajadus. Suvisel ajal on vaadeldava ettevõtte soojusenergia vajadus madal (puudub hoonete kütte vajadus) ning kogu soojuspumbaga toodetavale soojusenergiale ei leidu aastaringset rakendust. See omakorda tähendaks rakendust mitte leidva soojusenergia asjatut paiskamist loodusesse. Samas töötab tehas 11 kuud aastas ning jahutusvee vajadus on seega peaaegu pidev.

Soojuspumba töös tekkiva külma vee saab ettevõtte ära kasutada autoklaavide jahutussüsteemis. Võiks mõelda lahendusele, kus autoklaavide jahutusvee süsteem ehitada kinniseks. Kinnine ring tähendab, et enam ei võeta jahutamiseks vajalikku vett puurkaevust, vaid jahutusvesi saadakse juba autoklaavi läbinud ning heitsoojust sisaldavast jahutusveest soojuspumbaga selle jahutamise teel. Joonisel 4 on esitatud võimalik jahutusvee liikumise tehnoloogiline skeem kinnises süsteemis.



Joonis 4. Kinnise jahutussüsteemi tehnoloogiline skeem.

Figure 4. Technological schema of the closed loop cooling system.

Sõltuvalt lahendustes on võimalik rahaline kokkuhoid suur. Vaadeldav ettevõtte maksab iga 1 m³ kanalisatsiooni suunatava jahutusvee eest Tartu Veevärk AS-ile 1,08 € + käibemaks [5]. Vaadeldava aastase perioodi jooksul seega 96 712,92 € + käibemaks. Samuti väheneksid kulutused vee erikasutusõiguse tasumäärale ning CO₂ heitele.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Euroopa Komisjon, “ Komisjoni teatis euroopa parlamendile, nõukogule, Euroopa majandus- ja sotsiaalkomiteele ning regioonide komiteele.” ELi kütte- ja jahutusstrateegia [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0051&rid=2>
- [2] EKI "eesti keele seletav sõnaraamat." [Online] Available: <http://www.eki.ee/dict/ekss/index.cgi?Q=Autoklaav&F=M>
- [3] Steriflow S.A.S, Steriflow technical book S 3144, 03/03/2005
- [4] Huvitavaid fakte veest, Tartu Veevärk AS. [Online]. Available: <https://www.tartuvesi.ee/huvitavaid-fakte-veest>
- [5] Tartu Veevärk AS. Veevarustuse ja heitvee ärajuhtimise hinnakiri. [Online] Available: <https://tartuvesi.ee/veevarustuse-ja-heitvee-arajuhtimise-hinnakiri-1102014>

Välised andmete hankimise võimalused EMÜ Taastuvenergia labori jaoks

O. Hellaste

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

Abstract. The purpose of this article was to explore different sources of external data which could be used to improve the database and website of the Estonian University of Life Sciences' laboratory of digital electronics. The laboratory was created for educational purposes and to conduct research on a system consisting of devices for producing, storing and consuming electrical energy that imitates a renewable energy plant. It consists of solar panels, a wind turbine, inverters, a super capacitor, batteries and an adjustable load. The parameters of devices are being automatically measured and saved to a server which processes them and presents the data numerically and graphically. The article consists of an overview of the structure, working principles of the laboratory and recommendations of external data sources that can be used to improve the laboratory's data collection and presentation.

Keywords: Data acquisition, renewable energy, data presentation, Laboratory of Digital Electronics.

SISSEJUHATUS

Suur ja täpne kasulike andmete hulk võimaldab kasutajal saada jälgitava protsessi kohta võimalikult asjakohase ülevaate. Erinevaid kogutud andmetüüpe on võimalik omavahel töödelda, et esitada neid kasutajale soovitud kujul. Andmete graafiline esitamine võimaldab kasutajal saada paremat ülevaadet andmete muutustest ajas ja mitmesuguste andmete väärtuste või proportsioonide erinevusest.

Eesti Maaülikooli Tehnikamajas asuv Digitaalelektronika labor on loodud õppe eesmärgil, et uurida taastuvenergia seadmetest, energiasalvestitest ja energia tarvitajatest koosnevat süsteemi, mis jäljendab taastuvenergia tootmise jaama.

Digitaalelektronika labori seadmete tööparameetreid mõõdetakse automaatse süsteemi abil ning mõõdetud tulemused esitatakse numbrilisel ja graafilisel kujul kasutajaliidesesse.

Artiklis kirjeldatakse Digitaalelektronika labori ülesehitust, antakse ülevaade labori toimimisest. Eesmärk on analüüsida võimalusi, kuidas labori andmebaasi välise andmete abil täiendada.

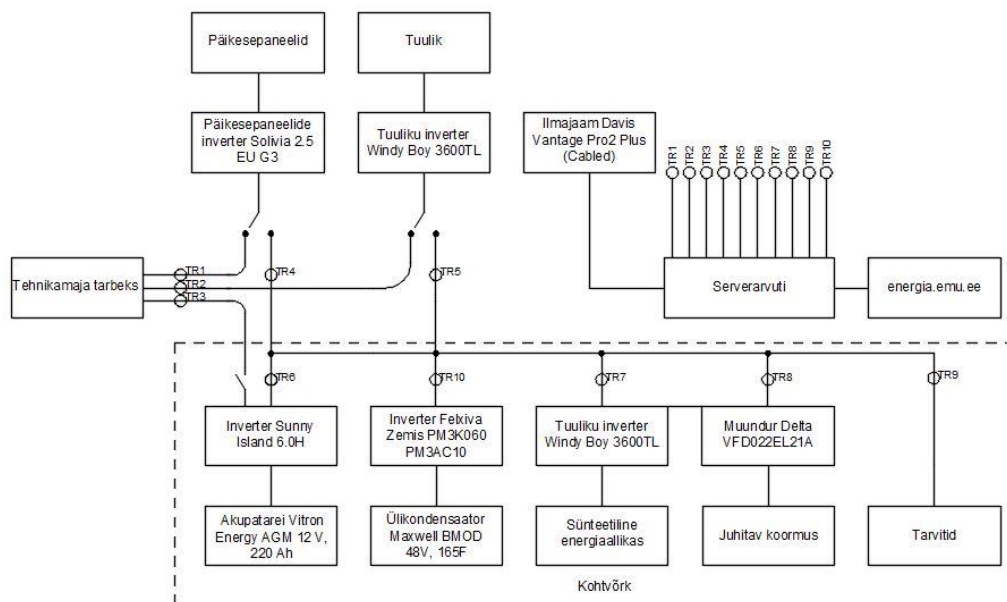
MATERJAL JA METOODIKA

Elektri väikevõrgud, nagu on ka EMÜ Digitaalelektronika labor, koosnevad üldjuhul elektrienergiat muundavatest, salvestatavatest ja tarbivatest seadmetest. Neid iseloomustavad taastuvenergia allikate ebastabiilne töö ja suuremad koormuse kõikumised. [1]

Põhiliseks uurimisobjektiks on Eesti Maaülikooli Digitaalelektronika labor, mis koosneb järgnevatest seadmetest: [2], [3]

- taastuenergia seadmed;
- muundurid, muutmaks elektrienergiat majapidamis kõlblikuks;
- kohtvõrk, mille eesmärk on imiteerida reaalsel elektrivõrku;
- juhtskeem vajalike lülituste tegemiseks ja tulemuste mõõtmiseks;
- server, kuhu salvestatakse mõõdetud andmed ning luuakse internetis kättesaadav kasutajaliides;
- lauaarvuti, kus paiknevad seadmete juhtimiseks vajalikud kasutajaprogrammid;
- Raspberry Pi'l põhinev süsteem, mis kuvab kasutajaliidese EMÜ Tehnikamaja fuajees;
- ilmajaam ilmastikuolude mõõtmiseks.

Täpsem ülevaade Digitaalelektronika labori koostöömismisest ning seadmete nimetused paiknemine süsteemis esitatakse põhimõttelise plokkskeemina joonisel 1.



Joonis 1. EMÜ Digitaalelektronika labori põhimõtteskeem. Allikas: [2], [3]

Joonisel 1 on kujutatud kogu digitaalelektronika labori põhimõtteskeemi ning süsteemi osade paiknemist terviklikus süsteemis. Taastuenergia seadmetest pärinev elektrienergia muundatakse inverterite abil alalisvoolust 230 V ja 50 Hz vahelduvvooluks. Skeemil lülitatakse vastavalt, kas inverteritest tulev elektrienergia läheb Tehnikamaja elektritarbe katteks või see suunatakse Digitaalelektronika labori kohtvõrgus olevatesse akupatareidesse Vitron Energy AGM salvestamiseks, et tagada tarbijate energiavarustus juhaks, kui elektrivõrguga katkeb ühendus. [3]

Kohtvõrgus paikneva ülikondensaatori Maxwell BMOD ülesandeks on järskude võimsuskõikumiste tasakaalustamiseks. [2]

Sünteesilise energiaallika näol on tegemist muundurte komplektiga, mis imiteerib sätestatud graafiku järgi energiaallikat. See võib näiteks imiteerida tuuliku poolt toodetavat elektrienergiat, milleks tuleb generaatorile ette anda tuuliku koormuskarakteristik. Generaator võtab Tehnikamaja elektrivõrgust energia ning jäljendab talle määratud koormust. [2]

Juhitava koormuse moodustavad kaks elektriradiaatorit ja kalorifeer, mis võimaldab koormust sujuvalt reguleerida. Juhitava koormuse eesmärgiks on kohtvõrgu süsteemi kaitsmine ja üleliigse toodetud energia ära kasutamine. [2]

Osade seadmete juures on mõõtetrafo (joonisel 1 tähistega „TR”), millega mõõdetakse vastavate seadmete tööd iseloomustavaid väärtuseid. Mõõtetrafodest ja ilmajaamast Davis Vantage Pro2 Plus salvestatakse info serveriarvutis olemasse andmebaasi. Pääringukeelega SQL hallatakse andmebaase ning luuakse reaajas tulemusi esitavad graafikud, millele on võimalik ligi pääseda Interneti aadressil energia.emu.ee. [3]

Digitaalelektronika labori veebilehel on võimalik näha ülevaadet mõõdetavatest andmetest ja süsteemi tööst. Veebilehel kuvatakse andmeid päikesepaneelide, tuuliku, generaatori, akude, ülikondensaatori, tarvitite ja koormuse kohta. Eelnimetatud andmeid esitatakse ka graafilisel kujul. Ilmajaama poolt mõõdetud andmed on veebilehel samuti kuvatud.

Väliseid andmeid EMÜ Taastuvenergia labori jaoks analüüsiti esmalt, et teada saada millisel moel arendada edasi Taastuvenergia labori veebirakendust. Vastavalt tekkinud ettepanekutele otsiti Internetist erinevaid andmeallikaid, et kontrollida andmete olemasolu ja kättesaadavust ning tehti ettepanek teostuseks.

TULEMUSED JA ARUTELU

Selleks, et saada parem ülevaade elektrisüsteemi protsessidest ja vähendada võimalikke negatiivseid mõjusid, saab lisada süsteemi mitmeid mõõteseadmeid, et seda monitoorida. Mõõteseadmete arvu ja mõõtmisageduse suurenedes suurenevad ka andmehulgad ja teave, mille hoomamiseks ja juhtimiseks võetakse kasutusele vastavaid süsteeme, näiteks SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). [4]

Üheks võimaluseks hankida EMÜ Digitaalelektronika labori tarbeks juurde lisaandmeid, on kasutada Nord Pool Spot AS elektrienergia börsi hinna andmeid, mis on kättesaadavad ettevõtte veebilehel. Nord Pooli veebilehel avaldatakse iga päev kell 14.30, UTC ± 00:00 aja järgi, järgneva kalendripäeva elektrienergia börsihinnad, mis on jaotatud tunniajalise täpsusega 24 tunni kohta. [5]

Nord Pooli kodulehe kasutajatingimused kehtestavad, et nende poolt väljastatavaid andmeid on lubatud kasutada analüüsides ja uurimistöodes tingimusel, et andmete kasutamisel säilitatakse kõik Nord Pooli kaubamärgi, autoriõiguse ja omandiõiguse kirjed. Nord Pooli kodulehelt pärinevate andmete otsene taasesitamine ei ole lubatud mõnel teisel veebilehel või väljaandes. Lisaks ei ole lubatud kasutada Nord Pooli veebilehelt andmete hankimiseks automaatsed andmehõive süsteeme, mis koormavad veebilehe üle. [5]

Nord Pooli tingimustest ja EMÜ Digitaalelektronika labori ülesehitusest lähtuvalt saaks luua süsteemi, mis salvestaks Nord Pooli veebilehele üles laetavat infot järgmise

kalendripäeva elektrienergia hinna EUR/MW□h kohta Digitaalelektronika serveri andmebaasi. Andmebaasis olevate elektrienergia hinna ja muundatud energia hulga andmetega saab luua Digitaalelektronika labori tulemusi kajastavale kasutajaliidesele (energia.emu.ee) uue väljundi, mis esitleks graafiliselt taastuenergia seadmetega muundatud elektrienergia rahalist väärtust reaajas. Seda edasi arendades saab luua süsteemi, mis vastavalt elektrienergia hinnale hoiustab seda salvestusseadmetes või müüb elektrivõrku. [1]

Teiseks võimaluseks Digitaalelektronika laborile lisaandmeid hankida, on mõõta EMÜ Tehnikamaja poolt tarbitavat elektrienergiat. See võimaldaks labori veebilehel esitada graafiku, mis näitaks, kui suure osa Tehnikamaja poolt tarbitavast energiast katab ära taastuenergia seadmete poolt muundatud elektrienergia.

EMÜ haldusosakonna käest saadud informatsiooni põhjal ei ole võimalik reaajas Tehnikamaja elektritarbimise andmeid Eleringi käest saada. Hetkel olemasoleva süsteemi järgi saadab Elering eelmise kalendripäeva tarbimisandmeid kajastava dokumendi EMÜ haldusosakonnale. Selliste andmetega lahendus võimaldaks luua erinevaid raporteid ning esitada võrdlev joonis eelneva päeva toodetud ja tarbitud elektrienergia kohta, kuid taolist süsteemi oleks keeruline automatiseerida.

Efektiivsema lahendusena saaks paigaldada eraldi elektrienergia arvesti Tehnikamaja elektrisüsteemi liitumispunkti juurde, mis mõõdaks reaajas EMÜ Tehnikamaja poolt tarbitava elektrienergia hulka. Voolumõõtja edastaks iga sätestatud intervalli järel tarbitava energiahulga info serveriarvutis olemasse andmebaasi ning tulemuseks oleks graafik, mis kuvaks taastuenergia seadmetest pärineva elektrienergia ja Tehnikamajas ja tarbitud energia hulkasid.

Mõõdetavate ja Internetist kättesaadavate andmetega on võimalik luua suuri andmebaase, kuid kasulike andmete hankimine nõuab andmebaaside analüüsimist ja kasulik osa eristamist. Selleks võetakse kasutusele erinevaid andmekaeve ja –haldus programme, mille abil saab vähendada andmete kogust, kuid tõsta nende kvaliteeti. [4]

JÄRELDUSED

Käesolevas artiklis anti ülevaade Eesti Maaülikooli Tehnikamajas asuvast Digitaalelektronika laborist ning esitati kaks soovitus selle andmebaasi ja veebilehe täiendamiseks, võttes kasutusele andmeid Nord Pool Spot AS elektrienergia börsi hinna ja Tehnikamaja poolt tarbitavat elektrienergia kohta.

Tulevikus on võimalik tööd edasi arendada ning võtta kasutusele andmeid veelgi enamatest allikatest, mida käesolevas artiklis ei kajastatud. Näiteks lisaks väljapakutud võimalustele, saab hakata tulevikus andmebaasi kogutud ja välistest allikatest pärinevate andmete põhjal prognoosima Digitaalelektronika labori tootlikust ja EMÜ Tehnikamaja eeldatavat energianõudlust. [4]

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Y. Chen and M. Trifkovic, 'Optimal scheduling of a microgrid in a volatile electricity market environment: Portfolio optimization approach', *Appl. Energy*, vol. 226, pp. 703–712, Sep. 2018.
- [2] 'Digitaalelektronika labor', *Eesti Maailikool*. [Online]. Available: <http://energia.emu.ee/>. [Accessed: 02-Apr-2019].
- [3] OÜ Energiatehnika, 'EMÜ Digitaalelektronika labori energiasüsteem. Kasutusjuhend', 2014.
- [4] X. Yan, D. Abbes, and B. Francois, 'Development of a tool for urban microgrid optimal energy planning and management', *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 89, pp. 64–81, Dec. 2018.
- [5] Nord Pool AS, 'Nord Pool'. [Online]. Available: <https://www.nordpoolgroup.com/>. [Accessed: 02-Apr-2019].

Scilabis modelleeritud katsekambri soojusleviprotsesside võrdlus konstrueeritud katsekambriga

R. Kändla

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool,

Kreutzwaldi 56, 51014, Tartu, Eesti

Abstract. Aim of this research is to compare simulated insulation test chamber with constructed one. This analyse will improve future measuring results in both modelled and constructed test chamber so there would be possible to identify each other.

Keywords: Thermal insulation; test chamber, Scilab modelling, hot plate method.

SISSEJUHATUS

Tundmatute materjalide soojuseri juhtivuse uurimiseks konstrueeriti mobiilne soojusjuhtivust mõõtev katsekamber mida on lihtne transportida. Käesolevas uuringus võrreldakse keskkonnas Scilab 5.5.2 Xcos modelleeritud katsekambri mudeli abil saadud tulemusi autori konstrueeritud katsekambri kasutustulemustega. Saadud tulemuste põhjal tehakse järeldused mõõtmeseadme kalibreerimiseks, ning simulatsiooni täiendamiseks.

MATERJAL JA METOODIKA

Katsekambris asetatakse kindlas mõõdus 0.36 x 0.36 x 0.1 m uuritav materjal ning soojendatakse seda püsiva temperatuuriga alumise pinna juurest nii kaua kuni soojusvoog läbi materjali on stabiliseerunud. Seejärel mõõdetakse temperatuurid $T1$ ühel pool materjali, ning $T2$ teisel pool materjali.

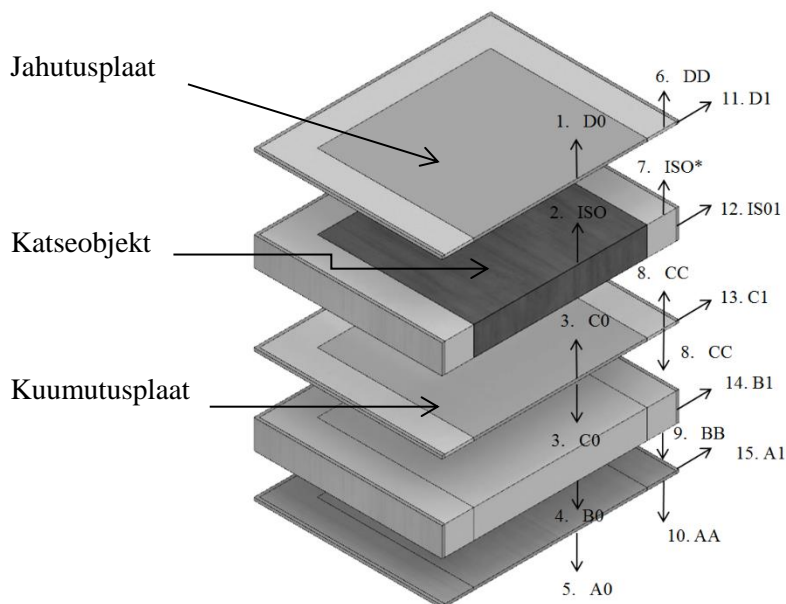
Vastavalt soojusvoole ning temperatuuride vahele ΔT avaldatakse materjali soojusjuhtivustegur.

Soojusjuhtivustegur leiti valemiga[6]

$$\lambda = \frac{d \cdot P}{S \cdot \Delta T}, \quad (1.1.)$$

kus λ on soojusjuhtivustegur, W/(m·K);
 d - paksus, m;
 P - soojendamise võimsus, W;
 S - pindala, m²;
 ΔT - temperatuuride vahe, K.

Katsekambrit kujutav joonis on esitatud joonisel 1 ning joonisele vastav elektriline aseseem joonisel 2



Joonis 1. Katsekambri läbilõige ja modelleerimisel arvestatud soojusülekanne elementid: 1- D0 1 mm. alumiiniumist jahutusplaat; 2- ISO 100 mm. katseobjekt; 3- C0 2.3 mm. kuumutusplaat; 4- B0 100 mm. vahtpolüstereenplaat; 5- A0 7 mm. OSB plaat; 6- DD, 7- ISO*, 8- CC , 9- BB , 10- AA- isolatsiooni piirdekihtide omavaheline soojusülekanne; 11-D1, 12- ISO1, 13- C1, 14-B1, 15- A1 100 mm. vahtpolüstereenplaat + 7.mm OSB plaat.

Täpsema katsekambri mudeli koostamisel on arvestatud soojusvoo väljumist ka läbi soojusisolatsiooni ning soojusülekanne erinevate kihtide vahel. Meetodiks on katsekambri jagamine viieks erinevaks kihiks. Selle meetodiga arvestatakse, et temperatuur jaotub ühtlaselt terves kihis. Praktikas aga ei jaotu kihtides temperatuur ühtlaselt vaid väheneb jahutava keha või keskkonna suunas. Reaalset temperatuuride jaotumist on võimalik arvutuslikult leida lõplike elementide meetodil või kasutada selleks vastava võimekusega tarkvara nagu näiteks *Fusion 360*.

Vastavalt EVS 12667:2001 standardile on soojusjuhtivust mõõtva mõõteseadme materjali kuumutamise meetodiks kuumutusplaadiga kuumutamine [3]. Kuumutusplaadi temperatuuri reguleeritakse PI-regulaatoriga. Kuumutusplaat põhineb kahel alumiiniumplaadil (joonisel 1. 3. C0) mille vahele on ühtlaselt paigutatud 0,3 mm 19.1 Ω/m takistustraat [4].

Soojusvoo levikut arvestatakse vastavalt joonisel 1. esitatud noolte suunas alates kuumutusplaadist 3. C0. Suurem osa soojust väljub läbi alumiiniumist jahutusplaadi 1. D0. Temperatuurid T1 ja T2 loetakse ülesse otse kuumutusplaadilt 3. CO, ning ülemisest jahutusplaadist 1. D0. Katsekamber on ümbritsetud vahtpolüsterreenist piirdega ning kaitstud OSB-st plaadiga.

Konstrueeritud katsekambri puhul on täpsuse saavutamiseks võimalik mõõteseadmete kalibreerimine ning kalibreerimine mingi kindla teada oleva materjali järgi. Käesolevas artiklis kasutati katseobjektina *Skano* puitkiud-plaati, mille soojusjuhtivusteguriks on tootja andmetel $0,05 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ [5]. Scilab-i keskkonnas koostatud katsekambri mudeli elektrilise aseseemi põhimõtteline joonis on esitatud joonisel 2.

Soojusleviprotsesside modelleerimiseks leiti materjalide termilised takistused ja soojusmahtuvused .

Materjalide termilised takistused leiti valemiga. [6]

$$R_{soojus} = \frac{\delta}{S \cdot \lambda}, \quad (1.2.)$$

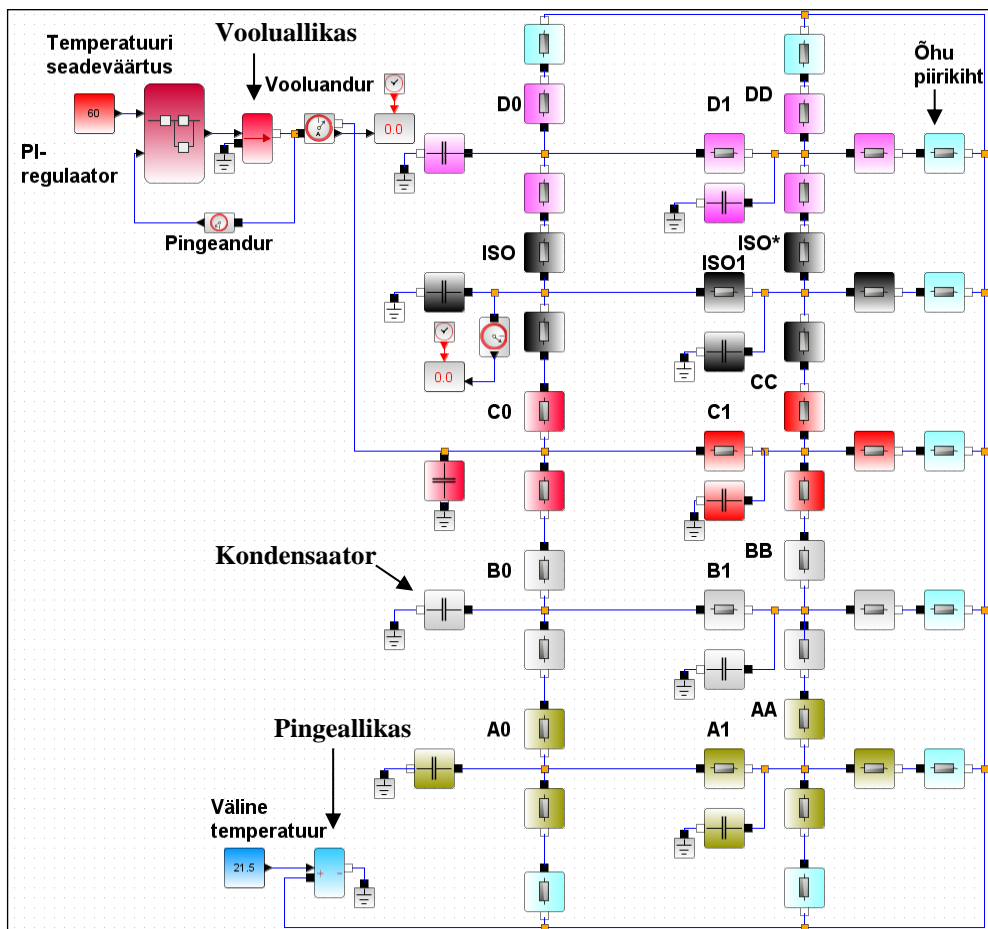
kus δ on materjali paksus, m ;
 λ - materjali soojusjuhtivus, $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$;
 S - materjali ristlõikepindala, m^2 .

Materjalide soojusmahtuvused leiti valemiga. [6]

$$C = c \cdot \rho \cdot V, \quad (1.3.)$$

kus C on soojusmahtuvus, $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$;
 c - materjali erisoojus, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$;
 ρ - tihedus kg/m^3 ;
 V - ruumala, m^3 .

Katse läbiviimiseks määrati temperatuuri seadevärtuseks $T1$ $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ning maksimaalseks kuumutusplaadi võimsuseks 200 W . Väliseks temperatuuriks määrati $21.5 \text{ }^\circ\text{C}$ mis vastas antud ajahetkel mõõdetud tulemustele.



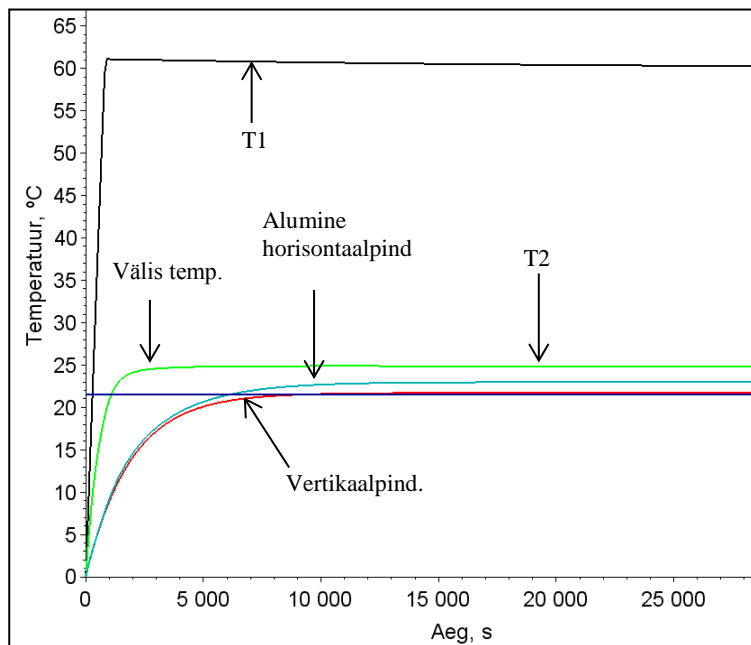
Joonis 2. Scilab-i Xcos-i keskkonnas loodud katsekambri lihtsustatud soojuslevi protsesside mudeli elektriline aseskeem [6,7]

Joonisel 2 esitatud katsekambri aseskeem vastab põhimõttelt konstrueeritud katsekambri katseskeemile, kuid elementide arvu on käesoleva artikli tarbeks vähendatud. Vooluallika kaudu kantakse üle katseobjektile võimsus. Kondenssaator väljendab antud skeemil joonisel 1 näidatud uuritava materjali B0 soojusmahtuvust, mida suurem on mahtuvus seda kauem aega kulub materjali soovitud temperatuurini soojendamiseks.

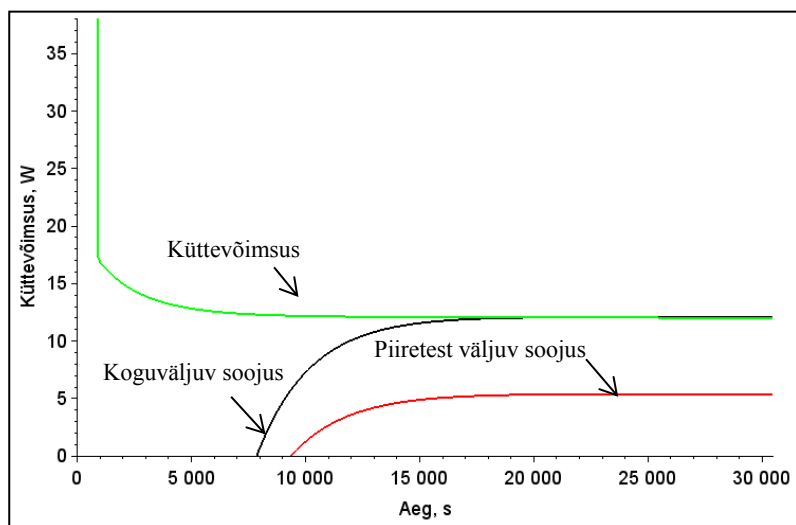
Materjalide termilist takistust väljendavad takistid. Pingeallika kaudu määratakse ära välistemperatuur, tänu millele tekib elektri ahelas potentsiaalide vahe. Vooluanduri kaudu väljastatakse jooksvalt simulatsiooni kestel soojusvoo näit, ning pinganduri kaudu väljastatakse materjali välispinna temperatuur.[5]

TULEMUSED JA ARUTELU

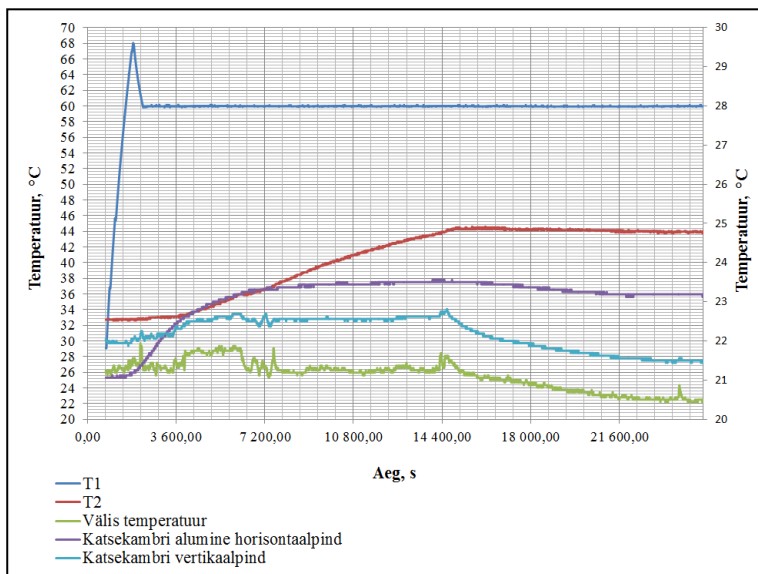
Modelleeritud ja konstrueeritud katsekambri mõõtetulemused on esitatud joonistel 3-6 ning koondatud tabelis 1.1.



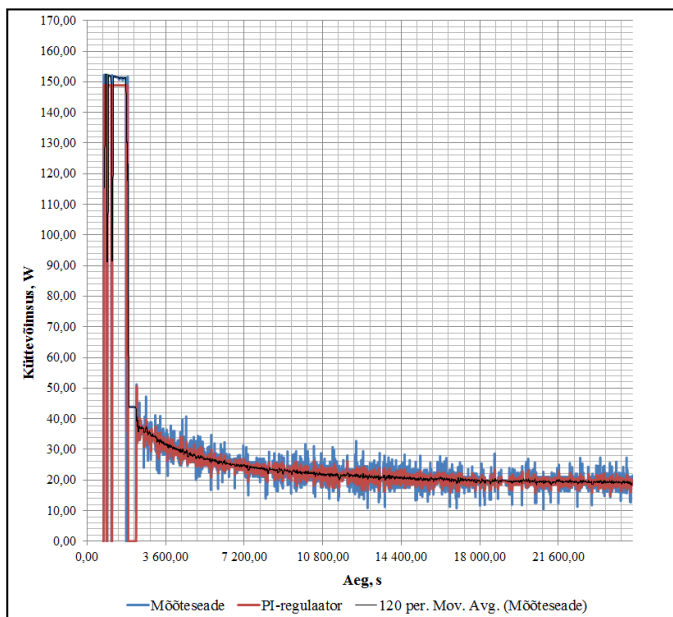
Joonis 3. Scilab Xcos keskkonnas modelleeritud katsekambri temperatuuri mõõtetulemused



Joonis 4. Scilab Xcos keskkonnas modelleeritud katsekambri soojusvoo mõõtetulemused



Joonis 5. Atmel328P-l põhineva logeriga temperatuurisensoritelt DS18B20 katseperioodil mõõdetud temperatuurid



Joonis 6. Mõõteseadmelt Holdpeak HP-90EPC ja Atmel328p baasil PI-regulaatorilt loetud küttevõimsus mõõteperioodi jooksul, 120-ne mõõtepunkti jooksev keskmine küttevõimsus

Tabel 1.1 Modelleeritud ja konstrueeritud katsekambri mõõtetulemused

	Modelleeritud katsekamber	Konstrueeritud katsekamber (arvestuslik keskmine tulemus)
Kuumutusplaadi küttevõimsus, W	12,1	18,65
Soojusvoog läbi katseobjekti, W	6,63	-
Soojusvoog läbi piirete, W	5,39	-
T ₂ , °C	24,8	25,06
Vertikaalpinna temperatuur, °C	21,75	21,8
Alumise horisontaalpinna temperatuur, °C	22,96	22,7

Katseobjekti läbiva soojusvoo leidmiseks lahutati kuumutusplaadi küttevõimsusest modelleeritud katsekambri soojusvoog läbi piirete ning kiirguslik soojuslevi võimsus tulenevalt katsekambri pinna temperatuurist.

Kiirguslik soojuslevi võimsus leiti valemiga [6]

$$q = e \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_p^4 - T_v^4), \quad (1.4.)$$

- kus q on kiirguslik soojuslevi võimsus, W ;
 σ - Stefan-Boltzmanni absoluutselt musta keha kiirgustegur, $5.669 \cdot 10^{-8}$ W/(m² · K⁴) ;
 A - pindala, m² ;
 T_p - pinna temperatuur, K ;
 T_v - välisõhu temperatuur, K;
 e - materjali kiirgustegur, OSB $e = 0.91$ [8].

Katsekambri verikaalpinna kiirguslik soojuslevi võimsus leiti valemiga 1.4

$$\begin{aligned} q &= e \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_p^4 - T_v^4) = \\ &= 0.91 \cdot 5.669 \cdot 10^{-8} \cdot 0.672 \cdot (294,95^4 - 294,65^4) = 1.066 \text{ W}, \end{aligned} \quad (1.5.)$$

Katsekambri horisontaalpinna kiirguslik soojuslevi võimsus leiti valemiga 1.4

$$\begin{aligned} q &= e \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_p^4 - T_v^4) = \\ &= 0.91 \cdot 5.669 \cdot 10^{-8} \cdot 0.663 \cdot (295,85^4 - 294,65^4) = 4.223 \text{ W}, \end{aligned} \quad (1.6.)$$

Vastavalt valemile 1.1 leiti katseobjekti soojusjuhtivustegur.

$$\lambda = \frac{d \cdot P}{S \cdot \Delta T} = \frac{0,1 \cdot (18,65 - (5,39 + 1,066 + 4,223))}{0,36 \cdot (60 - 25,06)} = 0,063 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}, \quad (1.7)$$

Katseobjekti soojusjuhtivusteguriks saadi 0.063 W/(m·K).

JÄRELDUSED

Vastavalt simulatsiooni tulemustele lahutati konstrueeritud katsekambri kuumutusplaadi soojusvõimsusest soojusvoog läbi piirete. Lisaks võeti arvesse katsekambri kiirguslik soojuskadu välispinnalt. Katseobjekti soojusjuhtivusteguriks saadi 0.063 W/(m·K). Vastavalt tootjapoolsetele andmetele on *Skano* puitkiudplaadi soojusjuhtivusteguriks 0.05 W/(m·K). Tulemus on ligilähedane, kuid mõõtmeseadme kalibreerimiseks tuleb teha rohkem katseid ning tulemuste statistilisel analüüsil arvestama ka mõõteriistade täpsust. Lisaks tuleks arvestada energiakadusid, mis võivad tekkida elektrijuhtides ja temperatuuri regulaatori jõu-väljatransistorite lülitamisel.

Scilabis modelleeritud skeemi paremaks vastavuseks konstrueeritud kambri jaoks tuleks juurde lisada kiirguslikku ja konvektiivset soojuslevi arvestav element sõltuvalt pindade ja välisõhu temperatuurist.

Lisatulemusena on jooniselt 6 näha, et mõõtmeseadmega mõõdetud võimsus ja temperatuuriregulaatoris arvutuslikult tuletatud võimsus, kus pulsilaiusmodulatsiooniga muudetakse jõu-väljatransistorist väljuvat keskmist võimsust vaadeldava ajaühiku jooksul, on sarnased.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Therm OÜ koduleht, Kättesaadav: <http://www.therm.ee/atf-construction-pro/suletud-pur/>, (03.04.2019);
2. Estplast Tootmine OÜ EPS 100 TOIMIVUSDEKLARATSIOON NR. 006-CPR-01.02.2016, Kättesaadav: http://www.estplast.ee/files/u2/TOIMIVUSDEKLARATSIOON_007_EPS_100_FASS_AAD.pdf, (03.04.2019);
3. Eesti Standardikeskus, Kättesaadav: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-12667-2001>, (03.04.2019);
4. Kanthal takistustraatide tehnilise info kataloog, Kättesaadav: <https://www.kanthal.com/en/products/material-datasheets/strip/kanthal-a-1/?show=pdf>, (03.04.2019);
5. Skano põrandaalusplaadi tooteleht, Kättesaadav: http://www.skano.com/fibreboard/images/pdf/SKANO_underlay_EST-v2.pdf, (03.04.2019);
6. Holman, J.P., Heat Transfer, 7th ed., McGraw Hill Book Company, New York, 1990. lk. 4, 29, 141;
7. Palge V. SOOJUSLEVIPROTSSESSIDE MODELLEERIMINE SCILAB'I KESKKONNAS, EMÜ, TTÜ, TARTU, TALLINN 2008 ;

8. RIMA international, A REVIEW OF INTERIOR RADIATION CONTROL COATING RESEARCH, Kättesaadav: <https://www.solec.org/wp-content/uploads/2014/05/A-Review-of-IRCC-Research.pdf>, (03.04.2019).

Liposoomsete mikrokapslite saagikus ultrahelitöölusel

S. Muiste¹

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

Abstract. Usage of liposomal microcapsules in different areas of expertise like medicine and pharmacology, cosmetics and different food applications has become necessity. Methods for preparation of liposomes are different. One possible way to produce them is sonication. This paper investigates, how different ultrasonic sound parameters affect production of different size liposomes from solution made from soy lecithine. Ultrasonic treatment to solution is applied through electrical schematic that allows different changes of test parameters to be made and conduct different tests. After sonication different samples from the suspension have been taken and analysed with SizeMaster 3000 to get an overview of the sizes of liposomes produced from the lecithine suspension.

Keywords: Microencapsulation, sonication, liposome.

SISSEJUHATUS

Liposoomid on vees stabiilsed mikroskoopilised fosfolipiidide kerad. Liposoomid võivad endas sisaldada erinevaid nii vesilahustuvaid kui vesilahustumatuid aineid. Struktuurilt ja ülesehituselt sarnanevad liposoomid inimrakkude ülesehitusega ja seetõttu on liposoomide abil võimalik tagada erinevate toitainete, vitamiinide või ravimite tõhus kohaletoimetamine. [1]

Liposoomide kasutusvaldkond on mitmekesine ning põhilisteks liposoomide kasutajateks on:

1) **Ravimitööstus** – Meditsiinis ja farmakoloogias kasutatavaid liposoomi saab jagada rakenduse põhiselt diagnostiliseks ja terapeutiliseks, mis võivad sisaldada erinevaid markereid või ravimeid ja võimaldavad nende kasutamist erineva vahendi, mudeli või reagentina raku interaktsiooni, tuvastamisprotsessi ja teatud aine toimeviisi põhiuuringutes.

2) **Kosmeetikatööstus** – Liposoomide omadusi kasutatakse koostisainete kohaletoimetamiseks, sest liposoomid pakuvad selleks mitmeid eeliseid. Liposoomide lipiidne väliskest on hüdreeritud ja kokkupuutel nahaga vähendab naha kuivust, mis on vananemise peamine põhjus. Liposoomide kasutamine aitab vältida või aeglustada juuste väljalangemist. Nahahoolduspreparaadid, milles on tühjad või niiskusesisaldusega liposoomid vähendavad transdermaalset veekadu ja sobivad kuiva naha raviks, sest suurendavad ka lipiidide hulka ja parandavad vee tarnimist naha pindmisesse kihtidesse.

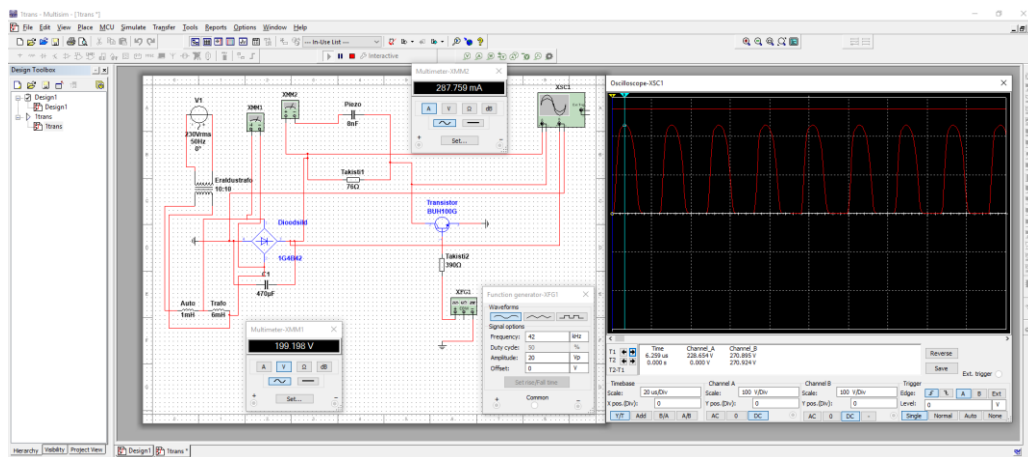
3) **Toiduainetööstus** – Liposoomid toiduainetööstuses on hakanud muutuma üha tähtsamaks. Enamus kasutatavatest mikrokapseldamise tehnikatest toiduainetööstuses põhinevad suhkrut, tärklis, kummi, valku, dekstriini ja alginaate sisaldavate biopolümeermaatriksitel. [2]

Valmistamisviisi kohaselt on liposoomide kunstlikuks valmistamiseks kolm peamist meetodit: mehaaniline valmistusviis, lahusti dispersioonimeetod ja detergentide abil lahusest liposoomide eraldamise meetod. [2] Antud töös on uuritud liposoomide

mehaanilise valmistamise ühte võimalikku meetodit – u+ltrahelitöötusel abil liposoomide valmistamist ning ultraheli signaali parameetrite mõju erineva suurusega liposoomide tekkele ja saagikusele.

MATERIAL JA METOODIKA

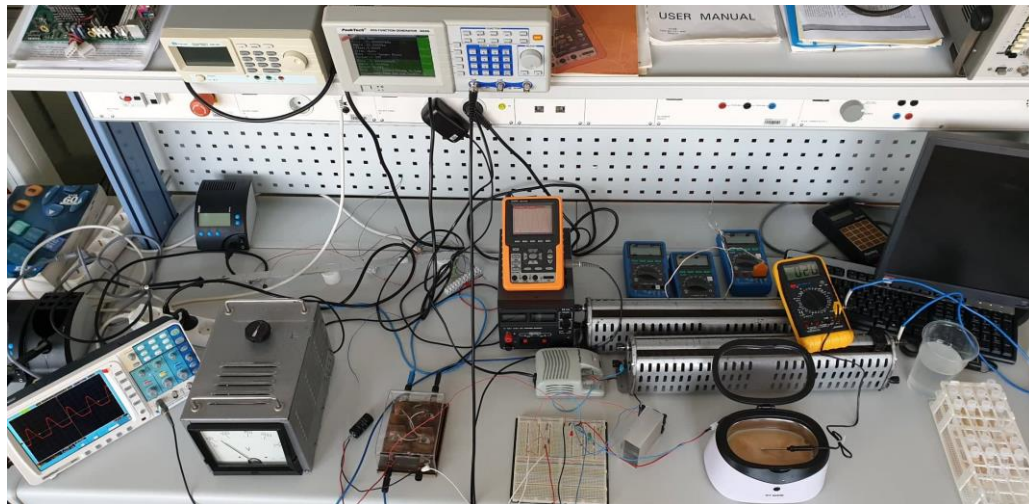
Liposoomide valmistamiseks käesolevas töös on kasutatavaks fosfolipiidiks sojaletsitiin. Granuleeritud sojaletsitiin võimaldab sellest soovitud kontsentratsiooniga vesilahuse tekitamise ning selle ultraheliga töötlemist. Ultraheli meetodil liposoomide valmistamiseks on kaks enim kasutatavat meetodit: ultraheli sondi abil liposoomide valmistamine sondi uuritava ainesse uputamise teel ning ultraheli vanni abil uuritava aine vanni asetamise teel liposoomide valmistamine [3]. Käesolevas töös on kasutatud liposoomide valmistamiseks ultrahelipesuri U600 vanni koos ultraheli tekitava piesoelemendiga. Piesoelemendile erinevate sisendsignaalide tekitamiseks on koostatud elektriline skeem kasutades sobilikku transistorit, signaaligeneraatorit ning vajalikke takisteid. Skeemi toide on lahendatud eraldustrafo, muudetava väljundpingega autotafo ning dioodsilla abil. Täisperioodalaldi pulseeriva väljundpinge silumiseks on ahelasse ühendatud ka sobilik kondensator. Skeem on kõigepealt koostatud Multisim keskkonnas, et simulatsiooni käigus uurida erinevaid skeemilahendusi ja signaalide tugevusi ja amplituude koostatavas skeemis. Multisim keskkonnas koostatud skeemilahendus ja mõõdetud signaalikujud on esitatud joonisel 1.



Joonis 1. Skeemilahendus Multisim keskkonnas.

Teoreetiliselt koostatud skeemi põhjal on laboritingimustes koostatud antud skeem ka praktiliselt. Laboris koostatud skeem on esitatud joonisel 2 ning selle abil on sooritatud ka kõik katsed. Signaaligeneraatori poolt tekitatava signaali visualiseerimiseks on kasutusel autonoomse toitega ostilloskoop ning skeemi väljundsignaali visualiseerimiseks võrgutoitel asuv ostilloskoop. Signaaligeneraatorist saabuva signaali lülitamiseks piesoelemendile on ahelasse ühendatud transistor selliselt, et transistori baasile saabub signaal generaatorist läbi takisti, transistori emitter on ühendatud maandusega ning transistori kollektorisse on ühendatud piesoelemendi miinusklenn. Piesoelemendiga rööbiti on ühendatud ahelasse ka täiendavalt lisatakisti.

Katsete läbiviimiseks on võimalik valida erinevaid töörežiime. Muudetavateks parameetriteks võivad olla uuritava lahuse kontsentratsioon, ultraheli sagedus, ultraheli signaali amplituud ning lahuse ultraheliga töötlemise aeg. Esmasteks katsetusteks on koostatud erineva väärtustega muudetavate parameetrite kombinatsioonidega sätted. Uuritavaks lahuseks on kahe erineva kontsentratsiooniga lahus. Esimeses lahuses on 10 grammi sojaletsitiini 400 ml vee kohta ning teises 30 grammi sojaletsitiini 400 ml vee kohta.

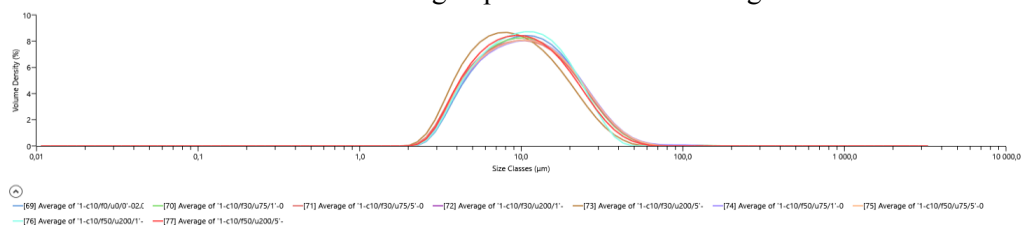


Joonis 2. Katse sooritamise laboris

Esmased katsetused ultraheli signaali sagedusega on teostatud väärtustel 30 kHz ja 70 kHz. Signaali tugevuseks on võetud 75 V ja 200 V toitepinge läbi autotrafo. Ajaliselt on lahuseid töödeldud viis minutit ning proove on võetud pärast ühe minuti möödumist katse algusest ning samuti viie minuti möödudes. Ultrahelitöötamise läbinud proove on seejärel uuritud seadme MasterSizer 3000 abil. Nimetatud seade tuvastab lahuses esinevate osakeste ehk antud juhul liposoomide läbimõõdu ning esinemissageduse.

TULEMUSED JA ARUTELU

Esmaste katsete tulemused on esitatud graafiliselt joonisel 3. Antud joonisel on esitatud kontsentratsiooniga 10 grammi letsitiini 400 ml vee kohta katse analüüsimisel saadud tulemused erinevate mõõtudega liposoomide esinemissageduse suhtes.



Joonis 3. Erinevate suurustega liposoomide tekkimise sagedus lahuses.

Tulemuste analüüsist lähtub, et moodustunud on enim liposoomide suurusega 10 µm. Suurema kontsentratsiooniga lahuse analüüsimisel saadud tulemused on ühtlasemad ja antud hetkel analüüsimist ei leia.

Esmaste katsete tulemusel ei ole moodustunud liposoomide suuruste varieeruvus just eriti suur ning suurim kontsentratsioon esineb just väljatoodud suurusega osakeste juures. Erineva tugevuse ning amplituudiga ultrahelisignaali lahuse töötlemisel on suuremad erinevused märgata väiksema kontsentratsiooniga lahuses. Töötamise ajaline kestvus antud parameetrite juures ei paista suurt mõju omavat.

JÄRELDUSED

Esmaste katsete tulemusel võib järeldada, et katseteks valmistatud lahuse kontsentratsioon 30 grammi letsitiini 400 ml vee kohta on liiga kõrge ning saadud lahuse suur viskoossus mõjub liposoomide tekkele pärssivalt. Esmaste katsete tulemused viitavad selgelt täiendavate katsetuste vajaduse järele ja seda ennekõike madalama kontsentratsiooniga lahuse osas. Samuti tuleb läbi viia täiendavaid katseid tugevama signaali amplituudi ning võimalik, et ka kõrgema sageduse juures. Peab uurima ka alla 1 µm suuruste osakeste olemasolu ja kontsentratsiooni lahuses.

KIRJANDUSE LOETELU

- [1] L. Zabodalova, T. Ischenko, N. Skvortcova, D. Baranenko, V. Chernjavskij, "Liposomal beta-carotene as a functional additive in dairy products"
Agronomy Research, vol 12, 825-834, 2014
- [2] B. Pradhan, N. Kumar, S. Saha, A. Roy, "Liposome: Method of preparation, advantages, evaluation and its application"
Journal of Applied Pharmaceutical Research, vol 3, 2015
- [3] A. Akbarzedh, R. Rezaei-Sadaby, S. Davaran, S. W. Joo, N. Zarghami, Y. Hanifehpour, M. Samiei, M. Kouhi, N. Nejati-Koshki, "Liposome: classification, preparation, and applications"
Akbarzadeh et al. Nanoscale Research Letters, 8:102, 2013

Dünaamiliselt juhitud sagedusmodulaator

M. Plaado, E. Jõgi

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

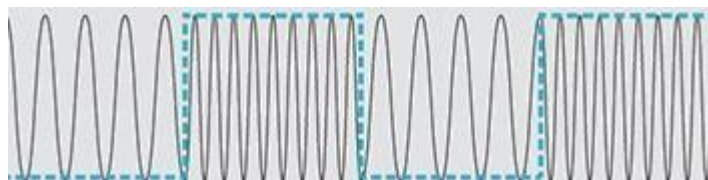
Abstract. The article discusses the use of frequency modulation to control an interleaver (including inverter). Frequency modulation is and type of modulation, where modular voltage is used to regulate the generation of electrical oscillation frequency. It adds an audio or other information signal to and electrical signal, which is the backbone of the telecommunications and data communication. The interleaver is a circuit based MOSFET technology, which aims to dynamically switch the circuit according to the input signal to generate resonance. A microprocessor capable of providing a 1-bit signal (on or off) is used to generate the signal, as well as contributing to pulse repetition of the frequency and accurate control of the inverter. The controller generates a digital signal with the required frequency. MOSFET is controlled by the digital signal. In summary it can be added that the work gives and overview how this project uses dynamic signal modulation, where and why it is used and an overview of the electric schematic.

Keywords: frequency modulator, signal modulation, opto-isolator, comparator

SISSEJUHATUS

Modulatsioon on protsess, kus elektrilisele signaalile lisatakse audio või muu info signaal, mis on telekommunatsiooni ja andmeside alustala. Kandesignaalil on konstantse lainekujuga siinusvõnkumine või riskülikimpulsside jada, millel on konstantne sama kõrgus, amplituud ja sagedus. Modulatsioon saavutatakse perioodilise kandesignaali lainekuju muutmisega või alalisvoolu puhul kui degenereerunud kandelainena, mille on fikseeritud amplituud ja sagedus 0 Hz; ehk lülitades end sisse ja välja. [1]

Sageduse modulatsioon on meetod vahelduvvoolu lainele muu informatsiooni sisestamiseks, muutes laine hetkelist sagedust. Digitaaltehnikas nimetatakse sagedusmodulatsiooni ka diskreet-sagedusmodulatsiooniks. Digitaalses signaalis kandesagedus nihkub järsult, mitte pidevalt, mis on ka nähtav joonisel 1. Võimalike kandesageduste olekute arve on kaks ning seda nimetatakse sagedus-manipulatsiooniks ehk *frequency-shift keying (FSK)* modulatsiooniks. See on sagedusmodulatsiooni skeem, milles digitaalset informatsiooni edastatakse kandesignaali diskreetsete sageduste muudatuste kaudu. Iga spetsiifiline kandesagedus kujutab kindlat digitaalse sisendandmete olekut. Suurendades sageduste arvu on võimalik üle minna grupikodeerimise meetodile, kus kasutades nelja erinevat sagedust on võimalik kodeerida arvud 0-4 kahebitulisteks gruppideks (00, 01, 10, 11). Kasutades grupikodeerimist on võimalik suurendada siini läbilaskevõimet. Viimane on hea häiretele tundlikutele vea korrigeerimisega protokollidele. [2,3]



Joonis 1. Sageduse moduleerimine lainekujul. Ristküliklaine, ehk informatsioon on kujutatud kriipsjoonena, kandesignaal on joonise kujutatud hõredalt hajutatud siinuslainena ja moduleeritud signaali osa on kujutatud riskülikute all oleva tiheda siinuslainena. [1]

Figure 1. Frequency modulation. Information is given as dashed square line, carrier signal as low density sinusoidal and modulated signal as densely packed sinusoidal line.

Digitaalne modulatsioon on üha levinum, kuna inimkond otsib aina uusi viise kuidas hoida kokku ribalaiuselt. Tänu võimalusele algoritmide abil andmeid tihedalt kokku pakkida on häält kandev digitaalne signaal väiksema raadiosageduse ribalaiusega kui vastav analoogsignaali. Samuti võib digitaalsignaali saada kõrgema kvaliteediga kõneteenused. See tuleneb vigade kontrollimise meetodist, mis hoiab ka moonutuste korral bittide digitaalse jada õiges järjekorras ja automaatselt korrektsena. Analoogsignaali ei saa vastuvõtja poolel sarnaselt parandada ja seetõttu on moonutatud. [4]

Signaali moduleerimist saab kasutada raadiosaadete ülekandmiseks, laialdaselt kasutatakse seda ka telemeetriat, radarisüsteemides, seismilistes uuringutes, elektroensefalograafias. Võimalik on seda kasutada ka muusika sünteesimisel, video üleminekutel ja magnetlintidega lindistussüsteemides. [5]

Sagedusmodulatsioonil on mitmeid eelised. Esiteks, on see signaali taseme variatsioonidele vastupidav. Kõik signaalitaseme muudatused ei mõjuta väljundit seni, kuni vastuvõtja suudab signaali tasemega toime tulla. See teeb sagedusmodulatsiooni ideaalseks kahesuunaliseks raadioside või mobiilside rakendamiseks. Teiseks, sagedusmodulatsioon on müra ja häirete suhtes vastupidav. Kolmandaks, modulatsiooni on lihtsam rakendada madala võimsusastega saatjatega. Neljandaks, sagedusmodulatsiooni abiga on võimalik kasutada raadiosagedusvõimendeid. [5]

Sagedusmodulatsioonil on ka negatiivsed omadused, samuti tuleb kasutada filtreid. Sellel ei ole sama tõhusat spektraalset efektiivust nagu mõningail teistel modulatsioonitüüpidel. Kallim ja keerulisemalt töötav on demodulaator. Ülekande külgrivad ulatuvad lõpmatuseni, kuigi need on olulised lairiba sagedusmodulatsiooni edastamise jaoks, jäävad nad kitsaribalise sagedusmodulatsiooni jaoks väikeseks. [5] Artikkel tutvustab dünaamiliselt juhitava sagedusmodulaatori konstrueerimist. Antakse ülevaate kuidas töötab sageduse moduleerimine ja kuidas seda kasutatakse.

MATERIAL JA METOODIKA

Modulaator on jaotatud viieks osaks: signaali filtrid, liigvoolu tuvastus, komparaator, voolu võimendi ja optopaar. Joonistel 2-6 on välja toodud eelmainitud modulaatori elektriskeemi erinevad osad.

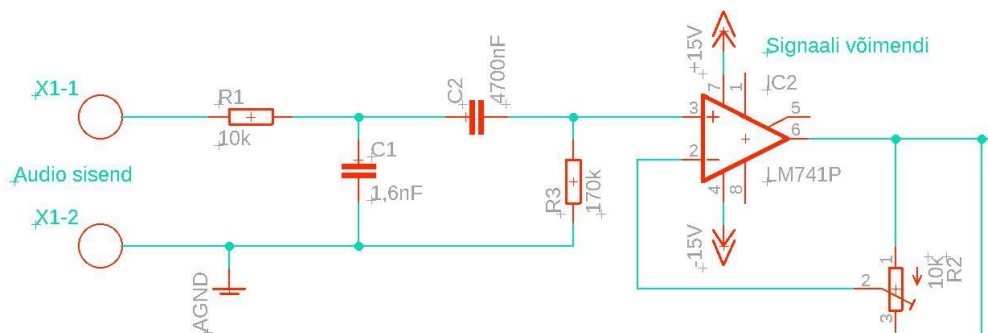
Joonisel 2 on kujutatud sisendit, mille külge on ühendatud R1, C1 ja AGND, mis moodustavad passiivse madalpääsu filtri ahelat. Selle eesmärk on kõikide soovimatute elektrisignaali kõrgsageduste muutmiseks või eemaldamiseks, läbi lastakse ainult need signaalid, mida tahetakse elektriskeemis kasutada. Järgmiseks on C2, R2, R3, IC2, mis moodustavad aktiivse kõrgpääsu filtri, mille eesmärk on madalaid sagedusi ja laseb läbi kõrgsageduslikud signaalid. See filtri osa koosneb kõrgpääsu filtrist (R3, C2), millele järgneb mitte-inverteeriv operatsioonivõimendi (IC2). Sageduse kontuur on sama, mis kõrgpääsu filtril, välja arvatud see, et signaali amplituud on võimendatud operatsioonivõimendi mõjust. Signaalivõimendil (IC2) on negatiivne tagasisidega võimendi, mille ahelas on muuttakisti (R2), millega reguleeritakse võimenduse astet. Samuti üritab see ühtlustada mõlema sisendi vahelist pinget. [6,7]

Joonisel 3 on kujutatud ülevoolu tuvastamiseks ettenähtud osa. Operatsioonivõimendist (IC4) väljuv signaal on ühendatud LED tulega, mis annab märku, et vool pole ületanud norme.

Joonisel 4 on kujutatud operatsioonivõimendit (IC1), mis töötab komperatoorina, ehk see võrdleb kahte sisendpinget ja juhib väljundisse, kas positiivselt tuleneva pinge või negatiivsel poolelt pinge, sõltuvalt sellest kumb suurem on. Sellega vaadeldakse operatsioonivõimendist (IC2) tulevat väljundsignaali. Muuttakistiga (R4) on võimalik saavutada soovitud negatiivne pinge, mida vajatakse võrdluseks (IC2) väljundsignaaliga. [8]

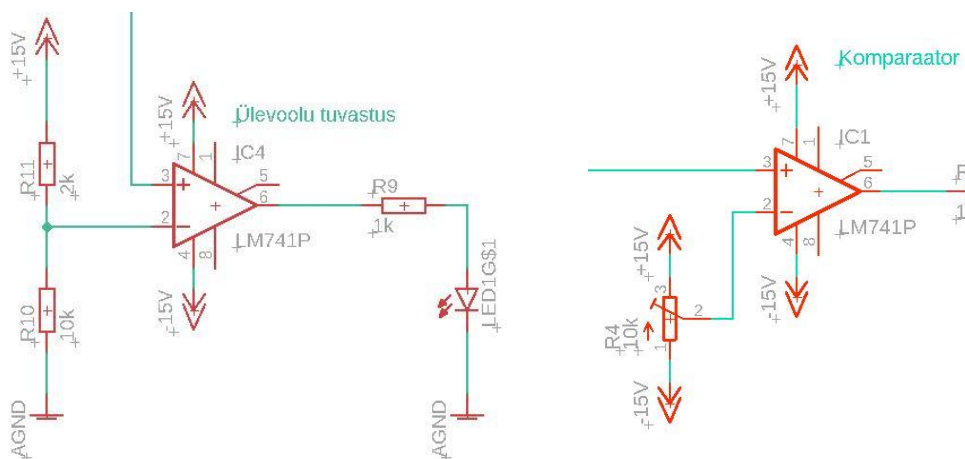
Joonisel 5 on kujutatud voolu võimendit (IC3), mis on mõeldud madala vooluga signaalile, mis tegeleb voolu lülitamisega juhtiva pinge abil. Lülitusi teeb see vastavalt komparaatorist (IC1) tuleval väljundsignaalile. Enne voolu võimendit on takisti R6, kus hetkel, kui signaali ei ole saab selle sisendilt võtta pinge maha, muidu võib vooluahelas tekkida anomaaliaid. Peale võimendit on lülitusdioid (D1), mis laseb voolul liikuda ainult ühes suunas. [8]

Joonisel 6 on kujutatud optopaari (IC5), mis laseb saata digitaalsignaali läbi ahelate, mida on kasutatud loogikalülituste tegemiseks. Ühendatud on see nii, et võimendi signaalallika ja tarbija vahel nii, et eraldab väljundi sisendist täielikult, sest signaal saab läbida vaid ühes suunas, valgusdioidilt valgusvastuvõtjale. Optopaari LED tule kaitseks on lisatud takisti (R7), ühendusskeemi jaoks on lisatud veel lülitusdioid (D2). [8]



Joonis 2. Passiivne madalpääsufilter ja aktiiv kõrgpääsufilter signaali sisendis

Figure 2. RC low-pass and high-pass filters in signal input module

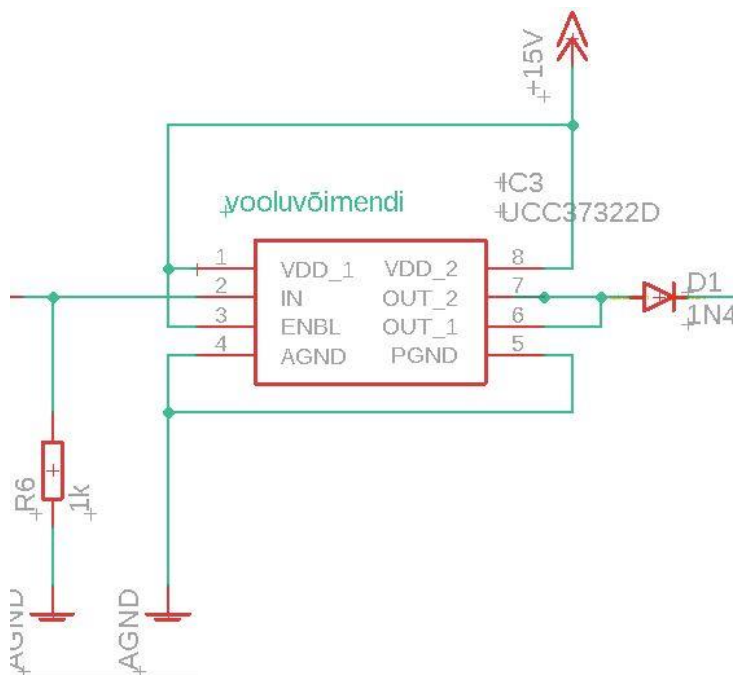


Joonis 3. Liigvoolu tuvastus modulaatori ahelas

Figure 3. Overcurrent detection module

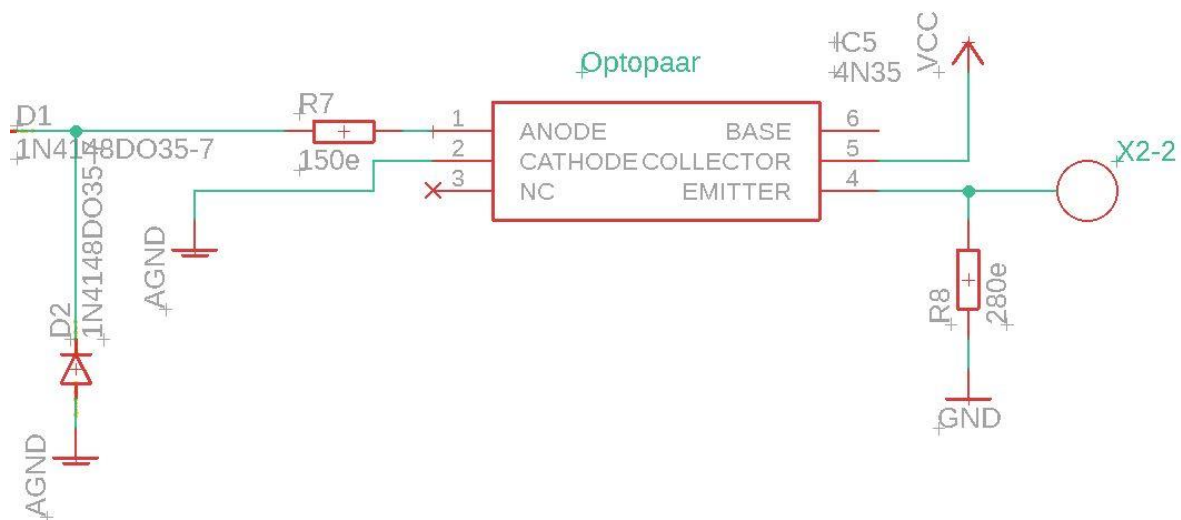
Joonis 4. Signaali komparaator modulaatori sisendil

Figure 4. Comparator as modulator input source



Joonis 5. Signaali modulaator-vooluvõimendi lülitusskeem

Figure 5. PWM modulator connections



Joonis 6. Optopaar modulaatori väljundis välise elemendi tüürimiseks

Figure 6. Decoupler for separating modulator from driven element

TULEMUSED JA ARUTELU

Uurimistöö käigus selgus, et kasutades sagedusmodulaatoris töös väljatoodud komponente on võimalik saavutada dünaamiline sagedusmodulatsioon. Modulaatori filtri osas eemaldatakse sisendsignaalist mittesobilikud amplituudid. Ülevoolu tuvastuseks on valgusdiodid mis liigvoolu korral süttib indikeerides viga. Muuttakistiga komparaatoriga on võimalik saavutada väljundis soovitud pinge, positiivselt või negatiivselt poolelt. Vooluvõimendiga moduleeritakse tüürsignaali järgi pulsilaiusmodulatsioon. Optopaariga on võimalik eraldada galvaaniliselt väljundis olev digitaalsignaali välise ahela loogikaülesannete jaoks.

JÄRELDUSED

Sagedusmodulaatori komponentide ja elektriskeemi analüüs andis piisavalt andmeid, et nendega on võimalik dünaamiliselt sagedust moduleerida. Edaspidi on võimalik kasutada seadet välise aparatuuri juhtimiseks.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] M. Rouse, „Modulation“, SearchNetworking (Online), [Online]. Available: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/modulation> [Accessed 28 03 2019].
- [2] M. Rouse, „Frequency modulation“, SearchNetworking (Online), [Online]. Available: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/modulation> [Accessed 28 03 2019].
- [3] Andmeedastus, (Online), [Online]. Available: http://petz.planet.ee/elektar/infosys_energeetikas/AES3241-5%20Andmeedastus.pdf [Accessed 28 03 2019].
- [4] M.Neely, A.Hamerstone, C.Sanyk, “Basic Radio Theory and Introduction to Radio Systems”, Sciencedirect (Online), [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/digital-modulation> [Accessed 29 03 2019].
- [5] JustScience, “What are the applications of frequency modulation”, (Online), [Online]. Available: <http://www.justscience.in/articles/what-are-the-applications-of-frequency-modulation/2017/06/02> [Accessed 28 03 2019].
- [6] Electronics-Tutorials, “Passive Low Pass Filters”, (Online), [Online]. Available: https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_2.html [Accessed 02 04 2019].
- [7] Electronics-Tutorials, “Active High Pass Filters”, (Online), [Online]. Available: https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_6.html [Accessed 02 04 2019].
- [8] L. Abo, “Raadioseadmete üksikosad”, Tallin Valgus 1981.

Võrguteenuse kvaliteedi analüüs keskpinge elektrivõrgus üldistatud näitaja SAIDI alusel

E. Prüüs¹

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

Abstract. The purpose of this article was to give brief overview about research project „*Analysis of the Quality of the distribution service in the Power distribution network based on quality indicator SAIDI*.“ Research project focuses on one of the crucial quality indicators of the power distribution network (SAIDI). Aim of the project is to investigate the impact to the planned SAIDI, caused by investment projects, especially replacement of the bare conductors with covered ones. Analysis is based on available statistical data of selected EU countries, statistical data of local power distribution network company Elektrilevi OÜ and on results of limited pilot projects with same nature that are implemented also by Elektrilevi OÜ. Based on available data, future progressions of expected planned SAIDI, needed investments and relations between key indicators were presented. Following results of the study were highlighted: (i) planned SAIDI will drop significantly during the investment period, (ii) important is to investigate more detailed relation between increase of planned SAIDI and decrease of unplanned SAIDI and (iii) in order to get more reliable results extra pilot projects have to be implemented due to the fact that results of some pilot projects were not suitable for proper analysis due to exceptional conditions in which they were implemented. Conclusion is, that many flexible operation measures of the distribution network have to be considered as well as new construction methods that will allow to implement shorter interruption times of the network to reduce planned SAIDI during the investment period.

Keywords: electricity; network operators; quality of supply; SAIDI; continuity; interruptions;

SISSEJUHATUS

Võrguettevõtjale ja tema poolt pakutavale võrguteenusele on määratud Eesti Vabariigi regulatsioonidega kindlad kvaliteedinõuded. Kvaliteedinõudeid liigitatakse järgnevalt: teeninduse nõuded, elektrivarustuse kindluse nõuded ja pingekvaliteedi nõuded. Käesolevas artiklis keskendume elektrivarustuskindluse nõuetele ja kvaliteedinäitajatele. Elektrivarustuskindluse nõuetes nähakse ette katkestuse korral elektrivarustuse taastamise aeg ning lubatud katkestuste kestus ühe tarbimiskoha kohta aastas. Võrguettevõtjana on antud artiklis analüüsitud Elektrilevi OÜ-le kuuluva jaotusvõrgu elektrivarustuskindluse näitajaid. Seadusandlikust regulatsioonist tulenevalt on võrguettevõtjale määratud maksimaalsed katkestuste likvideerimise ajavahemikud. Katkestusi jagatakse omakorda põhjusest tulenevalt rikkelisteks või plaanilisteks katkestusteks. [1]

Nii Elektrilevi OÜ oma strateegilistes plaanides kui ka Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium omalt poolt koostatud Energiamaajanduse arengukavas (ENMAK) on välja toonud eesmärgi, mille täitmisel katkestuste arv keskmise tarbimiskoha kohta jaotusvõrgus väheneks 2–3 korda. [2]

Sihteesmärgiks on seatud varustuskindluse näitaja SAIDI_{kogu} viia tasemele 90 minutit 2030. aastaks. Uuringu „*Analysis of investment budget for quality target “SAIDI_{total} 90 by 2030”*“ puhul, mis telliti 2017. aastal, on tegemist uurimustööga, milles analüüsiti SAIDI_{kogu} viimist soovitud 90 minuti tasemele ning muuhulgas toodi

tulemustena välja sellise eesmärgi täitmiseks vajalikud meetmed. Uuringus on toonitunud jaotusvõrgu uuendamise vajadust, täpsemalt tuleb uuendada vara, mis on üle oma tehnilise eluea ning põhjustab elektrivõrgus rikkeid. Samuti on jõutud järeldusele, et rikete vähendamiseks on vajalik uute tehnoloogiate kasutusele võtmine. Üheks neist on ilmastikukindlama kaetud juhtme kasutamine madal- ja keskpingevõrgus. [3, 4]

Avaldatud uuringu käigus analüüsiti küll võrgu uuendamisega kaasnevat mõju rikestest sõltuval SAIDI-le, kuid jäeti vaatluse alt välja keskpingevõrgus kaetud juhtme kasutuselevõtuga kaasnev mõju plaanilisele SAIDI-le. [3, 4]

Uurimistöö eesmärk on uurida ilmastikukindla elektrivõrgu investeeringute mõju plaanitud SAIDI-le. Uurimistöö käigus analüüsitakse 2018. aastal ehitatud kaetud juhtme paigaldamise pilootprojekte ning püütakse vastavaid tulemusi korreleerida tulevaste aastate investeeringuprojektidesse. Jaotusvõrgu investeeringu maht näeb aastatel 2019–2022 ette keskpingevõrgus vähemalt 400 liinikilomeetri paljasõhuliini asendamist ilmastikukindla kaetud juhtmega. [5]

MATERIAL JA METOODIKA

Võrguettevõttel on ettemääratud ajavahemik, mille jooksul on ta kohustatud rikkeline katkestuse likvideerima ja/või läbi viima plaanilise katkestuse. Vastasel korral on tegemist elektrivarustuskindluse nõuete rikkumisega ning sel juhul peab võrguettevõtte turuosaliste asjakohase kalendrikuu võrgutasu regulatsioonis ja võrgulepingus välja toodud määrade võrra vähendama. [1]

Rahvusvaheliselt on kokkuleppelised võrguteenuse kvaliteeti iseloomustavad varustuskindluse näitajad järgmised: katkestuste keskmine sagedus tarbimiskoha kohta aastas (SAIFI), katkestuse keskmine kestus tarbimiskoha kohta aastas (SAIDI) ja katkestuse keskmine kestus võrguettevõtja kohta aastas (CAIDI) [1].

Katkestuse keskmine kestus tarbimiskoha kohta aastas (SAIDI) arvutatakse järgmise valemi alusel [1]:

$$t = \frac{\sum_{k=1}^m d_k \cdot n_k}{N}, \quad (1)$$

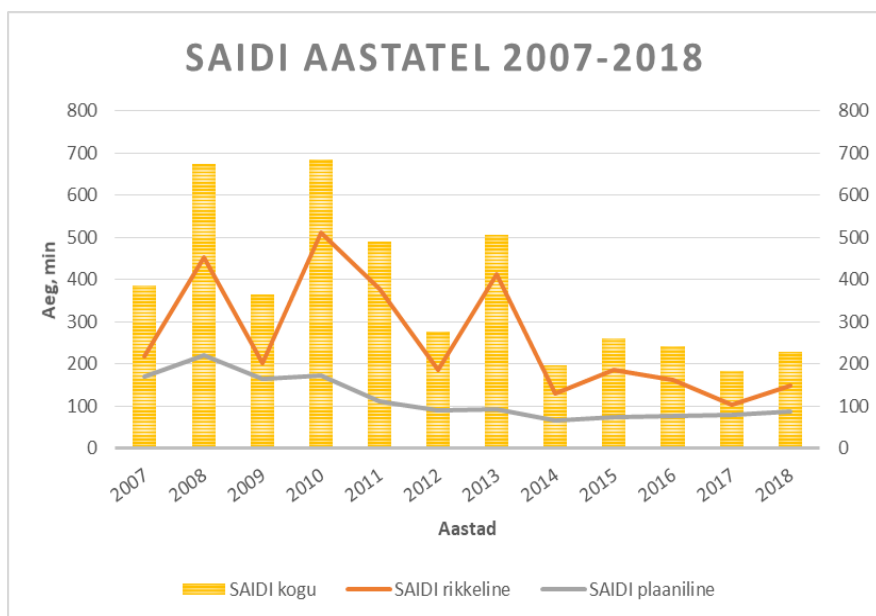
kus n_k – katkestuse tõttu elektrienergiata jäänud tarbimiskohtade arv;
 d_k – tarbimiskoha katkestuse kestus minutites;
 m – tarbimiskoha katkestuste arv aastas;
 N – tarbimiskohtade koguarv.

Vastavalt *Council of European Energy Regulators* (CEER) võrdlusuuringu aruandele saab öelda, et rikkeline SAIDI ja SAIFI väärtused Euroopa vaates on üldises pildis stabiilsed või aja jooksul paranevad. 2016. aastal oli rikkeline SAIDI, sealhulgas erakorralised sündmused, vahemikus 9 kuni 371 minutit ühe kliendi kohta, kuid planeerimata SAIDI ilma erandlike sündmusteta oli vahemikus 9 kuni 290 minutit kliendi kohta. Esimene näitaja hõlmab kõiki katkestusi olenemata nende põhjusest ja on tõenäoliselt usaldusväärsem võrdlusuuringute jaoks, kuna määratlused erakorraliste sündmuste kohta on märkimisväärselt erinevad kogu Euroopas. Raportis kajastati Euroopa riikide tulemusi ja näitajaid. [6]

Analoogselt saab välja tuua Eesti jaotusvõrgu viimaste aastate rikkeliste ja plaaniliste katkestuste statistika. SAIDI_{kogu} koondab endas madalpinge plaanilisi- ja rikkelisi katkestusi ning keskpinge plaanilisi ja rikkelisi katkestusi. [7]

SAIDI_{kogu} on üks kõige olulisem kvaliteedinäitaja jaotusvõrgu ettevõttele, olulisust rõhutab kindlasti ka antud näitaja lisamine võrguettevõtja strateegiliseks näitajaks. Antud näitaja vähendamiseks on vajalik investeerida elektrivõrgu töökindlusesse. Võrguettevõtte teostab investeeringud pikaajalise võrgustrateegia arengu alusel, eesmärgiga suurendada võrgu töökindlust ja vähendada rikkeid. [8, 9]

Aastatel 2016-2018 suunati põhirõhk madalpinge paljasõhuliini asendamisele rippkeerdkaabliga, eesmärgiga viia madalpinge rikkeliste katkestuste arv ja aeg minimaalsele võimalikule tasemele. Alates 2019. aastast suunatakse suurem investeeringute voog keskpingevõrgu elektrivarustuskindluse suurendamisele. Ka siin elektrivarustuskindluse tõstmiseks asendatakse paljasõhuliini juhe kaetud juhtmega. [9]



Joonis 1. SAIDI_{kogu} näitaja Eesti jaotusvõrgus aastatel 2007–2018.

Figure 1. SAIDI_{kogu} indicator in the Estonian distribution network in the years 2007–2018 [7]

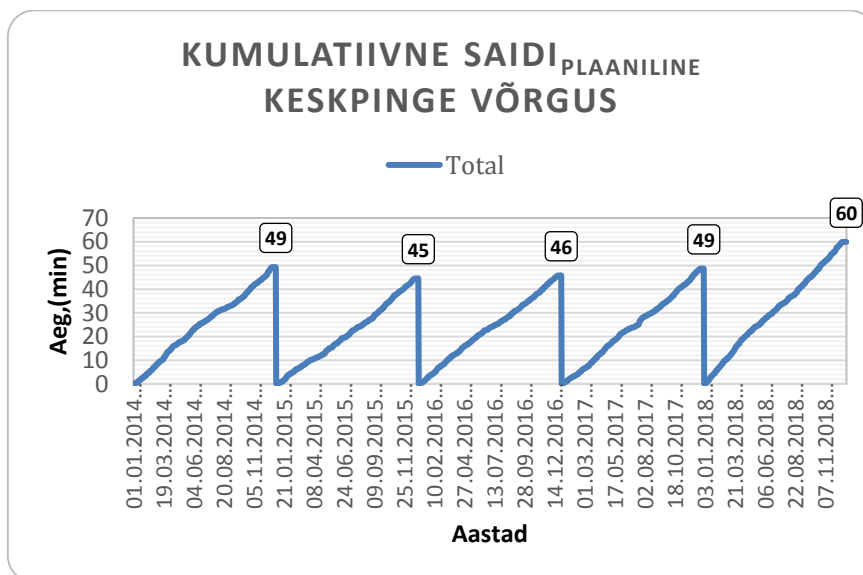
Rahvusvahelisele praktikale ja analüüsile toetudes saab väita, et antud lahendus Eesti naabermaades on toonud häid tulemusi. Meie lähinaabrid on toonud välja kaetud juhtme paigaldamisega kaasnevatest positiivsetest mõjudest elektrivõrgu töökindlusele:

- kukkuvatest puudest vähem kahjustusi;
- väiksemad gabariidid: liinijuhtmete vahekaugus 0,5 m, kaugus puudest 1,5 m;
- rikkelisus kuni 10 korda väiksem võrreldes paljasjuhtmega
- püsirikkeid on paljasjuhtmel 7 r/100 km kohta aastas, kaetud juhtmel 5 r/100;
- rikkeid on paljasjuhtmel 4,5 r/100 km kohta aastas, kaetud juhtmel 0,9–1,6 (Soome);

- rikkeid on paljasjuhtmel 4 r/100 km kohta aastas, kaetud juhtmel 0,4 r/100 (Norra);
- vigastuse/defekti likvideerimise tööd on kaetud juhtme korral võimalik nihutada sobivale ajale, seniks toidet ei katkestata. [10]

Investeeringutööde teostamise perioodil madalpinge võrgus olnud katkestused ei mõjutanud SAIDI_{plaaniline} olulisel määral, kuna ühe katkestuse kohta on tarbimiskohtade arv madal. Keskpingevõrgu investeeringutööde teostamisel on ühe katkestusega haaratud suurem hulk tarbimispunkte ning pikemate liinide ja mahukamate tööde tõttu on plaanilised katkestused ka pikemad ja sagedasemad.

Elektrilevi SAIDI_{plaaniline} keskpingevõrgu kohta on aastatel 2014–2017 olnud stabiilselt ühtlasel tasemel, s.o. ligikaudu 50 minutit. Plaanilise SAIDI tõusu peamiseks põhjuseks on elektrivõrgu investeeringud. Kuigi 2018. aastal on ellu viidud mõned üksikud kaetud juhtme paigaldamise pilootprojektid, saame öelda, et 2018. aasta plaanilise SAIDI tõus ei ole terves ulatuses tingitud kaetud juhtme paigaldamisest.



Joonis 2. Kumulatiivne SAIDI_{plaaniline} keskpingevõrgus.

Figure 2. Cumulative SAIDI_{planned} for medium voltage [7]

Analüüsid kaetud juhtme pilootprojekte näeme, et keskmine katkestuse aeg on 240 minutit ühe projekti kohta ja keskmine tarbimiskohtade arv projekti kohta on 120 tükki. Pilootprojektide valik oli tehtud võimalikult efektiivse võrguoperereimisvõimalustega ehk põhilised paljasõhuliini asendamised kaetud juhtmega toimusid võrgu ringilülitamistega. Keskmiselt paigaldati kaetud juhete jaotusvõrku iga investeeringuprojektiga 2,6 km. Iga investeeringuprojektiga tekkis keskmiselt plaanilist SAIDI 0,3 minutit. Arvestades, et vastavalt investeeringukavadele on järgnevatel aastatel planeeritud ehitada 400 liinikilomeetrit ilmastikukindlat võrku aastas, siis iga kilomeetri ehitamine toob kaasa plaanilise SAIDI olulise suurenemise. [7]

TULEMUSED JA ARUTELU

Uurimusest selgub, et ilmastikukindla elektrivõrgu ehitamise perioodil tuleb arvestada plaanilise SAIDI suurenemisega. Samas on selge, et tegemist on kogu SAIDI vähendamise käigus tekkiva paratamatu negatiivse nn „kõrvalnähuga“ ning oluline on uurida, milline on plaanilise SAIDI tõusu ja rikkeline SAIDI vähenemise suhe erinevatel ajahetkedel. Selleks, et teha põhjapanevamaid järeldusi tuleks pilootprojektide tulemusi võrrelda erinevates võrgu ühendusskeemides teostatud töödega. Pilootprojektid olid teostatud ringvõrgus, mis tähendas küll pikemat katkestusaega ehituseks, kuid katkestusega ei kaasnenud tarbimiskohtade katkestusi.

JÄRELDUSED

Kitsamalt tuleks vaadelda ilmastikukindla elektrivõrgu ehitamisega kaasnevaid ehitus-tehnoloogilisi võtteid ning paindlikuma võrguopereerimisega saavutatavaid lahendusi ja meetmeid katkestusaegade lühendamiseks.

KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „Võrguteenuste kvaliteedinõuded ja võrgutasude vähendamise tingimused kvaliteedinõuete rikkumise korral,“ Riigiteataja.
- [2] E. M.- j. kommunikatsiooniministeerium, „Energiamajanduse arengukava aastani 2030,“ Tallinn, 2017.
- [3] M. H. D. H. Spitzer., „Analysis of investment budget for quality target “SAIDItotal 90 by 2030”,“ https://www.elektrilevi.ee/-/doc/6305157/ettevottest/uuringud/SAIDIkogu_90aastaks_2030_eelarve_analuus.pdf, 2017..
- [4] P. J. I.Palu, „SAIDIkogu 90 minutit tagava eelarve analüüs.Uurimustöö LEP17034 lõpparuanne,“ Tallinn, 2017.
- [5] M. Haavik, „Varahaldusplaan 2018 - 2022. Ettevõtte siseselt kasutamiseks,“ OÜ, Elektrilevi.
- [6] „The Council of European Energy Regulators. CEER Benchmarking Report 6.1 on the Continuity of Electricity and Gas Supply,“ Kättesaadav: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/963153e6-2f42-78eb-22a4-06f1552dd34c>.
- [7] E. OÜ, „Elektrilevi OÜ statistilised andmed.“.
- [8] J. Tiisvend, „Strateegilised eesmärgid 2018-2022. Ettevõtte siseselt kasutamiseks,“ Elektrilevi OÜ.
- [9] M. Haavik, „Keskpinge varagrupi strateegia kuni 2030. Ettevõtte siseselt kasutamiseks,“ Elektrilevi OÜ.
- [10] M. Haavik, „Keskpinge kaetud juhtme rikkestatistika Elektrilevi võrgus,“ Elektrilevi OÜ.

- [11] Institute of Electrical and Electronics Engineers, „IEEE Editorial Style Manual (Online),“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf>. [Kasutatud 1 12 2015].

Taastuenergiaallikate kasutamise osakaal Eestis

U. Raudsepp, E. Jõgi

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

Abstract. The increase in CO₂ emissions from the use of fossil energy sources and the increased consumption of primary energy sources, the desire to reduce dependence on imported energy sources and energy security has led to an increasing need for renewable energy sources. Thus, a European Commission directive has been adopted, which imposes obligations on the Member States to reduce CO₂ emissions. In connection to this, the Estonian Government has also adopted the "Energy Development Plan until 2030", which defines such goals and responsibilities. Following these goals, the share of electricity produced by wind, solar, biogas, hydropower, and efficient cogeneration plants has increased significantly over the last decade. The thesis at hand analyses based on various statistical data, the share of renewable energy sources and its change by years. In addition, the author views the possibility of setting up a pumped hydro accumulation power plant to stabilize and increase the base load of power supply networks. Such a plant would serve as an energy storage facility and would support power shortages that appear in the production of renewable energy sources.

Keywords: renewable energy and subsidies, wind power, solar power, hydro pump storage energy station.

SISSEJUHATUS

Üha suurenevad keskkonnaprobleemid, mis on tingitud tootmismahude suurenemisest, vajadusest energeetiliste ressursside järele ning primaarenergiaallikate (nafta, gaas, põlevkivi) vähenemisest, on viinud tõdemuseni, et vaja on kasutusele võtta meetmeid antud probleemide lahendamiseks. Olemasolevaid keskkonnaprobleeme tuleb lahendada läbi innovatsiooni, kaasaegse tehnika ja teadustöö rakendamisega.

Energeetika valdkonnas on viimasel aastakümnel jõudsalt arenenud elektrienergia tootmine taastuenergiaallikatest. Elektrituruseaduse järgi loetakse sellisteks energiaallikates päikese-, tuule-, hüdro-, biogaasi- ning bioenergia.

Taastuenergia arengut Eestis on mõjutanud mitmed tegurid:

1. Kehtestatud Euroopa direktiivid ja Eesti Valitsuse määrused;
2. Kehtestatud keskkonnatasud;
3. Kallinenud primaarenergia hind;
4. Kehtestatud toetused taastuenergia tootjatele;
5. Taastuenergiaallikate omahinna alanemine.

Euroopa direktiiv 2009/28, mis võeti vastu 23. aprill 2009, sätestas taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise edendamise kasvuhoonegaaside vähendamiseks ning Kyoto protokollit täitmiseks [1]. Direktiivis väljendati veendumust seada eesmärk suurendada taastuvatest energiaallikatest toodetud energia osakaalu 20%ni ja transpordisektoris 10% - ni Euroopa Liidu energiatarbimises aastaks 2020. [1].

Samas direktiivis tõdeti, et:

1. Tuleb vähendada sõltuvust energiainpordist;
2. Tuleb suurendada energia varustuskindlust;
3. On vaja soodustada taastuvenergiaallikate turgu;
4. Tuleb edendada detsentraliseeritud taastuvenergia tehnoloogiaid.

Hilisemalt, 30 nov. 2016 aastal on Euroopa Komisjon esitanud täiendava ettepaneku, mille kohaselt seati eesmärgiks, et aastaks 2030 peab taastuvenergia moodustama EL-s tarbitavast energiast vähemalt 27% [2], [3].

Eestis on Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi poolt kostatud „Energiamajanduse arengukava aastani 2030“ [4], mis käsitleb elektri-, soojus- ja kütusemajanduse tegevussuundi aastani 2030. Muu hulgas tõstetakse esile teadus- ja arendustegevuse (TA) olulisust. Koos jaotusvõrgu optimeerimise ja tarbimise juhtimisega on TA eesmärgiks mikrotootmise integreerimine elektrisüsteemi [4]. Vastavalt arengukavale, on aastaks 2030 plaanitav taastuvenergia osakaal energia lõpptarbimisest 50%.

Energiapoliitilised eesmärgid aastaks 2030 on:

1. Eesti elektrisüsteem on ühendatud Euroopa sünkroonalaga;
2. Vaba ja toetusteta elektriturg;
3. Suurima gaasimüüja osakaal ei ületa 32% turumahtu.;
4. Suurima tarneallika osakaal ei ületa 70% turumahust;
5. Jaotusvõrgu katkestuste keskmine kogukestus aastas ei ületa 30 minutit;
6. Uued hooned vastavad liginullenergia tõhususele;
7. 37% riigivalitsuse kasutuses olevatest hoonetest vastab 2013 aastal jõustunud energiatõhususe miinimumnõuetele.

Käesoleva uurimustöö eesmärgiks on kirjeldada ja analüüsida taastuvenergiaallikate osakaalu, mõjutusi ning nende arengut aastate lõikes.

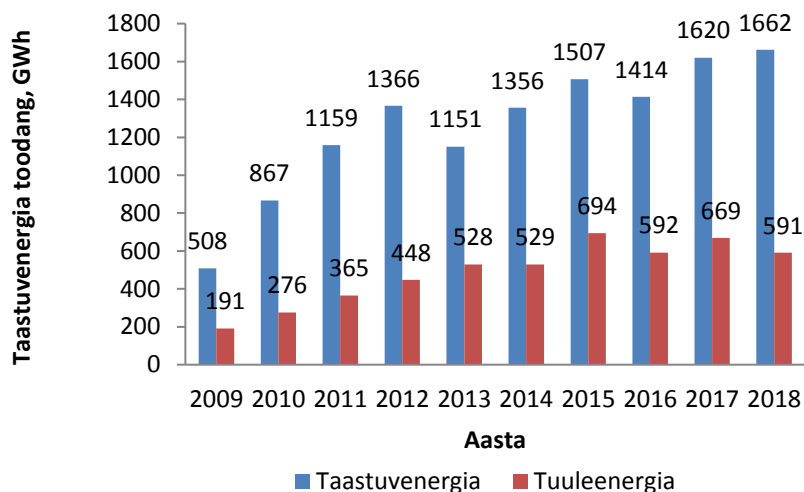
MATERIAL JA METOODIKA

Käesoleva uurimustöö tugineb statistiliste andmete kogumisele, analüüsile ja esitusele. Statistilised andmed on saadud Elering AS-lt, Jaotusvõrk OÜ-lt, Statistikaametilt ja teistelt ettevõtetelt, organisatsioonidelt.

Tuuleenergia osakaal

Üheks suuremaks taastuvenergiaallikaks Eestis on tuuleenergia, mille tingimused on soodsaimad ranniku lähedal. Suurimat tuuleparkide koguvõimsusest omab Enefit Green, mis kuulub Eesti Energia kontserni.

2018 aastal toodeti tuuleenergiat ühtekokku 590,554 GWh, mis moodustab ligikaudu 35,5 % kogu toodetud taastuvenergiast. Joonisel 1 on toodud tuuleenergia osakaalu suurus toodetud taastuvenergiast [5].

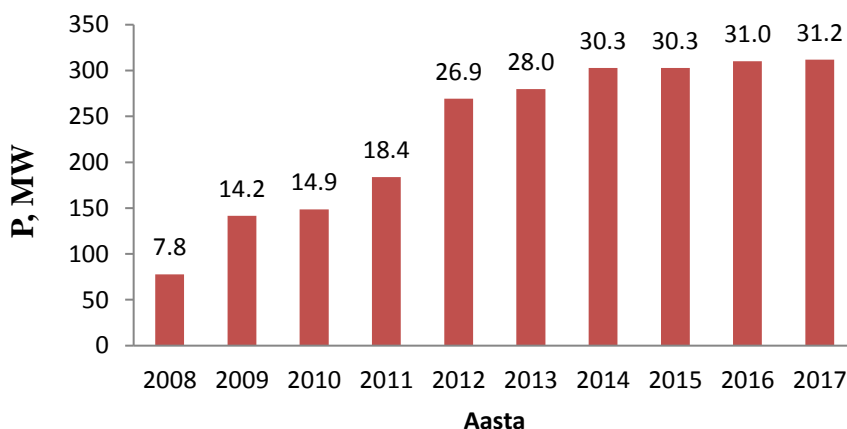


Joonis 1. Tuuleenergia osakaal [5]

Figure 1. Wind power share [5]

Joonisel 1 toodud andmetest selgub, et tuuleenergia tootmismahud on stabiliseerunud ning jäänud püsima 600 GWh/aastas, mis on ka hetkel Elektrituruseaduses [6] toodud toetuse maksimumpiiriks.

Tuuleenergia tootmisvõimsuste kasv pole viimastel aastatel eriti kasvanud, vaid saavutanud teatud stabiilse taseme. Joonisel 2 on toodud tuuleparkide installeeritud koguvõimsused [7].



Joonis 2. Tuuleparkide installeeritud võimsused [7].

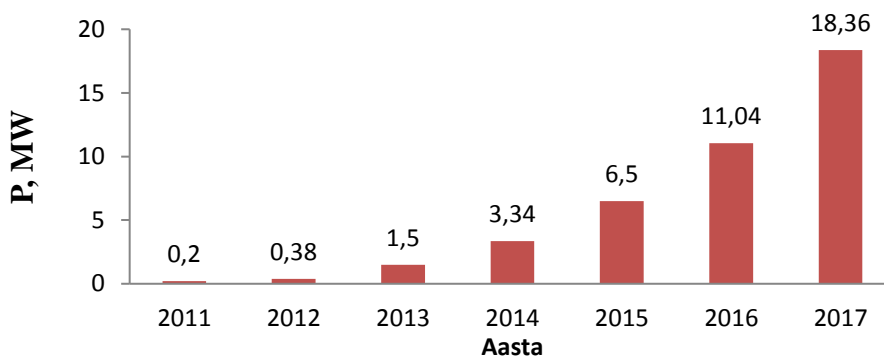
Figure 2 Installed capabilities of wind parks [7].

Joonise 2 andmetest järeldub, et suuri tuuleenergia tootmisvõimsusi viimastel aastatel pole lisandunud ning tuuleenergia toodang on jäänud viimastel aastatel stabiilsele

tasemele. Selle üheks põhjuseks võib lugeda ka tuuleenergia toetuse maksmise sõltuvust kogutootmismahust, milleks on 600 GW·h/aastas.

Päikeseenergia osakaal

Päikeseenergia osakaal taastuvenergia tootmismahust on viimastel aastatel oluliselt tõusnud. Selle põhjuseks võib lugeda nii seadmete odavnemist, suurenenud tootlikust ning lühenenud tasuvusaega. Kindlasti suureneb päikeseпаркide osakaal järgnevatel aastate jooksul veelgi. See on tingitud Elektriturseaduses tehtud muudatustest toetuste maksmise tingimustes. Selle kohaselt peab tootmiseseade, mille elektriline võimsus on üle 50 kW ja väiksem kui 1 MW, alustama tootmist hiljemalt 2018. aasta 31. detsembril. Samuti oli ajaline piirang kehtestatud all 50 kW elektrilise võimsusega tootmiseseadmetega tootjatele. Nendele on viimaseks tootmise alustamise kuupäevaks märgitud 2020. aasta 31. detsember. Joonisel 3 on toodud Elektrilevi ja Imatra poolt esitatud andmed [7], mis näitavad päikeseпаркide installeeritud koguvõimsuste kasvu aastate lõikes.

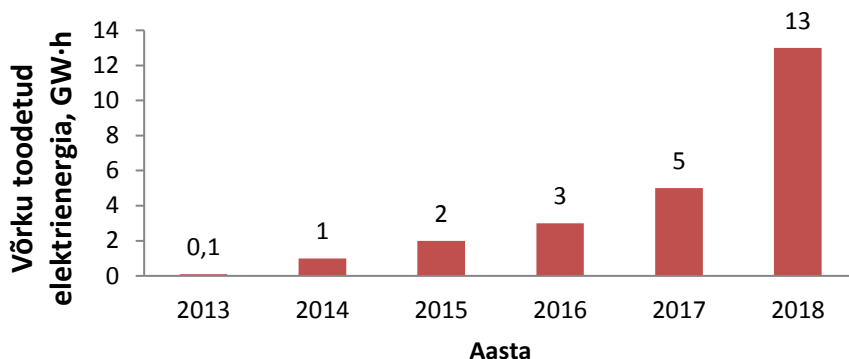


Joonis 3. Päikeseпаркide koguvõimsus [7]

Figure 3 Total capacity of solar parks [7]

Toodud joonis 3 ei sisalda andmeid mikrotootjate kohta, mis toodavad elektrienergiat vaid enda tarbeks.

Joonisel 4 on toodud Elering AS-lt saadud andmed, mis näitavad päikeseenergiast toodetud elektrienergia olulist kasvu.



Joonis 4 Päikeseenergiast toodetud elektrienergia

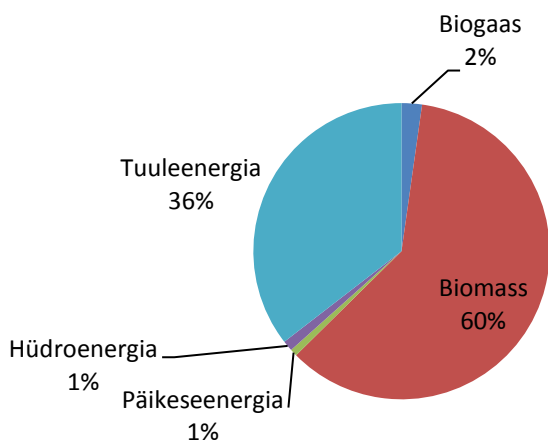
Figure 4 Amount of electricity produced from solar energy

Esitatud jooniselt selgub, et võrreldes aastaga 2013, on päikeseenergiast toodetud elektrienergia kogus suurenenud 130 korda.

Biomassist toodetud taastuvenergia

Elektrituruseaduse §57 kohaselt loetakse taastuvaks energiaallikaks ka biomassi.

Biomassist toodetud elektrienergia moodustab suurima osa taastuvenergiast toodetud elektrienergiast. Biomassi kasutatakse tänapäevastes elektrijaamades kuni 50 % ulatuses. Joonisel 5 on toodud biomassi osatähtsus taastuvates energiaallikatest elektrienergia tootmisel.



Joonis 5. Taastuvenergiaallikate osakaal toodetud elektrienergiast

Figure 5. Share of renewable energy sources in electricity

Nagu jooniselt selgub, toodetakse suurem osa taastuvenergiaallikatest saadavast elektrienergiast biomassist ning tuuleenergiast. Tabelis 1 on toodud 2018 aastal taastuvatest energiaallikatest toodetud elektrienergia hulk, GW·h.

Tabel 1. 2018 aastal toodetud elektrienergia, GW·h

Table 1. Electricity produced in 2018, GW·h

Biogaas, GW·h	Biomass, GW·h	Päikeseenergia, GW·h	Hüdroenergia, GW·h	Tuuleenergia, GW·h
37	1006	13	19	591

Tabelist 1 selgub, et kuigi päikeseпаркide tootmisvõimsused on viimastel aastatel oluliselt suurenenud, toodetakse taastuvatest energiaallikatest oluline osa elektrienergiast biomassist ning tuuleenergia abil.

Energeetika lähitulevik

Seonduvalt suurte muudatustega energeetika valdkonnas Eestis, mis on seotud plaanitava eraldumisega Venemaa elektrivõrgust, põlevkivist toodetava elektrienergia vähenemisega, on aktiivselt tegeletud alternatiivsete energiaallikate kasutuselevõttuga. Sealjuures tuleb silmas pidada ka eesmärgi tagada energeetikaalane julgeolek ja sõltumatus. Taastuvenergia muutuva tootlikkuse tasakaalustamiseks ja võrguparameetrite kvaliteedi tagamiseks on esitatud kavandid pumphüdroakumulatsioonijaam (PHAJ). Eestis tegelevad antud projektiga Eesti Energia AS ning Energiasalv OÜ. Kuigi tegemist on põhimõtteliselt sama tehnoloogiaga, on kahel projektil siiski mõningad erinevused. Eesti Energia poolt kavandatav PHAJ on plaanitud rajada Estonia kaevanduse kõrvale rajatavale aheraine kehadele. Antud tehnik kõrgendik oleks kuni 60 meetri kõrgune ning sinna rajatakse kuni 500 000 m³ veereservuaar. Kaevanduse alumine osa asub maapinnast umbes 60 m sügavusel, kuhu saab rajada veereservuaari, millest saab vett ülemisse reservuaari pumbata. Kavandatav PHAJ oleks võimsusega 50 MW. Vee pumpamiseks ja genereerimiseks kasutatakse sama seadet - pumputurbiini.

Teise projektina, mida arendab Energiasalv OÜ, on tegemist 500MW koguvõimsuse PHAJ-ga, mis vastavalt detailplaneeringule rajatakse Paldiskisse. Erinevalt EE projektist, kasutatakse siin mitut erineva võimsusega turbiini: 2x175 MW, 1x100 MW ning 1x50 MW püstvõlliga turbiinid. Projekti kohaselt kaevatakse Paldiski lähedale merepõhja suur süvend, mida kasutatakse ühe veereservuaarina. Maapinnal oleva reservuaari maht on ligikaudu 5,2 milj m³, mis peab tagama jaama töö nominaalvõimsusel 500MW ning garanteeritud tööajaga 12h.

Esialgu on need kaks jaama veel projekteerimise staadiumis, mistõttu lõpptulemused võivad mõneti erineda.

TULEMUSED JA ARUTELU

Koostatud artiklist selgus, et vastavalt vastu võetud Energiamaajanduse arengukavale, on viimastel aastatel oluliselt suurenenud taastuvenergiast toodetud elektrienergia tootmine. Seda kõigis taastuvenergia sektorites, mis on allpool kokkuvõtvalt toodud:

1. 2018 aastal toodeti biogaasist elektrienergiat 37 GW·h , samas kui 2010 aastal toodeti 11 GW·h elektrienergiat.
2. 2018 aastal toodeti biomassist elektrienergiat 1006 GW·h , samas kui 2010 aastal toodeti 553 GW·h elektrienergiat.
3. 2018 aastal toodeti tuulest elektrienergiat 591 GW·h , samas kui 2010 aastal toodeti 276 GW·h elektrienergiat.
4. 2018 aastal toodeti hüdroenergiast elektrienergiat 19 GW·h , samas kui 2010 aastal toodeti 27 GW·h elektrienergiat.
5. 2018 aastal toodeti päikesest elektrienergiat 13 GW·h , samas kui 2010 aastal päikeseenergiat müük elektrivõrku peaaegu puudus.

JÄRELDUSED

Käesolevas artiklis analüüsiti ja käsitleti keskkonnamõjudest ning energeetikajulgeolust lähtuvaid eesmärke ning kohustusi. Üheks selleks osaks on taastuvenergeetika, mille arengusuundasid viimaste aastate jooksul esitleti. Eriti positiivseks võib hinnata seda, et elektrienergia tootmine on laiapinnaline, s.t. elektriturul tegutsevad nii mikrotootjad, väiketootjad kui ka suurtootjad. Samuti on kasutusele võetud erinevad taastuvenergia allikad: tuule-, päikese- ning biomassist toodetav energia.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council, [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN> [Accessed 20 03 2019]
- [2] Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). Available: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/COM-2016-767-F1-EN-MAIN-PART-1.PDF>. [Accessed 20 03 2019].
- [3] Renewable energy directive. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive>. [Accessed 22 03 2019].
- [4] Energiamaajanduse arengukava aastani 2030. [Online]. Available: https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak_2030.pdf. [Accessed 21 03 2019].
- [5]. Taastuvenergiast toodetud elektrienergia kogused ja prognoos. [Online]. Available: <https://elering.ee/toodang-ja-prognoos>. [Accessed 20 03 2019].
- [6] Elektrituruseadus. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/113032019044?leiaKehtiv>. [Accessed 21 03 2019].
- [7] Taastuvenergia aastaraamat. [Online]. Available: <http://www.taastuvenergeetika.ee/wp-content/uploads/2018/06/Taastuvenergia-aastaraamat-2017.pdf>. [Accessed 20 03 2019].

Elektrivõrgu rikete analüüs Veeriku ja Ülejõe piirkonnas

V. Saarepuu, A. Annuk

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

Abstract. Grid is one of the most important part of the electrical power system. Fault-free and reliable electric grid, which ensures trouble-free electricity transmission to every home, satisfies both participants. This work present the power grid fault analysis of Tartu, Veeriku and Ülejõe region. The purpose is to investigate the what causes of faults, how the faults information moves forward, how to repair the faults and how to prevent power grid fault. Analysis faults during the years of 2018. The most important failures occur on medium voltage cables. The most power grid fault causes by depreciation and excavation.

Keywords: fault cause, fault reason, underground cable, distribution system.

Mõisted

Avariijärgne talitus – elektrivõrgu talitus, mis on kujunenud pärast releekaitse ja automaatika töötamist ja nende toimel lülitusseadmete välja- või sisselülitumist.

Defekteerimine – Elektrivõrgu korrapärane visuaalne kontroll, märkamaks defekte ja rikkeid.

Liitumispunkt – Liitumispunkt elektrivõrguga määrab ära piiri kliendi (ostja) ja võrguettevõtte vastutuse vahel

Normaaltalitus – elektrivõrgu talitlustingimused, kus koormuse ja tootmise nõudmised on rahuldatud, elektrivõrgu ümberlülitused on võimalikud ja rikked lülitatakse välja automaatsete kaitsesüsteemidega ning puuduvad erandlikud asjaolud

Partner – alltöövõtja, kes osutab vastava lepingu alusel ELV-le töid.

Rike – elektri-või infovõrgu elemendi seisukord, mille korral element ei täida enda otstarvet. Rikke tulemusel on tarbijatel toitekatkestus või varustuskindluse taseme langus. Rikke kõrvaldamiseks on vajalik riikunud elemendi kiireloomuline remont või asendus.

Tähised ja lühendid

JK	–jaotuskilp	OVB	– operatiiv(väljasõidu)brigaad
KP	–keskpinge jaotusvõrk 6–35 kV		
LK	–liitumiskilp		
LP	– liitumispunkt		
MP	– madalpinge jaotusvõrk kuni 1 kV		
MPHK	–madalpingeharukilp		
XLPE	–võrkstruktuurigapolüetüleen		

SISSEJUHATUS

Elektrivõrk on üks olulisematest osadest elektrisüsteemis. Töökindel ja riketevabaelektrivõrk on hea tarbijale, elektrienergia tootjale ja elektrivõrgu haldajale. Elektrienergial on oma kvaliteedinäitajad, mis peavad tagama tarbijate häireteta töö ja ohutuse. Põhiliseks kvaliteedinäitajaks võib lugeda toite katkematus [1]. Jaotusvõrgus tuleb rikkest põhjustatud katkestus kõrvaldada 12 tunni jooksul

ajavahemikus 1. aprillist kuni 30. septembrini ja 16 tunni jooksul ajavahemikus 1. oktoobrist kuni 31. märtsini [2].

Elektrivõrgu ülesanne on elektrienergia toimetamine elektrit tootvatest allikatest elektritarbijateni. Elektrienergia edastamiseks kasutatakse erinevaid ülekandeliine ja –kaableid. Elektrienergia muundamine ja jaotamine toimub alajaamas. Veeriku ja Ülejõe piirkonna elektrivõrk kulgeb Tartu linnas, Ihastes, Tõrvandis ja Ülenurmes. Elektrivõrk on keerulise konfiguratsiooniga, palju tarbijaid ja enamuse ülekandeliinideks kasutatakse maakaableid.

Elektrisüsteemi normaaltalitusel on koormuse ja tootmise nõudmised rahuldatud. Normaaltalitusel on normaalskeemi lahutuskohtad ja töösolevate trafode arv määratud lahutuskohtade optimeerimise ja trafode optimeerimise teel, mille kriteeriumiks on elektrienergia jaotamise võrgukadude miinimum. Avariijärgne talitus on olukord mis on kujunenud pärast releekaitse ja automaatika töötamist ja nende toimel lülitusseadmete välja- või sisselülitumist. Avariijärgne talitus viitab asjale, et kuskil elektrivõrgus on toimunud mingi rike, muutunud on normaalskeem ja kliendid võivad olla pingeta. Peale rikke ilmnest algab rikke kõrvaldamine [3].

Elektrivõrgus rikete ja defektide lokaliseerimise ja kõrvaldamise operatiivseks juhiks on vastavalt elektriseadmete operatiivsele alluvusele juhtimispiirkonna dispetšer [3]. Tartu linna elektrivõrku juhitakse Tartust. Juhtimiskeskus töötab ööpäevaringselt, kus jälgitakse elektrivõrgu talitlust. Kõik võrgu sündmused, rikked, klienditeated, plaanilised hooldustööd, pingelused tööd, pingelähedased tööd ja muud elektrivõrgus tehtavad tööd registreeritakse juhtimiskeskuses.

Rikete kõrvaldamisel tuleb vältida avarii laienemist, eemaldada oht inimestele ja loomadele ning tagada seadmete säilivus, tagada tõsesejäänud seadmete normaalne töötalitus, lokaliseerida vigastunud võrguosa, organiseerida vigastunud võrguosa remondi või asendamise ning pärast remonti taastada tarbijate elektrivarustus ning elektrivõrgu normaalskeem. Dispetšer ja juhtivspetsialist juhivad rikete kõrvaldamisel abijõudude väljakutsumisel rikete hulgast ja eritehnika vajalikkusest [3]. Kui tegu on lihtsamate riketega, mis ei nõua eritehnikat ja eriseadmeid, siis likvideerib rikke OVB. Kui OVB pole võimeline riket likvideerima ja rikkeid on palju, tuleb appi Elektrilevi partner.

Töö eesmärgiks on analüüsida Veeriku ja Ülejõe piirkonnas, aastal 2018 toimunud elektrivõrgu rikkeid, kasutades Elektrilevilt saadud andmeid. Uuritakse mis on olulisemad rikke põhjused ja miks rike tekkis. Saadud tulemuste põhjal pakutakse erinevaid lahendusi kuidas saaks rikkeid vähendada ja ennetada, et elektrivõrk oleks töökindlam ja tarbijatel oleks elektrikatkestusi vähem.

MATERIAL JA METOODIKA

Rikete analüüs on koostatud Veeriku- ja Ülejõe käidupiirkonna 0,4-35 kV elektrivõrgus esinenud rikete põhjal aastal 2018. Analüüsitavad andmed pärinevad Elektrilevi juhtivspetsialistilt. Algandmeteks on LP arv, KP ja MP võrgu parameetrid. Rikete analüüsil on kasutatud 2018 aasta rikete aruannet. Rikete aruanne sisaldab infot rikke algus- ja lõppajast, rikke infost, elektrivarustuseta jäänud LP arvu ja rikke põhjustest ning tagajärjest.

Tartu linna, Veeriku- ja Ülejõe piirkonnas on Elektrilevi lepingulisi liitumispunkte (LP) kokku 13337 tk ja keskpinge LP-sid 65 tk. Ühes LP-s võib olla rohkem kui 1 klient. Näiteks 9 korteriga majal on 1 LP. Lisaks jagunevad kliendid prioriteetsuse järgi erinevatesse gruppidesse. Vastavalt sellele võetakse ka vastu otsus, kust alustatakse esmalt tekkinud riket likvideerima. Esmalt taastatakse elektrivarustus objektidel, kus teenuse katkestusega kaasneb vahetu oht inimesele, teisena elektrivarustus objektidel, mis tagavad elutähtsate teenuste toimepidevuse ja seejärel taastatakse elektrivarustus teistele olulisematele tarbijate gruppidele. LP prioriteetsus ja nende arv on kajastatud tabelis 1 [4].

Tabel 1. Veeriku ja Ülejõe piirkonna liitumispunktide jagunevus prioriteetsuse järgi [4].

Table 1. Veeriku and Ülejõeregionconsumersbypriority. Source [4]

Kliendi prioriteetsus	tk	Näide
Tavaprioriteediga objektid	12676	Kortermaja, elamu
Majanduslikult olulised	379	Tööstus- ja tootmishooned
Ühiskondlikud teenused	156	Valgusfoor, sideteenus
Elutähtsad teenused	97	Sidemastid, veevarustus
Oht inimesele	29	Arstiabi, haigla
Keskpinge liitumispunkt	65	Tööstus- ja tootmishooned jms

KP võrgus, Veeriku ja Ülejõe piirkonnas on kasutusel 93 erinevat maakaablit kogupikkuses 362,9 km, millest paber-õliisolatsiooniga on 220,1 km ja XLPE isolatsiooniga 142,8 km [4].

Uuritavas piirkonnas on 449 alajaama [4]. Alajaamad jagunevad erinevateks klassideks. Nendeks võivad olla komplekt-, kiosk-, hoonesisene-, jaotus- või mast AJ.

MP võrgus kasutatavad ülekandeliinide pikkused on tunduvalt pikemad kui KP-s. MP ülekandeliinide kaablid ja pikkused on toodud tabelis [4].

Tabel 2. Madalpingevõrgu kaablid ja nende pikkused Veeriku- ja Ülejõe piirkonnas. Allikas [4]

Table 2. Lowvoltage network cables and their lengths in the Veeriku and Ülejõeregions. Source [4]

Kaabliklass	Pikkus km
MP kuiv maakaabel (AXPK, APPK, AXMK)	322
MP paber-õliisolatsiooniga maakaabel (AAB, AAŠV, ASBU)	170
MP isoleeritud õhuliin (ALUS, AMKA, EX)	250
MP isoleerimata õhuliin (A)	5,5

Lisaks MP ülekandeliinidele on äärmiselt oluline erinevate elektrimastide ja kilpide kasutamine. Elektrimastid ja kilbid aitavad ülekandeliinidel toimida. Mastid toetavad liine. Elektrikilbid (LK, JK, MPHK) võivad asetseda hoones, mastil või sokliga pinnases. Kilpides toimub elektrienergia jaotamine, võrgu kaitsmine erinevate kaitseseadmetega ja elektrienergia mõõtmine. Veeriku ja Ülejõe piirkonnas kasutatavad elektrimastide ja kilpide loetelu on toodud tabel 3.

Tabel 3. Veeriku- ja Ülejõe piirkonnas kasutatavate elektrimastide ja kilpide loetelu ning nende kogus. Allikas [4]

Table 3. List and quantity of masts and electric shields used in Veeriku and Ülejõe region. Source [4]

Tunnus	tk
0,4 kV betoonmast	693
0,4 kV puitmast	4668
Liitumiskilp (LK)	4847
Jaotuskilp (JK)	2829
MP Harukilp (MPHK)	8

Nagu selgub tabelis 2 siis MP võrgus on kasutusel veel väga palju paber-õliisolatsiooniga maakaableid ja õhuliinijuhet. Õhuliinijuhtme kasutamiseks on tarvis kasutada maste ja maakaablite kasutamiseks on tarvis kasutada erinevaid kilpe.

TULEMUSED JA ARUTELU

Aastal 2018 oli 221 riket, mis mõjutasid ühel või teisel määral 7076 LP-d. MP-s leidis aset 126 riket, KP-s 45 riket. MP rikestest oli häiritud 1460 LP-d ja KP rikestest 5607 LP-d [5].

Ülekaalukalt suurimaks rikke põhjustajaks on amortiseerunud ehk vananenud elektrivõrk. MP-de ja KP-de peale oli kokku 94 riket [5]. Amortiseerunud elektrivõrk on ohtlik elektritoid teostavatele isikutele, ohtlik ümbrisevale keskkonnale ja varale.

Amortiseerunud elektrivõrgus toimuvad muutused, mida ei pruugi palja silmaga näha. Kontaktpinnad ja ühendused võivad roostetada ja oksüdeerida tänu ilmastikule. Poltühendused pole enam nii tugevalt kinni kui peaks olema. Betoonmastid muutuvad rabedaks, puitmastid mädanevad maapinna lähedalt. Maakaablitel halveneb isolatsioon, õli-paberisolatsiooniga kaablite otsad jooksevad õlist tühjaks, jätkumuhvid lasevad niiskust sisse. Amortiseerumise käigus halvenevad kontaktpinnad.

Amortiseerunud kaablil väheneb isolatsioon sedavõrd, et tekitab lühis. Tartu linnas oli vanasti 6 kV võrk laialt kasutusel ja selle ehitamisel kasutati 6 kV kaableid ja seadmeid. Võrgukadude vähenemise ja pingete ühtlustamise eesmärgil kaotatakse 6 kV võrk. Alajaamad ehitatakse ümber vastavalt võrgupingele, kuid maas olevat elektrikaableid ei vahetata. Selline olukord on väga keeruline 6 kV kaablitele, sest neid kasutatakse 10 kV võrgupinges. 6 kV ja 10 kV maakaabel erineb isolatsiooni paksusest. Mida paksem on isolatsioon, seda suuremale pingele kaabel vastu peab.

KP kaabli lühise korral proovib automaatika sooritada lülimised, et eraldada riknenud elektrivõrk tervest ja taastada toide mõne teise kaabliga, kui see võimalik pole, jääb alajaam pingeta.

Lisaks amortisatsioonist tingitud rikkele on üheks oluliseks rikke põhjuseks inimtegevus. Nendeks võib olla kaevetööd, pealesõit, vargus ja vandalism [5]. Õhuliine mõjutavad otseselt liini kasvanud võsa, karmid ilmastikuolud kui liinile murduvad puud ja oksad ning loomade ja lindude tegevus.

Kõiki elektrivõrgu rikkeid pole võimalik ennetada, kuid neid saab vähendada elektrivõrku investeerimise teel. Elektrivõrku investeerimisel tuleb lähtuda vajadusest,

olles eelnevalt elektrivõrku defekteerinud. Rikkeid saab vähendada kasutades ilmastikukindlaid elektriliine, liinitrasse regulaarselt kontrollida ja puhastada.

Kuna linnavõrgus on kasutusel väga palju maakaableid, tuleb nende paigaldusi dokumenteerida ja kontrollida. Eriliselt tähelepanelik tuleb olla KP kaablitel tehtavatel töödel, et KP kaablimuhvi paigaldaja oleks vastava väljaõppe saanud ning tööd toimuvad paigaldusjuhendite järgi. Siinkohal on vajalik regulaarselt kontrollida kaablimuhvi paigaldaja pädevust.

Amortiseerunud elektrivõrgus halvenevad kontaktpindade omadus. Hooldustööde ajal on tarvis kontrollida kõik kontaktpinnad üle. Vajadusel vahetada detaile, puhastada, määrada kontaktmäärdega ja kasutada õigeid ning uusi kinnitusvahendeid.

JÄRELDUSED

Uuritava Veeriku ja Ülejõe piirkonnas on väga palju elektrienergia tarbijaid. Kasutusel on väga palju KP ja MP liine ja nendetarvikuid. Iga väiksema rike mõjutab otseselt tarbijaid. Kõige suuremaks probleemiks on elektrivõrgu amortiseerumine. Vajalik on teostada piisava tihedusega korrapäraseid defekteerimisi, et avastada defektseid liiniosi ja detaile, mille riknemise korral on tagajärjeks elektrikatkestus. Vajalik on investeerida õigesti. Kontrollida tehtavate tööde kvaliteeti ja vastavust.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Lepa, J., Jürjenson, K. (2000). Energiavarustus. Tartu: Eesti põllumajandusülikool. 176 lk.
- [2] Võrguteenuste kvaliteedinõuded ja võrgutasude vähendamise tingimused kvaliteedinõuete rikkumise korral. (vastu võetud 06.04.2005 nr 42, jõustumine 17.04.2005).
– Riigi Teataja <https://www.riigiteataja.ee/akt/882449?leiaKehtiv> (30.03.2019).
- [3] Dokumendihje protseduur. P3110/23 : Jaotusvõrgu talitluse juhtimine. (kehtiv alates 19.03.2019). *Elektrilevi OÜ* <https://bit.ly/2v4yU0F> (30.03.2019)
- [4] Elektrivõrgu parameetrid. (2019). Aruanne. R.Schulbch. *Elektrilevi OÜ*.
- [5] Tartu piirkonna rikked. (2019). Aruanne. K.Orro. *Elektrilevi OÜ*.

Autonoomse elektrivarustussüsteemi optimaalne toimimine koos alternatiivsete energiaallikatega

M. Salem

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

Abstract. Solar energy is the most unlimited resource. Electrical energy can be produced from solar energy in a process where the necessary devices are inaudible and quite invulnerable as there are no moving parts. Also, there is no pollution created by the electricity production process. The main objective of this research is the management of the grid-independent electricity production for a residential house from solar energy. For this, one off-grid project from Elektrilevi, LLC was explored, as an example. Detailed information is presented about the problems encountered during the operation in the station, looking for causes and finding solutions for their elimination. The concept of lead-acid batteries is discussed in more detail. The subsequent analysis is conducted using the information derived from a station's tracking device. The winter months are more problematic, as the Estonian latitude has a very limited time of daylight and therefore additional energy sources like a spare generator were needed. There have been problems at the station when the spare generator does not stop without manual intervention.
Keywords: helioenergetics, offgrid, inverter-charger, generator, battery.

SISSEJUHATUS

Energiahindade tõus on esile kutsunud kõrgendatud huvi energiafirmadest sõltumatu energiavarustatuse vastu. Alates Eesti sisenemisest avatud energiaturule 2011. aastal on Eestis elektrienergia hind tõusnud. Ainuüksi 2018. aasta jooksul on elektrienergia hind kallinenud 41,8% [1]. Helioenergeetika on aktuaalne ning arenev valdkond. Et varasematel aastatel olid alternatiivsed energiaallikad vaid jõukamate firmade ja eraisikute huviorbiidis, siis täna on seadmete hinnad muutunud kättesaadavamateks laiemale ringile huvilistele. Päikeseelektrijaama maksumust arvestatakse tihti suhtena, mitu eurot kulub ühe vati tootmisvõimsuse paigaldamiseks ehk EUR/W [2]. Kui viie aasta eest oli 11 kW päikeseelektrijaama hind 2–3 EUR/W [2], siis aastal 2016 oli installeeritava vati hinnaks 1,3 EUR/W [3]. Aastal 2017 oli 11 kW päikeseelektrijaama hind juba isegi alla ühe euro vati kohta. [2]

Käesolev artikkel keskendub päikeseenergia elektrienergiaks muundamisele *offgrid* ehk võrgust eraldatud lahenduse teel. Tootlikkuse seisukohast on probleemsed kuud novembrist jaanuarini, kui päikesevalguse kestus ööpäevas on ebapiisav ning seetõttu tuleb kasutada ka alternatiivseid elektritootmise viise. Kirjeldatakse päikesejaama tootlikkuse parendamise võimalusi salvestusseadme ja varugeneraatori koostöö optimeerimisel.

Uuritavad jaamad rajas Elektrilevi 2016. aastal Eestisse kolme väikemajapidamise tarbeks. Pilootprojekti raames rajatud jaamades on esinenud probleeme, mil generaator ei seisku ilma manuaalse sekkumiseta. Artiklis kirjeldatakse katsetega läbiviidud ja väljatöötatud lahendust, testides akupanga ja generaatori juhtseadmete konfiguratsioonide muutmise teel generaatori käitumist jaamas.

Jaam töötab põhimõttel, et päeval valgel ajal tarbitakse elektrienergiat otse PV-paneelidelt läbi inverteri ning piisava päikesevalguse olemasolul laetakse ka

akupanka. Valgusevaesemal ajal, vastavalt kas õhtul või pilvisemate ilmade korral tarbitakse läbi inverteri akudelt. Kui akude laetuse aste langeb allapoole sätteväärtust, käivitatakse generaator ja tarbimine toimub generaatorilt ning laetakse ka akusid. Kui akud on laadunud ja parameetrid ületavad akutootja poolt soovitatavalt etteantud sätteväärtust, lülitatakse generaator välja ning tarbimine jätkub akudelt. Ühes jaamadest on esinenud probleeme, mil generaator ei seiskunud automaatselt. Antud uurimistöö käigus otsiti probleemile lahendust. Kuna akupanga maksumus on ligemale 50% kogu jaama maksumusest ilma generaatorita [3], siis on oluline käidelda akupanka efektiivselt. Tabelis 1 on toodud aku laetuse taseme ligikaudne määramine pingetaseme järgi. Sellise mõõtmise alusel aku laetuse taseme üle otsustades peab aku eelnevalt olema rahuolekus, st ilma laadimiseta ja ilma koormuseta.

Tabel 1. Aku laetuse tase pingestme järgi. Allikas [4]

Laetuse tase (SOC)	Elemendi pinge (V)	48 V aku pinge (V)
100%	2,12	50,88
90%	2,08	49,92
80%	2,07	49,68
70%	2,05	49,20
60%	2,03	48,72
50%	2,01	48,24
40%	1,98	47,52
30%	1,96	47,04
20%	1,93	46,32
10%	1,89	45,36

Järgnevalt on loetletud peamised aku enneaegset vananemist põhjustavad tegurid.

Liigse tühjenemissügavuse lubamine. Mida sügavamale lastakse akul tühjeneda, seda kiiremini see vananeb. [5]

Alalaetus. Aku pideva osaliselt laetuna jätmise korral toimub aeglane sulfateerumine. Seetõttu on soovitatav akut mitte seisma jätta 50% laetuna ning pigem näiteks iga 30 päeva järel 100% täis laadida. [5]

Laadimine toimub liiga kiiresti ja akut ei laeta lõpuni täis. Akusid saab kiiresti laadida suure laadimisvooluga, kuni pinge on saavutatud ja algab gaasi eraldumine. See lühendab enamiku akude eluiga. Laadimisel suurema vooluga võib selle temperatuur järsult tõusta ja temperatuurikompensatsioon muutub hädavajalikuks. [5]

Ülelaadimine põhjustab veekadu. Avatud pliiakudel on see taastatav, kuid positiivse laenguga plaatide korrodeerumise kiirenemise tagajärg on korvamatu. Suletud akud on ülemäärase vee eraldumise ja ülelaadimise suhtes veelgi tundlikumad. Sageas ülelaadimise peapõhjus on enamasti temperatuurikompensatsiooni puudumine. [5]

Temperatuur akude laadimisel. Kiire tühjenemine ja kiirem laadimine põhjustab akus liigset soojuse eraldumist, määrav on ka aku asukoht. Paigalduskoha temperatuur võib varieeruda vahemikus $-20^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$. Kõrgem keskmine töötemperatuur toob kaasa aku kiirendatud vananemise, kuna temperatuuri tõustes keemilise lagunemise protsess akus suureneb. Akutootjad määravad kasutusaja

ümbritseva keskkonna temperatuuri $+20^{\circ}\text{C}$ juures. Aku kasutusiga langeb poole võrra iga 10°C temperatuuri tõusul. [5] Aku laetuse astmel on otsene mõju elektrolüüdi külmumistemperatuurile. Kui 100% täislaetud akul on selleks temperatuuriks -54°C , siis 0% laetuse tasemel on selleks -8°C [4]. Artikli eesmärk on tutvustada võimalusi akupanga ja generaatori omavaheliseks konfiguratsiooniliseks sobitavuseks, vältimaks varugeneraatori esineda võivaid seiskumistõrkeid selle töötamisel akupanga laadimisele.

MATERJAL JA METOODIKA

Käesoleva uurimuse läbiviimiseks kasutati hüpoteetilis-deduktiivset metoodikat. Uurimuse käigus katsetati päikeseelektrijaamas seadmete erinevaid konfiguratsioone. Muudeti juhtseadme konfiguratsiooni ja oodati järgmist generaatori automaatset seiskumist või mitteseiskumist. Kui pikemal vaatlusel selgus, et juhtumid olid seotud välistemperatuuri ja seega ka aku temperatuuri muutusega, keskenduti laadimisseadme temperatuurikompensatsiooni funktsioonile ja sellest lähtuvalt generaatori seiskamissätete seadistusele. Probleem süvenes ilmade soojenedes. Prooviti generaatori seiskamist võimalikul akupanga madalamal laetuse tasemel, muutes generaatori seiskamissätet laetuse tasemest *SOC (state of charge)* 95%-lt 80%-ni, see aga ei viinud soovitud tulemusteni. Juhtseadme sätteid generaatori juhtimiseks aku laetuse taseme järgi on esitatud tabelis 2. „*Quiet hour*“ ehk „vaikse tunni“ säte on määratud 23.00 – 6.00, mil parameetreid on alandatud, et generaator võimalikult vähe töötaks.

Tabel 2. Generaatori juhtimise seaded jaanuaris 2018 ja märtsis 2019 sõltuvalt aku laetuse astmest.

Generaatori juhtimise sätteid sõltuvalt aku laetuse tasemest (<i>SOC</i>)			
jaanuar 2018		märts 2019	
käivitub, kui <i>SOC</i> langeb alla, %	45	käivitub, kui <i>SOC</i> langeb alla, %	45
sama „vaikse tunni“ ajal, %	30	sama „vaikse tunni“ ajal, %	30
seiskub, kui <i>SOC</i> ületab, %	95	seiskub, kui <i>SOC</i> ületab, %	80
sama „vaikse tunni“ ajal, %	60	sama „vaikse tunni“ ajal, %	60

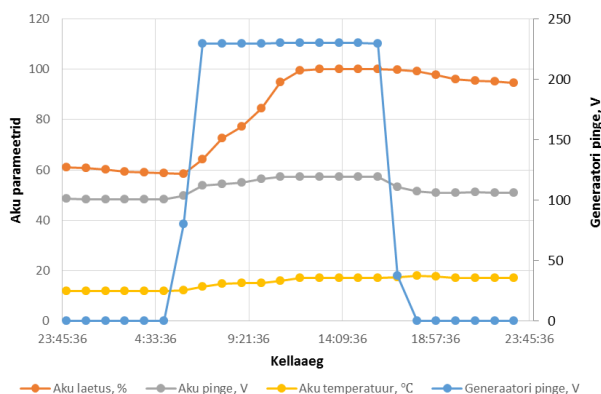
Aku tühjenedes generaator käivitus, selle seiskumine oli aga endiselt ettearvamatu. Lisaks on selline mittetäielik laadimine ka akupanga elueale negatiivse mõjuga [5]. Järgnevalt pöörati tähelepanu akude ja välisõhu temperatuuri ning ebanormaalse režiimi ilmnemise võimalikele seostele. Temperatuurikompensatsiooni funktsioon on inverter-laadijasse sisse ehitatud ning see tõstab laadimispinget temperatuuri alanedes kindla algoritmi järgi. Kuigi akutootjate soovitusel on mõneti erinevad, siis temperatuuri kompensatsioon $-4 \text{ mV} / ^{\circ}\text{C}$ elemendi kohta on üldiselt vastuvõetav väärtus. See tähendab antud jaama 48 V nimipingega akupatareile -96 mV ühekraadise temperatuuritõusu kohta [5]. Akude eluea suhtes on antud funktsioon hädavajalik. Kogu informatsiooni akupanga kohta mõõdab akumonitor VE BMV-702 ning edastab selle juhtseadmele VE Color Control GX. Lisaks muude juhtimis- ja jälgimisfunktsioonide täitmisele käivitab juhtseade ka generaatorit vastavate parameetrite ettemääramisel. Selleks saab valida kas aku laetuse astet või aku pinget.

Samuti saab sätestada ka samaaegselt mõlema parameetri jälgimist, kuid sätte ületamisel toimub mõlemasuunaline juhtimine vaid ühe parameetri järgi. Kui generaatori juhtimine käivitub aku laetuse taseme järgi, siis toimub nii generaatori sisse- kui väljalülitamine sama parameetri järgi. Kui aga saavutatakse pinge tingimus, toimub samuti nii sisse- kui väljalülitumine pinge sätteväärtuse alusel. Mõlema tingimuse sätestamisel arvestatakse käivitamisel küll mõlema sättega, kuid seiskamisel võetakse arvesse vaid generaatori käivitanud parameetri sätet. See tähendab, et kui generaator käivitus pingesättest ning mõne aja pärast laetuse taseme tingimus on küll täidetud, kuid aku pinge pole siiski nõutavale tasemele tõusnud, siis generaator ikkagi ei seisku. Tabelis 3 on esitatud juhtseadme sätted generaatori juhtimiseks sõltuvalt aku pingest.

Tabel 3. Generaatori juhtimise seaded jaanuaris 2018 ja märtsis 2019 sõltuvalt aku pingest.

Generaatori juhtimise sätted sõltuvalt aku pingest			
jaanuar 2018		märts 2019	
käivitub, kui aku pinge langeb alla, V	47,0	käivitub, kui aku pinge langeb alla, V	47,0
sama „vaikse tunni“ ajal, V	46,0	sama „vaikse tunni“ ajal, V	46,0
seiskub, kui aku pinge ületab, V	56,7	seiskub, kui aku pinge ületab, V	56,6
sama „vaikse tunni“ ajal, V	55,0	sama „vaikse tunni“ ajal, V	55,0

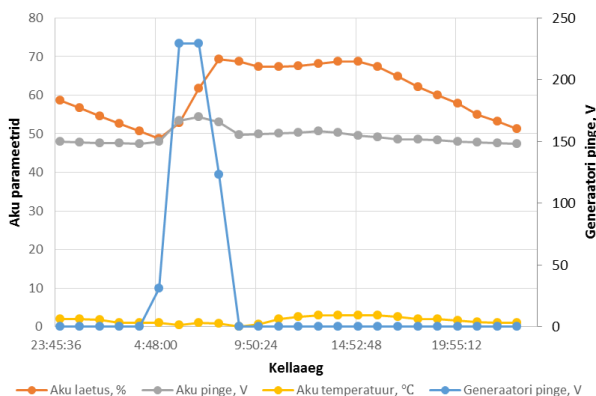
Et sätestatud oli generaatori juhtimine nii pinge kui *SOC* järgi, siis lubatud tühjenemissügavuse muutmisega generaatori juhtimisele mingit mõju ei avaldatud. Kuna pingesäte oli seadistatud jahedamate ilmadega ning aluseks sai aku pinge mõõtmine, siis generaatori seiskamissätteks oli 56,7 V. Akupanga nimipinge on 48 V. Peale ilmade soojenemist muutus olukord ja temperatuurikompensatsiooni algoritm laadimisel enam sellist pingelisa ei kasutanud, mistõttu aku pinge ei jõudnud kunagi nõutud väärtuseni. Olukorra paranemisele viis kõigest pingesätte 0,1 V võrra langetamine. Uueks sätteks sai 56,6 V.



Joonis 1. Generaatori mitteväljalülitumist iseloomustav graafik aku temperatuuril 12...18 °C (10.10.2018). Allikas: [6]

Joonisel 1 esitatud graafikul on kirjeldatud protsesse jaamas, mis leidsid aset oktoobris 2018, kui aku temperatuur ööpäeva lõikes oli vahemikus 12...18 °C,

generaatori seiskamine toimus manuaalselt. Graafikult joonisel 2 on selgelt välja loetav samade sätetega generaatori töörežiim veebruaris 2018, mil aku temperatuur ööpäeva lõikes oli vahemikus 1...3 °C ja generaatori seiskumine toimus automaatselt.



Joonis 2. Generaatori ootuspärane töörežiim aku temperatuuril 1...3 °C (6.02.2018). Allikas: [6]

Samuti tuleb tulevikus arvestada võimalikku aku vananemisest tingitud mõningast klemmpinge alanemist, mistõttu võib taas esineda generaatori seiskumistõrkeid. Ka sel juhul saab olukorra normaliseerimiseks kasutada generaatori seiskamissätte muutmist.

TULEMUSED JA ARUTELU

Akupanga laadimisloogikas temperatuurikompensatsiooni olemasolu tõttu oli juhtseade generaatori juhtimise osas valesti sätestatud. Generaatori seiskamise pingesätte muutmine juhtseadmes viis oodatud olukorrani ning akupank laadus piisava pingetasemeni, mil generaatori seiskamise automaatika töötas ootuspäraselt. Kui jahedamast ilmast tingituna temperatuurikompensatsiooni rakendamisel tõsteti 48 V nimipingega akupanga laadimispinget, siis soojematel ilmadel ilma temperatuurikompensatsioonita nõutava pingeparameetriteni aku pinge ei tõusnud. Kuna generaator käivitus pingesättest, siis ka seiskamine oli määratud aku pingeväärtusega. Soojemate ilmadega aku pinge generaatori seiskamiseks vajaliku sätteväärtuseni lihtsalt ei küündinud ning generaator ei seiskunud. Ebaselgemaks muutis olukorra ka *quiet hour* ehk vaikse tunni säte. Selleks on määratud öine aeg 23.00 – 6.00 ning kõiki parameetreid on alandatud, et generaatori tööaega vähendada.

Generaatori seiskamiseks vajaliku pingesätte alandamisel saavutati laadimisel generaatori seiskamiseks nõutav aku pinge väärtus. Kuna generaatori käitamiseks vajaliku sisepõlemismootori töötamiseks on vajalik kütus, siis generaatori seiskumistõrke korral on arvestatav liigne kütusekulu. Aastane kütusekulu aastal 2017 oli 804 liitrit, millest oma osa oli ka eelpool kirjeldatud konfiguratsiooniveal. Generaatori tunni kütusekulu on generaatori tootja andmete järgi 3,2...6,2 liitrit sõltuvalt koormusest [7].

KOKKUVÕTE

Antud valdkond on pidevas arengus ja kindlasti on tulevikuvaates täiendava uurimise vajadus. Artiklis kirjeldatud uurimuse olulisemaks tulemuseks on akupanga ja varugeneraatori omavaheline konfiguratsiooniline sobitatus, millega välditakse varugeneraatori liigselt pikad töötamised akupanga laadimisel, kuna generaatori poolt teostatava laadimistsükli lõpetamiseks vajalike näitajate saavutamine soojemate ilmadega on mõningatel juhtudel raskendatud just seoses temperatuurikompensatsiooni vähenemisega. Soovituslik on generaatori seiskamise tingimuseks valitav aku pingeväärtus valida selliselt, et ka välistemperatuuri tõustes viiakse akupanga pingegeneraatori seiskamiseks nõutavale tasemele. Tuleb arvestada, et generaatori käivitamiseks saab määrata tingimuseks aku laetuse taseme (*SOC*) ja/või aku pinget. Sealjuures toimuvad nii sisse- kui väljalülitamine sama parameetri järgi ning sel juhul teist parameetrit ei arvestata.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] AS Eesti Energia, "Energiahindade tõus." [Online]. Available: <https://www.energia.ee/et/uudised/avaleht/-/newsv2/2019/01/10/detsembris-pusisid-elektrihinnad-novembriga-sarnasel-tasemel->.
- [2] M. Mahlapuu, Päikeseelektrijaama toodangu simulatsioon ja majanduslik analüüs linnatingimustes asuvatel hoonetel. Tallinna Tehnikaülikool. Tallinn, 2014.
- [3] M. Salem, "Elamu autonoomne elektrivarustusüsteem," Tartu, 2017.
- [4] Taastuenergia OÜ, "Taastuenergia.ee." [Online]. Available: www.taastuenergia.ee.
- [5] R. Vader, *Energy Unlimited*. .
- [6] "Nihujärve päikeseelektrijaama juht- ja seireseade." .
- [7] "Genset Inmesol AK-030 technical sheet." [Online]. Available: <http://www.inmesol.com/gensets/more-information/AKI0030540T3110050M>.

Lõiketugevuse analüsaatori arendamise võimalused

A.Tooming

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

Kreutzwaldi 56, 51014, Tartu, Eesti

Abstract. The aim of this thesis was to analyse the way how to build up meat cutting strength analyser. Document describes different measurement methods, like Warner-Bratzler and Gravitational Impulse methods. The overview of analyser structure is given. Results of the analysis the use of Gravitational impulse method with Nation Instruments USB-6008 I/O control module and processing software with user interface that is based on the NI LabVIEW environment.

Keywords: Warner-Bratzler method, Gravitational impulse method, Meat, Controller, Nation Instruments, LabVIEW.

SISSEJUHATUS

Omadustelt on veiseliha sitke struktuuriga. Et veiseliha muutuks pehmemaks ja oleks paremate maitseomadustega on vaja liha laagerdada. Õige laagerdumine on võtmetähtsuga lihatoote kvaliteedi tagamisel.

Veiseliha optimaalse laagerdusaja ja kvaliteedi määramisel kasutatakse toote töötlemise protsessis erinevate füüsikaliste suuruste mõõtmist. Üheks toote kvaliteedi hindamise oluliseks parameetiks on liha struktuuri ehk õrnuse määramine. Liha õrnuse määramise enamlevinud meetoditena kasutatakse subjektiivset organoleptilist hindamist ja objektiivse meetodina kasutatakse lõiketugevuse määramist[2].

Lõiketugevuse määramise meetoditest on enamlevinud Warner-Bratzler meetod (WB). Alternatiivse lahendusena saab kasutada gravitatsioonilise impulssmeetodiga (GIM) lihatoodete lõiketugevuse määramist, mida on uuritud erinevates Eesti Maaülikooli teadustöodes.

Antud uurimistöö eesmärk on täpsustadamagistritöös kasutatava lõiketugevuse määramise seadme arendamiseks sobivaimaid meetodeid ja komponente.

MATERIAL JA METOODIKA

Lõiketugevuse määramine Warner-Bratzlermeetodil seisneb liha lõikamiseks vajaliku jõu dünaamika mõõtmises. Antud meetodi järgi lõigatakse uuritavatest lihätükkidest teimid 1,27cm läbimõõduga. Teimid läbistatakse keskkohast konstantsel kiirusel (200 või 250mm/min) liikuva lõiketeraga.[2]

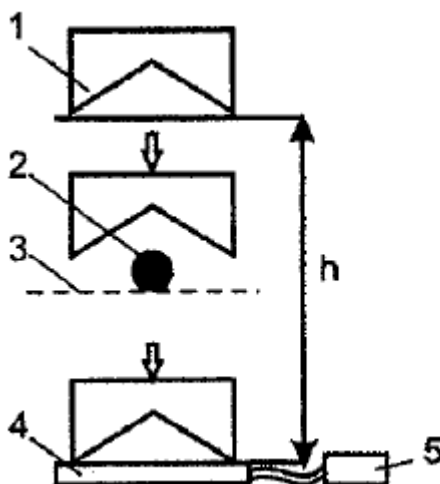
Joonisel 1 on näidatud teimi lõiketugevuse määramine WB meetodil põhineva seadmega. Vasakpoolsel pildil kujutatakse tera asendit enne mõõtmise algust. Keskmisel pildil läbib tera teimi. Parempoolsel pildil on näidatud läbistatud teim.



Joonis 1. Teimi lõiketugevuse määramine WB meetodil. Allikas: [2]

Figure 1. Meat texture analyzing with Warner-Bratzler (WB) method. Source: [2]

Alternatiivne lõiketugevuse määramise meetod on gravitatsiooniline impulssmeetod (GIM), mis seisneb jääkjõu mõõtmiselteimi keskelt läbistava vabalt liikuva tera langemisel jõuandurile.



Joonis 2. GIM meetodi põhimõtteskeem. Allikas: [3]

Figure 2. Schematic diagram of GIM method. Source: [3]

Joonisel 2 on toodud GIM meetodil põhineva seadme töö põhimõtte skeem, kus tera (1) langeb vabalt kõrguselt h ja läbib uuritava teimi (2), mis on paigaldatud fikseeritud alusele (3). Teimi läbides tera kiirus väheneb ja tera langedes jõuandurile on võimalik mõõta jääkjõudu. Saadud andmete põhjal on võimalik arvutada lõikeenergia. [4]

TULEMUSED JA ARUTELU

Warner-Bratzler (WB) meetod on enamlevinud, kuid selle lahenduse miinuseks on aeglane töökiirus ja kallis hind. Kiire ja odavama lahendusena saab kasutada gravitatsioonilise impulssmeetodiga (GIM) lihatoodete lõiketugevuse määramist. Gravitatsioonilise impulssmeetodiga lihatoodete lõiketugevuse määramist on uuritud

erinevates Eesti Maaülikooli teadustöodes. Nende uurimuste tulemustena võib väita, et antud meetodika on kasutatav ja lahenduse edasiarendamine on otstarbekas[2].



Joonis 3. GIM seadme struktuurskeem.

Figure 2. Structure diagram of GIM method

Joonisel 3 on toodud GIM meetodil põhineva mõõteseadmestruktuurskeem, kus seade on jagatud neljaks erinevaks osaks: mehaaniline osa koos lõiketeraga, jõuandur jääkjõu registreerimiseks, juhtkontroller jõuanduri signaali digitaalseks muutmiseks ja arvutitarkvara andmete analüüsimiseks koos kasutajaliidese.

Lõiketeraga mehaanilise osa lahendamisel on otstarbekas kasutada mõttevea vähendamiseks vabalt langeva tera korral sellist lahendust, kus tera liikumisel, oleks minimaalsed mehaanilised takistused ja hilisemad kulumisest tungitud liikumistakistused.

Jõuandurina on võimalik kasutada pieso ja tensoandureid. Juhtkontrolleri valimisel tuleb lähtuda seadme funktsionaalsusest ja standardsete liideste olemasolust ning Windows operatsioonisüsteemiga ühilduvusest. Tarkvara platvormi valimisel tuleb lähtuda kasutajaliidese ja analüütilise tarkvara loomise ning kasutamise lihtsusest.

JÄRELDUSED

Arvestades eelpooltoodut on veiseliha lõiketugevuse määramise analüsaatori mõõtmismeetodiks otstarbekas valida GIM meetod, kuna antud lahendus on enimkasutatud WB meetodist kiirem ja odavam[2].

GIM meetodil põhineva analüsaatorimehaanilise osa lahendamisel võiks kaaluda tera liigendvarre alumise osa (liigendvarre ülemine osa liigub vabalt koos teraga) kinnitamist samale tasandile jõusensori plaadiga selliselt, et vertikaalses olekus tera liiguks raskusjõu mõjul liigendvarre raadiusega vastu jõusensorit.

Analüsaatori juhtkontrolleri ja tarkvaralahendusena on otstarbekas kasutada multifunktsionaalset sisend-väljundmoodulit National Instruments USB-6008, mis ühildub Windowsi operatsioonisüsteemiga kasutades USB ühendusliidest ja seadmedraiverit NI-DAQmx [5]. Antud moodul on töökindel tööstuslik lahendus, mida on võimalik kasutada LabVIEW tarkvaraga üle NI-DAQmx seadmedraiveri. Labview tarkvaraga saab teha ise installeeruva exe faili, mis sisaldab seadmedraiverit, analüütilist tarkvara ja kasutajaliidest. Sellise lahenduse korral on kasutajal vaja arvutisse paigaldada vaid üks tarkvara.

KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Ülle Jaakma, Merike Henno, Marko Kass, Hanno Jaakson, Mihkel Jalakas, Toomas Orro, Mati Roasto (2013) "Laagerdamisaja mõju lihavedelike liha kvaliteedile", Artikkel, Eesti Maaülikool, 70-80lk [Online] Available:
<http://vl.emu.ee/teadusinfo/oppepaevad/terve-loom-ja-tervislik-toit-2013/> [Accessed: 31 03 2019].
- [2] Sarapuu, R (2014). "Gravitatsioonilisel impulssmeetodil GIM) töötava liha lõiketugevuse analüsaatori juhtkontrolleri väljatöötamine", Diplomitöö, Eesti Maaülikool, 58lk [Online] Available:
https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/1871/Sarapuu_Ranel_2014.pdf?sequence=1 [Accessed: 31 03 2019].
- [3] A. Põldvere, L. Lepasalu, A. Tänavots, J. Olt, U. Sannik, A. Sats, R. Saar, R. Martinson and V. Poikalainen, "An alternative method for meat shear energy estimation during ageing" Agronomy Research, vol. 12, no. 3, pp. 793-800, 2014.
- [4] SA Eesti Teadusagentuur. Eesti teadusinfosüsteem, publikatsioonid. [Online] Available:
<https://www1.epa.ee/patent/data.asp?NroParam=P201400011&ID=X553906&NID=&offset=&HKR=> [Accessed: 31 03 2019].
- [5] Nation Instruments. USB-6008 spetsifikatsioon[Online] Available:
<http://www.ni.com/pdf/manuals/375295c.pdf> [Accessed: 31 03 2019].

Inverteri juhtimine Labview tarkvara abil

A.Tsaussov¹, E. Jõgi¹

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

Abstract. Abstract. This article describes how to control the inverter with LabVIEW software. Document describes the communication capability of the device and the principle of control of the equipment used. Made description, which contains construction of data exchange network, equipment overview, data format, and data acquisition system operation algorithm, which takes data file, use it to control synthetic generator and in the end of process export data to database. Also made an overview of the data acquisition with description used elements and the processing of the resulting data using LabVIEW. Justified the choice of LabVIEW elements and their terms of use. The system is used as part of the data acquisition system of the test apparatus and the researches of renewable energy sources.

Keywords: synthetic generator, energy management, data communication.

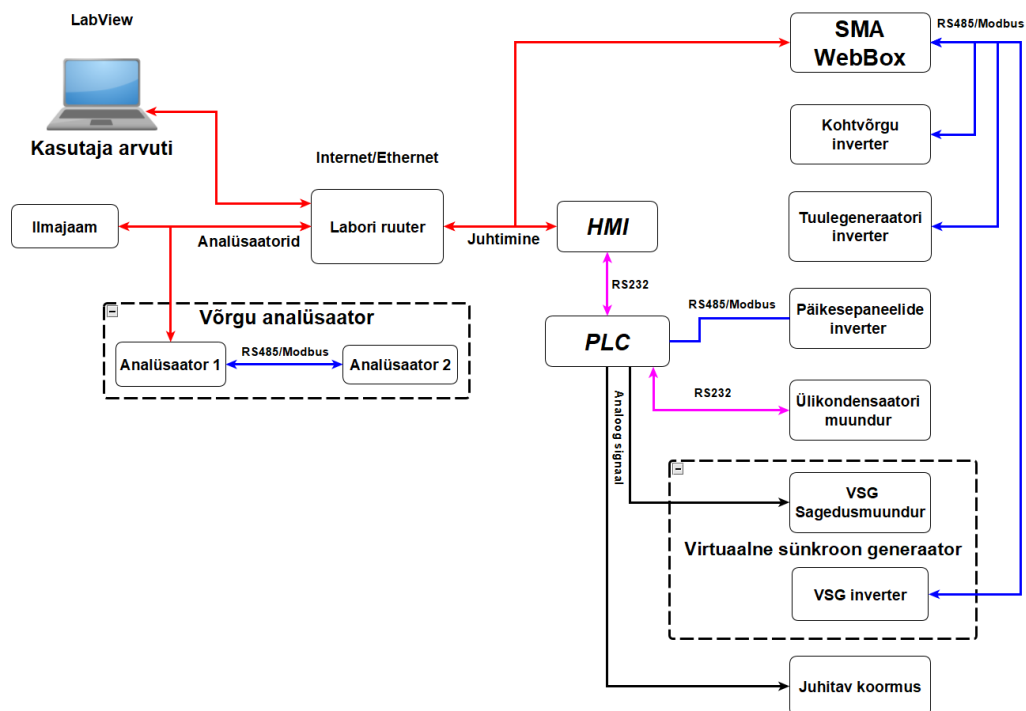
SISSEJUHATUS

Tänases maailmas energiatootmine taastuenergia allikate (TEA) energia-muundamise seadmete kasutamisel on väga kuum teema. Põhjused on erinevad: alates maakera õhkkonda parandamisest kuni banaalse raha teenimiseni. Oluline moment on see, et ei ole laialt levinud info, mida toob kaasa energiatootmis protsess TEA kasutamisega. Vaatamata, et energiamuundamine TAE kasutamisel vähendavad koormus jaotusvõrkudele, tekkib tasakaalustamata moment võrgu inertsi ja pingesagedusega. TEA mikrovõrgu inertsi on väga madal suurte koormuste muutumisel. Inertsi probleemi uurimiseks ja võrgu tasakaalustamiseks võimalik teostada sünteetiline generaatori kasutamise abil. Sarnaseid probleeme ja nende lahendusi on tutvustatud teiste autorite poolt [1, 2].

Selles dokumendis on tutvustatud Eesti Maaülikooli digitaalelektronika labori sünteetilise generaatori seadmete juhtimine ja andmehõive *LabVIEW* tarkvarakeskkonna kasutamisel. Artiklis tutvustatud lahendust võib kasutada TEA mikrovõrkude parameetrite optimeerimiseks.

MATERJAL JA METOODIKA

Seadmete juhtimiseks arvuti või muu riistvara abil, vajalik luua sideühendus võrk või teada kuidas on teostatud ühendused olemas olevas võrgus. Joonisel 1 näidatud Eesti Maaülikooli skemaatiline andmehõive võrgu ehitus, mille alusel loodi *LabVIEW* keskkonnas sünteetilise generaatori seadmete juhtimisprogrammi. Joonisel 1 on näidatud kogu digitaalelektronika labori andmehõive skemaatilist ehitust, et oleks võimalik kujutada ette erinevaid võimalusi sideühenduse loomiseks.



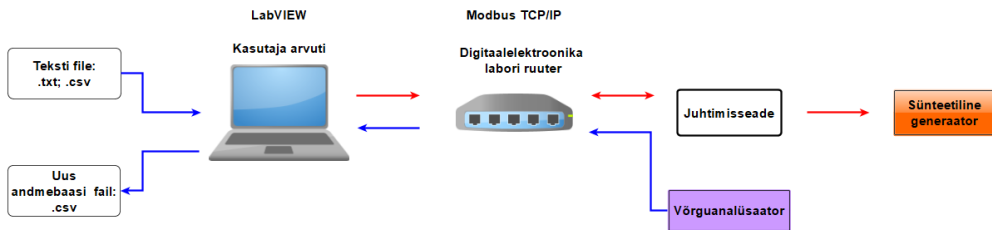
Joonis 1. Digitaalelektronika labori sidevõrgu skeem: punane – Internet/Ethernet; sinine – RS485 (ModBus); lilla – RS232 (serial); must – analoog signaal.

Figure 1. Digital Electronics Laboratory Network: red –Internet/Ethernet; blue - RS485 (ModBus); purple - RS232 (serial); black - analog signal.

Joonisel 1 on näha, et andmehõive võrgustik on keerulise ehitusega ja koosneb erinevatest andmeside standarditest. Erinevad sidestandardite kasutamine teeb andmevahetuse sideloomise protsessi väga keeruliseks. Õnneks maailmas on olemas erinevad tüüpe andmeside konverteerimis seadmeid ja tarkvaralisi lahendusi, mis võimaldavad luua sideühendus erinevate sideprotokollide vahel. Enne seadme ühenduse loomiseks alati tuleb kontrollida sideühenduse protokollid ja aadressi, et ei juhtus õnnetus vale seadme juhtimise tõttu. Sarnane skeem on tutvustatud Eesti Maaülikooli digitaalelektronika labori kasutusjuhendis [3].

Selles dokumendis sünteetilise generaatori ja kasutaja arvuti vahel sideühenduse loomiseks kasutati *Modbus TCP/IP* protokoll. Kõik edaspidised toimingud tehti selle sideühenduse alusel.

Sünteetilise generaatori seadmete juhtimise andmehõive ühenduse skeem on näidatud joonisel 2.



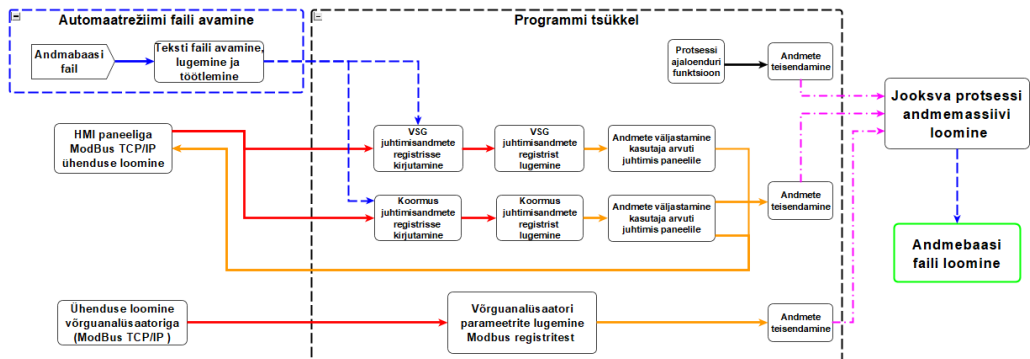
Joonis 2. VSG juhtimise andmehõive skeem: punane – juhtimise käsud; sinine – analüsaatoritest ja failidest saadud andmed

Figure 2. VSG control data acquisition scheme: red - control commands; blue - data from analyzers and files

Joonisel 2 on näidatud andmete liikumine sünteetilise generaatori juhtimisel. Andmebaasi fail loetakse *LabVIEW* tarkvaraga koostatud juhtimisprogrammi sisse. Programmis toimuvad muudatused, et saadud väärtused oleks võimalik *Modbus TCP/IP* protokollil abil edastada digitaalelektronika labori ruuteri kaudu *HMI* (*Human Mashine Interface*) paneelile. *HMI* paneel juhib *PLC* (*Programmable Logic Controller*) analoog ja digitaal väljundid, mis omakorda juhivad sünteetilise generaatori muundurit.

Sünteetilise generaatori juhtimisel võrguparameetrite andmete kogumiseks, kasutati võrguanalüsaatoreid. Analüsaatorid toetavad *Modbus TCP/IP* andmevahetus protokollil, mille abil toimub andmevahetus kasutaja arvutiga. *LabVIEW* programmis koostati funktsiooni, mis töötleb saadud *Modbus TCP/IP* andmepakete ja salvestab saadud tulemusi *.csv* failina.

Sünteetilise generaatori juhtimisprogrammi funktsionaalne skeem on näidatud joonisel 3.

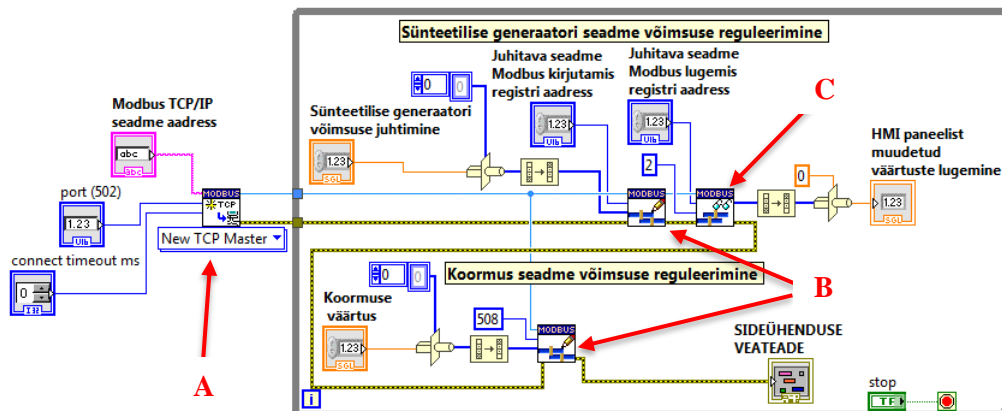


Joonis 3. Sünteetilise generaatori seadmete juhtimisprogrammi funktsionaalne skeem: punane – juhtimise käsud; sinine – automaat režiimis kasutatavad juhtimise käskude väärtused; oranž – kogutud andmete väärtused; lilla – üheks andmetüüpiks teisendatud väärtused

Figure 3. Functional scheme of control program for synthetic generator equipment: red – control commands; blue – values of control commands used in automatic mode; orange – values of collected data; purple – values converted to one data type

Joonisel 3 esitatud skeem kirjeldab üldist programmi töötamise loogikat ja funktsioonide ehitust. Loodud sünteetilise generaatori seadmete juhtimisprogrammis

kasutati *LabVIEW* keskkonnas kolm tüüpe elemente, ehk andmebaasi andmetöötlus elemendid, sideühenduse loomise elemendid ja andme tüüpide töötlemis elemendid.



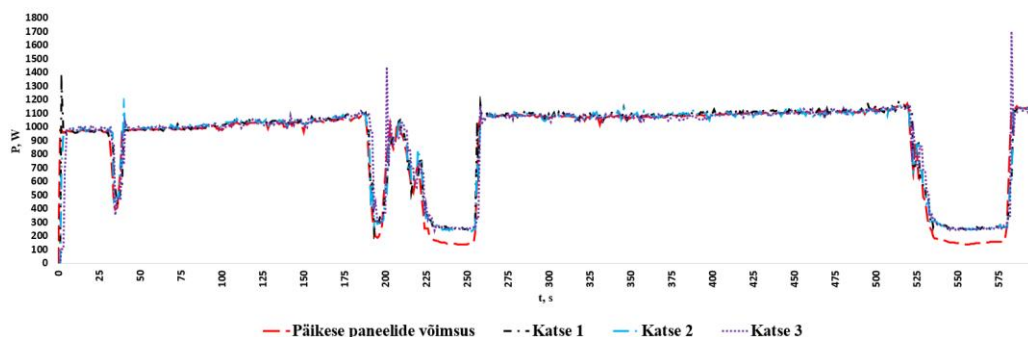
Joonis 4. Sünteeilise generaatori seadmete juhtimisprogrammi skeem: A – Modbus ühenduse loomiseks funktsionaalne moodul; B – Modbus registritesse kirjutamise moodulid; C – Modbus registritest lugemise moodul

Figure 4. Schematic diagram of the control program for the synthetic generator equipment: A - module for creating a Modbus connection; B - Modbus registers writing modules; C - Modbus registers reading module

Sünteeilise generaatori seadmete juhtimisprogrammi skeem on väga mahukas ja näidiseks joonisel 4 tutvustati sünteeilise generaatori juhtimisprogrammi kergendatud versiooniga, kus toodi välja ühenduse loomine kasutaja arvutiga ja võimsuse juhtimise skeemi ühendused. Joonisel 4 on näidatud, eelnevalt joonisel 3 tutvustatud, skeemi ühenduse loomise ja juhtimise osa. Dokumendis tutvustatav programm omab sarnane sünteeilise generaatori juhtimisprogrammiga ehitust ja erineb, EMÜ digitaal-elektronika labori jaoks loodud juhtimisprogrammist, ainult automaatse režiimiga olemasoluga ja andme faili salvestamise funktsiooniga.

TULEMUSED JA ARUTELU

Sünteeilise generaatori seadmete juhtimisprogrammi abil teostati kontrolltestid. Saadud tulemused andmetöötluse läbimisel vormistati graafiliselt. Graafiline tulemus on näidatud graafiku alusel joonisel 5.



Joonis 5. Sünteetilise generaatori automaatse juhtimise testide tulemused: kriipsjoon – päikesepaneelide võimsusgraafik; kriipspunktjoon – sünteetilise generaatori juhtimise võimsusgraafik katse 1; kriipskakspunktjoon – sünteetilise generaatori juhtimise võimsusgraafik katse 2; punktiirjoon – sünteetilise generaatori juhtimise võimsusgraafik katse 3

Figure 5. Results of synthetic generator automatic control tests: longdash line - solar panel power chart; dotdash line - power generator control power graph test 1; twodotdash line - synthetic generator control power schedule Test 2; dotted line - power generator control power schedule Test 3

Joonisel 5 näidatud tulemus on saadud *LabVIEW* tarkvaralise keskkonna juhtimisprogrammi abil. Võrdluseks on päikesepaneelide graafik, mis on näidatud kriipsjoonega. Joonisel 5 on näha, et järsu võimsuse muutumisel sünteetiline generaator ei suutnud ennast välja reguleerida, mis ei ole juhtimisprogrammi viga, vaid on sünteetilise generaatori ehituslik probleem. Teostatud kolme katsete tulemused on suhtelised stabiilsed püsivad võrdlusgraafiku suhtes, mis on väga hea tulemus juhtimisprogrammi jaoks. Antud tulemus näitab, et kirjeldatud andmehõive skeem on koostatud õigesti ja *LabVIEW* abil koostatud seadmete juhtimisprogramm töötab korrektselt.

JÄRELDUSED

Dokumendis tutvustati Eesti Maaülikooli digitaalelektronika labori andmehõive võrgu ehitust, mis on võetud aluseks sünteetilise generaatori seadmete juhtimisprogrammi koostamiseks. Vaatamata sünteetilise generaatori ehituslike probleemidele, koostatud sünteetilise generaatori seadmete juhtimisprogramm näitas häid tulemusi testimise käigus ja on võimeline imiteerida TEA energia muundamiseseadmeid. Sünteetiline generaatori juhtimisprogrammi võib kasutada abiriistana taastuvenergia allikate edasiarendamise uuringutes.

KIRJANDUS

- [1] J. Liu et al., 'A hybrid AC/DC microgrid control system based on a virtual synchronous generator for smooth transient performances', *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 162, no. March, pp. 169–182, 2018 [Online]. Available: 10.1016/j.epr.2018.05.014.
- [2] O. Noro et al., 'Decentralised and interlink-less power interchange among residences in microgrids using virtual synchronous generator control', *Appl.*

Energy, vol. 228, no. March, pp. 2437–2447, 2018[Online].

Available <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.103>.

- [3] OÜ Energiatehnika, 'EMÜ digitaalelektronika labori energiasüsteem', 3AD.

Eesti elektrivõrkude desünkroniseerimine elektriühendusest BRELL

E. Valgemäe¹, A. Annuk¹, A. Hamburg²

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

²Tallina Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Elektroenergeetika instituut

Abstract. The aim of this thesis was to analyse the risks to the Estonian electricity systems when being connected to the Russian united synchronous area and the risks that may arise, when Estonian electricity systems will be synchronized to the Continental – European electricity network. To be prepared for the desynchronization from the Russian synchronous area, it is necessary first to secure the Estonian national electricity network, to strengthen interconnections between the Member States of the European Union, to ensure national security of supply, sufficient manufacturing capacity and independence of third country electricity exports, energy security and readiness to join the European united electricity market. Thanks to the co-financing of the European Union, step-by-step are Estonia and the other Baltic States moving towards the goal of synchronizing their electrical systems with the Continental Europe electricity grid by year 2025.

Keywords: Estonian electricity system, desynchronization from Russia, synchronization with Continental European electricity grid, security of energy supply, electricity market,

SISSEJUHATUS

Eesti koos teiste Balti riikidega kuuluvad täna veel Venemaa poolt loodud ühtsesse elektrisüsteemi BRELL (Valgevene, Venemaa, Eesti, Läti, Leedu), töötades sünkroonselt Venemaa ühendatud energiasüsteemiga (IPS/UPS). Täna pakub Venemaa Eesti elektrisüsteemide toimimiseks vajamineva sageduse ja ka varustuskindluse [1]. Alates 1. maist 2004. aastast, mil Eesti liitus Euroopa Liiduga (EL), on Eesti jälginud EL energiapoliitikat ning andnud koos teiste Balti riikidega lubaduse ühineda EL õigusele alluvasse sünkroonialasse, desünkroniseerides elektrisüsteemid IPS/UPS ühendusest ja ühineda Mandri – Euroopa elektrivõrgustikuga (CEN) [2].

Eesti elektrisüsteemide desünkroniseerimiseks ühendusest IPS/UPS on vaja eelnevalt tugevdada Eesti siseriikliku elektrivõrku 330 kV ringühenduse, ehitada välja vajalikud ühendusliinid Baltimaade ja teiste EL liikmesriikidega. Esmane vajadus on aga tagada Eesti elektrisüsteemi varustuskindlus ja energiajulgeolek.

Tänase seisuga on Eesti ühendatud Venemaaga läbi kolme vahelduvvooluühenduse, võimsusega 800 – 950 MW, Lätiga läbi kahe vahelduvvoolu ühenduse võimsusega 850 MW – 1000 MW ning Soomega läbi kahe alalisvooluühenduse EstLink1 ja EstLink2, vastavalt võimsustega 350 MW ja 650 MW. Lisaks on Leedu ühendatud Rootsiga läbi NordBalt kaabli võimsusega 700 MW ja Leedu – Poolaga läbi LitPol Link1 võimsusega 500 MW [3]. Antud ühendusliinide kaudu on Eesti ühendatud Venemaaga elektrisüsteemiga sünkroonselt ja EL naaberriikidega asünkroonselt, andes Baltimaadele võimaluse osaleda Põhjamaade elektribörsiga Nord Pool (NP) [4]. Naaberriikide vahelised maksimaalsed võimsused, mida omavahel eksportida ja importida, sõltuvad aga nii liinide tehnilisest läbilaskevõimsusest ja

süsteemi stabiilsuse piirist. Sellest tulenevalt on oluline tugevdada nii Eesti siseriiklikku elektrivõrku kui ka naaberriikide vahelisi ühendusliine.

Uurimuse eesmärgiks on hinnata ja analüüsida Eesti valmisolekut desünkroniseerimiseks ühendusest IPS/UPS ning sellega kaasnevaid riske. Milline on Eesti elektrisüsteemide hetkeolukord, milliseid investeeringuid vajab Eesti elektrivõrk ja Baltimaad, millised neist on juba tehtud jaootavad ees ning investeeringute maksumus, et tagada desünkroniseerimisel varustuskindlus. Millised riskid võivad avalduda Eesti elektrivõrkude sünkroniseerimisel CEN ühendusega? Uuritakse ka bilansienergia tootmise võimalusi Läänemere regioonis ja Venemaa süsteemi võimalikku liitumist Euroopa süsteemiga.

MATERIAL JA METOODIKA

Uurimustöö tugineb eelnevalt avaldatud raportite, artiklite, käsiraamatute ja erinevate institutsioonide poolt väljastatud dokumentidel, mis puudutava Baltimaade desünkroniseerimist ühendusest IPS/UPS ja Baltimaade sünkroniseerimist EL õigusega alluvasse sünkroonallas. Erinevaid uurimusi on võrreldud ja analüüsitud, eesmärgiga selgitada välja riskid, mis tulenevad Eesti elektrisüsteemi desünkroniseerimisest ühendusest IPS/UPS.

TULEMUSED JA ARUTELU

Koos Eesti elektrisüsteemide desünkroniseerimisega IPS/UPS ühendusest eraldatakse ka Läti ja Leedu Venemaa sünkroonala. Tänapäevaks on selge, et sünkroniseerimine CEN alasse toimub läbi Leedu – Poola ühenduse, ehitades lisaks olemasolevale kahe – ahelalisele 400 kV õhuliinile, uue alalisvooluühenduse merekaablina. [5]

Desünkroniseerimise protsess on tänase strateegia järgi jaotatud 3 etappi [1]:

1) Esimese etapina saavutada valmisolek Baltimaade eraldi sünkroonala talitlemine avariiolekordades.

2) Teise etapina saavutada valmisolek Baltimaade eraldi sünkroonala talitlemine püsivalt, eraldatuna Venemaa elektrisüsteemist. Investeeringute kohaselt saavutatakse püsiv valmisolek 2025. aasta lõpuks.

3) Viimases etapis on eesmärgiks lõplikult eraldada IPS/UPS sagedusalast ja ühineda CEN sagedusalaga.

Esimese etapi eesmärgini jõudmiseks on Eesti alustanud oma siseriikliku 330 kV ringühenduse loomisega, millest täna on välja ehitamata veel Harku – Lihula – Sindi 330/110 kV kahe – ahelaline õhuliin, mis on ühtlasi osaks Eesti – Läti kolmandast 330 kV ühendusliinist Riia TEC2 – Kilingi – Nõmme, mis tugevdab veelgi naaberriikide vahelist varustuskindlust ja üldist energiajulgeolekut Baltimaades. Rekonstrueeritud on ka kõik sõltumatust tagavad 330 kV pingega sõlmalaamad. Rekonstrueerimist vajavad veel olemasolevad kaks Eesti – Läti 330 kV pingega ühendusliini. Tööd on plaanis alustada peale Eesti – Läti kolmanda ühenduse valmimist 2020. aasta lõpus ja lõpetada 2025. aasta esimese pooles, vahetult enne desünkroniseerimist. [1]

Teise etapi eesmärgini jõudmise üheks peamiseks eelduseks on eduka eralduskatse läbiviimine. Varasemalt on kõik läbiviidud eralduskatsed olnud edukad ja neid on läbi viidud juba alates aastast 1993, kui esimest korda ühendati Eesti elektrisüsteem lahti nii Venemaast kui ka Lätist. Järgmine Baltimaade eralduskatse IPS/UPS sagedusalast pidi toimuma 2019. aasta juunis, kuid on tühistatud Balti põhivõrguettevõtjate poolt 4. veebruari 2019. aasta seisuga, kuna Venemaa planeerib samale ajale Kaliningradi eralduskatset [6].

Juunisse kavandatud eralduskatse oli mõeldud läbi viia oluliselt mastapsemalt, seda nii ajalisel kui ka tehnilisel. Varasemalt pole eralduskatset viidud läbi avanenud turu olukorras, mille puhul on vaja oluliselt täiendada tootmisvõimsusi. Samuti peab eralduskatse näitama sünkroniseerimiseks vajalike piiriüleste ülekandevõimsuste suurus, seda nii Baltimaade, Põhjamaade kui ka Poola vahel. Planeeritud saartalitluse piikuseks on planeeritud 18 tundi ja seejuures jätma Kaliningradi tööle eraldi saarena. Eralduskatse fookus on ka elektrisüsteemi sageduse operatiivse juhtimise protsesside testimine ja elektrisüsteemi erinevatel talitlustel erinevate olukordade stimuleerimine. Kui eralduskatset enne desünkroniseerimist läbi viia ei saa, puuduvad garantiid, et reaolukorras täielikult desünkroniseerimisel IPS/UPS ühendusest, ollakse piisavalt kindlustatud ülekandevõimsustega. [1]

Tänaseks on aga ka teada, et ka Venemaa panustab väga palju oma siseste ülekandeliinide ehitamisele, eesmärgiga saavutada Baltimaade elektrisüsteemidest sõltumatus. Venemaa uute ülekandeliinide valmimisega kaob Venemaal vajadus Balti riikide pakutavatele avariireservvõimsustele, Balti riikidel kaob aga võimalus kasutada täna Venemaalt pakutavaid ülekande – ja avariireservvõimsusi [7].

Kui Venemaa saavutab sõltumatuse enne aastat 2025 võib juhtuda olukord, kus Venemaa soovib ise Balti riigid oma elektrisüsteemist desünkroniseerida.

Kolmanda etapi eeldusi saab täita, kui eelnevad kaks eesmärki on saavutatud ja kindlus varustuskindluse ja sageduse hoidmise võimekuses tagatud.

Nii IPS/UPS kui ka CEN ja Põhjamaad kasutavad elektrivõrgus pingesagedust 50 Hz [8]. Sageduse kõikumised tekivad elektrivõrgu koormuste muutumisest, elektrijaamade ja generaatorite tööst. Sageduse stabiilsus sõltub ka koormuste muutustest ja elektrisüsteemi võimsuste päritolust. Stabiilsuse hoidmiseks peab elektrijaamade poolt toodetud elektrienergia olema võimalikult võrdne tarbitava elektrienergia [8]. CEN ja Põhjamaade sageduse stabiilsust mõjutavad eelkõige taastuvenergiaallikate suur osakaal. IPS/UPS on tänaseni pakkunud Eestile suhteliselt stabiilset sagedust, võttes selle eest sümboolset tasu. Kui Venemaa saavutab aga sõltumatuse Baltimaadest enne aastat 2025 ja desünkroniseerib ennast ise Baltimaadest, võib Venemaa hakata küsima sageduse hoidmise eest ulmelisi summasid, andes lisaks Venemaale võimaluse manipuleerida Baltimaade varustuskindluse ja energiapuudulolekuga [7].

Baltimaade sünkroniseerimisel CEN ühendusega nähakse peamiseks probleemideks sageduse stabiilsuse hoidmist. Selleks on oluline luua Baltimaade, CEN ja Põhjamaade ühine sageduse stabiilsuse hindamise süsteem (FSAS). Baltimaadesse on vaja paigaldada vähemalt neli konverterjaama, neist üks Eestisse ja Lätisse ning kaks Leetu. Baltimaade elektrisüsteemi toimimiseks vajaliku inertsiolemasolu tagatakse läbi olemasolevate hüdroelektrijaamade Lätis ja Leedus ning täiendavalt paigaldavate sünkroonkompensaatoritega. [1]

Baltimaade sünkroniseerimiseks CEN läbi Poola ühendusliinide on vajalik teha järgnevad investeeringud [9]:

- 1) uus Leedu – Poola alalisvoolukaabel maksumusega ca 650 miljonit eurot, pluss 10 % ülekoormusvõimsustele.
- 2) vähemalt nelja konverterjaama paigaldamine, ca 35 miljonit eurot.
- 3) FSAS süsteemi loomine ja olemasoleva alalisvoolu juhtimissüsteemi uuendamine, ca 10 miljonit eurot.
- 4) lisandub veel maksumus Soome – Eesti alalisvooluühenduse kaudu pakutava 100 MW ülekoormusvõimsustele.

Kokku teeb see ca 700 miljoni euro suuruse investeeringu, siia lisanduvad veel Eesti, Läti, Leedu siseriiklikud investeeringud varustuskindluse tagamiseks, millest Eestis tehtavad investeeringud on kaetud valdavalt EL kaasabirahastusega suurusjärgus 140 miljonit eurot [10].

Eesti energiabilansi tagamine toimub koordineeritult IPS/UPS ühendusse kuuluvate süsteemihaldurite juhtimiskeskustega ning tänu Soome – Eesti vahelisele alalisvooluühendustele ka Soome süsteemihaldurite juhtimiskeskusega koostöös. 2018. aastast tagab Balti riikides elektrisüsteemides koordineeritud bilansijuhtimise üks Balti riikide süsteemihalduritest kogu Baltikumi summaarse bilansi tasakaalustamise eest ühtse bilansipiirkonnana. Baltikumi ühisel reguleerimisturul kasutatakse täna kahesuguseid reguleerimisreservide tooteid [11]:

- Standardtoode (*mFRR*), seda pakuvad nii Baltikum, kui ka väljapool Baltikumi tegutsevad reguleerimisteenuse pakkujad ning mis on vastavuses Baltikumi standardtoodetele kehtivate parameetritega.
- Spetsiifiline toode (*ERmFRR*), seda pakuvad nii Baltikum kui ka Baltikumist väljaspool tegutsevad reguleerimisteenuse pakkujad.

Täna on seatud eesmärgiks Põhja – ja Baltimaade ühise reguleerimisturu arendamine ja Põhja – ja Baltimaade reguleerimisreservide alase koostöö edasiarendamine ning sealt edasi juba kogu Läänemere regiooni integreerimine ühtseks reguleerimisturuks [11]. Lõppeesmärgiga luua kogu EL ühine elektrienergia tasakaaluturg, mis põhineb ühtsetel reeglitel.

Täna eelistatakse veel järgmise – päeva kaubandust, mis ei arvesta kõigi ülekandevõimsuste kasutamise võimalustega ehk siis turgude tõhusus on piiratud. Täna on seatud eesmärgiks Põhja – ja Baltimaade ühise reguleerimisturu arendamine ja Põhja – ja Baltimaade reguleerimisreservide alase koostöö edasiarendamine ning sealt edasi juba kogu Läänemere regiooni integreerimine ühtseks reguleerimisturuks [11]. Lõppeesmärgiga luua kogu EL ühine elektrienergia tasakaaluturg, mis põhineb ühtsetel reeglitel.

Täna eelistatakse veel järgmise – päeva kaubandust, mis ei arvesta kõigi ülekandevõimsuste kasutamise võimalustega ehk siis turgude tõhusus on piiratud. Täna on seatud eesmärgiks Põhja – ja Baltimaade ühise reguleerimisturu arendamine ja Põhja – ja Baltimaade reguleerimisreservide alase koostöö edasiarendamine ning sealt edasi juba kogu Läänemere regiooni integreerimine ühtseks reguleerimisturuks [11]. Lõppeesmärgiga luua kogu EL ühine elektrienergia tasakaaluturg, mis põhineb ühtsetel reeglitel.

Täna eelistatakse veel järgmise – päeva kaubandust, mis ei arvesta kõigi ülekandevõimsuste kasutamise võimalustega ehk siis turgude tõhusus on piiratud. Täna on seatud eesmärgiks Põhja – ja Baltimaade ühise reguleerimisturu arendamine ja Põhja – ja Baltimaade reguleerimisreservide alase koostöö edasiarendamine ning sealt edasi juba kogu Läänemere regiooni integreerimine ühtseks reguleerimisturuks [11]. Lõppeesmärgiga luua kogu EL ühine elektrienergia tasakaaluturg, mis põhineb ühtsetel reeglitel.

JÄRELDUSED

Analüüsi tulemusena selgub, et Eesti elektrisüsteemide ühendusest IPS/UPS desünkroniseerimise peamiseks ohuteguriks on ajafaktor, mis mõjutab desünkroniseerimise tehnilisi aspekte, nagu sagedus, siseriiklike ja piiriüleste ülekandeliinide tugevdamine. Ilma eralduskatse läbiviimiseta puudub kindlus Eesti varustuskindlusele ja energiajulgeolekule. Sarnane olukord tekib, kui Venemaa desünkroniseerib oma elektrisüsteemi Baltimaadest enne 2025. aastat ise. Kui õigeaegselt ei suudeta tagada Eesti varustuskindlust, võib Eestile see minna maksma rohkem kui sünkroniseerimine CEN, olukorras kus Venemaa käes on ohjad reguleerida sageduse eest küsitavat hinda.

Sünkroniseerimisel CEN ühendusega on peamiseks riskiks asjaolu, et Eesti satub sünkroonala lõppu, kus Poola – Leedu – Läti järel ollakse ühendusliinide lõpus, mis võib mõjutada Eesti sageduse stabiilsust. Teiselt poolt oleks jällegi tagatud läbi Soome – Eesti ühendusliinide tugev toetus Eestile Põhjamaade elektrisüsteemist. Seda juhul, kui kindlustatakse Soome – Eesti alalisvooluühenduste kaudu 100 MW sagedusabi [11]. Sünkroniseerimise protsessi ettevalmistusega samaaegselt peaksid käima ka tööd bilansienergia võimaluste parandamiseks Läänemere regioonis.

Bilansienergia tootmise võimalustena Läänemere regioonis nähakse eelkõige suurt osakaalu taastuvenergiaallikate. See aga nõuab süsteemis olulisi muudatusi, mis eelkõige võimaldaks taastuvenergia allikate turule sisenemist. Peamisteks muudatusteks oleks riikide süsteemihaldurite suurem koostöö, päevasise kauplemise sulgemisaja viimist 60 minutilt 30 minutile, tasakaalustusperioodi viimine 60 minutilt 15 minutile, mis võimaldaks täpsemalt bilanssi planeerida, toetaks paremini süsteemi sageduse hoidmist ja võimaldaks samade reservide juures rohkemate juhitamatute tootmissageduste (tuulikud, päikeseenergia) lisamist süsteemi. Vältida tuleks paralleelsete siseriiklike ja piiriüleste turgude teket. Oluline on, et kogu regioon töötaks ja jälgiks ühtseid reegleid. [1]

Venemaa võimalikul liitumisel CEN ühendusega oleks peamiseks riskiks Euroopa energiajulgeoleku tagamine, mis on ka piisav põhjendus, et antud liitumist mittesoodsida.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Eesti elektrisüsteemide varustuskindluse aruanne. (2018). Tallinn: Eleringi toimetised. Nr 2/2018. 110 lk. [veebileht] https://elering.ee/sites/default/files/public/Infokeskus/elering_vka_2018_web.pdf (01.04.2019).
- [2] Euroopa Komisjoni teabeleht. (2018). Pressiteade. [veebileht] http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-18-4285_en.htm (01.04.2019).
- [3] Bompard, E., Zalzar, S., Huang, T., Purvins, A., Masera, M. (2018). *Baltic Power Systems' Integration into the EU Market Coupling under Different Desynchronization Schemes: A Comparative Market Analysis. – Energies.* 2018, 11, 1765. [e-ajakiri] https://www.researchgate.net/publication/326625395_Baltic_Power_Systems'_Integration_into_the_EU_Market_Coupling_under_Different_Desynchronization_Schemes_A_Comparative_Market_Analysis (01.04.2019).

- [4] Aruanne elektri- ja gaasiturust Eestis 2017. (2018). Konkurentsiamet. 86 lk. [veebileht] https://www.konkurentsiamet.ee/public/ETI_aruanded/Euroopa_Komisjonile/13._Elektri-_ja_gaasituru_aruanne_2017.pdf (01.04.2019).
- [5] Elering AS uudised (2018). Balti riigid ja Poola käivitasid ametlikult liitumise Mandri-Euroopa elektrisüsteemiga. Tallinn, 24.09.2018. [on-line] <https://elering.ee/balti-riigid-ja-poola-kaivitasid-ametlikult-liitumise-mandri-euroopa-elektisusteemiga> (01.04.2019).
- [6] Elering uudised. (2019). Balti elektrisüsteemi saartalitluse katse läbiviimine lükatakse edasi. Tallinn, 05.02.2019. [on-line] <https://www.elering.ee/balti-elektisusteemi-saartalitluse-katse-labiviimine-lukatakse-edasi> (01.04.2019).
- [7] Kilk, K. (2018). Sünkroniseerimise projekti eesmärgid ja väljakutsed. Desünkroniseerimise ümarlaua presentatsioon. Tallinn, 20. detsember, 2018. [veebileht] <https://elering.ee/sunkroniseerimise-umarlaud> (01.04.2019).
- [8] Oidram, R. (s.a). Balti riikide elektrisüsteemide sünkroniseerimine Euroopa tuumikvõrguga. On see kavandataval kujul otstarbekas? [on-line] <https://www.eees.ee/images/EEES/artiklid/ReinOidramBaltiRiikideSyn.pdf> (01.04.2019).
- [9] Mondovic, A. (2018). Baltic synchronization plan. Desünkroniseerimise ümarlaua presentatsioon. Tallinn, 20. detsember, 2018. [veebileht] <https://elering.ee/sunkroniseerimise-umarlaud> (01.04.2019).
- [10] Elering AS uudised (2019). Elering sõlmib Euroopa Komisjoniga 140-miljonilise sünkroniseerimise rahastamisleppe. Tallinn, 19.03.2019. [on-line] <https://elering.ee/elering-solmib-euroopa-komisjoniga-140-miljonilise-sunkroniseerimise-rahastamisleppe> (01.04.2019).
- [11] Elektrituru käsiraamat. (s.a). [veebileht] <https://elering.ee/sites/default/files/elektrituru-kasiraamat.pdf> (01.04.2019).

ERGONOOMIKA

Erivajadustega inimeste tegevusjuhendajate psühhosotsiaalne töökeskkond ja tervis

Psychosocial work environment and health of special care supervisors

A. Alas¹, E. Merisalu¹

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogia õppetool

Abstract. The aim of this study was to analyse psychosocial risk factors at work and health complaints among the special care supervisors in the last year of employment. The survey was carried out among the employees of a particular organization. The study is based on a company-based general anonymous electronic questionnaire. The questionnaire was compiled on the basis of internationally validated questionnaires and adapted to the target group. The questionnaire consists of 6 parts, in total of 53 questions about work environment, violence at work, motivation, and health. There are a total of n=890 practice supervisors in the target group. The questionnaire was sent to the organisation's human resources manager who shared it with the establishment's online environment, responded 31 employees. The study group consisted in 90,3% women, in average age 46,7±12,3 years, with average total service length 22,1±14 years and in the special welfare service centres 5,8±6 years. The majority are working in full staff, whereas two third of them are working in night shifts and half of them work around-the-clock in the special service centres. The results showed that more than half of the employees have experienced changes in their health state since working as a supervisor. Issues with increased appetite, sleeping problems, migraine and memory problems were most often mentioned health problems. Only single workers noted these issues are disturbing factors and related to work. Most of the respondents must work with high pace and they have poor autonomy on breaks and how and what they do at work. Half of workers had experienced violence at work by clients/patients once per month or almost every day. Majority of them are often thinking about changing job. Although, most of the respondents believe they do important and emotional work with clear goals and they have good cooperation between their colleagues. More than half of them believe they have done their job well.

Keywords: health, motivation, psychosocial risks, special care, supervisors, work character, violence

SISSEJUHATUS

Töökeskkonnas on üheks suurimaks mõjuriks töötavale inimesele psühhosotsiaalne ohutegur, mis väljendub sageli vahetustega töös, keeruliste klientide ja kolleegide ja juhtkonna vaheliste suhete näol.

Tegevusjuhendaja töötab psüühiliste erivajadustega inimestega. Ta toetab psüühilise erivajadusega inimest nende igapäevatoimingutes ning töö- ja huvitegevuste sooritamisel, et tagada neile suurim võimalik iseseisvus ja elukvaliteet. See tähendab kõrget psühhosotsiaalset riski töötajale, mis lisaks kehalistele vaevustele põhjustab ka vaimset ülepinget.

Perminiene jt (2015) uurisid stressiga seotud tervisehäireid ja töökeskkonda Leedu töötajate seas. Peaaegu 40% vastanutest märkisid, et nad olid viimase 14 päeva jooksul

kogenud seljavalusid. Muud levinud sümptomid olid unehäired, kõrvetised, seedeäired, närvilisus, pingelisus või depressioon, peavalu, köha, katarr või flegma ja väsimuse tunne ilma nähtava põhjusega [1]. Seega võib pingeline vaimne töö põhjustada mitmeid terviseprobleeme nagu une-, mälu- ja seedeäired, peavalu, stressi, depressiivsust ja läbipõlemist. Kõik need sümptomid mõjutavad töövõimet ja on elukvaliteedi langetajad nii tööl kui eraelus. Seetõttu on oluline märgata tööiseloost tulenevaid töötajate vaimse pingepõhjusti ja sümptomeid ning mitte lasta neil süveneda.

Uurimistöö eesmärgiks on analüüsida tegevusjuhendajate tööst tulenevaid psühhosotsiaalseid ohutegureid ja tervisekaebusi viimase tööaasta jooksul antud ametis.

MATERIAL JA METOODIKA

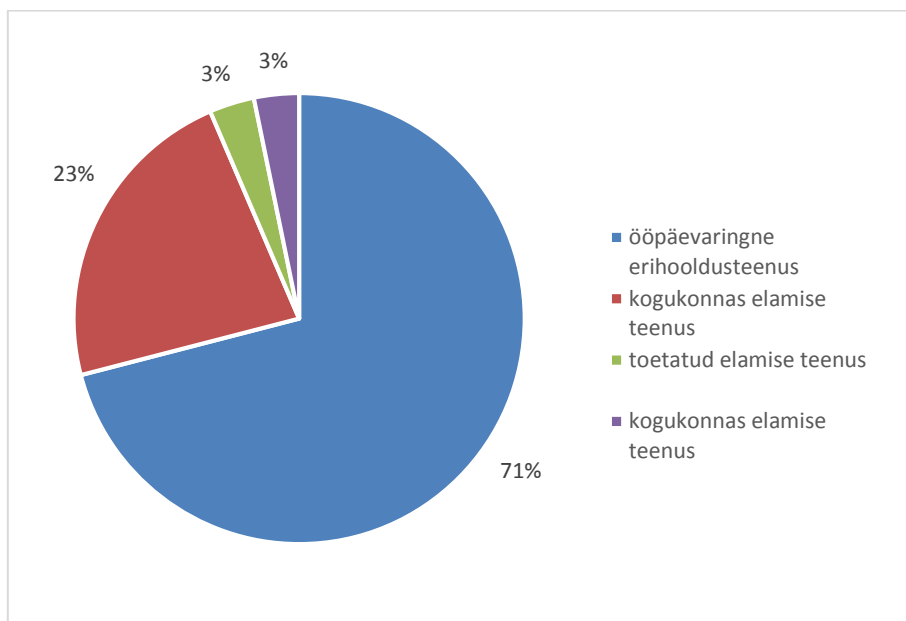
Uuring viiakse läbi psüühiliste erivajadustega inimeste tegevusjuhendajate hulgas 2019 esimesel poolel (märts kuni mai). Uuritavateks on tegevusjuhendajad (n=890) hoolekandeesutuse üksustest (n=28) üle kogu Eesti. Uuritavate valikukriteeriumiks on täisealisus ja vähemalt aastane töökogemus tegevusjuhendajana. Uuringus kasutatud ankeetküsimustik koostati toetudes erialasele kirjandusele ja kasutades eelnevalt rahvusvahelistes uuringutes valideeritud küsimustikke nagu „Tööstressi küsimustik“ (*Occupational Stress Questionnaire: User's Instructions, OSQ*) [2], Kaja Põlluste ja Eda Merisalu „Tervishoiutöötajate rahulolu uuringu“ küsimustik [3,4], „Arstiteaduskonna üliõpilaste tervis Tartu ja Greifswaldi Ülikoolis“ küsimustik [5,6], Kopenhageni psühhosotsiaalsete ohutegurite küsimustik COPSOQ II (*Copenhagen Psychosocial Questionnaire, II*) [7] ja „Töövägivald esmatasandi tervishoius“ (*Occupational based violence in primary health care*) küsimustik [8].

Ankeetküsimustik koosneb 6 osast: üldandmetest (n=3 küsimust), taustaandmed (n=11), tervis ja tervisekäitumine (n=4), töökeskkond (n=20), motivatsioon (n=11), vägivald tööl (n=4). Vastusevariandid olid eelkõige jah/ei vormis, valikvastused ja tabelikujul, kus tervise ja tervisekäitumise ploki esinenud sümptomite haiguste esinemise vastusevariantideks olid „ei ole kogenud“, „jah olen, kuid ei häiri“, „jah olen, segab töö tegemist“, „jah, olen viibinud haiguspuhkusel“ ja „jah, otseselt tööga seotud“. Meeleolu kirjeldavas tabelis oli vastusevariantideks „üldse mitte“, „vähesel määral“, „keskmiselt“, „olulisel määral“, „väga olulisel määral“. Pingeleevendust sai kirjeldada vastusevariantidega „mitte kunagi“, „harva“, „sageli“, „pidevalt“. Töökeskkonna ja motivatsiooni küsimustele sai vastata „üldse mitte“, „pigem vähe“, „mõnikord“, „pigem tihti“, „pidevalt“. Töövägivald reageerimist kirjeldati vastusevariantidega „mitte kunagi“, „vähem kui poolte juhtumite puhul“, „poolte juhtumite puhul“, „rohkem kui poolte juhtumite puhul“ ja „alati“. Küsimustikule vastamiseks kulus umbes 15 minutit. Ankeetküsimustik viiakse läbi *Google Docs* keskkonnas. Ankeetküsimustiku link saadeti asutuse personalijuhile, kes jagas uurimistöö alast infot ja küsimustikku organisatsiooni süsteemi siseses keskkonnas.

Tulemused sisestatakse ja analüüsitakse andmetöötlusprogrammis *Microsoft Office Excel 2010*. Tulemustest esitatakse üldkirjeldavad statistikud (keskmised±SD). Uuringu läbiviimiseks saadi nõusolek AS Hoolekandeesutused esindajalt ning Tartu Ülikooli inimuuringute eetika komiteelt (08.03.2019, protokoll nr. 290/T-18).

TULEMUSED JA ARUTELU

Küsimustikule vastajatest on 90,3% (n=28) naised ja 9,7% (n=3) mehed. Kõik töötavad erihoolekannet vajavate täiskasvanutega. Vastajate keskmine vanus oli $46,7 \pm 12,3$ aastat, kõige noorem uuringus osaleja oli 21 aastat ning kõige vanem 66 aastat vana. Keskmise üldine tööstaaž oli uuritavatel $22,1 \pm 14$ aastat, kõige lühem üldine tööstaaž oli üks aasta ning kõige pikem 49 aastat. Keskmise tööstaaž töötades erihoolekandes oli $5,8 \pm 6$ aastat, kõige lühem üks aasta ning kõige pikem 25 aastat. Vastanud tegevusjuhendajatest 93,8% (n=30) töötavad täiskoormusega. Nii päevases kui ka öises vahetuses töötab 65,6% (n=21) tegevusjuhendajatest, 34,4% (n=10) töötab ainult päevases vahetuses. Kõige enam töötatakse ööpäevaringses erihooldusteenuses (53,1%), kogukonnas elamise teenuses (28,1%) ja ööpäevaringses hooldusteenuses sügava liitpuude korral (15,6%). Uuringus osalejate osakaal vastavalt erihoolekandeesutuse tüübile on toodud joonisel 1.

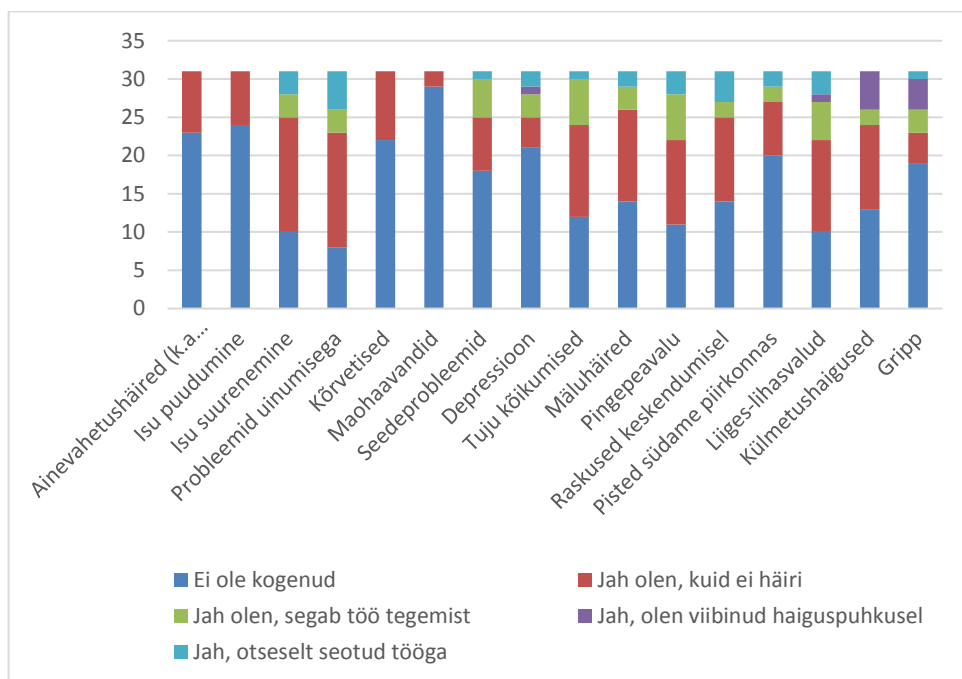


Joonis 1. Erihoolekandeteenuse tüübid (% vastajate osakaal)

Figure 1. Types of special care service (% proportion of respondents)

Vastanutest 26 inimesel (84,8%) on hoolekandeesutus ainsaks töökohaks, viis uuritavat (15,2%) töötavad lisaks veel muul ametikohal. Küsimustikule vastajatest 60% (n=18) usuvad, et on pidevalt teinud oma tööd hästi. Enamus (40%) vastajate arvates on neil vähe sõnaõigust, kellega koos töötavad. Ligi pooled (n=15) tunnevad end pidevalt töökollektiivi osana. Ligi 2/3 vastajatest tunnevad, et saavad vähe mõjutada neile määratava töö mahtu või siis ka üldse mitte. Kaks kolmandikku mõtleivad tihti ja pidevalt ning kolmandik mõnikord uue töökoha otsimise peale. Samavõrd hulgas vastajatest tunnevad, et peavad tihti töötama kiiresti. Uuritavatest 66,7% (n=22) on tajunud muutuseid oma tervises peale erihoolekandesse tööle asumist. Suur osa uuritavatest

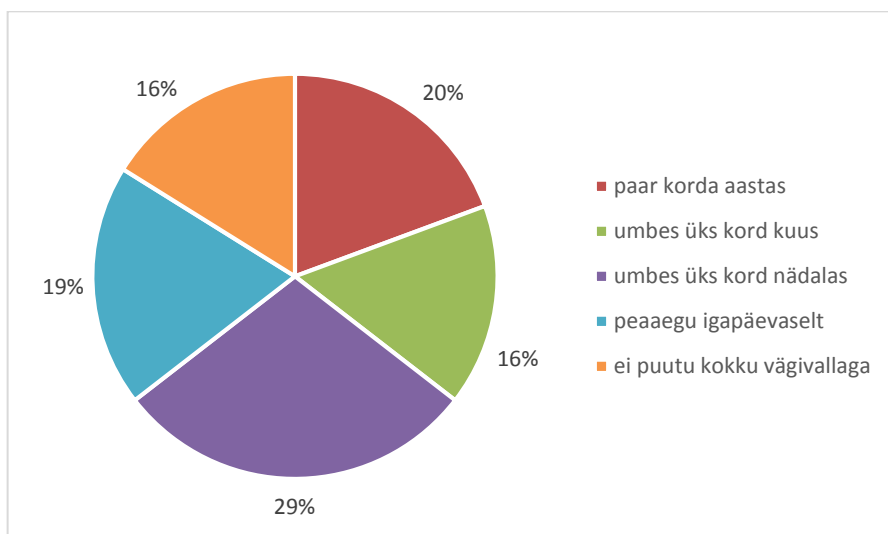
(n=21) on kogunud isu suurenemist. Kolme vastaja sõnul on see seotud otseselt tööga ja kolme vastajat segab sümptom töö tegemist. Kümne vastaja puhul isu suurenemine töö tegemist ei häirinud. Enamus (n=23) nimetas probleeme uinumisega. Üle poolte vastajaist (n=15) mainis, et unehäired ei häiri töötegemist. Viis vastajat pidas unehäireid otseselt tööga seotud sümptomiks, kolm vastajat tööd segavaks asjaoluks. Suurel osal (n=20) esines pingepeavalusid. Neist pooled (n=11) nimetasid peavalu tööd mitte häirivaks ning 6 tööd segavaks. Peavalu otseselt tööga seotud sümptomiks nimetas 3 vastajat. Mäluhäireid esines üle poolte vastajaist (n=17). Mäluhäireid nimetas tööd mitte häirivaks 12 vastajat, tööd segavaks 3 vastajat ning otseselt tööga seotud sümptomiks 2 vastajat.



Joonis 2. Uuritavatel esinenud sümptomid ja haigused (vastajate arv)

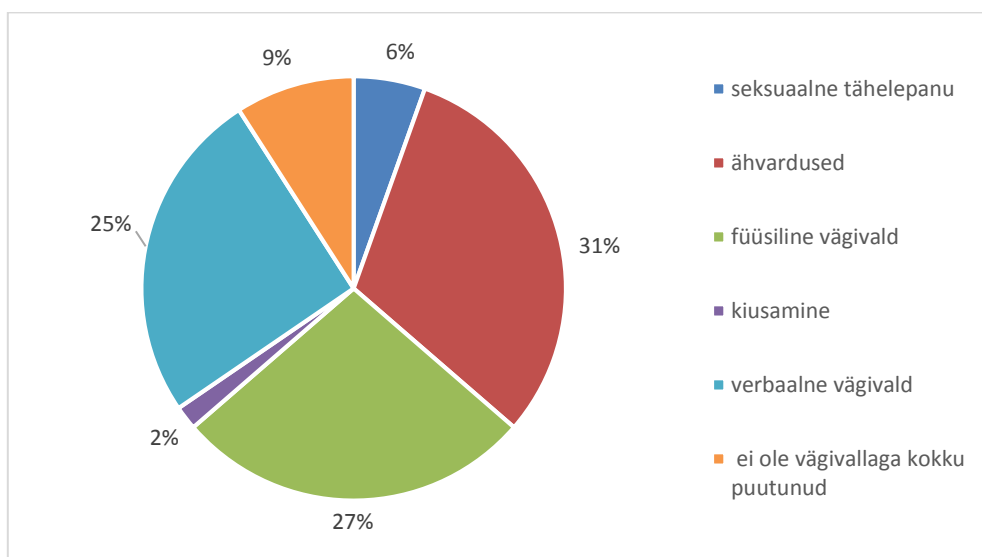
Figure 2. The symptoms and illnesses of the subjects (the number of respondents)

Vägivallaga on puutunud kokku vähemalt kord kuus või tihedamini üle poolte (n=14) vastajaist. Enamasti (92%) osutusid vägivallatsetejateks kliendid/patsiendid. Vägivallatsetejateks märgiti kahel korral ka patsiendi/kliendi perekonda, sugulasi ja kõrvalseisjaid või kolleege.



Joonis 3. Uuritavate kokkupuude vägivallega (% , vastajate osakaal)
Figure 3. Subjects' exposure to violence (% , proportion of respondents)

Enim kogeti ähvardamist 17 korral (31%), füüsilist vägivalda nimetati 15 korral (27%) ning verbaalset vägivalda 14 korral (25%). Vahejuhtumi arutamist kolleegidega „alati“ mainiti kõige rohkem (n=8), sellele järgnes vahejuhtumi raporti täitmine (n=7).



Joonis 4. Enamesinevad vägivalalliigid tegevusjuhendajate suhtes (% , vastajate osakaal)
Figure 4. Most common types of violence used on supervisors (% , proportion of respondents)

Michie ja Williamsi (2015) kirjanduse ülevaates tuuakse välja põhilised faktorid, mida seostatakse vaimse kurnatusega ja haiguse tõttu töölt puudumisega. Nende faktorite hulka kuuluvad kontrolli puudumine oma töö üle, vähene või puudulik osavõtt või kaasamine töölaste otsuste tegemistes, vähene sotsiaalne toetus ning ebaselged

juhtimis- ja tööülesanded [9]. Tabel 1. selgitab tegevusjuhendajate tööeripära- ja motivatsioonifaktoreid.

Tabel 1. Tegevusjuhendajate motivatsioon ja tööeripära (% , vastajate osakaal, n=31)

Table 1. Supervisors' motivation and work specificity factors (% , proportion of respondents, n=31)

Tegurid	Üldse mitte	Pigem vähe	Mõni-kord	Pigem tihti	Pidevalt
Omaalgatuslikkuse vajadus tööl	-	5	15	30	50
Tööl on selged eesmärgid	-	5	20	20	55
Töö, mida teen, on tähtis	-	5	5	30	60
Töö on emotsionaalselt haarav	-	15	10	30	45
Oma oskusi ja erialaseid teadmisi saab töös kasutada	-	-	15	45	40
Meeldib oma tööst teistele rääkida	-	30	30	25	15
Töölase info kättesaadavus	-	10	40	30	20
Töö- ja eraelu konflikt	22	22	33	15	8
Sõprade ja pere arvates töötan palju	25	10	20	15	30

Poolte vastajate puhul eeldab nende töö omaalgatuslikkust ning 55% vastanutel on tööl ka selged eesmärgid. Enamus tajub tihti ja pidevalt oma töö tähtsust ning oma oskuste ja erialaste teadmiste kasutamise võimalust. Oma tööd peab pidevalt tähtsaks suurem osa vastajatest (60%). Alla poole juhtudest (40%) meeldib tihti ja pidevalt oma tööst rääkida. Kolmandik vastajatest tunnevad, et mõnikord mõjutab töö negatiivselt nende eralelu ning viiendik arvab, et liigse ajakulu tõttu tekib tihti ja pidevalt töö-kodu konflikt. Ligi 1/3 vastajatest on märkinud, et nende sõbrad ja pere ütlevad, et nad töötavad pidevalt liiga palju.

JÄRELDUSED

Tegevusjuhendaja töötab psüühilise erivajadusega inimestega, kelle teenindamisel tuleb sageli rakendada erialaseid teadmisi ja oskusi. Sageli töötatakse ööpäevaringselt, aga ka päevases ja öises vahetuses. Enamasti on vähe otsustusvabadust töömahu või töö- ja puhkepauside tegemisel ning töötempo on kõrge. Töö eeldab palju omaalgatust ja kogemusi tulla toime ettearvamatutes olukordades. Kord kuus kuni iga päev tuleb ette ähvardamist, füüsilist ja verbaalset vägivalda klientide poolt. Hoolimata kõrgetele töö nõuetele peetakse oma tööd tähtsaks ja emotsionaalselt haaravaks. Töös on selged eesmärgid. Tööl tuntakse end töökollektiivi osana ning üldjuhul saadakse abi ja toetust oma kolleegidelt. Üle poolte vastanutest on tajunud muutusi oma tervises peale töö alustamist erihoolekandes. Kõige enam mainiti pingepeavalusid, une- ja mäluhäireid ning isu suurenemist. Kuigi enamjaolt ei märgitud esinevaid sümptomeid tööga seotuks või tööd häirivaks, võivad need aja möödudes töö- ja elukvaliteeti mõjutama hakata.

Kuna tegevusjuhendajate töös on palju emotsionaalset, vaimset ja füüsilist pinget, tuleb rohkem pöörata tähelepanu erihoolekande asutuste töö eripärale, vähendades psühhosotsiaalseid riske ja ennetades töötajatel terviseprobleemide süvenemist.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] M. Perminiene, Z. Pauzaitė, E. Vaidelyte, E. Stuopyte, E. Butkeviciene, “Stress-related Health Symptoms and Working Environment of Older Employees in Lithuania”, *Social and Behavioral Sciences*, vol. 205, pp. 157–162, 2015.
- [2] A-L. Elo, A. Leppänen, K. Lindström, “Occupational Stress Questionnaire: User’s Instructions (OSQ)”, Institute of Occupational Health, Helsinki, Finland, 1992.
- [3] K. Lindstrom, “Psychosocial criteria for good work organization”, *Scand J Work Environ Health*, vol. 20, pp. 123–133, 1994.
- [4] E. Merisalu, G. Männik, K. Põlluste, "Quality management and job related factors predicting satisfaction of dental clinic staff in Estonia", *Stomatologija, Baltic Dental and Maxillofacial Journal*, vol. 16, pp. 144-152, 2014.
- [5] E. Merisalu, U. Wiesmann, M. Ilves, K. Haefke, H. J. Hannich, "Cultural differences of perceived subjective health, stress and burnout symptoms of medical students: comparative study of Tartu and Greifswald Universities", *Anniversary Book of 60th anniversary of Hans-Joachim Hannich. Greifswald*, pp. 167–173, 2012.
- [6] T. Freimann, E. Merisalu, “Work-related psychosocial risk factors and mental health problems amongst nurses at a university hospital in Estonia: A cross-sectional study”, *Scandinavian Journal of Public Health* vol. pp. 1–6, 2015. DOI: 10.1177/1403494815579477
- [7] T. S. Kristensen, H. Hannerz, A. Høgh, V. Borg, “The Copenhagen Psychosocial Questionnaire (COPSOQ) - a tool for the assessment and improvement of the psychosocial work environment”, *Scand J Work Env Health*, vol. 31, pp. 438–449, 2005.
- [8] M. Boyle, S. Koritsas, J. Coles, J. Stanley, (2007) “A pilot study of workplace violence towards paramedics”, *Emergency Medicine Journal*, vol. 24 (11), pp. 760–763, 2007. In: M. Türkson, “Patsientide ja nende lähedaste vägivald õdede vastu Eesti piirkondlike ja keskaiglate erakorralise meditsiini osakondades – õdede vaatekohad”, 2017.
- [9] S. Michie, S. Williams, “Reducing work related psychological ill health and sickness absence”, *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 60, pp. 3–9, 2003.

Ergonoomilise jalutuskepi disain osteoartriiti põdevale isikule

S. Ansberg¹, A. Roosoo¹, M-L Štrik-Ott¹, E. Org¹, M. Reinvee¹

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. The aim of the study was to design innovative, ergonomic and market oriented walking cane prototype. Study involved walking cane functionality and market research to understand what is needed to design. A significant portion of walking cane users have osteoarthritis. As people with osteoarthritis can't grasp items with their hand the study concentrated on the handle of the walking cane. Study showed (internet browsing and patent research) that there is not such product on the market what is ergonomic for a person with osteoarthritis. Ergonomic walking cane handle was designed during brainstorming and moulding a model from the plasticine. Plasticine model was used to get 3D graphics. Ergonomic study about handles was used to improve the model in 3D graphics and it was printed out in scale 1:1 with 3D printer. The study showed that the design of the first prototype was successful enough to continue to develop prototype number two in the future.

Keywords: ergonomic design, osteoarthritis, technical aid, walking cane, walking stick, first prototype

SISSEJUHATUS

Jalutuskepp on ajalooliselt täitnud kolme funktsiooni: abivahend liikumiseks, moodne aksessuaar ja kaitse rünnakute eest [1]. Kuna ergonoomika tegeleb inimese elu parendamisega, siis keskenduti uurimustöös jalutuskepale kui abivahendile liikumiseks.

Sihtgrupi uurimiseks kasutati USA-s läbi viidud teaduslikke uuringuid, kust ilmses, et 4,7 miljonit ameeriklast kasutab jalutuskeppi (2,6% populatsioonist). Kõige suurem vajadus jalutuskepi järele on vanemaealistel. Enamike jalutuskepi kasutajate sissetulek on madal (alla 10000\$ aastas). Kõige olulisem info, mis saadi sihtgrupi uurimisel seisnes nende isikute haiguslugudes, mis on näidatud joonisel 1 [2].

	Seisund	Inimesi (x1000)	Osakaal abivahendi kasutajatest (%)
	Kõik seisundid	4,384	100.00
1	Osteoartriit ja sellega seotud tüsistused	976	22.26
2	Tserebrovaskulaarsed haigused	294	6.70
3	Ortopeedilised kahjustused alajäsemetes	270	6.17
4	Ortopeedilised kahjustused seljas või kaelas	226	5.16
5	Intervertebraalse ketta kahjustused	218	4.97
6	Seniilsus ilma vaimuhaiguseta	172	3.92
7	Muud südamehaiguste vormid	152	3.46
8	Reumaatiline artriit ja muu põletikuline polüartropaatia	142	3.23
9	Ortopeedilised kahjustused põlves ja puusaliigeses	132	3.00
10	Roide, luu, liigese või lihase puudumine või kaotus	100	2.29

Joonis 1. Jalutuskepi kasutajate peamised haiguslood [2]

Arvestades, et 4,7 miljonit ameeriklast kasutab liikumise abivahendina jalutuskeppi ja nendest 22,3% põeb osteoartriiti, siis sihtgrupi suurus, kellele luua tootearenduse tulemusena jalutuskepp, mis vastab nende vajadustele, on ümardatult miljon ameeriklast. Kuna sihtgrupp on suur, siis otsustati minna edasi jalutuskepi disainimisega, mis on mõeldud osteoartriiti põdevatele isikutele.

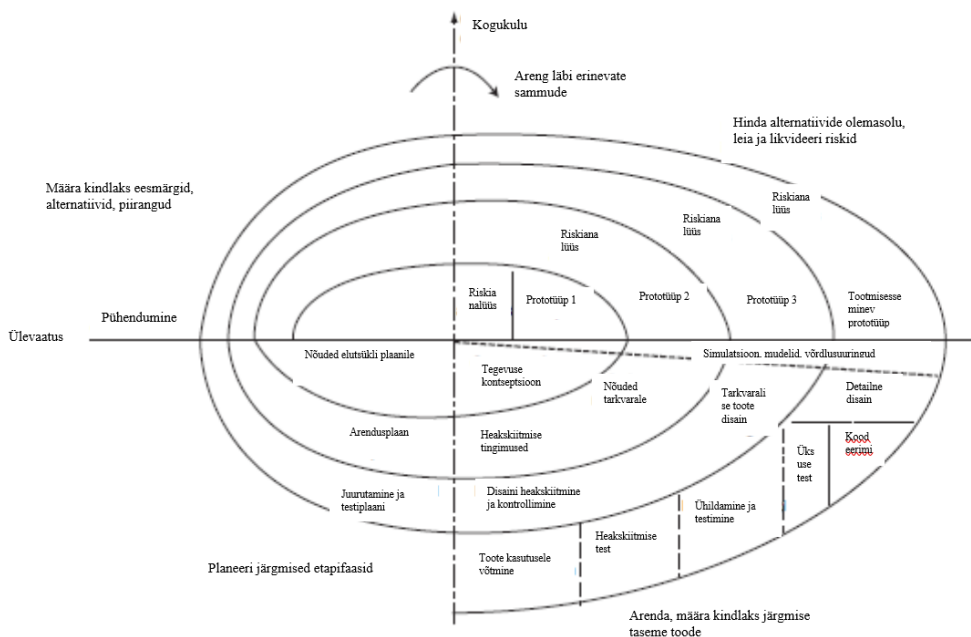
Osteoartriit on liigeste jäikus, mis tekib luid kaitsva kõhre kulumise tagajärjena [3]. Nendel inimestel, kes seda haigust põevad, on raskusi esemete haaramisel ja kinni hoidmisel. Jalutuskepi disainimisel oli peamine arvestada konkreetse sihtgrupi vajadustega (ei saa käega esemest haarata). Seega otsustati keskenduda jalutuskepi disainimise asemel selle käepideme disainimisele.

Uurimustöö eesmärk oli välja töötada osteoartriiti põdeva isikule jalutuskepi käepideme esmane prototüüp, mis vastab turunõudlusele, on ergonoomiline ja oma olemuselt innovaatiline.

MATERJAL JA METOODIKA

Ergonoomilise, turunõudlusele vastava ja innovaatilise jalutuskepi disainimise materjal ja meetodika on koostatud Ergonoomika magistriõppekava kahe aine raames (Toote- ja ergodisain TE.0059 ja Integreeritud tootearendus TE.0241). Uurimustöö eesmärkidest johtuvalt uuriti, mida tähendab turunõudlus, ergonoomilisus ja innovaatilisus.

Tootedisainimise käigus uuriti spiraalmudeli [4] põhimõtteid, esmase prototüübi disainimise käigus jõuti selle esimesse faasi (vt joonis 2.)



Joonis 2. Tootedisainimise spiraalmudel (tarkvara disainimise näitel) [4]

Toote disainimine on sarnane integreeritud tootearenduse mudeliga, mis käsitleb üldjuhul endas järgmisi etappe [5]:

- 1) ideede väljatöötamine;
- 2) idee taustauuring;
- 3) kontseptsiooni analüüs ja testimine;
- 4) ärianalüüs;
- 5) tootearendus;
- 6) turutestimine;
- 7) turundus;
- 8) toote turule viimine.

Eelnimetatud punktidest oli esmase prototüübi valmistamiseks vajalik välja töötada ideed, viia läbi taustauuring ja kontseptsiooni analüüsida. Ülejäänud etappide läbiviimiseks oleks pidanud vastavalt spiraalmudelile välja töötama veel mitmeid prototüüpe.

Ideede väljatöötamiseks uuriti olemasolevaid jalutuskeppide lahendusi, probleemide kohta, miks jalutuskeppe kasutatakse ja missuguseid funktsioone peab jalutuskepp täitma.

Kontseptsiooni analüüsimiseks ja testimiseks viidi läbi *SWOT* analüüs [6].

JALUTUSKEPI DISAIN JA *SWOT* ANALÜÜS

Ideede väljatöötamisel uuriti, missuguseid tooteid on juba täna turul saadaval. Joonisel 3 on näha erinevad alternatiivid [7, 8, 9, 10], mida võib osteoartriiti põdev isik endale täna hankida.



Joonis 3. Osteoartriiti põdeva isiku võimalused jalutuskepi valikul [7, 8, 9, 10]

Sarnaseid valikuid on rohkem, kuid nende ühine tunnus on see, et nendest peab sõrmedega kinni hoidma selleks, et jalutuskepp käes püsiks. Seega ei ole lahendatud ära osteoartriiti põdeva isiku probleem.

Et jalutuskepp käes püsiks töötas töögrupp välja järgnevad ideed:

- 1) paigaldada jalutuskepi käepidemele takjakinnitusega riba, millega saab käe fikseerida käepideme külge;
- 2) paigaldada jalutuskepi käepidemele muu sarnane fikseerimise abivahend (kiirkinnitus);
- 3) disainida toode, mis ei kuku käest ka siis, kui sellest ei saa kinni haarata.

Arvestades, et olemasolevatele lahendustele abivahendi lisamine (takjakinnitusega riba, kiirkinnitus vms) ei ole innovatsioon ja seda patenteerida ei ole võimalik, siis keskenduti antud ainetöö käigus toote disainimisele, mis täidaks sihtgrupi vajadused.

Patendiuuringu viidi läbi keskkonnas *Espacenet* [11]. Saadud tulemused on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Patendiuuringu tulemused *Espacenet* andmebaasi abil [11]

Otsingu number	Märksõna	Tulemused maailmas
1	<i>Walking cane</i>	192
2	<i>Walking stick</i>	3 380
3	<i>Walking cane handle</i>	6
4	<i>Walking stick handle</i>	95

Patendiuuringu tulemusi lähemalt uurides (käepidemete osas) selgus, et osteoartriiti põdevale isikule jalutuskeppi, kus inimene käega ei peaks käepidemest kinni haarama, ei leidunud.

Selleks, et valmiv toode arvestaks inimese antropomeetriliste mõõtmetega, kasutati käepideme disainimisel modelleerimise meetodikat. Modelleerimine on olemasolevate või kujutletavate objektide (esemete, nähtuste ja protsesside, seoste ja sõltuvuse) tunnetamise, fikseerimise, talletamise ja vahendamise meetod [12].

Modelleerimiseks kasutati plastiliini, mida oli võimalik ümber käe kõige sobivamal viisil voolida. Joonisel 4 on näidatud plastiliiniga käepideme modelleerimine.

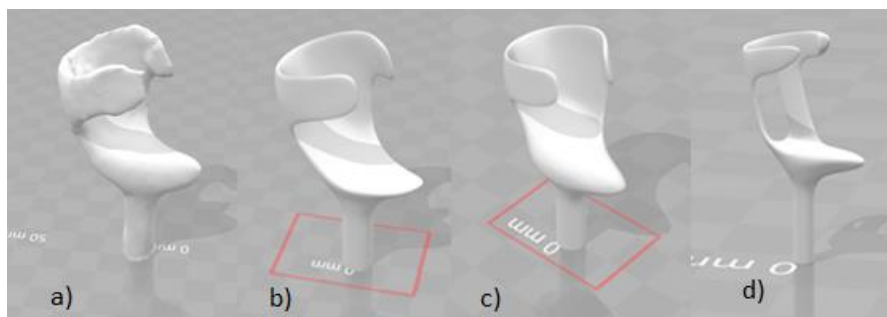


Joonis 4. Plastiliinist käepideme modelleerimine

Järgmise etapina oli vajalik plastiliinist mudel saada 3D joonise formaati. Arvestades, et sellist eskiisi oluks võrdlemise keeruline joonestada, siis kasutati 3D joonise saamiseks järgmist meetodikat [13]:

- 1) objekt asetati püstisesse asendisse nii, et saab ümber objekti erinevate kraadinurkade all teha pilte;
- 2) asetati objekti alla paberileht, et objekti eristada ümbritsevast keskkonnast;
- 3) teostati pildistamine ühtlase valguse käes;
- 4) teostati pildistamine *.raw* formaadis, et pildikvaliteet oleks parim;
- 5) teostati pildistamine ülevalt alla ja vasakult paremale;
- 6) tehti vähemalt 30-40 fotot saamaks detailne mudel.

Prototüüp nr 1 valmistamiseks vajaliku 3D joonise saamine toimus neljas etapis, tulemused on näha joonisel 5.



Joonis 5. Toote prototüübi valmistamiseks vajaliku 3D joonise arenguetaapid

Plastmaterjalist tooteid on tänapäeval kõige lihtsam valmistada kasutades selleks 3D printereid. 3D printeris väljaprintitud toode on näidatud joonisel 6.



Joonis 6. 3D-printimisel saadud prototüüp

Uurimustöös viidi läbi ka *SWOT* analüüs, mille tulemused on toodud tabelis 2.

Tabel 2. Osteoartriiti põdevate inimeste jalutuskepi käepideme tootmise *SWOT* analüüs

<p>Strengths- tugevused</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) seesugust toodet pole turul saadaval; 2) kohandub hästi peopessa; 3) ei vaja sõrmedega jalutuskepi kinnihoidmist; 4) kukkumisel ei vääna rannet kuna materjal ümber käe on painduv; 5) sobilik inimesele kelle käelaba ei paindu (osteoartriit). 	<p>Weaknesses - nõrkused</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) prototüüp ei kannata hetkel testimist; 2) prototüübi valmistamisel ei ole kasutatud vajalikke materjale; 3) kasutajate tagasiside puudub; 4) arendus nõuab ressursi; 5) sobilike partnerite leidmine; 6) toode kindlale sihtgrupile.
<p>Opportunities - võimalused</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) suhteliselt hästi skaleeritav toode, 2) käepidemete suurus ei vaja vaid 3; 3) piisavalt suur turg USA-s; 4) patenteerida ja müüa patent kellelegi edasi, mitte asuda ise tootma. 	<p>Threats - ohud</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) hiinlaste kiire kopeerimine ja odavmüük; 2) hetkel puudub patent arendatud tootele; 3) meditsiinilistele seadmetele kõrgendatud nõudmised.

Nagu näha, siis esmase prototüübini jõudes on lahendamata hulgaliselt nõrkusi ja üles on täheldatud ka mitmeid ohte. Samas on arendatud tootel ka mitmeid tugevusi ja võimalusi tulevikuks.

JÄRELDUSED

Uurimustöö tähtsaim eesmärk oli luua ostartriiti põdevale isikule turunõudlustele vastav, ergonoomiline ja innovaatiline jalutuskepi käepideme esmane prototüüp. Selle elluviimiseks kasutati tootearenduse põhimõtteid ja mudelit. Viidi läbi tausta- ja patendiuuring, et teada, missuguseid lahendusi on juba kasutusel. Töötati välja erinevad ideed, neist üks jõudis modelleerimiseni. Seejärel koostati 3D joonis ja toode printiti välja 3D printeris. Saadud tulemust hinnati *SWOT* analüüsi abil. Kokkuvõttes sai uurimustöö eesmärk täidetud ja saadud tulemused on piisavad selleks, et alustada järgmise, täiendatud prototüübi arendamist.

TÄNUAVALDUSED

Autorid tänavad Riho Tiivelit toote disainimisele kaasaaitamise eest, Jüri Olti, kes aitas läbi viia patendiuuringut ja Kaarel Sootsi, kes aitas toote prototüüpi printida.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Wikipedia. [WWW] https://en.wikipedia.org/wiki/Walking_stick. (18.12.2017).
- [2] Liikumiseks vajalike abivahendite kasutamise uurimustöö. [WWW] <https://www.disabled-world.com/pdf/mobility-report.pdf> (10.01.2018).
- [3] Femini koduleht. [WWW] http://www.femini.ee/artikkel/mis-on-artriit---reuma-ja-osteoartriit-mida-saame-me-ise-ara-teha-et-leevendada-enda-vaevusi#.WIW_K65l-pp (05.01.2018).
- [4] Lehto, M., R., Buck, J., R. (2008). Introduction to human factors and ergonomics for engineers. Lawrence Erlbaum Associates. 969 lk.
- [5] Business to community. [WWW] <https://www.business2community.com/product-management/eight-simple-steps-for-new-product-development-0560298> (09.01.2018).
- [6] Wikipedia. [WWW] https://en.wikipedia.org/wiki/SWOT_analysis (11.01.2018).
- [7] Ergonoomiliste jalutuskeppide müük. [WWW] <https://www.completecareshop.co.uk/walking-sticks/ergonomic-walking-sticks/> (05.01.2018).
- [8] Ergonoomiliste jalutuskeppide müük. [WWW] <https://www.ukdj.co.uk/mobility-c7/mobility-c461/crutches-and-walking-sticks-c462/aidapt-right-left-handed-collapsible-ergonomic-walking-stick-p95> (05.01.2018).
- [9] Disainitooted. [WWW] <http://www.designlaunches.com/gadgets/walking-cane-from-the-future-the-aid-uses-gps-navigation.php> (05.01.2018).
- [10] Ergonoomiliste jalutuskeppide müük. [WWW] <https://www.daily.com.au/elbow-crutches-1.html> (05.01.2018).
- [11] Espacenet. Patent search. [WWW] https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP (10.01.2018).
- [12] Wikipedia. [WWW] <https://et.wikipedia.org/wiki/Modelleerimine> (05.01.2018).

[13] Sculpteo koduleht. [WWW] <https://www.sculpteo.com/blog/2016/01/20/turning-a-picture-into-a-3d-model/> (05.01.2018).

Tervisedenduse ja töövõime säilimise olulisus Eestis ning mujal maailmas

Importance of maintaining health promotion and work ability in Estonia and elsewhere in the world

E. Org, E. Merisalu

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. The workforce is aging all over the world, that is why preventive measures such as health promotion and work ability maintenance play a very important role. Maintaining occupational health and safety means taking into account all factors in work environment, that affect the worker's health. Here we should not forget the balance between work and private life, the existence of motivational packages, lifelong learning and various refreshing training sessions. In the Estonian National Health Development Plan is confirmed, that we are all responsible for our health. The management studies carried out in Estonia suggest, that the focus of the company generally see only economic indicators and does not pay too much attention to employees' safety or they do not involve workers to the processes of planning and development and workers' welfare is not so important. Expenditure on prevention activities is significantly lower than restoring losses through illness and work accidents. National policies foresee longer working life. Health promotion program for workers was created in Ensto since its creation day in Estonia. The goal of the company is to maintain health of the employees and therefore offer several ways to promote it. The aim of the study is to analyse influence of health promotion program on health state of employees in period 1998–2018, comparing indicators of whole Estonian working population, concerning to the health statistics of the Unemployment Insurance Fund and the Health Board. The measurements of workability among employees' with long work experience in the company Ensto showed that about half of workers have excellent and high work ability scores. The employees pertaining to step by step improvements in their working environment more satisfied and have better health compared to general working population in Estonia.

Keywords: work ability, health promotion, aging workforce, working environment, ergonomics

SISSEJUHATUS

Tööohutus ja tervist säästev töökeskkond on väga tähtsal kohal, kuna soovime, et töötaja oleks tööjõuline ka vanemas eas. Tööohutuse ja tervishoiu valdkonna ohjes hoidmine tähendab, et arvesse võetakse kõiki tegureid, mis mõjutavad töötaja töökeskkonda. Siinkohal ei tohiks unustada ka töö- ja eraelu tasakaalu, motivatsioonipakettide olemasolu, elukestavat õpet ning erinevaid täiendkoolitusi. Eesti Rahvastiku Tervise Arengukavas on manitud, et meil kõigil on ühine vastutus tervise eest. „Vastutus rahvastiku tervise eest on ühine vastutus, mis hõlmab ühiskonna kõiki sektoreid, organisatsioone, rühmi ja üksikisikuid, ning see loob aluse tasakaalustatud keskkonna, sotsiaal- ja majanduspoliitika arenguks. Sellest lähtuvalt peab tervisemõjudega arvestamine olema osa kõikide ühiskonna tasandite ning sektorite otsuste ja tegevuskavade planeerimisest“ [1].

Eesti Töötukassa andmetel oli 2018. aasta esimesel poolel osalise töövõimega töötajaid Eestis juba 61%, kuid nad on endiselt tööhõive protsessis ning Töötukaasa vahendusel otsivad aktiivselt tööd [2].

Eestis läbi viidud juhtimisuuringud toovad aga välja, et ettevõtte fookus langeb üldjuhul majanduslikele näitajatele ning ei soovita või unustatakse töötajaid planeerimise ja juhtimisprotsessidesse kaasata, töötajate heaolule tähelepanu pööramine on vähem oluline [3].

Töötervishoiu ja tööohutuse eest hoolimine aitab tõsta töötajate rahulolu ja sellisel juhul püsib töötaja kauem ettevõttes. Ennetustegevustele tehtavad kulutused on oluliselt väiksemad, kui tööõnnetuste ja haiguskahjude taastamine. Tähelepanu tuleb pöörata kõikidele töötajatele ja hoolitseda nende töökeskkonna eest.

Ettevõtte edu võti on ennetus kogu tööaja jooksul, kuna iga tervisele kulutatud 1 EUR annab lõppkokkuvõttes rohkem võitu. Erinevad kehalise töövõime edendamised on töötajate hulgas kasulikud. Võttes aluseks uuringu tööohutuse ja töötervishoiuga seotud ennetustegevuste mikromajanduslike mõjude hindamise 11 Eesti ettevõtetes, selgus, et iga terviseedendusele suunatud euro toob tulu 1,3 € [4].

Töötava elanikkonna halb tervis võib tööandjatele maksma minna miljoneid eurosid kuid erinevad uuringud kinnitavad, et vaid tõhustate sekkumistegevustega (nt tööruumi õige temperatuur, töökoha projekteerimine kooskõlastatuna töötajatega, sobilikud tõstevahendid, ergonoomilised töövahendid, õige valgustus, vajalikud puhkepausid, töötajate väljaõpe ja ümberõpe, töökoha rotatsioon, töötervishoiuarsti kontroll, osaline tööaeg jpm) saab kulutusi oluliselt vähendada või ennetada. Kanada Stressiinstituut (*Canadian Institute of Stress*) on erinevatel aastatel analüüsinud edukamaid ettevõtteid, kelle tervisedenduse alased sekkumised andsid järgmisi positiivseid tulemusi: töötajad olid töövõimetuslehel 52% vähem, tervisekaebused vähenesid 32% ja töölt puudumine vähenes 18%, ettevõtte teenuse kvaliteet paranes 13% ning tootlikkus 7% [5].

Ergonoomika valdkonnas, üheksa uuringu ja nelja erineva sekkumismeetodi seas Ameerikas, Kanadas ja Prantusmaal *BioMed Central* poolt teostatud tulu-kulu analüüsist selgus, et neist seitse andis positiivseid majandustulemusi, ühe negatiivse ja ühe ebamäärase tulemuse [6].

Journal of Occupational and Environmental Medicine on avaldanud uurimuse mitmetasandilise töötervishoiu edendamise programmi rakendamisest. Sekkumise tõhusust hinnati enne ja pärast sekkumist (*post-pre-disain*), millest võtsid osa kõik Hollandi kindlustusseltsi töötajad, kokku 502 inimest ning neist 52 olid juhtivtöötajad. Uuring toimus perioodil 2012. aasta september kuni mai 2014, sekkumise kestus oli 5 kuud. Uurimusest täheldati edendusprogrammi märkimisväärseid mõjusid töötajate elujõulisuse, tervise, suhtumise ja vererõhu näitude paranemise näol. Organisatsiooniline tugi ja juhendaja roll tööle naasemisel peale haiguspäevi oli töötajate jaoks eriti oluline. Siit saab järeldada, kui tähtsal kohal on peale haiguspäevi järkjärguline töösse sisseelamine. Väga olulisel kohal on erinevate organisatsiooniliste tasandite sekkumine ennetustegevustesse. Uurigu läbiviijad on järeldanud, et häid

tulemusi saaks veelgi kvaliteetsetemate uuringute abil kinnitada, lisades sinna juurde ka tasuvusnäitajad [7].

Riiklik poliitika Eestis näeb ette, et tööelu pikeneb ja praegused 45-aastased teavad, et nad peavad töötama kauem, kui nende vanemad või vanavanemad. Tööturul kauem osalemine tähendab aga seda, et nii tööandjad kui ka töötajad peavad omale võrdselt vastutuse võtma, sest ainult niimoodi on võimalik tööelu pikendada. Töötervishoiu eest vastutamine ei ole ühekordne tegevus, vaid peab olema pidevalt tööelu fookuses nagu üks tööprotsessidest. Üleüldine suhtumine ettevõtete juhtkondade poolt on, et vanemaealiste töötajate osakaal ei ole kasumlik. Kuid nii see pole, sest on juba ammu teaduslikult tõestatud, et töötaja vananedes üldjuhul jäävad vilumused, vaimne ja sotsiaalne võimekus püsima. Vanemaealine töötaja vajab pigem ümberkorraldust töötingimuste osas. Tervisedendus aitab eakaid tööl hoida ja nii ei teki ka kvalifitseeritud tööjõu puudust tulevikus [8].

Eurostat on välja toonud, et 20 aasta pärast elab Eestis üle 100 000 tööealise inimese vähem kui praegu. Iga aasta suureneb ka vajadus töötajate järele, kuna majanduse mahtu on vaja säilitada ja see tähendab piisavas mahus töövõimelisi inimesi. Eesti tööturuteenuste ja -toetuste seadusest lähtuvalt loetakse tööturu riskirühmaks töötuid vanuses 55 kuni pensioniiga. Vanemaealiste töötamist ja tööturu olukorda käsitlevates analüüsidest on Eestis vaadeldud vanemaealiste töötajatena nii 45-aastaseid ja vanemaid [9]. Aktiivsena vananemine tähendab tööjõu mõistes mitmekülgset lähenemist, kus võetakse arvesse elukestvat õpet, tööturu olemust, töökeskkonda, tervisedendust ja ohutust. Eestis on vanemaealistest küllalt suur motivatsioon jätkata töötamisega ka peale pensionile jäämist, aga siin on väga oluline, et tööturg sellega arvestaks ning ennetus- ja ohutustegevust toetaks [10]. Kurb tõsiasi on see, et kuigi rahvastik vananeb, pole enamik Eesti tööandjatest vananeva rahvastiku mõju oma ettevõttes veel teadvustanud [11].

Uuringu eesmärk on analüüsida ergonoomikaliste sekkumiste ja tervisedenduse tegevuste mõju pikaajaliste töötajate tervisele ja töövõimele ettevõtte Ensto näitel ajaperioodil 1998-2018.

MATERIAL JA METOODIKA

Ensto on perefirma ja rahvusvaheline säästva tehnoloogia ettevõtte, mis on spetsialiseerunud elektriseadmete ja –tarvikute väljatöötamisele, valmistamisele ja turustamisele elektrienergia jaotamise ja selle igapäevase tarbimise jaoks. Euroopas ja Aasias töötab kokku ligi 1600 inimest ning on jagatud kolmeks äriüksuseks: Ensto *Electrification*, Ensto *Lighting* ja Ensto *Utility Networks*, lisaks eraldiseisev ettevõtte *Chago*, mis tegeleb elektriautode laadimislahendustega.

Tootmisettevõttes Ensto on tervisedenduse programmid toimunud Eestis alates selle loomisaastast - 1992. Tervisedenduse all on silmas peetud alljärgnevaid tegevusi nagu töökoha hügieen, tervislik toitumine, suitsuvaba töökeskkond, füüsilise vormi ja töövõime taastamine, stressi ennetamine, töötervishoiualaste teadmiste levitamine ja rakendamine, terviseriskide ja kutsehaiguste vähendamine, suhtlemiskultuur, perekesksuse ja heaolu eest hoolitsemine jm.

Ettevõtte eesmärk on, et töötajate tervis säiliks ja seetõttu pakutakse mitmeid viise tervise edendamiseks. Ettevõttes pööratakse tähelepanu õhukvaliteedile ja temperatuuri püsimisele, töökohtade ergonoomikalisele kujundamisele, füüsilise liikumise edendamisele, tervisetöetusprogrammide juurutamisele (nt tervisenädalate korraldamine), plaanilisele tervisekontrolli läbiviimisele jm.

Ergonoomika osas on võetud aluseks, et töö peab kohanduma inimesega ja seetõttu muudetakse tööprotsesse ning töövahendeid vastavalt töötajate vajadustele. Sealjuures vaadatakse üle ka tööaeg. On oluline, et töötaja peab tööd tehes säilitama mugava asendi, töötama jõutsoonis, tegema pause vastavalt ettenähtud ajale, vajadusel vahetama töötooli ja reguleerima selle kõrgust, vältima liigseid liigutusi ja ületunde.

Ettevõtte Ensto tervisepoliitika kujundamine on paika pandud töötervishoiupoliitikaga, tervem tööjõud on osa missioonist ja nendega saavutatakse paremaid töötulemusi. Enstos on rakendatud töötaja teisele töökohale üleviimist, pensionieas töötajale osalise tööaja võimaldamist. Vanemaerialistel on olnud võimalus osaleda erinevatel koolitustel ja saada ümberõpet ning vähenenud töövõimega töötajatel on võimalus töötada 6-tunnise tööajaga. Olulisel kohal on ettevõttes ka töökoha kohandamine ja abistava tehnoloogia kasutamine ning rotatsioon, vältimaks monotoonsust -ja sundi teha sama raskusastmega tööd. Riskide vähendamiseks on puhkepauside pikkused jaotatud vastavalt tööde raskusastmele, lisaks on ette nähtud üks pooletunnine puhkepaus. Töökohtade ohutuse suurendamiseks ja füüsilise ülekoormuse vältimiseks teostatakse töötajatega kokkuleppel koostamisalaseid videosid, 5S auditeid ja muid sisekontrolle.

Uuritavad

Sihtgruppi sai valitud ettevõtte tootmistöötajad ($n=142$), kelle tööstaaz Enstos 10-25 aastat - Keila tehaste poolt elektritarvikute koostamisosakonnast (sh. saeruumi ja kaabliruumi töötajad), metallitehase töötajad, seadistajad, logistika osakonna töötajad (vastuvõtmise ja väljasaatmise ning ümberpakkimise osakonnast) ning Tallinna tehase koostamisosakonna töötajad.

Ankeetküsimustik ja statistiline analüüs

Ensto töötajate töövõime ja töökeskkonna uuringu läbiviimiseks kasutas üliõpilane ankeetküsimustikku *CUPID (Cultural and Psychosocial Influences)* [12], Soome Töötervishoiu Instituudi poolt välja töötatud töövõimeuuringu küsimustikku *WAI (Work Ability Index Questionnaire)* [13], töökeskkonna riskianalüüsi küsimustikku [14] ning isikuandmete lehte. Küsimustike täitmiseks kulus aega keskmiselt 30 minutit ning selgus, et töötajad täitsid küsimustikke kodus.

CUPID küsimustik annab ülevaate töötaja lihasvaevuste esinemise kohta kuues erinevas kehapiirkonnas viimase tööaasta, kuue kuu- ja seitsme päeva jooksul ning hindab töötaja üldist tervislikku seisundit, *WAI* küsimustiku abil määratakse töötaja töövõimeindeks. Töötajate hinnangust lähtuvalt selgub, kas edaspidi on nende töövõime osas piiranguid ja mida tuleks ette võtta selleks, et edendada töötajate tervist. Täismahus küsimustik on Tartu Ülikooli inimuuringute komitee poolt kooskõlastatud protokollinumbri 282/T-9 ja uurimistöö jätkutaotlusega 286/M-7.

Välja arvatatud töövõimeindeksi väärtused jagunevad 4 gruppi - madal, keskmine, hea ja suurepärase. Tulemused tõid välja, et 19% töötajatest on madal töövõime, 33% on keskmise töövõimega, 29% on hea ning 19% suurepärase töövõimega. Kokkuvõttes peaaegu pooled on hea ja suurepärase töövõimega (48%), ainult viiendik madala töövõimega ning 81% töötajatest on keskmisest kõrgema töövõimega.

Statistilise analüüsi jaoks analüüsiti töös saadud andmeid ning neid töödeldi programmiga *Microsoft Excel 2010*. Saadud tulemustest on arvatatud tegurite protsendid, keskmised väärtused ning standardhälbed (*SD*). Aritmeetiliste keskmiste erinevuse olulisuse hindamiseks kasutati *Student* paaride *t-testi* ning statistilise olulisuse piiriks võeti $p \leq 0,05$.

TULEMUSED JA ARUTELU

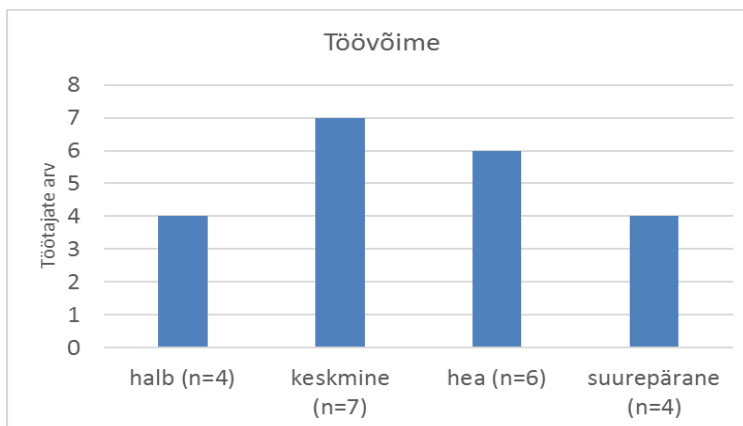
Igapäevaelu takistavad tervisehädad on üha noorematel inimestel ja kõige enam on nende osakaal kuni 35-aastaste seas. Kroonilised haigused kasvavad nooremates vanusrühmades ja suurenenud on psüühikahäirete osakaal, mille tõttu märgiti püsiv töövõimetus 2015. aastal 2300 alla 44-aasta vanusele inimesele. Samas, kui vaadata terviseuuringut, mida tellis Riigikantselei ja Sotsiaalministeerium poliitikauuringute keskuselt Praxis, siis selgub, et aastatel 2009-2016 vähenes tervelt elatud eluiga Eesti meestel 1,4 ja naistel kolm aastat [15]. Erinevad uuringud maailmas on välja toonud, et skeletilihaste vigastusi on vanemaaliste puhul rohkem kui noorematel ning seetõttu on skeletilihaste tervise säilitamine olulisel kohal.

Uuritavad

Magistritöö uuringus osalenud 21 vastajat olid kõik naised, Keila tehastest, keskmise vanusega 52,4 eluaastat, enamus koostajad-monteerijad ja tööstaažiga 10–25 aastat.

Ankeetküsitlus

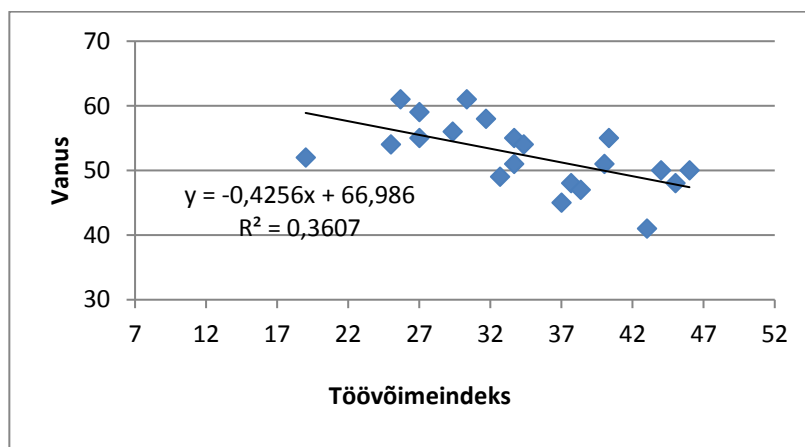
Töötajaid informeeriti infotundides ja täidetud ankeetide jaoks jäeti kokkulepitud kohtadesse postkastid. Seoses ettevõttes toimuvate ümberkorraldustega ajal, mil küsimustik viidi, laekus üliõpilasele vaid 21 ankeeti (vastamismäär 15%). Ankeetküsimustik oli viieosaline, esimene osa neist töökeskkonna küsimused, kus sai ristiga märkida vastus „Jah”, „Vähesel määral“ või „Ei“. Teises osas oli võimalik hinnata otsustusvabadust ning koostööd, kolmas osa puudutas keha valupiirkondi, neljas töötaja arvamust oma tervisest teatud perioodil (nt 7 päeva, viimase kuu ja viimase 12 kuu jooksul). Koostaja-monteerija töö on erineva iseloomuga, vähesed töötajad teevad päevast-päeva samasuguseid töövõtteid, kasutusel on erinevaid ergonoomilisi töövahendeid ja töökohta ergonoomikale pühendatakse aasta-aastalt rohkem tähelepanu. Töötajate luu- ja lihaskonna vaevuste leevendamiseks on ettevõttes töökohal massöörid, tehastes on võimlemisruumid ja varbseinad, mille kõrval ka venitusõpetused ning erinevat võimlemisatribuutikat. Töötajate tervisekontroll on regulaarne ja töötervis-hoiuarstid on kursis ettevõttes olevate ohuteguritega. Uuringust selgus, et koostamistehase töötajatel esineb skeleti-lihasvalusid kõige enam kaela ja randme ning käelaba piirkonnas. Töövõime indeksi skooride alusel on näha, et suurem osa töötajatest jaotub keskmise ja hea töövõime kategooriasse (Joonis 1)



Joonis 1. Töötajate jaotuvus töövõime indeksi skooride alusel

Figure 1. Workers' distribution based on work ability scores

Joonisel 1 on toodud töövõime ja töötajate vanuse seoste analüüs.



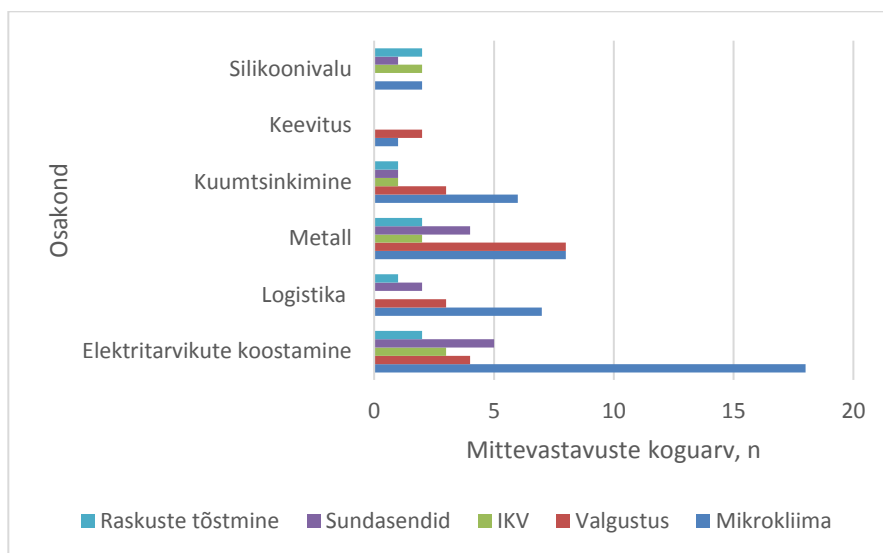
Joonis 2. Vanusepõhised töövõime tulemused

Figure 2. Age-based work ability results

Jooniselt 2 on näha, et vanuse suurenedes pikaajalise tööstaažiga töötajate töövõime näitab langustendentsi.

Töötajate tervisekontrolli ja riskianalüüside tulemused

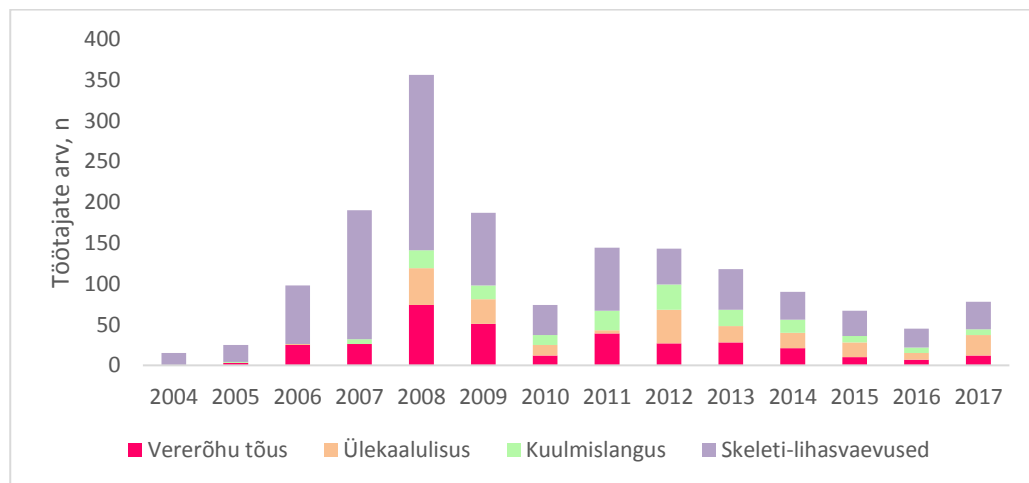
Ajavahemikul 1998-2018 teostatud Riskianalüüsides saab välja tuua, et kõige sagedamini on olnud teemaks mikrokliima ja valgustus, aga ka sundasendid, raskuste tõstmine ning isikukaitsevahendite mittekasutamine või nende puudumine. Koostajamonteerijate osakonnast ilmnevad selgelt märkused mikrokliima ja ka valgustuse osas (joonis 3).



Joonis 3. Ohutegurite mittevastvauus erinevates osakondades 1998-2018

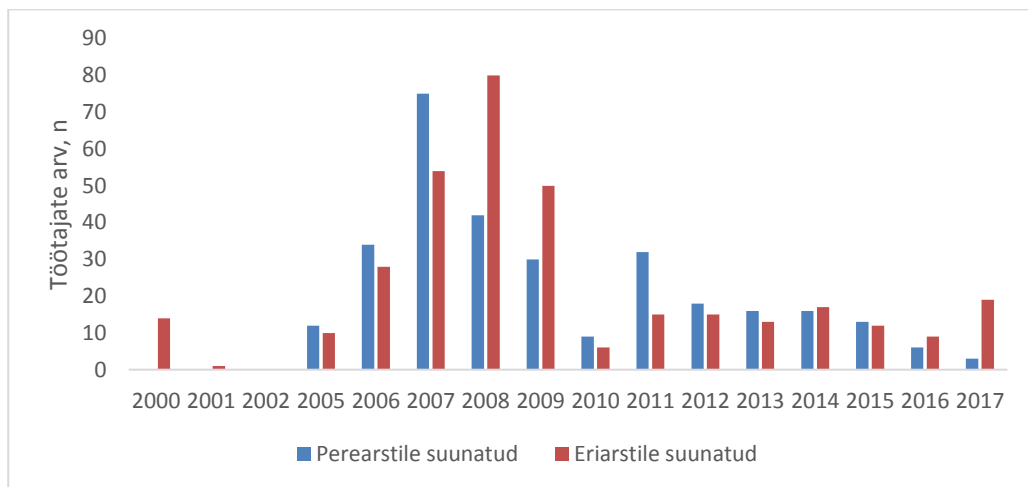
Figure 3. More problematic risk factors in different departments during the period 1998-2018

Töötervishoiuarsti otsuste kokkuvõtvast uuringust 2004-2018 aastani ilmneb, et kõikide Keila tehaste töötajate tervisekaebused vähenesid oluliselt peale 2008. aastat (joonis 4). Tulemus võib olla mõjutatud ka sellest, et alates 2008 aastast suunati vähem töötajaid eriarsti või perearsti visiidile (joonis 5). Samuti ei saadetud Kutsehaiguste Kliinikusse peale 2009. aastat mitte ühtegi töötajat.



Joonis 4. Tervisekaebuste osakaal töötajate hulgas 2004-2017

Figure 4. Health complaints among workers 2004-2017



Joonis 5. Töötervishoiuarsti otsused tervisekontrolli läbinud töötajatele 2000–2017

Figure 5. Occupational health physician decisions for health surveillance passed workers 2000–2017

Uurides ettevõtte riskianalüüse aastast 1998-2018 võib siiski välja tuua, et töötervishoid ja tööohutus on olnud valdkonnad, millesse on täie pühendumusega suhtunud. Läbi aastate on probleemsemad kohad valgustus ja tuuletõmbus, kuid ka nende murede ilmnmisel on parendustegevusi ette võetud. Ensto pöörab tervisedendusele ja heale töökeskkonnale üldplaanis väga suurt tähelepanu, aga töövõimetuslehtede statistika näitab, et töövõimetuslehel oldud aeg on aastatega pikenenud (tabel 1).

Tabel 1. Haiguse tõttu puudunud tööpäevad 2013-2016. Allikas: Ensto personaliosakonna statistika

Table 1. Sick leave due to illness 2013-2016. Source: Statistics of Ensto Human Resources

Kuu	2013	2014	2015	2016	Kokku
Jaanuar	379	226	297	454	1356
Veebruar	506	332	315	630	1783
Märts	414	280	536	442	1672
Aprill	225	300	422	507	1454
Mai	361	240	281	396	1278
Juuni	226	235	333	312	1106
Juuli	198	228	295	250	971
August	300	315	321	437	1373
September	303	312	378	547	1540
Oktoober	354	302	410	603	1669
November	291	226	261	690	1468
Detsember	119	172	235	571	1097
Kokku	3676	3168	4084	5839	16767

Töövõimetuslehtede arvu kasvu toob välja ka Eesti Haigekassa, kus näiteks 2016 aasta I poolaasta osas on näha, et töövõimetuslehel olid 89 881 isikut, töövõimetuslehti oli kokku 135 660. 2015 aasta II poolal olid töövõimetuslehel 70 875 inimest ning kokku oli 98 286 töövõimetuslehte [16]. Väidet, et töövõimetuslehtede arv on suurenenud,

kinnitavad ka Eestis tehtud uuringud, kuna nende põhjal saab juba ainuüksi luu- ja lihaskonna vaevustega seotud diagnoosi keskmiselt neli inimest päevas ning seoses sellega ollakse haiglas keskmiselt 6,7 päeva [17]. Eesti Haigekassa on siiski leidnud, et süsteemse ennetustöö üheks tulemuseks on langustendents enneaegses suremuses südame-veresoonkonna haigustesse ning languse tõenäolisteks põhjusteks peetakse just paranenud ennetustööd ja positiivseid muutusi inimeste elustiilis [18].

Tervisedenduse peamine kontseptsioon on indiviidi ja kogukonna võimestumine. Tervisedenduse tähendus nüüdisaja ühiskonnas on kokku võetud Eesti Arst artiklis: „Tervisedenduse eesmärk on hoida ebavõrdsust tervises nii väiksena kui võimalik. Oluline on oskus näha sügavamaid terviseõiguseid ja keskenduda sotsiaalselt tundlikele rahvastikurühmadele. Tulemuste saavutamiseks rahvastiku tasandil peavad sekkumised olema vajaduspõhised ja järjepidevad“ [19].

JÄRELDUSED

Vältimaks skeleti-lihasvaevuseid, et säilitada parem töövõime, on oluline jälgida regulaarseid puhkepause, töökoha ergonoomikat ning töötajate kehalist aktiivsust. Tööjõu vananedes on ennetusmeetmed väga tähtsal kohal, kuna soovime, et töötaja oleks tööjõuline ka vanemas eas. Tööohutuse ja tervishoiu valdkonna ohjes hoidmine tähendab, et arvesse võetakse kõiki tegureid, mis mõjutavad töötaja tööd ja töökeskkonda. Siinkohal ei tohiks unustada töötajate töö- ja eraelu tasakaalu, motivatsiooni-pakettide olemasolu, elukestavat õpet ning erinevaid koolitusvõimalusi. Ensto Ensekis on pikaajaline töösuhe au sees, mistõttu töötajad hindavad kõrgelt tööandja tervisedenduse ja motivatsiooniprogramme ning ei lahku kergekäeliselt ettevõttest. 2018. aastal oli pooltel töötajatel tööstaazi 7 kuni 24 aastat (keskmine tööstaaz 12 ± 5 aastat). Uuringu põhjal saab järeldada, et ligi pooled uuritavatest on hea ja suurepärase töövõimega.

Samuti panustab ettevõtte tehnoloogia arendamisse ning *LEAN*-põhimõttel [20] tegutsejana kaasab töötajaid igapäeva protsesside täiustamisse kui ka uute ideede ja innovaatiliste lahenduste leidmisse. Selle kõigega on ettevõtte investeerinud nii töötajate tervisedenduse kui ka töövõime säilitamise valdkonda ja see on ennast igati õigustanud.

Tänuavaldused: Uuringut toetas Ensto Ensek AS juhtkond, kes oli huvitatud tervisedenduslike sekkumistegevuste tulemuslikkuse teaduslikust analüüsist. Pikaajalised ettevõtte töötajad andsid nõusoleku uuringu läbiviimiseks ja tulemuste avaldamiseks antud magistritöös.

KASUTATUD KIRJANDUS

[1] Sotsiaalministeerium. (2008). Rahvastiku tervise arengukava 2009–2020. <https://www.sm.ee/et/rahvastiku-tervise-arengukava-2009-2020>. (22.03.2019).

[2] Liimal, P. (2018). Tuleviku tööandja – võimaluste looja. Tööandjate konverents. Eesti Töötukassa. <https://www.tootukassa.ee/content/konverents-tuleviku-tooandja-voimaluste-looja>. (01.04.2019).

[3] Alas, R., Eomois, E., Furman, J., Kaarelson, T., Rillo, M., Uudelepp, A.. (2015). Eesti juhtimisvaldkonna uuring. Versioon: 04.08.2015. Uuringu aruanne. https://www.eas.ee/images/doc/sihtasutusest/uuringud/ettevotlus/EAS_juhtimisvaldkonna_uuring_Civitta_EBS_Final_2015_08_17.pdf. (31.03.2019).

[4] Terviseinfo. Töötaja tervis vs tööandja TULUD. [veebileht] <http://www.terviseinfo.ee/et/tervise-edendamine/tookohal/tervise-edendamine-tookohal/kasu-tooandjale/tootaja-vs-tooandja-tulud>. (25.08.2018).

- [5] Canadian Institute of Stress. 2014-2018. Productive Wellbeing at Work., <http://stresscanada.org/productive-wellbeing-2/productive-wellbeing-at-work/>, https://www.terviseinfo.ee/et/tervise-edendamine/tookohal/tervise-edendamine-tookohal/kasu-tooandjale/tootaja-vs-tooandja-tulud_ (31.03.2019).
- [6] Sultan-Taïeb, H., Parent-Lamarche, A., Gaillard, A., Stock, S., Nicolakakis, N., Nha Hong, Q., Vezina, M., Coulibaly, Y., Vézina, N., Berthelette, D. BMC Public Health (2017) 17:935 et al. (2017). BioMed Central. Economic evaluations of ergonomic interventions preventing work-related musculoskeletal disorders: a systematic review of organizational-level interventions. BMC Public Health 17:935. <https://bmcpublihealth.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s12889-017-4935-y>. (22.03.2019)
- [7] Hendriksen, I.J.M., Snoijer, M., de Kok, B.P.H., van Vilsteren, J., Hofstetter, H. (2016). Effectiveness of a Multilevel Workplace Health Promotion Program on Vitality, Health, and Work-Related Outcomes. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 58(6):575-83. doi: 10.1097/JOM.0000000000000747 [e-ajakiri] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4883645/>. (29.03.2019).
- [8] Sotsiaalministeerium. (2016). Heaolu arengukava. Vabariigi Valitsuse korraldus nr 240. <https://www.sm.ee/et/heaolu-arengukava-2016-2023> https://www.valitsus.ee/sites/default/files/content-editors/arengukavad/heaolu_arengukava_2016-2023.pdf. (15.03.2019).
- [9] Leetmaa, R., Võrk, A., Kallaste, E. (2004). Vanemaeline tööjõud tööturul ja tööelus. Tallinn: Poliitikauuringute Keskus PRAXIS. Praxise Toimetised nr 19. http://www.praxis.ee/fileadmin/tarmo/Projektid/Too-ja_Sotsiaalpoliitika/Vanemaeline_toojoud/Eakad_Toimetiste_formaadis.pdf. (22.03.2019).
- [10] Sotsiaalministeerium. (2013). Aktiivsena vananemise arengukava 2013–2020. https://www.sm.ee/sites/default/files/content-editors/eesmargid_ia_tegevused/Sotsiaalhoolekanne/Eakatele/aktiivsena_vananemise_arengukava_2_013-2020.pdf. (22.03.2019).
- [11] Pealinn. HAIGE RAHVAS: Eesti inimeste tervena elatud eluiga on viimastel aastatel vähenenud. <http://www.pealinn.ee/tagid/koik/haige-rahvas-estti-inimeste-tervena-elatud-eluiga-on-viimastel-n188613>. (22.03.2019).
- [12] Coggon, D., Ntani, G., Palmer, K.T., Felli, V.E., Harari, R., Barrero, L.H., Felknor, S.A., Gimeno, D., Cattrell, A., Serra, C., Bonzini, M., Solidaki, E., Merisalu, E., Habib, R.R., Sadeghian, F., Kadir, M., Warnakulasuriya, S.S.P., Matsudaira, K., Nyantumbu, B., Sim, M.R., Harcombe, H., Cox, K., Marziale, M.H., Sarquis, L.M., Harari, F., Freire, R., Harari, N., Monroy, M.V., Quintana, L.A., Rojas, M., Vega, E.J.S., Harris, E.C., Vargas-Prada, S., Martinez, J.M., Delclos, G., Benavides, F.G., Carugno, M., Ferrario, M.M., Pesatori, A.C., Chatzi, L., Bitsios, P., Kogevinas, M., Oha, K., Sirk, T., Sadeghian, A., Peiris-John, R.J., Sathiakumar, N., Wickremasinghe, A.R., Yoshimura, N., Kielkowsky, D., Kelsall, H.L., Hoe, V.C.W., Urquhart, D.M., Derett, S., McBride, D., Gray, A. (2012). The CUPID (Cultural and Psychosocial Influences on Disability) Study: Methods of Data Collection and Characteristics of Study Sample. *PLoS One* 7(7):1–22. E39820. www.plosone.org: e39820. Published online 2012 Jul 6. doi: 10.1371/journal.pone.0039820
- [13] Tuomi, K., Imarinen, J., Jahkola, A., Katajarinne, L., Tulkki, A. (1998). WAI. Work Ability Index. Työterveyslaitos (Finland), Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health.
- [14] Tartu Ülikool. (2005). Töökeskonna riskianalüüsi ankeetküsimustik. Tervishoiu instituut.
- [15] Sotsiaalministeerium. (2017). Sotsiaalkaitseminister: pikem eluiga peab tähendama ka rohkem tervena elatud aastaid <https://www.sm.ee/et/audised/sotsiaalkaitseminister-pikem-eluiga-peab-tahendama-ka-rohkem-tervena-elatud-aastaid>. (15.01.2019).
- [16] Eesti Haigekassa. (2016). Töövõimetuslehtede andmed. Väljastatud töövõimetuslehed II PA 2015. Väljastatud töövõimetuslehed I PA 2016. <https://www.haigekassa.ee/partnerile/raviasutusele/peaarstile/toovõimetuslehtede-andmed>. (17.03.2019).
- [17] Kudre, K. Tervisestatistika: kutsehaigestumine ja tööst põhjustatud haigestumine. Terviseamet. <https://www.tktk.ee/wp-content/uploads/Kaie-Kudre-Tervisestatistika-kutsehaigused-ja-tööst-põhjustatud-haigestumised.pdf>. (24.02.2019).
- [18] Eesti Haigekassa. Lisainfo tervisedenduse valdkonna arengust ja muutustest elanikkonna tervises. <https://www.haigekassa.ee/audised/lisainfo-tervisedenduse-valdkonna-arengust-ja-muutustest-elanikkonna-tervises>. (17.03.2019).
- [19] Viigimäe, M., Lipand, A., Javed, P., Mägi, S., Vals, K. 2016. Eesti Arst 95(5):308–313. <http://eestiarst.ee/tervisedenduse-tahendus-nuudisaia-uhiskonnas/>. (22.03.2019).
- [20] Bankiir M. (2013). Mis on LEAN ja kuidas see ettevõttele kasulik on? Leanway OÜ. <https://leanway.ee/blogi/mis-on-lean-ja-kuidas-see-ettevottele-kasulik-on/>. (31.03.2019).

Betoontoodete ettevõtte tootmistöötajate töökoha ergonoomika ja tervis

A. Roogsoo¹, E. Merisalu¹

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. The aim of the study was to identify physiological risk factors in the working environment of the concrete manufacturing company and to assess the risk of occupational exposure and the impact on workers' health. The study was carried out at a concrete production company in Tartu. The target group was 65 production workers. The data were collected using an anonymous questionnaire available to employees in paper form as well as on-line. An observation and video method were used to identify the risk from physiological hazards among 10 employees (experimental group). Forced positions and repetitive movements were evaluated by the presence of REBA and musculoskeletal pain by a semistructured interview. The general questionnaire consisted of 9 parts: 1) the questions about the respondent's general data (n = 6), 2) on the organization of work (n = 26), 3) the working environment (n = 87), 4) health and health behavior (n = 10), a total of 129 questions. From 65 employees 37 men responded to the questionnaire (response rate 56,9%). The study group was in average age of $39,2 \pm 12,2$ and a length of service $8,1 \pm 9,6$ years. About half of workers (45.9%) had work-related illnesses or health problems. For 3 months, workers complained most about work-related lower back pain, fatigue in hands and feet, and knee pain. The experimental group consisted of men, with an average age of $35,3 \pm 8,5$ years, with an average length of service $12,8 \pm 4,8$ years in a given company. The risk assessment for the postures revealed that most of the work positions remain high to very high levels. Most subjects complained the most of pain or discomfort at the end of the day in the lower back, legs, arms and knee joints. In conclusion, work in the concrete manufacturing company is physically strenuous with awkward position and repetitive movements, causing pain in different body regions. So, ergonomic intervention programs could be diminish musculoskeletal disorders among concrete production industry workers.

Key words: concrete industry, manufacturing workers, workplace ergonomics, physiological risks, musculoskeletal problems

SISSEJUHATUS

Skeleti- lihasvaevused on Euroopa Liidus kõige enam levinumad tööst põhjustatud haigused ning mõjutatud on kõikides sektorites ja ametites töötavad töötajaid. Skeleti-lihasvaevused on seotud suurte kuludega tööandjatele, nagu töölt puudumine, tootlikkuse vähenemine ja hüvitamiskulude suurenemine [1]. Skeleti- lihasvaevused esinevad kõige enam tavaliselt seljas, kaelas ja kätes, kuid mõnikord ka jalgades. Raskuste käsitsi teisaldamine, eriti koos kummardumise ja pööramisega, korduvad liigutused, ebamugavad tööasendid, sundasendid ja kiire töötempo soodustavad skeleti – lihasvaevuste teket [2].

Näiteks Ameerika ühendriikides töötab betoonitööstuses üle 250 000 töötaja, 10 protsenti nendest töötajatest - 28 000 - kogeb tööga seotud vigastusi või haigusi. Üheks oluliseks ohuks on üleüldine ja ebamugav tööasend [3]. Uuringutest on selgunud, et peamiseks betoonitöölise terviseprobleemiks on alaseljavalu. Probleemaatiline on ka selja pidev painutamine ja pööramine ning suurte raskuste teisaldamine [4-5]. Uuringu eesmärgiks oli välja selgitada betoonelementide tootmisettevõtte töökohas esinevad füsioloogilised ohutegurid ja hinnata tööasendite riski ning mõju töötajate tervisele.

MATERIAL JA METOODIKA

Uuritavaks asutuseks oli Tartu betoontoodete tootmise ettevõtte. Uuringu läbiviimiseks võeti esmalt ühendust asutuse töökohas spetsialistiga, kellele tutvustati uuringu eesmärki, metoodikat ja teostavate tegevuste ajaplaani. Ettevõtte tootmistöötajaid informeeriti uuringust ja anti infot ankeetküsitluse kohta.

Ettevõtte tootmistöötajate seas viidi läbi ankeetküsitlus. Küsitlus viidi läbi 2019. aasta veebruarikuus. Vastamiseks anti aega 3 nädalat. Ankeetküsimustik oli töötajatele kättesaadav puhkeruumis paberkujul kui ka arvutis veebipõhiselt *Connect* keskkonnas. Täidetud küsimustikud koguti paberkujul puhkeruumis olevasse suletud kasti. Veebipõhiselt täidetud ankeetküsimustikud saadeti automaatselt andmetöötluse keskkonda. Küsimustik koosnes 9-st osast, kus olid küsimused vastaja üldandmetest (n=6), töökorraldusest (n=26), töökohas ohuteguritest (n=87), tervisest ja tervisekäitumisest (n= 10), kokku 129 küsimust. Füsioloogilise riski ja tööasendite hindamiseks teostati vaatlus ja videofilm 10-nel erineval töökohal ning töötajatega viidi läbi semi-struktureeritud intervjuu. Osalemine küsitluses ja videofilmis oli vabatahtlik ja anonüümne. Vastaja nime ei küsita, küsimustikud kodeeritaks ja videofilmis olevad näod hägustatakse. Kehaasendite hindamiseks kasutati REBA ankeetmeetodid (*Rapid Entire Body Assessment*). REBA on kiire kogu keha hindamise ankeetmeetod, mis põhineb vaatlusel. Meetodi eeliseks on see, et hinnatakse kogu keha, mitte ainult ülajäsemeid, hinnata saab eraldi ka paremat ja vasakut ülajäset. Kehaasendi hindamine toimub piktogrammide ja kolme punktitablei abil.

Ankeetküsimustik koosnes 129 küsimusest ning vastamine võttis aega orienteeruvalt 15 – 25 minutit. Küsimustiku koostamisel kasutati küsimusi erinevatest rahvusvaheliselt valideeritud küsimustikest. Kasutati nii avatud kui ka suletud küsimusi. Teguri häirivust märgiti sagedusskaalal 1–4, kus: 1 – mõnikord kuus, 2 – mõnikord nädalas, 3 – mõnikord päevas, 4 – iga päev. Häirivust teatud tegurite kohta oli võimalik hinnata ka skaalal 1–3, kus: 1 – ei häiri, 2 – häirib mõnikord, 3 – häirib pidevalt. Sümptomite esinemist viimase kolme kuu jooksul hinnati skaalal 1-4, kus: 1 – ei ole esinenud, 2 – jah on esinenud, kuid ei häirinud, 3 – jah on esinenud, häiris, 4- jah on esinenud, pidin võtma haiguspuhkuse. Intervjuueeritavad said vastata lisaküsimustele seoses kehapiirkondade valutugevusega skaalal 1-5, kus: 1-valu ei esine, 2- vähene valutugevus, 3- mõõdukas valutugevus, 4- tugev valutugevus, 5- väga tugev valutugevus.

Andmete statistiline analüüs toimus *Microsoft Excel*’i ja *SPSS.21.0. (Statistical Package for the Social Sciences)* abil. Tulemuste analüüsimisel kasutati kirjeldavaid andmeid

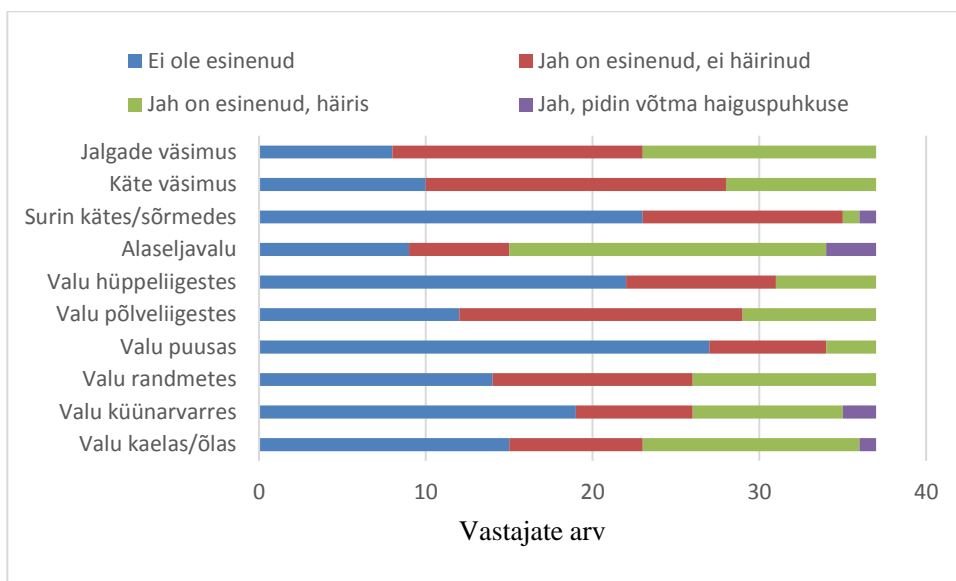
(üldsagedusnäitajad, keskmisi väärtuseid, \pm SD). Uuringu tulemused analüüsiti grupi tasandil ja andmed esitati üldistatud kujul.

TULEMUSED JA ARUTELU

Ankeetküsimustikule vastas 37 tootmistöölist 65-st, vastamise määr – 56,9%. Kõik uuritavad olid meessoost, keskmises vanuses $39,2 \pm 12,2$ aastat. Vastajate keskmine pikkus oli $180,4 \pm 7,9$ cm ning keskmine mass $86,3 \pm 15,7$ kg. Vastajate keskmine kehamassiindeks (KMI) oli $26,5 \pm 4,5$ kg/m². Normaalkaalus (KMI 18,5–24,9 kg/m²) oli 48,7%, ülekaalus (KMI 25–29,9 kg/m²) 27,0% ja rasvunud (KMI ≥ 30 kg/m²) 24,3% töötajatest.

Ametitelt jaotusid vastajad järgnevalt: raudbetoontoodete valmistajad, betooneerijad, betoonitehnoloogid, armeerijad, kraana operaatorid, segusõlme operaatorid, puuseppad, operaatorid, abitöölised. Vastajate keskmine tööstaaž ettevõttes oli $8,7 \pm 9,6$ aastat. Keskmiselt kestab töötajate tööpäev 8 tundi, töötatakse ühes vahetuses. Töötajatest 89,2% vastas, et mõnikord tuleb teha pikemaid tööpäevi kui 8 tundi. Ületunde tehakse keskmiselt kuus 15 tundi. Töötajatest 48,6% vastas, et nende töö on igapäevaselt füüsiliselt raske. Raskusi tekitab oma töö käigus 94,5% töötajatest, keskmine käsitsi teostatava raskuse mass on $28,3 \pm 15,6$ kg. Raskuste teistdamisel kasutab tehnilisi abivahendeid 77,1% vastajatest. Abivahenditest kasutatakse näiteks käru, roklat, sildkraanat ja telfer kraanat. Õigetest töövõtetest on teadlikud 94,6% töötajatest. Oma tööd peavad lühiajaliselt monotoonseks 51,4%, pidevalt monotoonseks 29,7% töötajatest. Töötajatest 18,9% ei pea oma tööd monotoonseks. Regulaarselt teeb puhkepause 37,8% vastajatest, mõnikord 37,8% ning regulaarselt puhkepause ei tee 24,3% vastajatest. Töötajatest 27% vastas, et neil on piisavalt aega puhkamiseks, 54,1% vastas, et “mõnikord”.

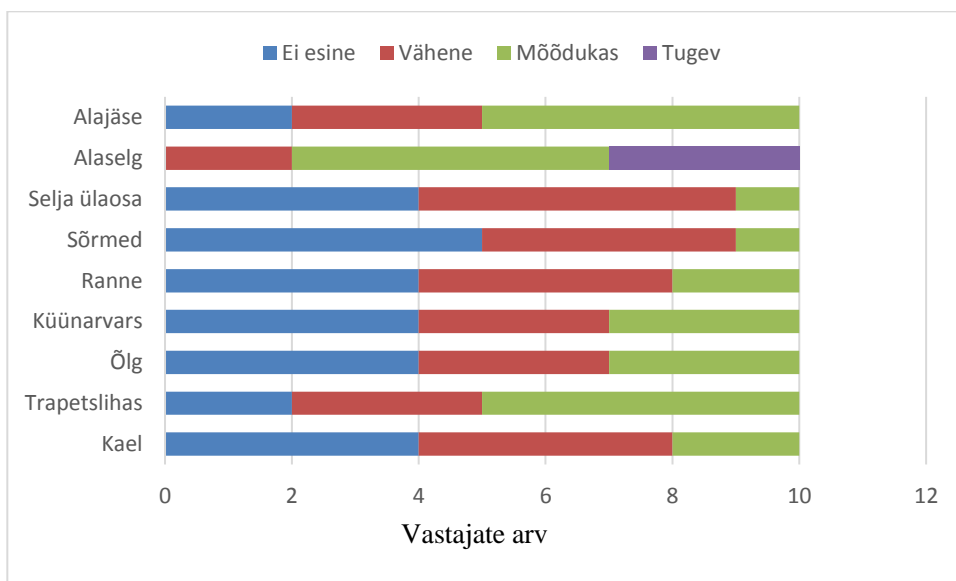
Enamus töötajatest teeb oma tööd seistes, kükitades/põlvitades ja kõndides. Istuvat tööd esineb vähe. Oma tööülesandeid täites sooritab pidevalt ühetaolisi liigutusi 54,1% töötajatest ja 35,1% mõnikord. Ühetaolisi liigutusi teeb 29,7% üle 5 tunni tööpäevast, 32,4% 2-5 tunni tööpäevast, 1-3 tundi 21,6% ja kuni tund tööpäevast 16,2% töötajatest. Suur osa töötajaid seisab tööpäeva jooksul üle 5 tunni, kummargil tehakse tööd 1-5 tundi ja kükitades/põlvitades 1-3 tundi. Istudes ja keha pöördasendis/väändes sundasendeid esineb pigem lühiajaliselt. Töötajad said hinnata skeletilihhasvaevuste esinemist ja häirivust viimase 3 kuu jooksul. Tulemused on välja toodud joonisel 1.



Joonis 1. Skeletilihvasvaevuste esinemine ja häirivus viimase 3 kuu jooksul
Figure 1. Musculoskeletal disorders occurrence and disruption in past 3 months

Vastustest selgus, et kõige enam on töötajatel viimase 3 kuu jooksul esinenud jalgade väsimust ($n=29$), alaseljavalu ($n=28$), käte väsimust ($n=27$) ja valu põlveliigestes ($n=25$). Haiguspuhkust viimase 3 kuu jooksul on võtnud skeletilihvasvaevuste pärast 7 töötajat, põhjusteks näiteks alaseljavalu, valu küünarvarres, valu kaelas/ õlas ja surin kätes/sõrmedes. Tööst tingitud haigusi, terviseprobleeme on esinenud 45,9% töötajatel.

Töötajatest enamus (62,2%) suitsetab, keskmiselt kulub suitsetaval töötajal pool pakki kuni pakk sigarette päevas. Spordiga ei tegele 45,9% vastajatest, kuni 2 korda nädalas tegeleb spordiga 43,2% töötajatest ning 3-4 korda nädalas 8,1% töötajatest. Alkoholi tarbib harva või paar korda kuus 62,1% vastajatest, 3-5 korda nädalas tarbib alkoholi 21,6% ja iga päev 5,4% vastajatest. Alkoholi üldse ei tarbi 10,8% vastajatest. Töötajatest 54,1% hindas oma tervist heaks, 29,7% keskmiseks, 13,5% väga heaks ja 2,7% halvaks. Kehaasendi riski hindamisel osales 10 tootmistöötajat, keskmises vanuses $35,3 \pm 8,5$ eluaastat, keskmise tööstaažiga antud ettevõttes $12,8 \pm 4,8$ aastat. Keskmise käsitsi teisaldatava raskuse mass tööpäeva jooksul oli $16,0 \pm 6,6$ kg. Töötajatel paluti hinnata kehapiirkondade valutaset peale tööpäeva lõppu. Tulemused on välja toodud joonisel 2.



Joonis 2. Töötajate hinnang kehapiirkondade valutugevusele peale tööpäeva lõppu
Figure 2. Workers' assessment of body area pain after workday

Jooniselt 2 on näha, et kõigil 10-nel töötajal esineb peale tööpäeva valu/ebamugavustunne alaseljas. Viis töötajat tunneb mõõdukat valu, 3 tugevat ja 2 vähest valu alaseljas. Töötajatest 8 tunneb vähest kuni mõõdukat valu alajäsemetes. Valu/ebamugavustunnet trapetslihases esineb 8-l töötajal. Kõige vähem esineb valu/ebamugavustunnet sõrmedes.

Kehaasendi riski hinnati REBA meetodiga, kasutades piktogramme ja kolme punkttabelit. Riskiskoor kujuneb A ja B poolte ning tegutsemislaadi skoori tulemustest. A pool hõlmab endas ülakeha, kaela ja jalgade asendeid ning koormust/jõudu. B pool koosneb õlavarre, küünarvarre ja randme asenditest ning haardest. Kehaasendite hindamise tulemused on välja toodud tabelis 1.

Tabelist 1 on näha, et rohkem kui pooltel katsealustel jäävad tööasendid riskitasemetesse kõrge ja väga kõrge. See tähendab, et betoontoodete tootmisega seotud tegevustes on töötajate kehaasenditel kõrge kuni väga kõrge risk skeletilihaskonna ülekoormusvigastusteks. Kõige kõrgema riskiskooriga (11-13) kehaasend on metallarmatuuri sidumisel, kus töötaja peab olema suurema osa ajast kummargil ja keha väändes/ pöördes ning töötaja jalgealune on ebastabiilne. Väga kõrge riskiskooriga (12) on kehaasend ka metallpõranda lihvimisel, kus töötaja on pikalt sundasendis kükitades/ põlvitades ja kummardades. Samuti on väga kõrge riskitase metallarmatuuri valmistajal, kes töötab suure osa tööajast kummargil, põlvitades ja keha väändes/ pöördes asendites. Nimetatud juhtudel on skeletilihaskonna risk kõrge eelkõige alaselja-, põlvede ja jalgade piirkonnas, samuti õlgade-, käte- ja randmete piirkonnas, mistõttu vajavad need töökohad täiendavat uurimist ja peatset ergonoomikalist kujundamist.

Tabel 1. Kehaasendite riskitasemed, kasutades REBA meetodit*Tabel 1. Risk levels for postures using the REBA method*

Tööülesanne	A skoor	B skoor vasak	B skoor parem	C skoor vasak	C skoor parem	Tegutsemislaadi skoor	Lõpphinne	Riskitaseme
Betooni silumine	7	4	2	8	7	3	11-10	Kõrge/väga kõrge
Naelpüstoliga puitelementide kokkupanek	2	1	1	2	2	2	4	Keskmine
Saagimine	5	1	2	4	4	1	5	Keskmine
Metallarmatuuri valmistamine	8	7	8	10	10	2	12	Väga kõrge
Metallarmatuuri sidumine	8	1	7	8	10	3	11-13	Väga kõrge
Liistu liimimine	6	4	4	7	7	2	9	Kõrge
Puitkarkassi kokkupanek	6	6	7	8	9	1	9-10	Kõrge
Puitkarkassi õlitamine	4	2	5	4	5	2	6-7	Keskmine
Metallangide valmistamine	3	1	1	2	2	2	4	Keskmine
Metallpõranda lihvimine	8	5	5	10	10	2	12	Väga kõrge

Tabelist 1 on ka näha, et keskmise skeletilihaskonna vigastusriskiga on puitkarkasside ehitamise ja ettevalmistusega seotud töökohad. Enamkoormatud kehaosad on siin töötajatel alaselg, õlad ja käed. Nimetatud kehaosade ülekoormuse vältimiseks on vaja kehaasendite ja töövõtete mugandamist. Ka nendes töökohtades on vaja teha täiendavat ergonoomikalist hindamist ja töökohtade kujundamist vastavalt töötaja antropomeetrilistele näitajatele.

JÄRELDUSED

Uuringust selgus, et enamus töötajatest teeb oma tööd seistes ja kõndides üle 5 tunni, kummargil kuni 5 tundi ning kükitades/põlvitades kuni 3 tundi tööpäeva jooksul. Enamus tõstab korduvalt raskusi rohkem kui 25 kg ja peab oma tööd monotoonseks ning poolte hinnangul ka füüsiliselt raskeks. Enamus töötajaist on teadlikud õigetest töövõtetest ja 2/3 juhtudest kasutatakse ka abivahendeid.

Betoontoodete tootmistöölistel esineb skeleti-lihasvaevusi rohkem alaseljas, jalgades, kätes ja põlveliigestes. Oma terviseprobleeme seostasid tööga ligi pooled töötajad. Tööasendite ergonoomikalisel hindamisel selgus, et suur osa tööasendeid kuulub riskitasemetesse kõrge ja väga kõrge. Soovitav on töökoha ergonoomikaline

ümberkujundamine ja töötajatele õigete töövõtete õpetamine. Vältimaks skeleti-lihasvaevuseid, et säilitada töötajate parem töövõime, peaks võimalusel teostama tööde rotatsiooni või jagama erinevaid tööülesandeid tööpäeva jooksul. Oluline on teha tööpäeva jooksul sagedamini lühikesi, aga regulaarseid (nt iga tunni tagant) puhkepause.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Euroopa Tööohutuse ja Töötervishoiu Agentuur. (2010). OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU - Facts and figures. [Online]. Available: <https://osha.europa.eu/et/tools-and-publications/publications/reports/TERO09009ENC>. [Accessed 31.03.2019].
- [2] Euroopa Tööohutuse ja Töötervishoiu Agentuur. (2018). Luu- ja lihaskonna vaevused. [Online]. Available: <https://osha.europa.eu/et/themes/musculoskeletal-disorders>. [Accessed 31.03.2019].
- [3] Occupational Safety and Health Administration. (2004). Workers Safety Series Concrete Manufacturing. OSHA Pocket Guide. [Online]. Available: https://www.osha.gov/Publications/concrete_manufacturing.html. [Accessed 31.03.2019].
- [4] **Goldsheyder, D., Weiner, S.S., Nordin, M., Hiebert, R.** (2004). Musculoskeletal symptom survey among cement and concrete workers. *Journal Work*. Vol. 23, No. 2, pp. 111-121.
- [5] **Boschman, J.S., Molen, H.F., Sluiter, J.K., Frings-Dresen, M.H.** (2012). Musculoskeletal disorders among construction workers: A one-year follow-up study. *BMC Journals*. Vol. 13, No. 196, pp. 1-9.

Elektromüograafial põhinevate tagasisideseadmete patendiuring

M. Štrik-Ott¹, M. Reinvee¹

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. The purpose of this paper was to carry out a patent research and to map out the various functions and constructions of EMG equipment to find a market niche for the developable electromyography-based feedback device. The patent research was conducted in online database Espacenet. Different keywords like electromyography, emg, device etc. and their combinations were used. After the search was narrowed, the designs and functions of the patented devices were investigated, including the way of feedback. Most of the found EMG devices were foreseen to be used in medical/rehabilitation purposes. In addition, the best-known companies selling EMGs were identified and were examined for patents on EMG related products. It can be concluded that numerous patents regarding EMG devices have been granted, but only few have been commercialised. Main reason can be that EMG devices share similar in overall design: electrodes-amplifier-filter(optional)- microcontroller-PC/tablet/mobile device, and the innovative patentable solutions lie in developing those particulate parts of the device.

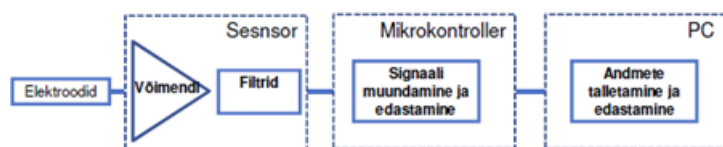
Keywords: electromyography, patent research, product development.

SISSEJUHATUS

Ergonoomika üheks eesmärgiks töökeskkonnas on hoolitseda töötajate tervise eest, sealhulgas vähendades nende kokkupuudet luu- ja lihaskonna vaevusi põhjustavate ohuteguritega. Reaalsetes tööoludes kasutatakse eelpool nimetatud vaevuste hindamiseks enim vaatlusel või küsimustikel põhinevaid hindamismeetodeid. Tulemused näitavad, et ligikaudu 30% praktikute teostatud vaatluspõhistes hinnangutes oli vigu; 13% hinnangutes olid vead tõsised ning annulleerisid hinnangu tulemused täielikult. Vaatlusmeetodi lihtsusest hoolimata ei suuda spetsialistid, kes tegutsevad töökeskkonnas ning viivad läbi vaatlusi, hinnata tegelikult töökeskkonnas esinevate luu- ja lihaskonna vaevuste riskide tegelikku taset [1]. Selleks, et tagada hindamiste objektiivsust, on vaja teha mõõtmisi.

Üheks mõõtmise võimaluseks on elektromüograafia. Elektromüograafia (EMG) on valdkond, mis on spetsialiseerunud elektrooniliste seadmete kasutamisele skeletilihaste bioelektrilise aktiivsuse mõõtmiseks ja andmete analüüsimiseks [2]. Skeletilihaste bioelektrilise aktiivsuse mõõtmise seadet nimetatakse elektromüograafiks, seadmete arendamine ja katsetamine toimub ka Eesti Maaülikoolis [3, 4].

Joonisel 1 on toodud EMÜs arendatava EMG seadmete blokk skeem, millest on näha, et arendatava EMG seadme konstruktsioonilisteks elementideks on elektroodid; sensor, milles võimendi ning valikuliselt ka filtrid; mikrokontroller signaali muundamiseks ja edastamiseks; personaalarvuti andmete talletamiseks ning edastamiseks [2].



Joonis 2. EMG seadme blokk skeem. Allikas: [2]

Antud töö eesmärgiks oli läbi viia patendiuuring ning kaardistada EMG seadmete funktsioonid ja konstruktsioonid selleks, et leida EMÜs arendatavale elektromüograafial põhineva tagasisideseadmele turuniis.

MATERJAL JA METOODIKA

EMÜs arendatava seadme arendamiseks tooteni viidi läbi patendiuuring. Patendiuuringus keskenduti nendele seadmetele, mille peamine eesmärk oli skeletilihaste bioelektrilise aktiivsuse mõõtmine ning tulemuste tagasisidestamine.

Patendiuuring teostati interneti andmebaasis *esp@cenet* ning selleks kasutati erinevaid märksõnu ja nende kombinatsioone.

Saadud andmete põhjal viidi esmalt läbi aine ehk teemauuring, selleks et saada teavet tuntud tehnilistest lahendustest ning saadud infot analüüsidest leida arendatavale seadmele uusi tehnilisi lahendusi [5]. Leitud otsingutulemusi püüti grupeerida vastavalt seadme kasutusvaldkonnale [3]: taastusravi, meelelahutus, proteesid või ergonoomika.

Peaaegu kõigil juhtudel on kaasaskantava elektroonilise toote disaini puhul funktsionaalsus kõige olulisem tegur ning eduka toote arendamisel tuleb funktsionaalsus selgelt määratleda ning sellel keskenduda ja mitte segi ajada teiste konstruktsioonelementidega [6]. Seetõttu vaadeldi uuringu antud etapi käigus eelkõige leitud seadmete funktsioone ning lisaks uuriti ka võimalikke konstruktsioone ning selle elemente.

Järgmisena teostati tehnika taseme uuring [5]. Selle käigus süveneti leitud patentide dokumentidesse ning selgitati välja EMG tagasisideseadmete võimalikud lisafunktsioonid – eelkõige uuriti tagasiside viise: visuaalne, akustiline, mehaaniline vmt.

Kõige viimasena selgitati välja tuntumad elektromüograafe müüvad ettevõtted ning vaadeldi, kas antud ettevõtetel on antud toodetele või EMG valdkonnaga seotud patente.

Teostatud analüüsi tulemusena esitati ettepanekud arendatava EMG tagasisideseadme täiendamiseks.

TULEMUSED JA ARUTELU

Patendiuuringu esimeses etapis, kus kaardistati EMG seadmeid, millelele on esitatud patenditaotlused, andis enim tulemusi märksõna „*electromyography*“ – 818. Otsingu kitsendamiseks kasutati kombinatsioone: „*emg + device*“ (345 vastet), „*electromyography + device*“ (291 vastet), „*emg + feedback*“ (68 vastet) ning

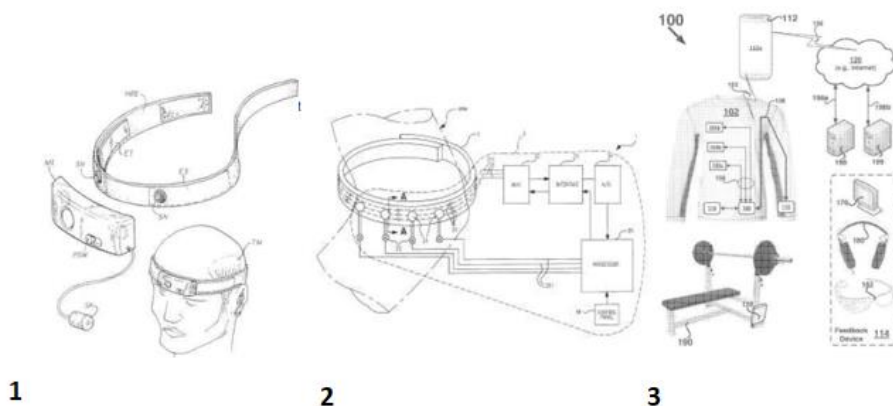
„*emg+biofeedback*“ (29 vastet). Arendatava toote patendiuuringus keskenduti nendele seadmetele, mille peamine eesmärk oli elektromüograafilise mõõtmise teostamine ning tulemuste tagasisidestamine. Seetõttu analüüsiti just kahe viimase märksõna kombinatsioone.

Teemauuringu käigus selgus, et enamuse so 70% märksõnade kombinatsiooni „*emg+feedback*“ ning 93% märksõnade kombinatsiooni „*emg+biofeedback*“ leitud EMG seadmetest kuulusid taastusravi ning meditsiini valdkonda. Mõningased seadmed kujutasid endast proteese ja ühe seadme puhul võis selle liigitada meelelahutuse valdkonda. Lisaks osutus üheks EMG kasutusvaldkonnaks „sport“. „Muu“ valdkonna leidudest võib näitena tuua käevõru kalligraafia oskuse lihvimiseks ning tehisintellekti arendamisega seotud seadmed. Samuti arvati „muu“ valdkonna alla seadmed, millel ei olnud mainitud kasutusvaldkonda või põhifunktsiooni.

Tabel 1. Teemauuringu käigus leitud seadmete grupeerimine vastavalt kasutusvaldkonnale.

Märksõna kombinatsioon	taastusravi/meditsiin	ergonoomika	protees	meelelahutus	sport	muu	kokku
<i>emg+feedback</i>	47	0	3	1	9	8	68
<i>emg+biofeedback</i>	27	0	0	0	0	2	29

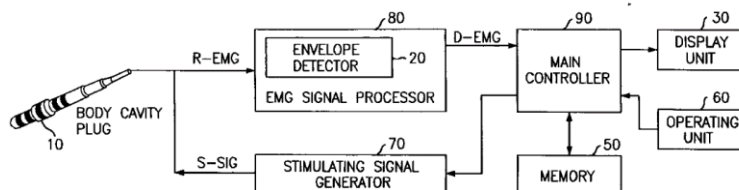
Antud uuringu etapis vaadeldi ka seadmete põhifunktsioone ning konstruktsioone. Mitmete uuritud taastusraviseadmete põhifunktsiooniks on lihasaktiivsuse mõõtmise läbi liigutustegevuse või lihaste töö korrigeerimine sh näiteks jäsemelihaste ning vaagnapiirkonna lihaste rehabilitatsioon/treening, hammaste krigistamise (bruksism) vähendamine. Joonisel 2 on väljatoodud erinevad patenteeritud EMG seadmed.



Joonis 2. Erinevad patenteeritud EMG seadmed: 1. Bruksismi ravi [7] 2. Intelligentne kehatugi. [8] 3. Sportliku suutlikkuse edendamise süsteem [9].

Uuritud seadmete konstruktsioone võib jaotada 2 põhirühma: esiteks, mitmetest erinevatest seadmetest koosnevad seadmekomplektid, mille hulgas EMG seade; teiseks eraldiseisvad EMG seadmed. Portatiivsete ning eraldiseisivate seadmete juures kasutati seadme konstruktsioonina tihti käe-, jala- või peavõrusid. Samas on näha erinevate

seadmete dokumentides suhteliselt sarnased tööpõhimõtteskeemid. Joonisel 3 on näitena ära toodud EMG-l põhinev seade meditsiiniliseks raviks [10].



Joonis 3 . Patenteeritud EMG tagasiside seadme skeem [10].

Järgmisena süveneti leitud patentide dokumentidesse ning selgitati välja EMG tagasiside seadmete võimalikud lisafunktsioonid – eelkõige uuriti tagasiside viise. Enim kasutati seadmetes visuaalset (arvutiekraanid, mobiiltelefonid) ja akustilist tagasisidet, kuid esines ka elektrilist ning survealist tagasisidet, et suunata inimest rakendama taastusravil korrektset poosi.

Viimasena selgitati välja mitmed EMG seadmeid müüvad ettevõtted ning uuriti, kas antud ettevõtetele on olemas antud toodetele või EMG valdkonnaga seotud patente.

Tabel 2. EMG seadmeid pakkuvad ettevõtted ning nende EMG toodete patendid

Ettevõtte	Pakutavad EMG tooted	Patent	Märkused/selgitused
OT Bioelettronica s.r.l.	DueLite, Sessantaquattro (sEMG signaali salvestajad), elektroodid	Self-adjusting auto electrode-sensor for the acquisition of surface bioelectric signals.	Esitatud on patenditaotlus, patendi menetluse ning andmise info puudub
BTS bioengineering	FREEEMG	Wireless probe for dental electromyography	Patendi esitaja: BTS SPA. Patendimenetlus katkestatud EPO poolt.
		Electromyograph with data transmission comprising no metallic conductors	USA patent aegunud, lõivu tasumata jätmise tõttu
NORAXON	Ultium™ EMG, Mini DTS, Clinical DTS	Method and apparatus for a universal sensor	Menetlemisel World Intellectual Property Organization poolt
Delsys	Trigno™ Research+	ei	Ei tuvastatud otsingu käigus
BIOPAC Systems, Inc	BIOPAC EMG	ei	Ei tuvastatud otsingu käigus

Tabelis 2 on valik ettevõtteid, mis tegelevad EMG toodete arenduse ja müügiga. Mitmel neist on esitatud patenditaotlused: OT Bioelettronica s.r.l, BTS bioengineering ja NORAXON, kuid patendimenetlusedokumentidest lähtub, et nii mitmedki patendid ei

kehti või ei ole menetlust veel lõpuni viidud. Seega ei saa väita, et antud ettevõtete EMG tooted on patenteeritud, pigem on ettevõtted märkinud toote juures ära, et tegemist on veel registreerimata kaubamärgiga – tähis TM.

JÄRELDUSED

Uurimustöö eesmärk oli kaardistada erinevad võimalikud EMG seadmete funktsioonid ja konstruktsioonid selleks, et leida arendatavale elektromüograafial põhineva tagasisideseadmele turunišš. Läbiviidud patendiuuringu tulemusel võib järeldada, et suurem osa esitatud patenditaotlustest, mis olid seotud EMG rakendamisega, jäid taastusravi/meditsiini valdkonda. Olenemata kasutusvaldkonnast, uuriti edasi ka leitud seadmete funktsioone ning konstruktsioone.

EMG seadmete funktsioonidest tagasiside viiside analüüsimisel jõuti järeldusele, et enim kasutati seadmetes tagasisideks visuaalset, akustilist tagasisidet, elektrilist ning survealist tagasisidet. Arendatava tagasisideseadme tagasisideks võib rakendada erinevaid viise, vajalik on lähtuda seadme põhifunktsioonist.

Kokkuvõtteks võib öelda, et enamus uuritud EMG seadmete juures esitatud skeemide tööpõhimõtted on sarnased arendatava tootega ning võimalik innovatsioon seisneb pigem konstruktsioonelementide arendamises.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] J. Diego-Mas, J. Alcaide-Marzal and R. Poveda-Bautista, „Errors Using Observational Methods for Ergonomics Assessment in Real Practice,“ *Human factors* vol. 59, no. 8, pp. 1173, 2014.
- [2] M. Reinvee and M. Pääsuke, “Overview of contemporary low-cost sEMG hardware for applications in human factors and ergonomics,“ in *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol. 60, no. 1, pp. 408, 2016.
- [3] P. Vaas, „Kuluefektiivse elektromüograafi arendus,“ *Maaülikool*, p 23-26, 2015.
- [4] M. Reinvee, „sEMG-Feedback Device (Online),“ [Online]. Available: <https://github.com/smaert/sEMG-Feedback>. [Accessed 01 04 2019].
- [5] J. Olt and V. Maksarov, „Toote arendus ja toodangu kvaliteet,“ *Maaülikool*, p 132., 2008.
- [6] B. Haskell, “Portable electronics product design and development,“ McGraw-Hill, pp 6, 2004.
- [7] L. Weinstein, K. T. Ulrich, T. E. Devlin and C. Burns, „Bruxism biofeedback apparatus and method,“ [Online]. https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20000912&CC=US&NR=6117092A&KC=A. [Accessed 01 04 2019].

- [8] M.C. Gross, „Intelligent body support,” [Online].
https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19981027&CC=US&NR=5827209A&KC=A. [Accessed 01 04 2019].
- [9] J. Dhananja and W. Christopher, „Wearable Architecture and Methods for Performance Monitoring, Analysis, and Feedback,” [Online]. Available:
https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20170209&CC=US&NR=2017035354A1&KC=A1. [Accessed 01 04 2019].
- [10] M. S. Kee and L. S. Yeol, „Electrical apparatus for medical treatment using EMG envelope signal,” [Online]. Available:
https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/description?CC=US&NR=6289245B1&KC=B1&FT=D&ND=&date=20010911&DB=&locale=en_EP. [Accessed 01 04 2019].

TOOTMISTEHNIKA

Teravilja kopelevaatori pöördjaoturi motoriseerimine

H. Kurgpõld, M. Madissoo

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. This article focuses on the positioning problems of the distributor chute which surfaced during the motorisation of the rotary distributor of the grain elevator. Inductive sensors are used for the positioning of the distributor chute. The number of inductive sensors corresponds to the unloading openings. When the gear was stopped, the distributor chute either stopped before or after being in the correct position with the opening, depending on the rotation speed. Three different methods are presented for solving this problem. The positive and negative aspects of the methods are presented, as well as the solutions which were used in the project.

Keywords: Inductive sensor, frequency converter, worm gear motor, rotary distributor.

SISSEJUHATUS

Teraviljakuivatites materjalivoolu muutmiseks kasutatavad seadmed jagunevad ehituselt laias laastus kaheks: sektor-tüüpi jagajad ning pöördjagajad. Nimetatud seadmed võivad omakorda olla kas manuaalselt juhitud või motoriseeritud.

Kodutalu teraviljakuivatis on kopelevaatoriga ühendatud 8 – väljundiga pöördjaotur (joonis 1).



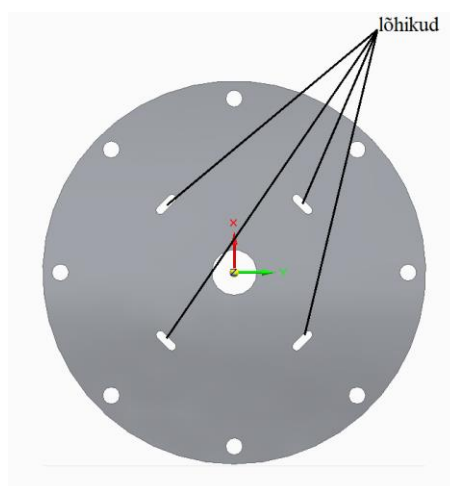
Joonis 1. Antti 8 – väljundiga pöördjaotur
Figure 1. Antti 8 – way rotary distributor

Esitatud pöördjaotur on nii manuaal – kui ka automaatjuhtimise võimalikkusega. Praegu on jaotur manuaalselt juhitav. Teraviljakuivati on ligemale paarkümmend meetrit kõrge, seetõttu on materjalivoolu suuna muutmine operaatorile tülikas ning kuivatusperioodil ka ajakulukas. Kuivati juhtimise ergonomilisemaks muutmiseks soovitakse pöördjaotur motoriseerida, et selle tööd oleks võimalik juhtida kuivati juhtkilbist. Käesoleva artiklis keskendutakse eelkõige pöördjaoturi renni positsioneerimisele kuna see tekitab kogu seadme häälestamisel enim probleeme.

METOODIKA

Seadme katsetamisel tekkis probleem, kus ajam ei seiskunud täpselt väljundavaga kohakuti olles, induktiivanduri signaal kas loeti liiga kiiresti, kus renn seiskus enne õiget kohta või vastupidi, mille tulemusena renn liikus üle väljundava. Järgnevalt analüüsitakse erinevaid lahendusi pöördjaoturi renni positsioneerimistäpsuse parendamiseks.

- 1) Positsioneerimisplaadi kinnitusavade lahendamine lõhikutena (joonis 2).



Joonis 2. Lõhikutega kinnitusavadega positsioneerimisplaat
Figure 2. Positioning plate with slit connection holes

Esialgul projekteeriti positsioneerimisplaadi iga anduri pesa ellipsikujuline, et oleks võimalik andurit mõõda ringjoont liigutada jagamisrenni täpsemaks positsioneerimiseks. Detaili hinnates ning eeldatavalt veelgi suurema täpsuse tagamiseks tehti induktiivandurite pesad siiski täpselt anduri korpuse ühendamiseks vajaliku läbimõõduga, reguleerimise võimaldamiseks projekteeriti ellipsikujulised mõõda ringjoont asetsevad pesad plaadi kinnituskohta. Kuna väljundavad paiknevad teineteise suhtes sümmeetriliselt, siis sellise lahenduse kasutamine osutus võimalikuks. Projekteeritava seadme puhul kasutatakse ajamit, mille pöörlemissagedus on 1400 min^{-1} , tigureduktor on ülekandearvuga 100, seega reduktori väljundvõlli pöörlemissagedus on 14 min^{-1} . Konstantse pöörlemiskiiruse juures tuleb induktiivanduritega varustatud

positsioneerimisplaat katseliselt nihutada sobival määral, et andur registreeriks renni asukoha kohas, et renn kokkuvõttes joonduks täpselt väljalaadimisavaga kohakuti.

2) Mootori juhtimine sagedusmuunduriga

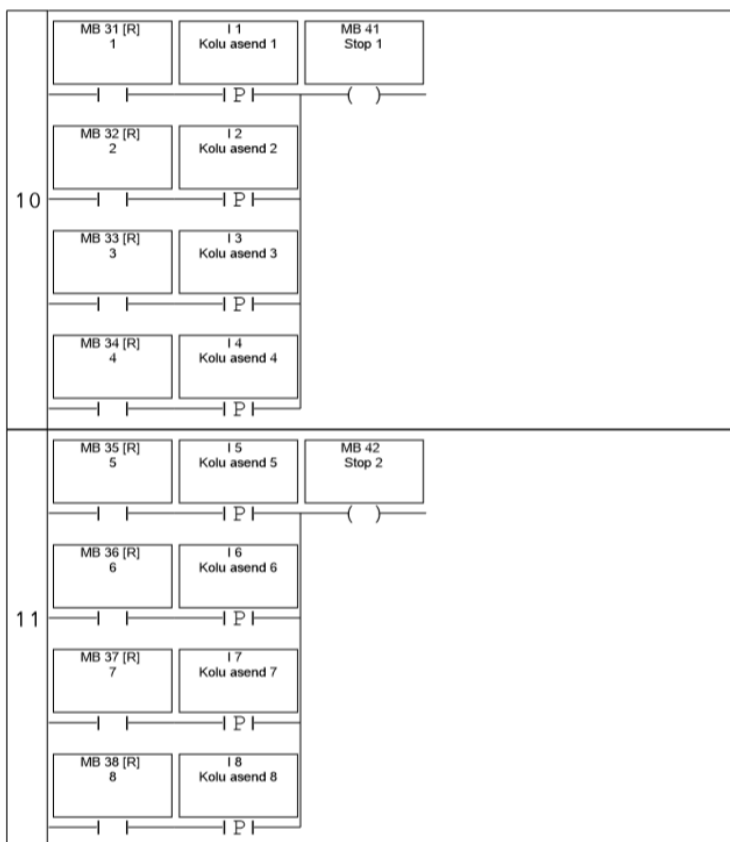
Teine võimalus renni positsioneerimistäpsuse parendamiseks on sagedusmuunduri lisamine mootori juhtimiseks. Sagedusmuunduriga on võimalik ajami, ühtlasi ka tigureduktori väljundvõlli pöörlemiskiirust varieerida määral, mis tagaks jaoturrenni täpse seiskumise. Kusjuures sagedusmuunduri kiirendusega käivitamist kasutada ei õnnestu kuna näiteks kui soovitakse väljundit, mis on koheselt eelnevalt valitud väljundi kõrval, siis selle vahemaa jooksul saavutatud kiirus on erinev võrreldes kui mootor töötab terve täispöörde, mil see kindlasti saavutab sagedusmuundurisse sisestatud sagedusele vastava kiiruse.

3) Juhtloogikas ennistuse tekitamine

Kolmas variant pöördjaoturi positsioneerimistäpsuse parendamiseks on kontrolleri programmis kasutada loogikat, mis arvestaks ajaliselt vahemaad, mis kulub väljunditevahelise pikkuse läbimiseks. Metoodika eelduseks on jällegi konstantne pöörlemiskiirus.

TULEMUSED JA ARUTELU

Artiklis käsitleti kolme erinevat võimalust pöördjaoturi renni positsioneerimistäpsuse suurendamiseks. Seadme projekteerimisel arvati, et selline probleem võib tekkida, seetõttu lõigati laseriga positsioneerimisplaat (joonis 2) koheselt mööda ringjoont asetsevate lõhikutega. Ajami juhtimiseks kasutatakse ka tegelikkuses sagedusmuundurit. Reduktori ülekandearvust tulenev väljundvõlli pöörlemiskiirus osutus mõnevõrra suureks, ka sellega projekteerimise käigus arvestati, et täpsemaks pöörlemiskiiruse reguleerimiseks võib vaja minna sagedusmuundurit. Kolmandat varianti ei kasutatud kuna esimesed kaks andsid seadme reguleerimiseks piisavalt suure ulatuse. Järgnevalt jooniselt (joonis 3) kajastub, et juhtloogikas ennistuse tekitamist ei kasutata.



Joonis 3. Ajami peatamise lõik kontrolleri koodist

Figure 3. A section of the code of the controller for stopping the gear

Eelolevalt jooniselt on näha, et ajam peatatakse kui nupuvajutusega soovitud väljundis olev induktiivandur rakendub ning registreeritakse hetkeline positiivne impulss. Seiskamisahel on koodis poolitatud kuna kõik pöördjaoturi asendid ühele reale ei mahtunud. Esialgu lahutatud seiskamisahel on edaspidisteks loogikateheteks hiljem taas summeeritud.

JÄRELDUSED

Pöördjaoturi positsioneerimistäpsuse suurendamiseks kasutati antud juhul kahte esimest nimetatud varianti – induktiivandurite ringjoont pidi seadistatav positsioneerimisplaat ning sagedusmuundur tigureduktormootori väljundvõlli pöörlemiskiiruse täpsemaks häälestamiseks. Kuna nende lahendustega õnnestus saavutada piisav täpsus pöördjaoturi toimimiseks, siis puudus vajadus täiendavate, autori arvates keerulisemate meetodite rakendamiseks.

Küttepuude toormaterjali etteande konveieri lahendused

S. Kaaver, A. Aan

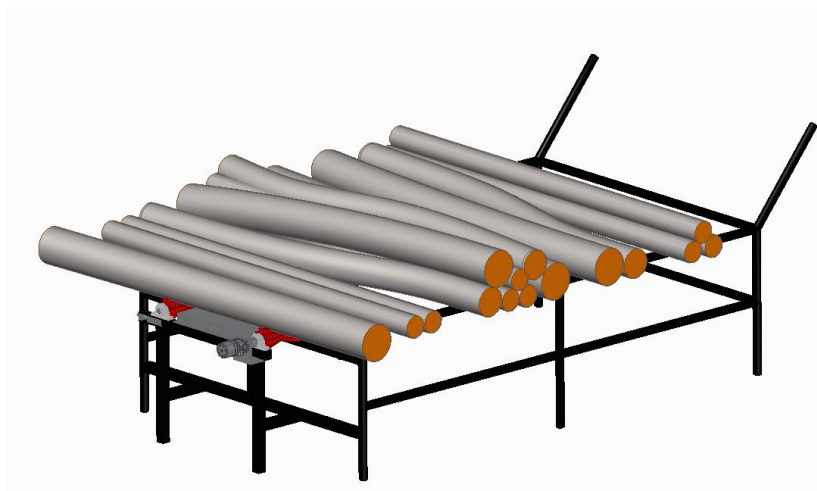
Eesti Maatilikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. This article is about how to make more efficient firewood processing by firewood raw material log deck. Log deck will make firewood processing efficient by losing one person from the working line. Firewood raw material will be placed to the log deck what will have two feeders. One will feed raw material to the other feeder and other feeder will be feeding firewood processor. Feed will be provided by hydraulic which will come from firewood processor. Log deck is also controlled from firewood processor. In this article there is presented different feed conveyers and are compared to each other to get the best solution for feeding raw material to firewood processor.

Keywords: Firewood processor; log deck, hydraulic, feeder.

SISSEJUHATUS

Antud artikkel keskendub erinevate küttepuude toormaterjali etteande konveieri lahendustele, et muuta küttepuude tootmine ohutumaks ja efektiivsemaks. Tänapäeval on levinumaid küttepuude toormaterjali estakaadi (joonis 1.) etteande konveieri konstruktioonilisi lahendusi kolm: ketiga, lindiga ja rullikutega, ning saavad toite kas hüdrauliliselt halumasinalt või elektrimootorilt. Etteande konveieri töö on ette anda küttepuude toormaterjali halumasinale.



Joonis 3. Küttepuude toormaterjali estakaat.

Figure 1. Firewood raw material log deck.

Küttepuude toormaterjal on väga erinevate läbimõõtude ja kujudega, mis muudab kontakti etteande konveieriga kohati olematuks ning tootlikus väheneb. Lisaks võib toormaterjal olla korralikult töötlemata ehk küljes on veel oksad, mis võivad takistada

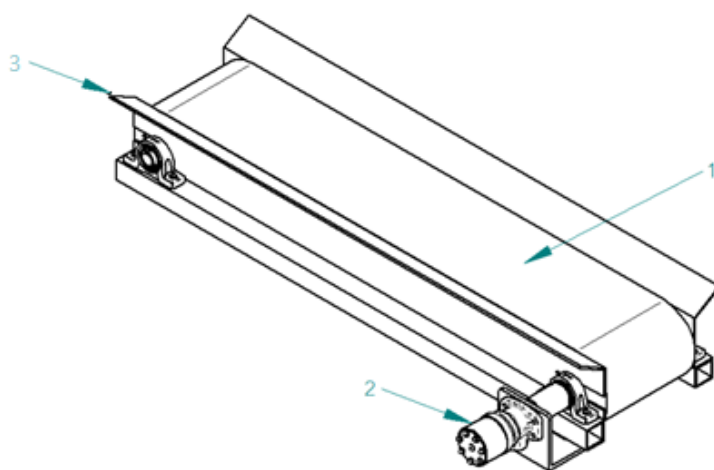
ning lõhkuda etteande konveierit, mille tagajärel töö võib seiskuda ning nõuda majanduslikku väljaminekut.

MATERIAL JA METOODIKA

Järgnevalt analüüsitakse kolme etteande konveieri tüüpi, et saada teada, milline etteande konveieri tüüp sobib kõige paremini küttepuude toormaterjali edastamiseks halumasinale.

1. Kummilindiga etteande konveier

Kummilindiga konveier on laialt kasutusel kaevandustes ja erinevates tööstustes, et transportida puistematerjale ühest kohast teise, kus vahemaad ulatuvad paarist meetrist kilomeetriteni. Kummilindiga konveier koosneb paljudest liikuvatest osadest, mis kuluvad ning muudavad kasutamise kulukaks. Sellest hoolimata kasutatakse neid laialdaselt kuna neid saab lihtsalt paigaldada kuhu vaja. [1] (joonis 2)



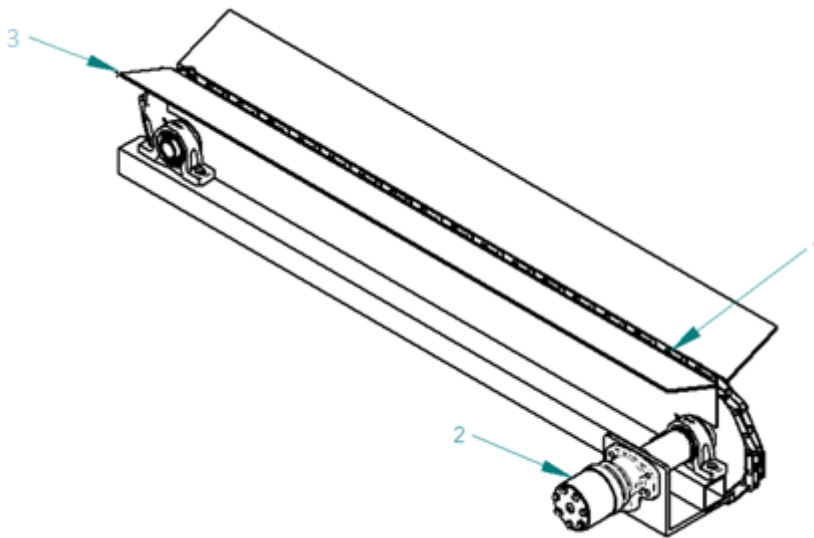
Joonis 2. Küttepuude toormaterjali kummilindiga etteande konveier; 1 - Etteande lint, 2 – Hüdromootor, 3 – Külgtugi.

Figure 1. Firewood raw material belt conveyor; 1 - Feeder belt, 2 - Hydraulic motor, 3 – Side support.

Etteanne toimub lindiga (1), mida ajab ringi hüdromootor (2). Toormaterjal veeretatakse etteande lindi peale ning sealt liigub toormaterjal halumasinasse. Toormaterjal maha ei veereks üle lindi, on sinna paigaldatud külgtued (3).

2. Etteanne kettkonveieriga

Kett on kasutusel ülekannetes ning ka konveierites, mille liikumiskiirus on aeglane. Nende ehitus on tugev ning on disainitud liigutama suuri raskuseid ning kui on korralikult hooldatud, kestavad kettkonveierid kaua. [2] (joonis 3)



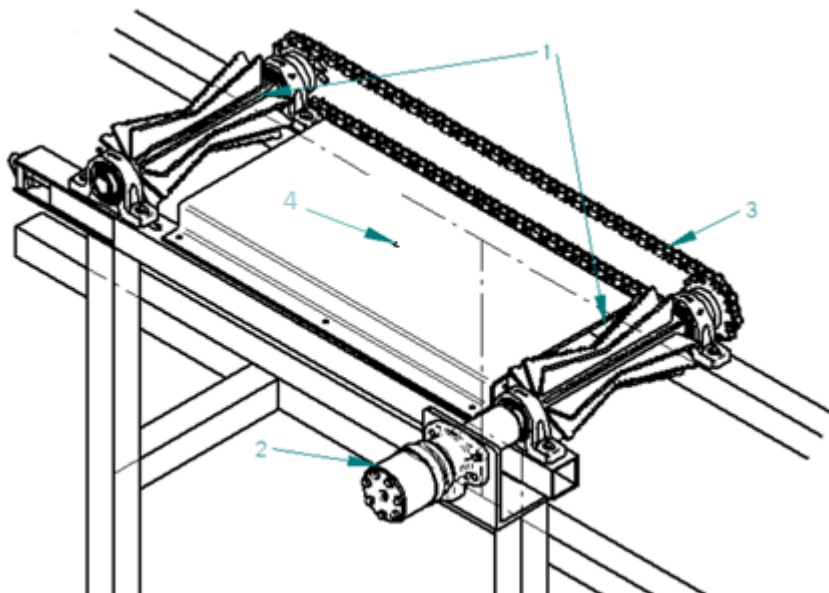
Joonis 2. Küttepuude toormaterjali etteanne ketiga; 1 - Etteande kett, 2 – Hüdro mootor, 3 – Küljetugi.

Figure 2. Firewood raw material chain conveyor; 1 - Feeder chain, 2 - Hydraulic motor, 3 – Side support.

Etteanne toimub transportöör ketiga (1), mida ajab ringi hüdro mootor (2). Toormaterjal veeretatakse etteande transportöör keti peale ning sealt liigub toormaterjal halumasinasse. Toormaterjal maha ei veereks ning püsiks transportöör keti peal, on sinna paigaldatud külgetoed (3).

3. Etteanne rullkonveieriga

Rullkonveierid (joonis 4) on laialdaselt kasutusel tööstustes ning kaubanduses, sest neid on lihtne paigaldada ning nendega saab teha pööranguid ning edastada kaupa sinna kuhu vaja. Rullkonveierite eluiga on pikk, aga samas on palju kuluosasid, mida vahetada.



Joonis 4. Küttepuude toormaterjali etteanne rullikutega; 1 -Etteande rullikud, 2 - Hüdromootor, 3 - Kettülekanne, 4 – Katteplaat.

Figure 4. Firewood raw material roller conveyor; 1 - Feeder rollers, 2 - Hydraulic motor, 3 - Chain drive, 4 – Cover plate.

Etteanne toimub rullikutega (1), mida ajab ringi kettülekanne (3), mida omakorda ajab ringi hüdromootor (2). Toormaterjal veeretatakse etteande rullikutele peale ning sealt liigub toormaterjal halumasinasse. Toormaterjal maha ei veereks ning püsiks rullikutel, on rullikud kumerad ning sakilised, mis ei lase toormaterjalil maha veereda küljele. Rullikute vahele on paigaldatud katteplaat (4), et toormaterjal ei saaks rullikute vahele veereda.

TULEMUSED JA ARUTELU

Analüüsis oli kolme tüüpi küttepuude toormaterjali etteande konveierit: lindiga, ketiga ning rullikutega. Kõigil neil etteande konveieritel on omad eelised ja puudused. Tootlikuse ning efektiivsuse osas on kõige parem rullikutega etteande konveier, sest sakilised ning kumerad rullikud tagavad hea haarde ja kontakti toormaterjaliga. Lisaks tugev ehitus, mis tagab pika eluea. Puuduseks on suur tarvikute hulk, mille tõttu on valmistamisaeg pikk ning teeb kulukaks, kui toota väikseid koguseid. Lintkonveieri eelis on tema tootlikus sirge ja korralikult töödeldud toormaterjali korral, sest kontaktpind on kõige suurem antud etteande konveieritest. Puuduseks on lindi vastupidavus oksalise toormaterjali puhul. See muudab lintkonveieri kulukaks. Kettkonveieri eeliseks on tema vastupidavus ning tema lihtne ja odav ehitus. Puuduseks, aga tema kontaktpind kõvera toormaterjaliga, mille tõttu tootlikus väheneb.

JÄRELDUSED

Arvestades sellega, et küttepuude toormaterjal ei ole ühtlaselt sirge ning korralikult töödeldud, on parimaks lahenduseks rullikutega etteande konveieri olenemata sellest, et kuluosasid on antud etteande konveieri lahendusel kõige rohkem. Lisaks on rullkonveieri lahendus ehituselt kõige tugevam, mis tagab pika eluea, mis õigustab kulukat üksik tootmist.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] F. Hakami, A. Pramanik, N. Ridgway, A.K. Basak, "Developments of rubber material wear in conveyer belt system," *Tribology International*, vol. 111, pp. 148-158, 2017.
- [2] R. Smith, R.K. Mobley, "Chapter 8- Chain Drives," *Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers*, pp. 123-127, 2008.

Manipulaator uArm kauglabori võimalus

S. Kallisaar, I. Virro

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. Remote laboratory is a method where mandatory practical work of a subject can be done via internet. Current method can provide benefits such as reducing physical presence, no dependence of a timetable where student can choose suitable time for performance, reduce time for subjects responsible person. The main purpose of this article is to analyse remote laboratory possibilities and create suitable task.

Keywords: *uArm, remote laboratory, Raspberyy Pi, robotics, TeamViewer.*

SISSEJUHATUS

Käesolev artikkel keskendub kauglabori analüüsile ning selle rakendamises Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudis. Antud lahendust saab praktiseerida õppeainetes Robotitehnika I, - II ja Masinaehitustehnoloogia, kus õppevahendina on kasutada manipulaator *uArm Swift Pro*.

Internetitehnoloogia on lisanud täiendavaid õpetamismeetode, kus veebipõhine õpe on üks olulisemaid täiendusi. Olemas on meetod, kuidas selliseid laboreid läbi viia, mida tuntakse kui kauglaborit. Kauglabori puhul viiakse töö läbi ning kontrollitakse distantsilt, kasutades internetti ning erinevaid tehnoloogiaid nagu: *LabVIEW, Malab / Simulink, Flash, Ajax* jpt. [1]

Kauglaboreid on rakendatud õppetöösse, et simuleerida roboti tööd enne reaalseid praktikume. Tudengite jaoks omab antud meetodite rakendamine õppetöösdes mitmeid eeliseid. Esiteks sellise meetodiga õpitakse seadme liikumiste, kontrollimise ning funktsioonide kohta enne traditsioonilist labortööd. Seeläbi saavutatakse parem ülevaade ning oskused, kuna reaalsete labortööde läbiviimiseks on omandatud seadmega töötamise oskused ning esimene füüsiline praktikum ei pea olema seadmega tutvumine. Tudengite jaoks omab antud lahendus ka ajalist eelist, sest õpilane saab ise otsustada, kunas antud töö sooritatakse. Füüsilise labortöö jaoks on siiski vaja vastutava õppejõu kohalolek, et lahendada tehnilisi probleeme ning seadme tõrkeid. Seetõttu peaks esimene kauglabori ülesanne olema lihtsa ülesehitusega, millega ei saaks tekkida väga palju vigasid [2].

Töö eesmärk on välja töötada toimiv lahendus kauglaboriks, õppemanipulaatoriga *uArm Swift Pro* jaoks eespool välja toodud õppeainetes. Seeläbi välja tuua vajaminev riistvara ning tingimused, mida antud töö jaoks on vaja kasutada.

MATERJAL JA METOODIKA

Artikli raames keskendutakse õppevahendile *uArm Swift Pro*, mis on õppe- ja väiketootluse edendamise nimel välja arendatud manipulaator, seade on kujutatud joonisel 1. Katse piiravaks faktoriks on masina tööraadius, mistõttu on tööala piiratud.



Joonis 1. Õppevahend *uArm Swift Pro*. Allikas: [3]

Käesoleva seadmega saab teostada erinevaid töid, kasutades nendeks mitmesuguseid lõppseadmeid, mis kinnituvad manipulaatori liigendi külge. Võimalik on teostada 3D printimist, lasergraveerimist, iminapa- ja haaratsiga teiselaldada detaile, kasutada universaalhoidikut. Täiendavalt on võimalik rakendada masinnägemis moodulit, mis on juurde ostetav lisa ning sellega on võimalik tuvastada kujusid ning värve [3].

Kauglabori läbiviimiseks peavad olema täidetud algtingimused: statsionaarne arvuti, tarkvara *uArmStudio* ja - *TeamViewer*, internetiühendus, veebikaamera, aktiivne operatsioonisüsteemi kasutaja ja arvutiga ühendatud seade. Täidetud tingimuste korral saab luua kahe arvutivahelise ühenduse, mille jaoks kasutatakse tarkvara *TeamViewer*. Ühenduse loomisel rakendatakse kontrollitavas arvutis seadmega töötamiseks vajaminev keskkond ning seejärel saab antud programmis aktiveerida manipulaatori erinevaid funktsioone. Seadme käitumise kontrollimiseks on tegevus jälgitav läbi veebikaamera.

TULEMUSED JA ARUTELU

Esialgne katse teostati ilma veebikaamera olemasoluta, et testida idee toimimist. Selleks seati üles kaks sülearvutit, paigaldati vajaminevad tarkvarad ning kontrollitava arvutiga ühendati manipulaator. Seejärel tekitati kahe arvutivaheline ühendus ning kontrollitavas arvutis käivitati kontrollitarkvara *uArmStudio* läbi *Teamviewer*'i. Katse toimus edukalt ning seade täitis esitatuid käsklusi ilma tõrgeteta. Tulenevalt sellest, et katse läbiviija paiknes samas ruumis, kus katse teostati, ei olnud vajalik veebikaamera, kuid täiendava katse raames tuleb see lisada, et eksperiment läbi viia pikemalt distantsilt.

Teise soorituse jaoks kasutati miniatuurset arvutit *Raspberry Pi 3 B+*, millel on *NOOBS* operatsioonisüsteem ning ARM arhitektuur [4]. Seadmele õnnestus paigaldada kauglabori sooritamiseks vajaminev tarkvara *TeamViewer*, millega saavutati ka kaugühendus. Probleemaatiliseks osutus manipulaatori tarkvara paigaldamine, mis kulmineerus faktiga, et antud seadmele ei ole võimalik paigaldada vajaminevat *uArmStudio* rakendust, millega saaks kontrollida seadme tööd.

Probleemile otsiti lahendust ka tootja foorumist, kus seadme kasutajatel on võimalik arutada erinevate teemade üle. Antud portaalist leiti üks sarnase probleemiga juhtum ning tehase meeskonna liige vastas, et *uArmStudio*'t ei ole plaanis laiendada ARM protsessoritele, kuna seade ei ole piisavalt võimas ning sellega ei ole võimalik saavutada

jätksuutlikku rakenduse funktsioneerimist. Sellest olenemata võimaldatakse arendajatele erinevate programmeerimiskeelte olemasolu nagu: C, Python ja ROS, millega on võimalik saavutada, läbi *Raspberry Pi 3 B+*, ühendus [5].

Kolmanda katse jaoks seati üles sülearvuti HP Compaq 6910p, Windows 10 64bit operatsioonisüsteemiga. Arvutile paigaldati vajaminevad tarkvarad:

- *TeamViewer* – kaugühenduse loomiseks
- *uArmStudio* – manipulaatori funktsioonide kontrollimiseks
- *IM Magician* – veebikaamera rakendus tegevuse jälgimiseks.

Katse edukaks sooritamiseks peab olema arvuti ning manipulaator olema ühendatud vooluvõrguga, lisaks peab arvuti olema internetiühenduses kas läbi WiFi või kaabli. USB juhtmega tekitatakse ühendus arvuti, manipulaatori ning veebikaamera vahel. Kauglabori sooritamiseks tuleb tekitada ühendus läbi programmi *TeamViewer*, kuhu tuleb sisestada kontrollitava arvuti *TeamViewer*'i ID – 1 237 423 735 ning parool. Windowsi töölaual tuleb käivitada rakendused *uArmStudio* ning *IM Magician*. Eelnevate protsesside läbimisel on täidetud kõik tingimused, et saavutada kontroll manipulaatori üle ning selleks, et antut protsessi saaks jälgida, selle kohta on esitatud pilt joonisel 2.



Joonis 2. Protsessi jälgitavus läbi veebikaamera

Katse viidi läbi, kus koostatav detail, pneumaatiline silinder, paiknes manipulaatori käe tööraadiuses. Katse teostaja viibis küll antud ruumis, kuid see ei mõjutanud töö tulemusi. Sellest olenemata on veebikaamera kvaliteet kehv, ning selle tulemusel ei pruugi töö teostaja korrektselt hinnata detaili ning manipulaatorkäe asukohta. Töö filmiti üles ning on vaadatav järgnevalt aadressilt:

<https://youtu.be/a68SmevfPLw>

JÄRELDUSED

Analüüs näitab, et kauglabor on võimalik läbi viia, kasutades selleks väljatoodud riistvaralisi – ja tarkvaralisi lahendusi. Toimiva internetiühenduse toel on võimalik saavutada manipulaatori üle kontroll ning täita ülesande kriteeriume. Meetodi arendamiseks tuleb täiendada kaamerasüsteemi, millega saab parema ülevaate laboris toimuvast. Seeläbi on võimalik välja töötada keerukamaid ülesandeid, mis tuleb praktikumide raames sooritada.

Ülesandena ei sobi detaili koostamine, kuna keeruline on hinnata veebikaamera abil komponentide ning seadme asukohta. Esimene kauglabor peaks olema manipulaatori liikumistrajektoori- ja loogikakeskkonna õppimine. Esmase labortöö ehk kauglabori läbimise eesmärk on tutvuda seadme liikumise kontrollfunktsioonidega. Füüsilises laboris osaledes on selged seadme põhitõed ning jätkata saab keerukamate töödega.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] ResearchGate, "www.researchgate.net", 04 2010. [On-line]. Available: https://www.researchgate.net/publication/228988059_Virtual_and_Remote_Laboratory_Development_A_Review
[Kasutatud 24 04 2019]
- [2] National Center for Biotechnology Information, "https://www.ncbi.nlm.nih.gov", 11 1988. [On-line]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3649422/>
[Kasutatud 31 03 2019]
- [3] UFACTORY, "www.ufactory.cc", 2019, [On-line]. Available: www.ufactory.cc/#/en/uarmswift
[Kasutatud 24 04 2019]
- [4] MagPi, "www.raspberrypi.org", 2019, [On-line]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
[Kasutatud 29 03 2019]
- [5] UFACTORY, "www.ufactory.cc", 2019, [On-line]. Available: <https://forum.ufactory.cc/t/raspberry-pi-arm-support-for-uarmstudio-and-curaforuarm/1517>
[Kasutatud 29 03 2019]

APJ freespingi makroprogrammeerimise õppevahend

A. Kenk, T. Leemet

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajanduse õppetool

Abstract. The aim of this article is to provide a study material for macro programming in the CNC (numerically controlled) milling machine. The theoretical part of study material is based on Haas machine controller. Author has emphasised key differences in macros with Fanuc controllers. Theory of macros provides knowledge about program structure – from basics to nesting. Great care has been taken to explain the essential part of macros – variables. Important parts like branching, looping, arithmetic functions, logical functions are not covered in this paper. Variables have been broken down to four different categories: null, local, common and system. This article also covers safety issue, because macros use variable types that can cause harm to people and machines. Finally author has proposed a short practical task about macro variables with a solution in the end to illustrate the power of macros. The process of writing this paper sets a structure for a more detailed study material in the future.

Keywords: CNC, computer numerical control, macroprogramming, local variables, common variables, probing.

SISSEJUHATUS

Vähem kui 30 aastat tagasi tekkis vajadus kaasata arvprogrammidesse programmeerimiskeeli, et suurendada APJ (arvprogrammjuhtimisega) seadmete funktsionaalsust. Tänapäeval sisaldavad makrod enamasti C++ ja Visual Basic keeli. Makroprogrammid tegid võimalikuks APJ seadmete arengu järgmisele tasemele (möötesondid, *palleti*-süsteemid, ettevalmistavad funktsioonid avatöötlustele jne). [1]

Antud artikli eesmärgiks on luua APJ freespingi makroprogrammeerimise õppevahendi struktuur, mis annaks õpilasele tutvustava ja teemakohase ülevaate, mida hilisemas tööelus rakendada. Lisaks annab õppevahend rohkem lisandväärtust „Arvjuhtimisega tööpinkide“ õppeainele.

Makroprogrammi eeliseks tavalise arvprogrammi ees on muutujate ja nendega tehtavate kalkulatsioonide kasutus [2]. Antud artikkel ei kajasta aritmeetiliste funktsioonide, loogikafunktsioonide, tingimuste põhiste lausesse hüppamist (*branching*) ning tsüklilist kordamist (*looping*).

Makroprogrammeerimise õppimise eelduseks on tavalise arvprogrammi lugemise, kirjutamise ja mõistmise oskus. Kasuks tuleb praktiline kogemus Haasi ja Fanuci põhistel freespingi juhtimissüsteemidel. Kuigi käesolev artikkel on mõeldud eelkõige APJ freespinkidele, siis põhitõed on kohandatavad ka teistele arvjuhtimisega seadmetele.

MATERJAL JA METOODIKA

Makroprogrammeerimine on Haasi ja Fanuci juhtimissüsteemides sarnane, kuid mitte samasugune. Peamised erinevused seisnevad muutujate liigituses ja neile määratud funktsioonides. Lisaks peab arvestama, et erinevate juhtimissüsteemide korral võivad erineda ka ettevalmistavad ja abifunktsioonid, mille kohta leiab täpsustusi seadme manuaalidest.

Makrode lause struktuur on samasugune nagu tava programmis, mis sisaldab aadressaate ja arvsõnu ning lõpeb juhtlause sümboliga (semikoolon). Arvsõnad aadressaadi järel annavad väärtuse või täpsustavad funktsiooni liiki. Igale aadressaadile on omistatud oma tähendus ja funktsioon, mis esitatud tabelis 1.

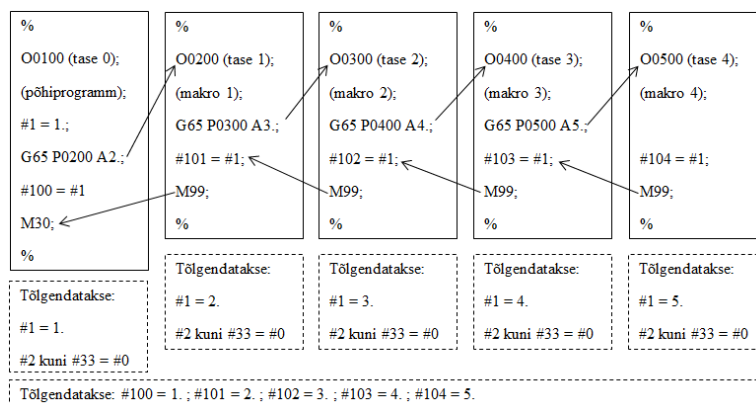
Tabel 2. Programmi lause osade peamised aadressaadid ja nende tähendused. Allikas [3]

Table 1. The meaning of common assignments in the different parts of code lines. Source [3]

Adressaat	Tähendus
N	lause rida
G	ettevalmistav funktsioon
X, Y, Z, A, B	koordinaattelg
F	ettenihe
S	spindli pöörded
T	tööriist
M	abifunktsioon
H, D, Q, P, L, I, J, K, R	ettevalmistavate funktsioonide parameetrid

Makrode esile kutsumine Haasi freespingis toimub ettevalmistava funktsiooniga G65, mida võib kasutada nii põhi-, alam- kui ka makroprogrammis. Fanuci põhised süsteemid aktsepteerivad lisaks G66 ja G67 käsklust (siin täpsemalt ei käsitleta).

Programmi struktuur võib makrodes olla kuni 4-tasemeline. Seetõttu saab põhiprogrammis kutsuda välja makroprogrammi, mis kutsub esile järgneva kuni saavutatakse 4 taset. Tasemete loogikat kirjeldatakse joonisel 1.



Joonis 4. Neljatasemeline makroprogrammi struktuur. Allikas [1]

Figure 1. Macroprogram with 4 level nesting. Source [1]

Makroprogrammides võib kasutada nelja erinevat liiki muutujaid: null, lokaalsed, globaalsed ja süsteemi muutujad. Igale tüübile vastab oma muutjate vahemik (v.a null muutuja), milleks Haasi freespinkides on vastavalt: #0 – null muutuja; #1 kuni #33 – lokaalsed muutujad; #100 kuni #199 ja #500 kuni #699 ning #800 kuni #999 – globaalsed muutujad; #1000 ja edasi – süsteemi muutujad. [2] [4]

Null muutujat (#0) on ainult üks ning ta on väärtusetu. Seda kasutatakse teiste muutjate defineerimisel, kui on vajalik kustutada täielikult muutuja väärtus (kusjuures #0 ei võrdu 0-ga). Null muutuja enda väärtust defineerida ei saa.

Lokaalseid muutujaid kasutatakse ühe programmi taseme siseselt, sest G65-ga talletatakse vanad väärtused ja võetakse kasutusele uued #1 kuni #33 muutujad. Talletatud väärtused taastatakse eelnevasse tasemesse hüppamisel (vt ka Joonis 4). Seetõttu peab lokaalseid muutujaid defineerima kas makroprogrammi alguses või seda välja kutsuvas funktsioonis G65. Siinkohal tuleb kasutada muutujate lokaalset adresseerimist, mida näidatakse tabelis 2.

Tabel 3. Haasi juhtimissüsteemi lokaalsete muutujate adresseerimine. Allikas [4]

Table 2. Haas milling machine`s local variable assignment. Source [4]

Muutuja:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Address:	A	B	C	I	J	K	D	E	F		H
Muutuja:	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Address:		M				Q	R	S	T	U	V
Muutuja:	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Address:	W	X	Y	Z							

Neid muutujad, millel adressaat puudub võib kasutada numbrilisel kujul (kuid mitte koos funktsiooniga G65). Mõndade muutujate aadressi tähed tekitavad lause lugemisel konflikti, sest kattuvad funktsiooni aadressadiga (nt G ja M). [2] [4]

Globaalsete muutujate eeliseks on nende väärtuse säilimine programmi lõppedes. Seetõttu põhiprogrammis defineeritud globaalne muutuja omab sama väärtust ka makroprogrammis. Kuna globaalseid muutjaid võivad kasutada ka mõõtesond ja tööriistasond, siis on soovituslik tutvuda ka nende manuaalidega. Haasi freespingis kasutab Renishaw OMP40 nt #140 kuni #199 ja #540 kuni #599 vahemikke [5]. Kuna globaalsed muutujad võivad olla seotud mitme erineva makroga, siis on korrektne need taastada esialgsetele väärtustele kui neid ei vajata (tavaliselt programmi lõpus).

Süsteemi muutujaid kasutatakse pingi enda tööks vajalike väärtuse talletamiseks (nt nullpunkti nihutused, tööriista pikkused ja diameetrid ning nende korrektsioonid). Kuid siia alla kuuluvad ka muutujad, mida kasutatakse nt loenduritena, taimeritena ja modifitseeritud veateadetenä.

Globaalsete ja süsteemi muutujate kaasamisel programmidesse veendutakse, mida defineeritakse ja mida loetakse. Nt muutes sellise süsteemi muutuja väärtust, mis vastutab seadme piirväärtuste eest, võib makroprogramm tekitada ohtliku olukorra operaatorile ja seadmele. Seetõttu on APJ seadmete mõned muutujad ainult loetavad (defineerides genereeritakse veateade).

Muutujate võimaluste paremaks mõistmiseks on antud töö autor koostanud praktilise ülesande, mis sisaldab lokaalseid muutujaid, FIX aritmeetika funktsiooni (vihje ülesandes) ja arvutustehteid.

Ülesande eesmärgiks oli kirjutada kood, mis sisaldaks ava töötlustsükli kiirlõiketerasest puuridele. Tehtud kood on universaalne erineva diameetriga puuridele, mistõttu on defineeritud tööriista diameeter, ava sügavus, lõikekiirus ja ettenihe. Ülejäänud suuruste leidmiseks on kasutatud arvutustehteid (spindli pöörded ja ava sügavus tööriista 118 kraadisest tipust). Lisaks on kalkuleeritud läbimi sügavus laastu murdmisega puurimisel, teades et läbimi sügavus on 80% puuri diameetrist. Tähelepanu on pööratud andmetüübile, mida kasutatakse spindli pöörete määramiseks.

Vihje: FIX ümardusfunktsioon kaotab komakohad (ujukomaarvust tehakse täisarv).

%

O01022 (Autori lahendus)

G90 (Absoluutväärtustega koordinaadistik)

G94 (Ettenihe on mm/min)

G17 (Töötlus toimub tasapinnas XY)

G21 (Meetermõõdustik)

(vt Joonis 2.c)

(-----Muutujate defineerimine-----)

#22= 35. (Lõikekiirus m/min)

#9= 184. (Puurimise ettenihe mm/min)

#1= 10. (Puuri diameeter mm)

#2= 25. (Ava sügavus ilma tipunurka arvestamatta)

(vt Joonis 2.a)

(-----Arvutused-----)

#19= FIX[[#22 * 1000] / [3.14 * #1]] (Spindli pöörded p/min; FIX kaotab komakohad)

#17= [0.8 * #1] (Läbimi sügavus laastu murdmisega puurimisel mm)

#3= #1 / #2 * TAN[90 - 118 / 2] + 1 + #2 (Ava sügavus puuri tipust mm)

(vt Joonis 2.b)

(-----10 mm jäljepuur T9; fikseeritud lõikerežiimid-----)

T9 M06

S900 M03

G54

G00 X0. Y0.

G00 G43 Z5. H09

(M08)

G82 X0. Y0. Z-1.5 P500 R5. F150. (puurimistsükkel)

G80

G00 Z60.

(M09)

M05

(-----Puur T7-----)

T7 M06

S#19 M03

G54

(M08)

G00 X0. Y0.

G00 G43 Z5. H07

G83 X0. Y0. Z - [ABS[#3]] R5. Q#17 P500 F#9 (Adresseeritud muutujad)

G80

G00 Z60.

(M09)

(-----Lõpetamine-----)

Z100.

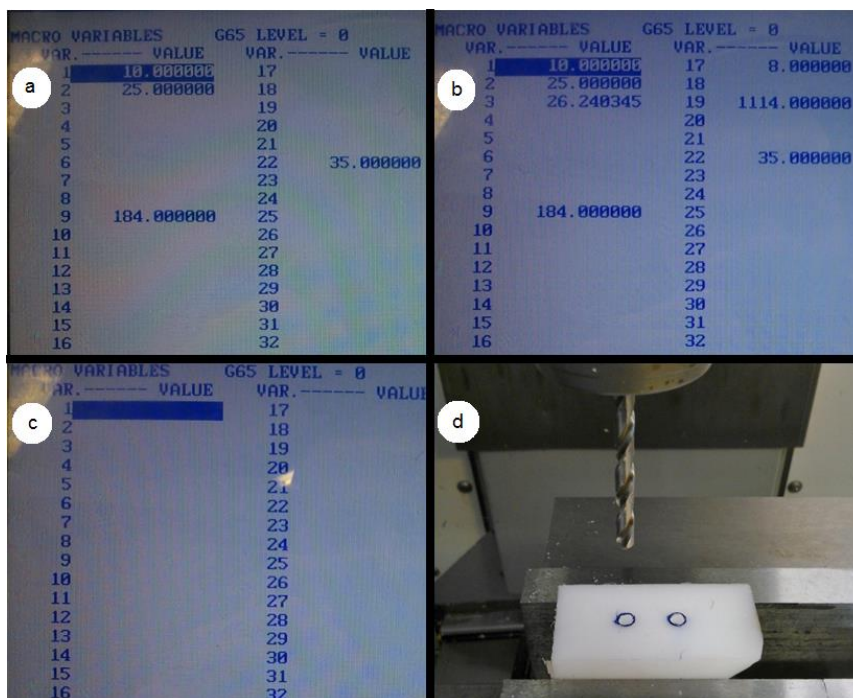
M05

M30 (kustutatakse kõik lokaalsete muutujate väärtused)

(vt Joonis 2.c ja 2.d)

%

Antud kood on kontrollitud ja katsetatud Haas Mini Mill freespingis. Koodi töötamist on kujutatud joonisel 2.



Joonis 5. Haas Mini Milli muutujate tabeli väärtused erinevatel ajahetkedel ja lõpptulemus.

Figure 2. Haas Mini Mill's variable table values at different points in code and the final result.

Ülesanne on koostatud selliselt, et selle lahendust oleks võimalik katsetada Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi APJ freespingiga (Haas Mini Mill).

TULEMUSED JA ARUTELU

Makroprogrammeerimise õppevahend sisaldab programmi struktuuri kirjeldust ja muutujatega tutvumist. Teoreetilise osa kinnistamiseks on autori poolt koostatud praktiline ülesanne ja selle võimalik lahendus. Töötavat ülesande lahendust on võimalik katsetada Haas Mini Mill freespingis.

JÄRELDUSED

Autori arvates täidab antud artikkel eesmärgi – tutvustab õppijale makroprogrammi struktuuri ja selle muutujaid. Põhjalikum õppevahend peab sisaldama rohkem näiteid ja ka teisi makro võimalusi (aritmeetiliste funktsioonide, loogikafunktsioonide ja nende tingimuste põhiste lausesse hüppamist ning tsüklilist kordamist).

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] S. Sinha, CNC Programming using Fanuc Custom Macro B, New York: McGraw Hill Professional, 2010, p. 274.
- [2] P. Smid, Fanuc CNC Custom Macros: Programming Resources for Fanuc Custom Macro B Users, New York: Industrial Press Inc, 2005, p. 311.
- [3] V. Veski, Arvjuhtimisega seadmete programmeerimine, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2006, p. 116.
- [4] *s.a.*, Mill Operators`s Manual, Oxnard: Haas Automation Inc, 2010, p. 276.
- [5] Renishaw, „Inspection Plus software for Haas,“ 2008. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.haascnc.com/content/dam/haascnc/en/service/reference/probe/renishaw-inspection-plus-programming-manual---2008.pdf>. [Accessed 28th February 2019].

4-teljeline töötlus Fusion 360 CAM tarkvaras

A. Kukk¹, T. Leemet¹

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Tootmistehnika õppetool

Abstract. Adding a 4th axis rotary table to a milling machine in any sort of work setting provides several advantages to machine work. A 4th axis rotary table, in general, can provide more precision and ease to a complex design, reducing time and costs for the production of a certain piece. Aim of this article is to describe 4th axis milling and compare its machining time to a 3rd axis, by using a Fusion 360 CAM software.

Keywords: 4th axis milling, rotary table, Fusion 360, Haas, CAM, .

SISSEJUHATUS

Esimesed arv(programm)juhtimisega seadmed võeti kasutusele 50. aastate alguses. Selle vajaduse tingisid ühelt poolt tööstustoodangu suurenenud mahud aga teisalt oli vaja muuta pingitöölise tööiseloomu, vabastada teda rutiinsest ja pingelisest juhtimistegevusest detaili töötlemisel.[1]

CAM (*Computer aided machining*) on arvutipõhine programmeerimine mille tarkvara kasutatakse tööpinkide ja nendega seotud tööriistade juhtimiseks. Selle peamine eesmärk on luua kiirem tootmisprotsess ning kõrgema täpsusklassiga lõpp produkt. CAM on hilisem arvutipõhine protsess pärast arvutipõhist projekteerimist (CAD). [2]

Eesti Maaülikooli tehnikainstituudi poolt 2007. aastal soetatud freesimis töötlemiskeskusega tuli lisavarustusena kaasas pöördlaud, mis on võimalik installeerida Haas Mini Milli 4nda teljena. Päevakorda kerkis vajadus ja võimalus hakata kasutama õpptöös 4ndat telge. Vastava süsteemi võimaluste detailine tundmine on insenerikutse üheks vajalikuks osaks.

Käesoleva artikli eesmärgiks on tutvustada 4-teljelist töötlusviisi kasutades kaasaegset CAM tarkvara *Fusion 360* ning võrrelda autori poolt projekteeritud detaili töötlesaega 3-teljelise töötlemisega.

MATERIAL JA METOODIKA

Pöörleva detaili freesimine võimaldab töödelda kruvisooni, silindrilisel või koonilisel pinnal paiknevaid juhtsooni, tihendisooni ning muid sarnase kujundusega detaile. Pöördlaud on paigutatud paralleelselt ühe masina lineaarse teljega – XYZ. Kasutuses on kahte tüüpi pöördlaudu – indekseeritavad ja servo juhitud. Indekseeritavaid pöördlaudu kasutatakse positsioneerimiseks, olenevalt millist külge detailil soovitakse töödelda. Servo juhitavaid pöördlaudu on võimalik kasutada nii positsioneerimiseks ja töödelda samal ajal, kui toimub pöördliikumine. [4]

Autodesk Fusion 360 on tarkvarade kogum- modelleerimiseks, visualiseerimiseks, simuleerimiseks ja programmeerimiseks. Tegemist on pilvepõhise tarkvaraga, mis on

turul alates aastast 2013. Antud tarkvaraga on võimalik kasutada 4ndat telge kolmel erineval viisil:

1. Indekseerimiseks – A-telg juhitakse etteantud koordinaadile ning edasine töötlus toimub X-, Y- ja Z-telje abil.
2. *Wrapping* – pöördlauda kasutatakse pidevalt liikuva teljena. Pöörlemine toimub töötuse ajal ning tööriista liikumine on piiratud, kas X-, Y- või Z-teljega.
3. Üheaegselt töötuseks – kõik teljed on suutelised liikuma samaaegselt. Antud viisi kasutatakse puhtaks töötuseks. [5]

Eesti Maaülikooli tehnikainstituudi töökojas on kasutuses Haas SuperMinimill S MINImill HE (Joonis1.-A). Masinaga ühildub pöördlaud HRT 160(Joonis1.-B).



Joonis 1. A- Haas SuperMinimill S MINImill HE. B- Pöördlaud HRT 160
Figure 1. A- Haas SuperMinimill S MINImill HE. B- Rotary table HRT 160

Tegemist on vertikaalse töötlemiskeskusega, mis on arvprogrammjuhitav. Seadmega on võimalik töödelda väiksemaid (massiga kuni 8 kg [3]) ja keskmisi (massiga 8-50 kg [3]) detaile.

4- ja 3-teljelise töötuse aegade võrdlemiseks on artikli autori poolt projekteeritud valmis *Fusion 360* modelleerimise keskkonnas treimiseks kasutatav pehme pakk(Joonis 2.). Pehmetel treipadrundi pakkidel on mitmeid eeliseid karastatud pakkide ees. Detail paikneb spindli tsentriga ühel joonel ning toorik paigutatakse igal korral kindlale kaugusele ehk vastu pakkide tagumist seina.

Pehmete pakkidega on võimalik kinnitada erinevate diameetritega toorikuid ja saavutada täpsema klassiga lõpptulemus.



Joonis 2. Pehme treipakk
Figure 2. Lathe soft jaw

Aegade võrdlemiseks kasutati *Fusion 360 CAM* keskkonda. Nimetatud keskkonnas on võimalik graafiliselt simuleerida tööriistade liikumised nii nagu seda tehakse reaalselt arvjuhitavates töötlemiskeskustes. Sel moel on võimalik leida efektiivseim töötlusviis ilma töötlemiskeskust kasutamata. Tabelis 1. on välja toodud simulatsioonis kasutatud tööriistad koos töötlemis aegade arvutamiseks vajalike parameetritega.

Tabel 4. CAM tarkvaras kasutatud tööriistad.

Table 1. Tools used in CAM software.

Tööriist	Läbimõõt, mm	Lõikekiirus, m/min	Ettenihke kiirus, mm/s	Hammaste arv, z	Tootja
Lauprees	50	235	0,3	5	Kennametal
Sõrmfrees	10	250	0,07	3	SCT
Sõrmfrees	8	250	0,06	5	SCT
Puur	10,8	95	0,1	1	Precitool
Faasifrees 60°	6	150	0,007	4	Precitool
Faasifrees 90°	6	150	0,06	4	SCT

Detaili töötlemisel tootliku aja arvutamisel teoreetiliselt lähtutakse lõikepikkusest, läbimite arvust ning ettenihkekiirusest. [6]

Tootlik aeg arvutatakse valemi abil:

$$t_p = \frac{L \cdot i}{v_f} \quad (1)$$

kus t_p on tootlik aeg, s;
 L – kogu lõikepikkus, mm;
 i – läbimite arv;

V_f – ettenihkekiirus, mm/min;

Kogu lõikepikkus arvutatakse valemi abil:

$$L = l + 0.5 \cdot d + l_a + l_{oi} - l_{st} \quad (2)$$

kus l – tooriku pikkus, mm;
 d – freesi läbimõõt, mm;
 l_a – lähenemise kaugus, mm;
 l_{oi} – ülejooksu kaugus, mm;
 l_{st} – algasendi kaugus, mm;

Ettenihkekiirus arvutatakse valemi abil:

$$V_f = n \cdot f_t \cdot N \quad (3)$$

kus n – pöörlemissagedus, min^{-1} ;
 f_t – hamba ettenihe, mm;
 N – hammaste arv;

Pöörlemissagedus arvutatakse valemi abil:

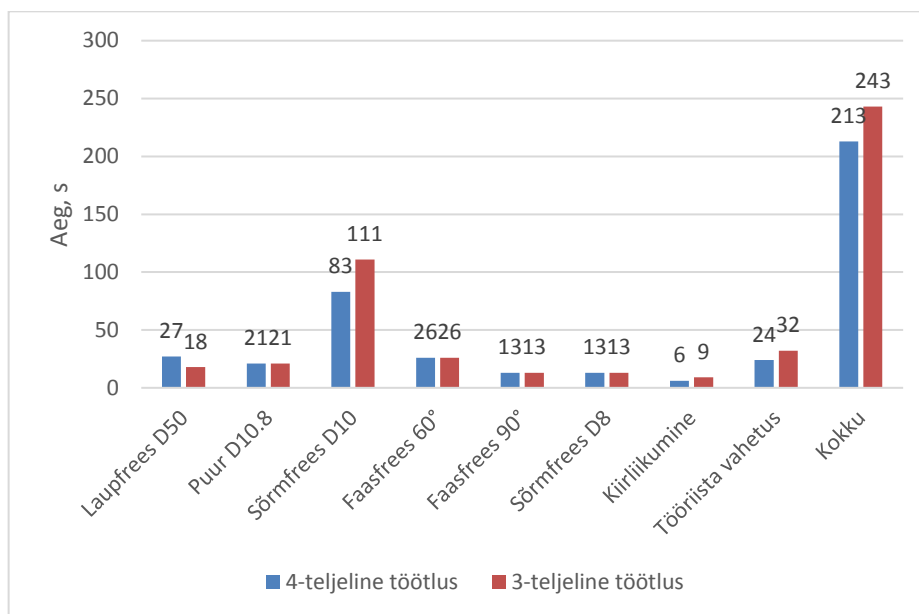
$$n = \frac{V_c}{\pi \cdot d} \quad (4)$$

kus V_c – lõikekiirus m/min;

Reaalsel töötlemisel kulub aega ka tööriistade vahetamisele, mis olenevalt pingist võib varieeruda 1-5 sekundi vahel ning kiirliikumistele tooriku ümber. *Fusion 360 CAM* tarkvara kasutab tootliku aja arvutamiseks sama arvutuskäiku ning lisab juurde ka tööriistade vahetamisele ja kiirliikumistele kuluvad ajad.

TULEMUSED JA ARUTELU

Mõlema töötlusviisi puhul kasutati ühesuguseid tööriistu ning detaili valmimiseks tuli teostada 2 seadistust. Olenevalt töötlusviisist kasutati tööriistu nii kuidas võimalik. 4-teljelisel töötlemisel töödeldi kõik küljed üle laupreesiga. 3-teljelisel töötlemisel poleks olnud see võimalik kahe seadistusega, mistõttu kasutati külgede töötlemiseks 10 mm diameetriga sõrmfreesi. Tulenevalt sellest tekkis ajaline erinevus antud tööriistade vahel.



Joonis 3. Aegade jaotus 4- ja 3-teljelse töötlusviisi puhul
Figure 3. 4th and 3rd axis distribution of times

Teiseks märkimisväärseks erinevuseks on kiirliikumistele ja tööriista vahetusele kuluv aeg. Ühe tööriista vahetusele kulub 4 sekundit aega. 4-teljelse töötlus viisi puhul teostatakse 6 ning 3-teljelse korral 8 vahetust. Aegade erinevuse summaks on 8 sekundit. Kiirliikumiste aegade erinevus on 3 sekundit.

JÄRELDUSED

Lähtuvalt uurimustöö tulemustest tõestati käesolevas artiklis CAM tarkvara abil, et kasutades 4-teljelist töötlusviisi on võimalik valmistada soovitud detail kiiremini, kui kasutades 3-teljelist töötlusviisi. Märkimisväärseimaks aegade erinevuse põhjuseks oli tööriistade kasutamise võimalused olenevalt töötlusviisist ning tööriistade vahetuste korduste summa.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] **Veski, V.** (2001). Arvjuhtimisega seadmete programmeerimine. Tallinn: Tallinna Tööstushariduskeskus.
- [2] Google Books, "www.books.google.com", [On-line]. Available: https://books.google.ee/books?id=LYdF5akRL6sC&pg=PA48&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false [Kasutatud 23.03.2019]
- [3] Pakk, V. (2014). Masinaehitustehnoloogia. Tehnikainstituut.
- [4] Mastercam basics tutorial, 06.2018, [On-line]. Available: <http://colla.lv/wp-content/uploads/2018/07/Mastercam-Basics-Tutorial.pdf> [Kasutatud 23.03.2019]

- [5] Autodesk Help, "www.help.autodesk.com", [On-line]. Available: <http://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GUID-7FF25192-AED7-4230-92DC-E22ADF15D498> [Kasutatud 27.03.2019]
- [6] Fisher, U., Gomeringer, R., Heinzler, M., Kilgus, R., Näher, F., Oesterle, S., Paetzold, H., Stephan, A. (2012). Mechanical and Metal Trades Handbook. Veröag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH and Co. KG, 42781 Haan-Gruiten, Germany. 2nd English edition.

Vertikaalse fotobioreaktori valguse intensiivsuse modelleerimine

R. Leheveer, T. Kikas

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. Photobioreactor is a closed system used to cultivate phototrophic microorganisms that use light as energy source. Closed system needs nutrients, carbon dioxide, heat and light. As concentration of the biomass increases, the distance light can penetrate in the biomass decreases. That causes dark areas in reactor and lowers cell growth. This article analyses light intensity in externally illuminated vertical photobioreactor. Calculations were made at different *Spirulina* concentrations. Results show that at the beginning of growth phase about 10% of the light reaches centre of the photobioreactor. At the end of the growth phase it drops to 2.5%. This reactor design, with 3 external light sources creates some dark areas in photobioreactor but with good mixing it is possible to cultivate *Spirulina*.

Keywords: *Spirulina*, photobioreactor, microalgae, light

SISSEJUHATUS

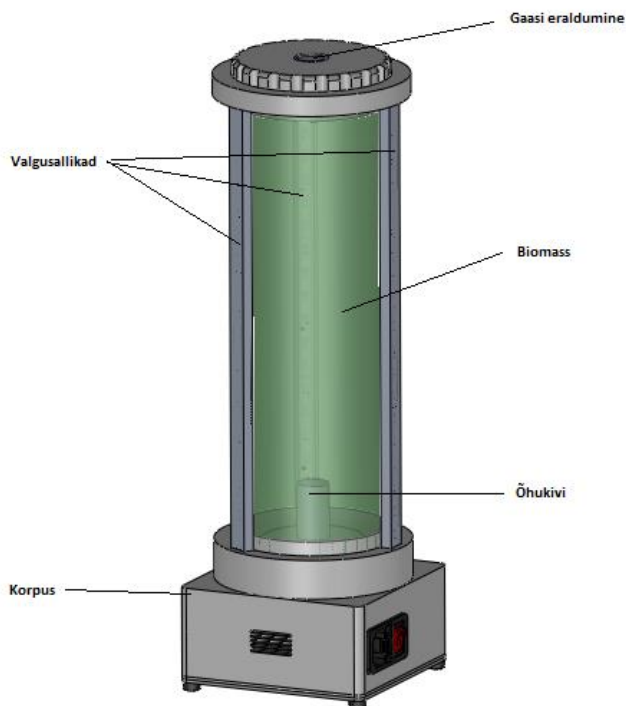
Fotobioreaktor on suletud süsteem fototroofsete mikroorganismide kasvatamiseks. Fototroofsed mikroorganismid on mikroskoopilised organismid, mis kasutavad energiaallikana valgust. Kuna fotobioreaktor on kinnine süsteem, peab tagama mikroorganismidele piisavas koguses toitained, süsihappegaasi, soojust ning valgust. Biomassi kontsentratsiooni suurenemisega väheneb valguse levimise kaugus, mis tekitab pimedaid alasid reaktoris. Liiga vähene valgustatus pärsib mikroorganismide kasvu.[1]

Antud artiklis analüüsitakse arvutuste põhjal mikroorganismide valgustatust väliselt valgustatud vertikaalse asetusega fotobioreaktoris. Arvutused teostati erinevate *Spirulina* kontsentratsioonide jaoks ning vastavalt tulemustele koostati graafikud tulemuste visuaalseks esitluseks. Esitatud mudeli abil on võimalik vaadelda, millistesse piirkondadesse tekivad mikroorganismide kasvu pärssivad pimedad alad ning kuidas muutub valguse levik biomassi kontsentratsiooni suurenemisel.

MATERJAL JA METOODIKA

Konstrueeritud fotobioreaktor koosneb korpusest, vertikaalse paigutusega silindrilisest anumast, kolmest välisest valgusallikast ja õhukivist. Anum on valmistatud läbipaistvast akrüültorust läbimõelduga 100 mm ning seinapaksusega 3mm. Anuma kõrgus on 300 mm, mis võimaldab reaktoris hoida ligi 1.9 l vedelikku. Biomassi valgustamiseks kasutatakse väliseid valgusallikaid, milleks on 3 vertikaalselt paigutatud LED riba koguvõimsusega 15 W. Valgusallikad on paigutatud alumiiniumprofiili ning

reaktori suhtes 120 kraadise nurga all. Selliselt on tagatud ühtlasem valgustatus kogu reaktoris. Reaktori üldistatud skeem on kujutatud joonisel 1.



Joonis 1. Konstrueeritud fotobioreaktori üldistatud skeem.

Figure 1. General schematic of the designed photobioreactor.

Valguse intensiivsuse arvutamiseks kasutati I. S. Suh ja S. B. Lee artiklis “*A light distribution model for an internally radiating photobioreactor*” kasutatud arvutuskäiku [2]. Arvutuskäik on kohandatud vastavalt uuritava fotobioreaktori iseärasustele. Antud meetod võimaldab arvutada valguse intensiivsust reaktori mistahes punktis erinevate biomassi kontsentratsioonide korral.

Kuna kasutati kolme valgusallikat, tuli defineerida kõikide valgusallikate asukohad:

Esimese valgusallika asukoht. [2]

$$R_{1.3}(r, \theta) = \sqrt{r^2 + R_0^2 - 2 \cdot r \cdot R_0 \cdot \cos(\theta)} \quad (1)$$

Kus $R_{1.3}$ on valgusallika asukoht,
 r – valgusallika kaugus reaktori keskpunktist cm ($r=5$ cm),
 θ – nurk x-telje ja valgusallika vahel rad,
 R_0 – fotobioreaktori raadius, cm ($R_0=5$ cm).

Teise valgusallika asukoht. [2]

$$R_{2.3}(r, \theta) = \sqrt{r^2 + R_0^2 - 2 \cdot r \cdot R_0 \cdot \cos\left(\theta - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right)} \quad (2)$$

Kolmanda valgusallika asukoht. [2]

$$R_{3.3}(r, \theta) = \sqrt{r^2 + R_0^2 - 2 \cdot r \cdot R_0 \cdot \cos\left(\theta - \frac{4 \cdot \pi}{3}\right)} \quad (3)$$

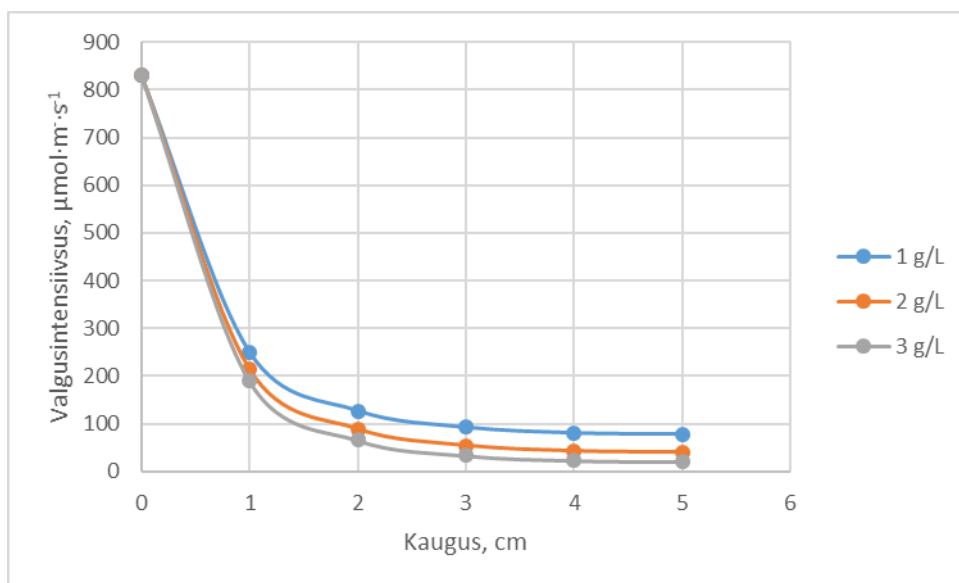
Valguse intensiivsus fotobioreaktori horisontaalse tasapinna mistahes punktis on seega leitav valemiga. [2]

$$I_3(r, \theta) = \frac{r_0 \cdot I_0}{R_{1.3}(r, \theta)} \cdot e^{-\varepsilon \cdot X \cdot (R_{1.3}(r, \theta) - r_0)} + \frac{r_0 \cdot I_0}{R_{2.3}(r, \theta)} \cdot e^{-\varepsilon \cdot X \cdot (R_{2.3}(r, \theta) - r_0)} + \frac{r_0 \cdot I_0}{R_{3.3}(r, \theta)} \cdot e^{-\varepsilon \cdot X \cdot (R_{3.3}(r, \theta) - r_0)} \quad (4)$$

Kus I_3 on valguse intensiivsus fotobioreaktori horisontaalses tasapinnas $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,
 I_0 – valgusallika poolt tekitatud valguse intensiivsus $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ($I_0=840.3$ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),
 $R_{1.3}, R_{2.3}, R_{3.3}$ – valgusallikate asukohad,
 ε – valguse neeldumise koefitsient ($\varepsilon=0.14113$) [3],
 X – biomassi kontsentratsioon g/L ($X=1 \dots 3$ g/L),
 r_0 – valgusallika raadius cm ($r_0=0.3$ cm).

TULEMUSED JA ARUTELU

Valemi 4 abil arvutati 10 mm vahedega viis erinevat punkti valgusallika suunas. Joonisel 2 on välja toodud arvutuslikud tulemused sõltuvalt valgusallika kaugusest ning biomassi kontsentratsioonist.

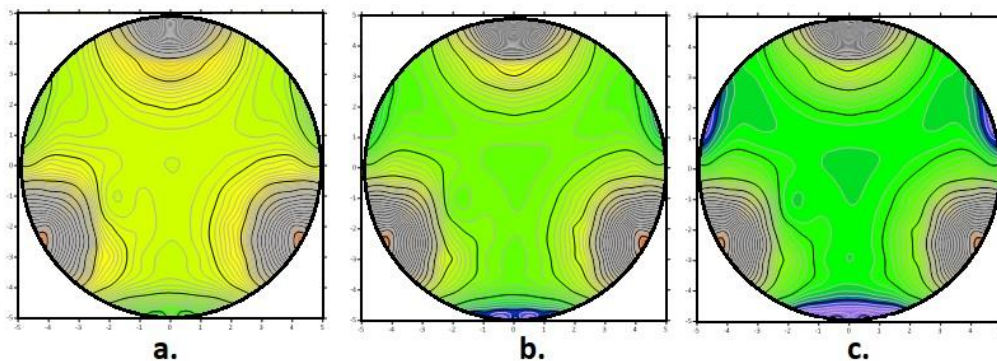


Joonis 2. Valgusintensiivsuse muutus erinevatel kaugustel valgusallikast erinevate biomassi kontsentratsioonide korral.

Figure 2. Calculated results at different biomass concentrations.

Graafik kajastab valguse intensiivsuse langust kauguse suurenedes valgusallikast. Samuti väheneb valguse levimise kaugus biomassi kontsentratsiooni suurenemisel. Biomassi kontsentratsiooni 1 g/L korral jõuab sisestatud valguse intensiivsusest ($840.3 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) reaktori südamikku $77.9 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Kontsentratsiooni suurenemisel 2 g/L langeb valguse intensiivsus reaktori südamikus $40.1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ning 3 g/L korral jõuab sisestatud valguse intensiivsusest reaktori südamikku vaid $20.7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

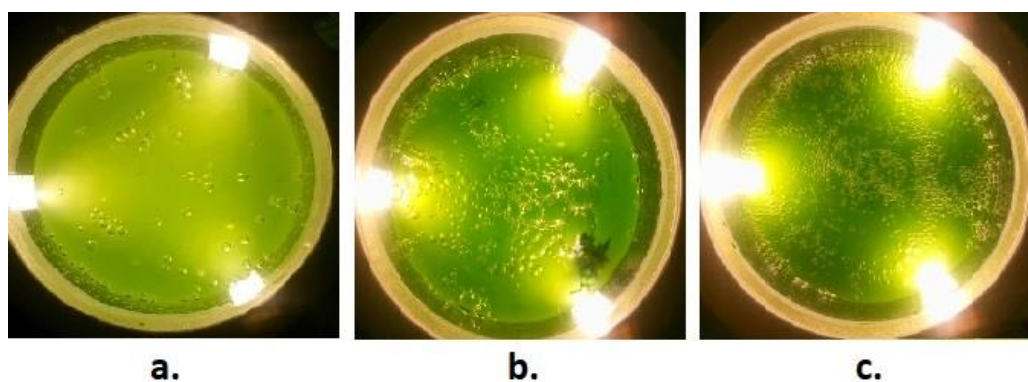
Kasutades valemit 4 koostati kogu reaktori vertikaalset tasapinda iseloomustavad graafikud. Mudeli visualiseerimiseks kasutati tarkvara Surfer 15 [4]. Graafikud on välja toodud joonisel 3.



Joonis 3. Modelleeritud valguse intensiivsuse jaotus fotobioreaktori horisontaalsel tasapinnal kontsentratsioonidel; a - 1 g/L, b - 2 g/L, c - 3 g/L..

Figure 3. Light intensity model; a - 1 g/L, b - 2 g/L, c - 3 g/L

Samades kasvufaasides tehtud fotod on välja toodud joonisel 4.



Joonis 4. Fotobioreaktori fotod mikrovetika erinevates kasvufaasides, mis vastavad mikrovetika kontsentratsioonidele; a - 1 g/L, b - 2 g/L, c - 3 g/L.

Figure 4. Photos of different growth phases; a - 1 g/L, b - 2 g/L, c - 3 g/L.

Modelleeritud valguse intensiivsuse ja fotodel nähtava visuaalse pildi vahel on märgata kokkulangevust. Joonistelt paistab, et suurema biomassi kontsentratsiooni korral tekivad valgusallikate vahele ning reaktori südamikku alad, kus valgusintensiivsus on väiksem. Samuti on näha, et valgusallikate läheduses on valgus oluliselt intensiivsem. Saadud tulemuste põhjal võib väita, et eelnevalt nimetatud valemite põhjal on võimalik modelleerida valgusintensiivsust antud fotobioreaktoris.

JÄRELDUSED

Tulemustest selgub, et 1 g/L kontsentratsiooni korral jõuab sisestatud valgusintensiivsusest reaktori südamikku 9.4%. Biomassi kontsentratsiooni suurenemisel 2 g/L-ni jõuab reaktori südamikku 4.8 % esialgsesest valgusintensiivsusest. 3 g/L juures jõuab reaktori südamikku vaid 2.5% sisestatud valgusintensiivsusest ja tekivad pimedad alad reaktori südamiku ning valgusallikate vahele. Valguse puudumine hakkab pärssima mikrovetikate kasvu ja see võib olla üks põhjus, miks antud lahenduse puhul ei saavutata oluliselt suuremat biomassi kontsentratsiooni kui 3 g/L.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] A. Kommareddy, G. Anderson, "Study of light requirements of a Photobioreactor",
Kättesaadav: https://www.researchgate.net/publication/251438766_Study_of_light_requirements_of_a_Photobioreactor
- [2] I. Suh, S. Lee, "A light distribution model for an internally radiating photobioreactor",
Pohang University of Science and Technology, 2001. Kättesaadav:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/bit.10558>
- [3] P. Gharagozloo, J. Drewry, "Validated Algae Growth Model and Optimization Study".
Kättesaadav: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1140425>
- [4] Tarkvara Surfer 15. Kättesaadav: <https://www.goldensoftware.com/products/surfer>

Probleemid purkide kaanetamisel

T. Lillerand, M. Madissoo

Eesti Maatilikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. Capping the jars may be considered as a relatively easy task, but on the contrary, food processing industries have paid and furthermore are willing to pay for cost-effective and stable solutions. Twist-off type jars are part of massive food preservation revolution that started in the 19th century, that continues even today. For food preservation, the main keyword is “vacuum”, as the rotting process is nothing more than oxidation process. Therefore, getting the oxygen out of the jar and the product is essential. There are different methods, how to vacuum the product that is going to be preserved in a vessel. In order to keep the vacuum in the vessel, one must cap the jar tightly enough. With capping the jars, food industries meet two major problems: how to twist the cap onto a jar and how to provide constant capping torque. This study concentrates on history of the twist-off capping jars, points out the different possibilities to vacuum the sealed jar, different methods how to twist the cap onto the jar and last, but not least, how to provide and maintain steady capping torque through the batch. Practical experiment was held out in order to find out different capping torque figures that the jar capping machine must be able to cope with.

Keywords: jar capping, capping torque, mason jar, vacuum capping

SISSEJUHATUS

Kaanetamiseks võib nimetada protsessi, mille käigus suletakse soovitud anum sellele sobiva kaanega [1]. Antud artikli raames leiavad käsitlust just keeratavad ehk *twist-off* tüüpi kaanega klaaspurgid ning neisse hoidiste valmistamine. Klaasanumat peetakse üheks parimaks, kuna see ei reageeri toidus olevate keemiliste ühenditega [2]. Muuhulgas võimaldab see pakendada toodet, mis on viidud steriliseerimiseks üle 82 °C. Taoliselt on tagatud toidu säilivus ja maitseomadused [1]. Kuigi klaasanumasse toiduainete säilitamine sai suurema leviku juba 19. sajandi alguses, siis toodete keeratava kaanega purki pakendamise suurleiutajaks on John Landis Mason, kelle perekonnanime järgi on saanud nime ka keermetatud klaaspurgi tüüp *Mason jar*, ehk ka *twist-off* purk. Keeratava kaanega tehnoloogia patenteeriti aastal 1858 [1].

Erinevate keemiliste protsesside tekkeks ja kulgemiseks on vajalik komponent hapnik. Seda ka toiduainetetööstuses. Põhiline neist on fermentatsioon ehk kääritamine, mida on kasutatud juba enne klaasanumate teket. Kääritamise hulka kuulub ka hapendamine [1]. Eristada võib soovitud ning teadlikult suunatud protsessiga kääritamist ning soovimatut kääritamist. Esimesel juhul võib tuua näiteks veini või hapukapsa valmistamise. Teisel juhul võib olla tegu näiteks lauale või külmikusse unustatud salatisele kurgi või sibula riknemisega.

Lisaks fermentatsioonile puutub toiduainetetööstus kokku ka hallitusega. Kui pärmseen võib kasvada hapnikuta, siis hallitus, vajab arenguks hapnikku. Seetõttu, hallituse vältimiseks on vajalik takistada hapniku ligipääs tootele.

Kuna teatud olukordades (näiteks pärmseente puhul) ei piisa vaid hapniku eemaldamisest, kasutatakse mikroorganismide hävitamiseks pastöriseerimist ehk kuumtöötlust. Pastöriseerimist võib võtta ka kui steriliseerimist, mida teostatakse toote keemistemperatuurist allpool kuid piisavalt kõrgel, et hävineksid võimalikud mikroobid

ning haigustekitajad. Teostatakse pastöriseerimist nii normaalrõhul kui ka ülerõhu all, viimaks toote keemistemperatuuri kõrgemale [1].

Kombineerides toote pakendamise vakumeeritud keskkonda ning pastöriseerimise, võib toiduaineid säilitada aastateks ning mõningal juhul ka aastakümneteks [1].

Olulisel kohal on anumasse alarõhu tekkimine ning selle säilitamine anuma nõuetekohase sulgemise teel. Leidmaks lahendusi alarõhu tekitamiseks, on uuritud kirjandust ja uuritud turul pakutavate seadmete juures kasutatavat tehnoloogiat. Sama on tehtud ka uurimaks, kuidas efektiivselt ja nõuetekohaselt sulgeda kaas. Lisaks uurimuslikule osale on teostatud praktiline katse, saamaks kaanetusmomendid erinevate keeratavate kaante puhul. Viimane defineerib üsna selgelt vajaliku kaanetusmomendi reguleerimisvahemiku kaanetamisel.

MATERIAL JA METOODIKA

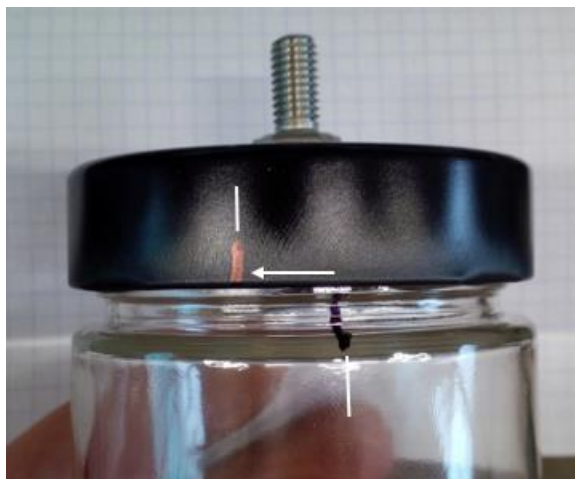
Enne uurimuslikku osa on teostatud praktiline katse, toomaks välja erinevad maksimaalsed kaanetusmomendid erinevate keeratavate kaante puhul. See võimaldab määratleda vajaliku vahemiku, mille sees peab olema tagatud nõuetekohane kaanetamine. Katsete meetoodika näeb ette vahendite ettevalmistamise. Selleks on võetud 4 erineva läbimõõduga ja erineva tootja purgikaant, liimitud nende pealispinnale polt, mida seejärel keeratakse momentvõtmega.



Joonis 1. Ettevalmistatud purgikaaned.

Figure 1. Prepared jars.

Katse raames keerati purgikaas sõrmedega kergelt pingule, seejärel märgiti nii purgile kui ka kaanele jooned mis enne igat katset asetsesid vastamisi. Seejärel keerati momentvõtme abil purgikaant päripäeva (joonis 2.). Kuna momentvõtme väikseim reguleerimisvahemik oli 0,2 Nm, siis mõõdeti katse alguses kohakuti olnud joonte erinevust ehk joonsiiret iga 0,2 Nm järel. Protseduuri korrati kuni kaas keerati üle. Katses oli kaasatud igat tüüpi kaant 3 eksemplari. Joonisel on kajastatud kolmest kaanest kõige suuremat kaanetusmomenti kannatav purgikaas.



Joonis 2. Purgikaas keeratud päripäeva.

Figure 2. Jar cap twisted clockwise.

Toiduainete säilitamisel on ääretult oluline roll anumase tekitatud alarõhul, mis õigete meetodite korral tagab säilivusaja loetud päevade asemel aastateks [1]. Kaas keeratakse purgile kas kasutades mõnda selleks ettenähtud seadet või tehakse seda käsitsi [1]. Suures pildis jaotuvad võimalikud kasutatavad variandid järgnevalt:

- 1) kuum toode anumasse, keeratakse kaas käsitsi kinni. Alarõhk tekib anumasse toote jahtudes;
- 2) jahe toode anumasse, keeratakse kaas käsitsi kinni. Alarõhk tekitatakse kaanetamisjärgselt, kasutades näiteks vaakumpakkemasinat. Pakkemasina kambris tekkiv alarõhk kergitab üles kaane, vakumeeritakse ka purgi sisu ning vabastatakse kamber alarõhu alt;
- 3) jahe toode anumasse, kaas keeratakse kinni kaanetamiseseadmega. Alarõhk tekitatakse kaanetamisjärgselt kasutades näiteks vaakumpakkemasinat. Pakkemasina kambris tekkiv alarõhk kergitab üles kaane, vakumeeritakse ka purgi sisu ning vabastatakse kamber alarõhu alt;
- 4) jahe või kuum toode anumasse. Kaas keeratakse kinni vastava seadmega. Olenevalt toote temperatuurist kasutatakse vakumeerimist kas täielikult, osaliselt või ei kasutata üldse. Alarõhk tekitatakse anumasse enne sellele kaanega sulgemist.

Toote jahtumisest tingitud alarõhu võib taandada vee baasil mudelile. Tingimusel, et 1 L purk täidetakse 90 % ulatuses 85 °C veega, suletakse purk kaanega ja lastakse purgil jahtuda temperatuurile 23 °C, jääb purki alarõhk -0,4 bar [3]. Kui toode ei eelda eelnevat pastöriseerimist, siis majanduslikust aspektist ei ole otstarbekas kuumutada toodet 85 kraadini, et lasta sellel hiljem maha jahtuda. Sellistel puhkudel võib pidada mõistlikumaks kasutada täiendava alarõhu tekitamiseks mõnda vaakumpumbaga varustatud seadet. Samuti tuleb pidada meeles täiendava vakumeerimise korral, et alarõhk ei oleks liialt sügav. Vastasel korral võib soojemas keskkonnas purki pakendatud toode minna keema.

Kui anumasse on saadud soovitud sügavusega alarõhk, tuleks anum kaanega sulgeda. Keeratavate kaante korral on selleks võimalusi mitmeid, sõltuvalt seadme spetsiifikast:

- 1) purk on paigal, keeratakse kaant päripäeva;
- 2) kaas on paigal, keeratakse purki vastupäeva;
- 3) keeratakse kaant päripäeva ja purki vastupäeva;

Levinuim selleks on esimene variant, kus purk on kaanetamise ajal fikseeritud ja keeratakse ainult kaant [1]. Seda võib pidada teostatavuse poolest kõige lihtsamaks, samal ajal kui kolmas variant annaks kõige lühema kaanetustsükli ja seeläbi tagaks kõrgeima tootlikkuse. Olenemata keeramise viisidest, tekib kaks erinevat hõrdepaari. Üks kontaktis kaanega, teine kontaktis purgiga. Samuti tekib kaks erinevat pinda, kus hõrdepaarid tekkida võiksid. Purgi korral, kas purgi küljele või purgi põhja alla. Kaane korral, kas kaane küljele või kaane pinnale. Kaanetamise seisukohalt on oluline tagada piisavalt suur hõrdejõud nii purgile kui kaanele, mis võimaldaks sulgeda kaane purgile soovitud kaanetusmomendiga.

Kaanele hõõrdumise tekitamiseks tulevad kasutusele vaid mitte-abrasiivsed lahendused, kuna kaaned on kaetud seda korrosiooni eest kaitseva värvikihiga. Alles jäävad lahendused, mis haaravad kaanest kas iminapaga või hoiavad kaanest mehaaniliselt kinni, kummeeritud pindadega. Kuigi viimane on majanduslikult efektiivsem, siis selle korral on ääretult oluline, et nii kaas kui kummeeritud pind oleksid puhtad. Määratud haaratsi, kummeeritud taldmiku või ka kaane korral kahaneb hõõrdetegur alla lubatud piiri, mille tulemusena libiseb purgikaas haaratsi vahel või vastu taldmikku, kuid soovitud kaanetusmomenti ei saavutata.

Purgi fikseerimiseks kaanetamise hetkel on valikuid rohkem. Kandiliste purkide korral on võimalik aga kasutada vastavalt ettevalmistatud pesasid, kus purgil ei ole kaanetamise hetkel mistahes määrumisastme korral võimalik pöörelda. Seadme funktsionaalsuse seisukohalt peab olema tõrgeteta töö tagatud ka silindriliste purkide korral. Ühe lahendusena võib näha kummeeritud haaratsite kasutamist, kus hõõrduvad pinnad tekivad purgi silindrilisele välispinnale või on hõõrduvaks pinnaks purgi põhi [1]. Paraku eeldab see, et purgi välispind on puhas ja kuiv. Sama kehtib ka kummeeritud pindadele. Vastasel korral hakkab purk libisema ja ei saavutata soovitud kaanetusmomenti. Seades eesmärgiks mitte kahjustada abrasiivsete haaratsitega purgi pinda, jääb üheks võimalikuks variantiks suurendada haaratsite kontaktpinda purgiga. Maksimaalne kontaktpind purgi küljega saavutatakse aga ainult spetsiaalsete haaratsitega, mis vastavad konkreetse purgi läbimõõdule [1]. Majanduslikult ebaefektiivse lahendusena on kasutatav ka iminappade kasutamine purgi fikseerimiseks.

Purgile ja kaanele piisava hõõrdeteguri tagamisest ainuüksi on vähe kui ei ole kaanetamise hetkel teada, kas ja kui tugevalt kaas kinni keeratakse. Turul olevate seadmete juures on kasutusel erinevaid lahendusi, lisaks on ka lahendusi, mida pole seni antud valdkonnas kasutatud. Siinkohal saab eristada mehaanilisi, pneumaatilisi ja elektrilisi lahendusi kaanetusmomendi määramiseks.

Ühena mehaaniliste lahenduste seast saab välja tuua hõõrdketastega siduri kasutamise. Siduri sees olevatele ketastele seatakse seadekruvi abil vastav eelpingsus, mille tulemusena määratud pöördemomendi korral hakkab sidur libisema. Antud lahenduse juures selge miinus on hõõrdketaste kulumine ja nende soojenemisest tingitud seademomendi muutus. Tööolukorras kettad soojenevad ning libisemise algmomendi arväärtus kahaneb [1].

Pneumaatilise lahendusena saab kasutada kaanetusspindli käitamiseks pneumomootorit. Antud juhul käiks kaanetusmomendi reguleerimine pneumomootori

töörõhu seadistamisega. Paraku eeldab pneumomootori kasutamine hästi ettevalmistatud õhku ning ei pruugi olla majanduslikult kõige efektiivsem.

Elektriliste lahenduste korral tuleks leida kaanetamisspindli pöörlemissagedus ja nimivõimsus. Tuletatuna võimsusest ja pöörlemissagedusest on leitav pöördemoment [4]. Antud olukorras on ühe variandina võimalik kasutada vastav funktsionaalsusega sagedusmuundurit, mis kuvab prognoositava võlli pöörlemiskiiruse ja ajami võimsuse.

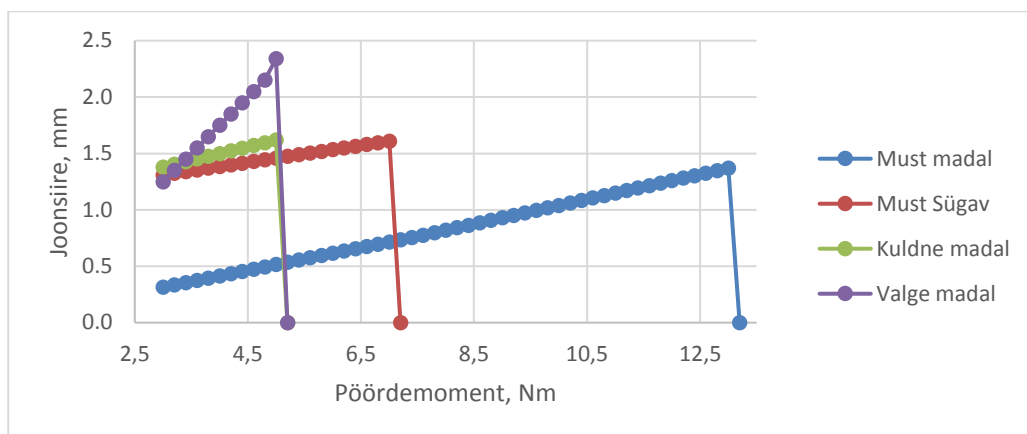
Lisaks mehaanilisele, pneumaatilisele ja elektrilisele jaotusele võib lahendused jaotada tagasisidestamise järgi. Ülalpool toodud 3 võimalikku lahendust on avatud tagasisidega. Pöördemoment on hinnanguline, eeldatav, kaudne, arvutuslik. Ühelgi juhul tegelikult ei teata, kas kaas sai õige momendiga kinni. Suletud tagasiside võimaldaks tagada kaanetusmomenti hulga täpsemalt [1].

Minnes tagasi elektrilise lahenduse juurde, põhimõte jääb samaks: ajami võimsuse ja pöörlemissageduse põhjal on võimalik määrata moment. Lisades ajamile enkoodri, mis mõõdaks reaalselt kaanetusspindli pöörlemiskiirust, on võimalik määrata kaanetusspindli pöördemoment. Eeldusel, et purk ega kaas ei libise, on spindlile rakenduv pöördemoment võrdne kaanetusmomendiga. Taas on tegu arvutusliku momendiga, mitte otseselt mõõdetuga.

Teistest lahendustest ülimuslik võiks olla purgi haaratsi juures kasutatav tensoandur, mis väljastaks kaanetusmomendile vastavat analoogsignaali. Saadud signaali võrreldaks seadeväärtusega, misjärel otsustatakse kas purk sai kinni keeratud või mingil põhjusel jäi soovitud kaanetusmoment saavutamata. Antud meetodi korral oleks seadme käitamine ja kaanetusmomendi tagamine läbi suletud tagasiside [4].

TULEMUSED JA ARUTELU

Praktilises katses viidud läbi mõõtmiste tulemused on toodud joonisel 3, kus on näha 4 purgikaane joonsiirde kasv pöördemomendi kasvades. Joonise põhjal saab väita, et see kasvab lineaarselt hetkeni, kus kaas keeratakse üle. Antud joonisel toimub see hetkel, kus siirde lineaarsele kasvule järgneb järsk langus. Kaane sulgemiseks vajalik kaanetusmoment võib erineda pealtnäha sarnaste kaante korral rohkem kui kahekordselt. Olulisel kohal on loomulikult kasutatavate kaante läbimõõt. Antud praktilise katse raames jäi nelja kaane läbimõõtude erinevus 15 mm sisse, kus väikseim kaane läbimõõt 70 mm ja suurim 85 mm. Katses on teadlikult kasutatud kaane tähistamiseks vaid visuaalset iseloomustust. Kaante tootjapoolne dokumentatsioon koos soovituslike kaanetusmomentidega oli puudulik.



Joonis 3. Joonsiire pöördemomendi suurenemisel.

Figure 3. Travelling with increase of capping torque.

Tasub pidada ka meeles, et maksimaalne pöördemoment, millele kaas vastu peab, ei taga parimat tihendamist kaane ja purgi vahel. Tegu on piirulukorraga, mis eelneb purunemisele. Piltlikult, maksimaalse pöördemomendi hetkeks on kaas juba mingil määral deformeerunud. Soovituslik kaanetusmoment on 50 % maksimaalsest kaanele lubatud pöördemomendist kuna just keskväärtuse korral on kaane deformatsioonid kõige väiksemad [5].

Tuginedes mõõtmistulemustele, peaks kaanetamiseajad olema piisavalt võimas, tagamaks 13 Nm. Samuti peaks seadme reguleerimisvahemik tagama vähimaks seadeväärtuseks ca 3 Nm. Jooniselt 3 on ka näha, et iga lisandunud 0,2 Nm mõjutab joonsiiret märkimisväärselt, seega peaks ka minimaalne reguleerimissamm olema 0,2 Nm. Reaalsuses jääks nende purgikaante puhul reguleerimisvahemikuks 3...7 Nm.

Viimane tingimus tähendab ka, et purki ja kaant hoidvad haaratsid peavad tagama kaanetusmomendi 7 Nm. Antud teadmine hõlbustab haaratsite tüübi ja neid katvate materjalide valikut, antud juhul näiteks piisavalt pehme ja sobiva tekstuuriga kummi- või polümeeri valikut. Seades tingimuseks, et kaas ja purgid on alati puhtad, siis sobivaimaks võib pidada pehme seguga toidusertifikaadiga naturaalkummi.

Ükskõik milline meetod on valitud kaanetusmomendi seadistamiseks ja juhtimiseks, peab see katses kasutatud kaante puhul katma vahemikku 3...7 Nm. Olgu reguleerimisvahendiks friktsioonsidur, pneumomootor või elektrimootori juhtsüsteem. Pidades silmas, kui väikene pöördemomendi muutus mõjutab joonsiiret, siis eelistada tuleks lahendust, kus mootori pöörlemiskiirus oleks võrdlemisi väike, tagamaks madal inertsi. Samuti tuleks eelistada tagasisidestatud lahendust.

JÄRELDUSED

Lähtuvalt läbiviidud katsest selgub, et seadme seadistatavus ja universaalsus on ääretult oluline. Pealtnäha sarnased kaaned vajavad väga erinevat kaanetusmomenti. Keeruliseks võib osutuda selle täpne tagamine ja korduvtäpsus. Selleks tasuks eelistada suletud tagasisidega juhtimissüsteemi. Viimane võimaldab piisava täpsusega tagada ühtlane ja soovitud kaanetusmoment terve partii ulatuses. Suletud tagasiside võimaldaks mingil määral automaatselt korrigeerida purgi libisemisest tingitud tõrked. Avatud

tagasiside korral võivad need jääda märkamatuks. Olulisel kohal on ka vakumeerimisfunktsioon ja alarõhu säilitamine suletud purgis. Vakumeerimine on toote pika säilivusaja võti, nii nagu alarõhu tagamine purgis. Seetõttu on ääretult oluline pingutada kaas ettenähtud momendiga, saavutamaks maksimaalne tihedus puri ja kaane vahel. Kaanetamisel tasub ka meeles pidada, et nii nagu ei ole hea jätta kaant liiga kergelt kinni, pole ka hea keerata see liiga tugevalt kinni. Olenemata sellest, et kaant ei ole veel üle keeratud.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Downing, L. D. (1996) "A Complete Course in Canning and Related Processes (Thirteenth Edition)". Baltimore, Maryland: CTI Publications, Inc. 489 lk.
- [2] Chemical Resistance Chart. – *Quick Cut Gasket & Rubber Corporation*. [Online] <http://www.quickcutgasket.com/pdf/Chemical-Resistance-Chart.pdf> (25.02.2019).
- [3] Mikk, I., Arro, H., Koni, A., Kull, A., Ots, A., Poobus, A., Roolaid, H., Õispuu, L. (1977) "Soojustehnika käsiraamat". Tallinn: Valgus. 619 lk.
- [4] P. Kulu, E. Hendre. (2012) "Mehaanikainseneri käsiraamat". Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus. 492 lk.
- [5] Mathaes, Roman & Mahler, Hanns-Christian & Vorgrimler, Lothar & Steinberg, Henrik & Dreher, Sascha & Roggo, Yves & Nieto, Alejandra & Brown, Helen & Roehl, Holger & Adler, Michael & Luemkemann, Joerg & Lam, Philippe & Stauch, Oliver & Mohl, Silke & Streubel, Alexander. (2016). "The Pharmaceutical Capping Process - Correlation between Residual Seal Force, Torque Moment and Flip-off Removal Force." *PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology*. 70. 10.5731/pdajpst.2015.006106. [Online] https://www.researchgate.net/publication/291424109_The_Pharmaceutical_Capping_Process_-_Correlation_between_Residual_Seal_Force_Torque_Moment_and_Flip-off_Removal_Force?fbclid=IwAR1V4LsJjAlknQHn3wgXK5jqvXz1niPs7gDlxSohpYVAVID_EsPXZFImdJs (25.02.2019)

Süsinikkiiberelemendiga tugevdatud sisetreitera hoidik

R. Raudsepp, M. Madissoo

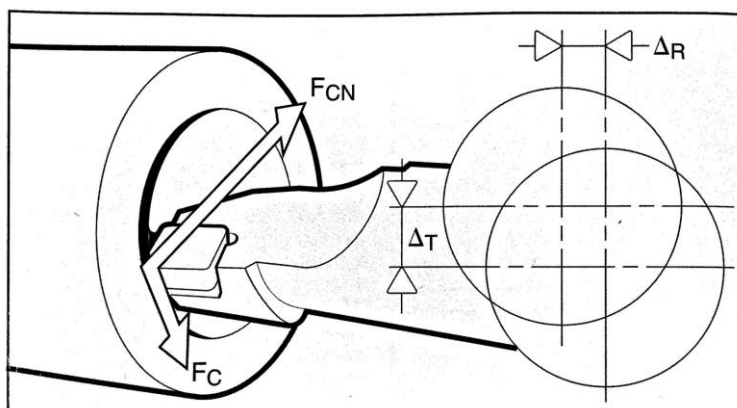
Eesti Maailikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. Chatter vibration is a major obstacle in achieving high performance machining. The aim of this research is to develop a carbon fiber reinforced boring bar to effectively prevent the occurrence of vibration in boring operations. In order to prove that the modified tool holder has a vibration preventing ability, cutting force measurements are carried out both with original and modified tool holder. Results confirmed that modified tool holder improved the ability to prevent the occurrence of vibration in certain cutting conditions.

Keywords: metal cutting, boring bar, carbon fiber, vibration, cutting forces

SISSEJUHATUS

Metallide lõiketöötlemisel on üheks levinud probleemiks töötlemisel tekkiv vibratsioon. Vibratsiooni teke avaldub peamiselt suurenenud detaili pinnakareduses, suurenenud tööriista kulumises ja detaili mõõtmete ebatäpsuses. Lisaks kaasneb vibratsiooni esinemisega iseloomulik heli. Neist probleemidest tulenevalt langeb tootlikkus. [1] Esinevaid vibratsioone võib jaotada kahte kategooriasse: vibratsioon, mis tekib lõikejõudude endi mõjul ning vibratsioon, mis tekib töödeldava tooriku pinna ebahütlusest (lainelisusest). Tangentiaalse lõikejõu F_C ja radiaalse lõikejõu F_{CN} mõjutavad hoidikut, mistõttu tekkivad vastavasuunalised nihked Δ_T ja Δ_R . Joonisel 1 on kujutatud sisetreimisel esinevaid lõikejõududest põhjustatud hoidiku nihkeid. Perioodiliste nihete tulemusena tekib hoidiku elliptiline liikumine. Liikudes elliptilisel trajektooriga, nihked aina kasvavad, seega ka vibratsioon. [1]



Joonis 6. Sisetreimisel esinevad lõikejõud ning hoidiku nihked[1]

Figure 1. Cutting forces and boring bar deflections in boring operation [1]

Vibratsiooni tekke põhjuseks võib olla ka tooriku ebaühtlus ehk lainelisus. Lainelise pinna töötlemisel on laastu paksus perioodiliselt muutuv, seega muutuvad ka lõikejõud perioodiliselt, mistõttu tekib vibratsioon. [1]

Vibratsiooni teket mõjutavad mitmed asjaolud. Sisetreimisel seab terahoidikule piirid töödeldava ava pikkus ning läbimõõt. Vastavalt sellele tuleb valida hoidiku pikkus (hoidiku väljaulatuvus) ja läbimõõt, mis mõjutab hoidiku jäikust ning ühtlasi töötlemise stabiilsust. Hoidiku jäikuse iseloomustamiseks kasutatakse suhet L/D , kus L tähistab hoidiku väljaulatuvust ja D hoidiku diameetrit. Mida suurem väärtus, seda stabiilsem on hoidik. Lisaks tuleb jälgida, et hoidiku mõõtmed võimaldavad vajadusel töödelda soovitud kontuure ja tagada piisav laastu eraldumine töödeldavast avast. [1] Tavapärastest mõõtmetest pikemate ja/või peenemate avade töötlemisel on vajalik jäigema hoidiku või täiendava vibratsioonisummutiga hoidiku kasutamine. Töötlemisel esineva soovimatu vibratsiooni korral on võimalus kasutada konservatiivsemaid lõikerežiime või kasutada viimistlevat töötlemist soovitud pinnakareduse saavutamiseks, kuid see vähendab tootlikkust. [1], [2]

Eelnevalt nimetatud lõikerežiimidel on oluline roll vibratsiooni tekkel, režiimid tuleb valid vastavalt töödeldavale materjalile, kasutatavale hoidikule ja terikule ning töödeldavale geomeeriale. Vibratsiooni teket mõjutab teriku geomeetria ja hoidiku kinnitamise viis. Lisaks treipingi poolt tekitatud vibratsioonid spindli pöörlemisel ja pingi jäikus. [3]

Töö eesmärk on välja töötada võrdlemise lihtne ja odav sisetreitera hoidik, mis oleks võrreldes tavapärase hoidikuga vibratsioonikindlam. Väljatöötatud hoidik peaks võimaldama kasutada suuremat L/D väärtust ilma, et põhjustaks töötlemisel suurenenud vibratsiooni.

MATERIAL JA METOODIKA

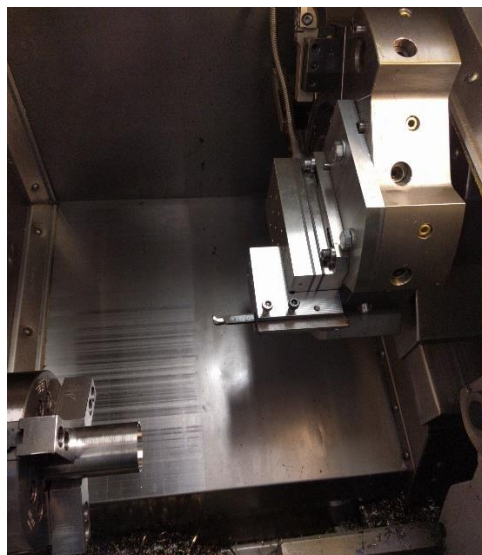
Kasutuses olevad sisetreiterahoidikud on kolme tüüpi: terasest, karbiidterasega tugevdatud ja karbiidterasest hoidikud. Hoidiku vastupanu läbipaindele on suurem, kui tema elastsusmoodul on suurem. Suurema hoidiku väljaulatuvuse korral kasutatakse

karbiidhoidikuid, kuna nende elastsusmoodul on 3 korda suurem. Karbiidteraste probleemiks on vastupanu tõmbepingetele, mistõttu hoidiku tugevdamiseks kasutatavad karbiidterased on eelpingestatud. [1]

Käesoleva töö eesmärgiks on valimistada süsinikkomposiitmaterjali lisamise teel modifitseeritud sisetreitera hoidik ning teostada võrdlevad katsed tavalise sisetreitera hoidikuga. Süsinikkomposiitmaterjal on tuntud kui innovaatiline materjal, mida üha laialdasemalt kasutatakse. Süsinikkomposiidi eeliseks on suur jäikus ja kergus. Süsinikkomposiit on terasega sarnase tugevusega, kuid tiheduselt sarnane plastikuga. Neist omadustest tulenevalt võiks süsinikkomposiit olla potentsiaalne materjal suurendamiseks hoidiku jäikust, seejuures vähendades hoidiku massi. Oluline on märkida, et süsinikkomposiitmaterjali omadused sõltuvad paljudest teguritest: süsinikku omadused ja kvaliteet, süsinikkiudude paiknemine komposiidis, kiudude ja sideaine vahekord, sideaine omadused. [4], [5]

Sisetreitera hoidikuna kasutati Mitsubishi FSDUC1410R-07A hoidikut. Hoidiku modifitseerimiseks freesiti hoidikult maha 3 mm kiht. Freesitud osa asemele liimiti 3 mm paksune süsinikkomposiidist riba. Liimimiseks kasutati kahekomponentset akrüüllimi Lord 810/20.

Hoidikute võrdlemiseks teostati katsed Eesti Maaülikooli õppe- ja eksperimentaaltöökoja CNC treipingil Haas SL-10THE. Võrdlemaks hoidikute omadusi teostati lõikejõudude mõõtmised spetsiaalse lõikejõudude dünamomeetriga Kistler 9257B. Kuna antud seadmel puudus rakis sisetreiterahoidikuga lõikejõudude mõõtmiseks valmistati spetsiaalne rakis. Joonisel 1 on kujutatud ülesseadet lõikejõudude mõõtmiseks sisetreimisel.



Joonis 7. Ülesseade lõikejõudude mõõtmiseks

Figure 2. Setup for measuring cutting forces

Treimiskatsetel kasutati toorikuna roostevaba terast AISI 304. Materjal valiti kui laialdast kasutust leidev raskemini töödeldav materjal, kuna vibratsiooni teke on just probleemiks keskmisest raskemini töödeldavate materjalide puhul. [1], [6]

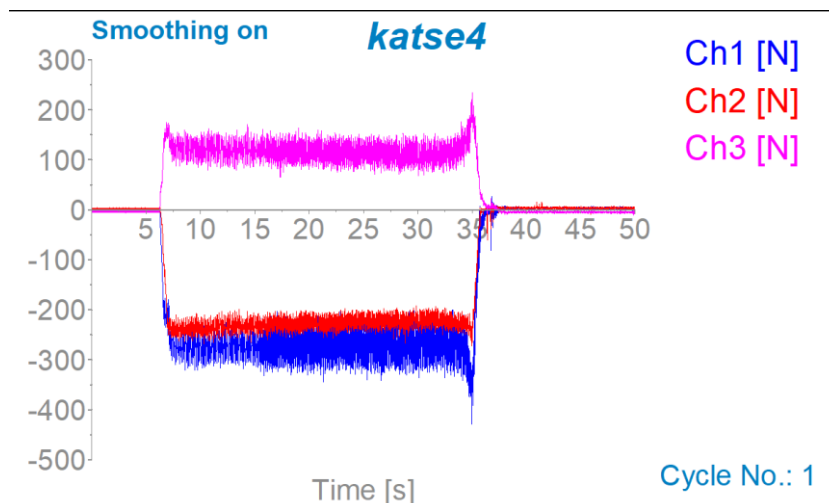
Katsetel kasutatud parameetrid on toodud tabelis 1. Mõlema hoidikuga teostati 18 katset, kokku 36 katset. Ühe hoidikuga teostati kokku 6 mõõteseeriad, igas seerias 3 katset, ühes seerias kasutati samu tehnilisi parameetreid. Kõikides katsetes oli hoidiku väljaulatuvus L 50 mm. Lõikekiirus on kõikide katsete puhul sama, kasutati konstantset lõikekiirust v_c 120 m · min⁻¹. Seeriade lõikes oli ettenihe f vastavalt 0,1; 0,2 ja 0,3 mm · r⁻¹ ja lõikesügavus a_p 0,5 ja 1 mm. Katsetes kasutatud parameetrid on toodud tabelis 1.

Tabel 5. Katsete tehnilised parameetrid

Table 1. The technical parameters of the tests

Parameeter, ühik	Väärtus
Lõikekiirus v_c , m · min ⁻¹	120
Ettenihe f , mm · r ⁻¹	0,1...0,3
Lõikesügavus a_p , mm	0,5...1
Hoidiku väljaulatuvus L , mm	50

Kõikide katsete puhul teostati lõikejõudude mõõtmine dünamomeetriga Kistler 9257B, mõõtetulemuste salvestamiseks ja töötlemiseks kasutati Kistleri tarkvara DynoWare. Joonisel 3 on kujutatud DynoWare tarkvaraga kuvatud mõõtetulemused modifitseerimata hoidikuga ettenihkega 0,2 mm · r⁻¹, lõikesügavusega 0,5 mm. Ch1 tähistab tangentsiaalset, Ch2 aksiaalset ja Ch3 radiaalset lõikejõudu njuutonites. X-teljel on aeg sekundites.



Joonis 8. Lõikejõud modifitseerimata hoidikuga, ettenihe 0,2 mm · r⁻¹, lõikesügavus 0,5 mm.

Figure 3. Cutting force measurement results for the standard tool holder, feed rate 0,2 mm · r⁻¹, cutting depth 0,5 mm.

Mõõtetulemusi on silutud (*smoothing*) kasutades Dynoware tarkvaras libiseva keskmise meetodit, keskmised on leitud 15 tulemuse põhjal. Tulemuste töötlemine võimaldab paremini hinnata löikejõudude suurusi ja vähendab mõõtevigade mõju lõpptulemustele.

TULEMUSED JA ARUTELU

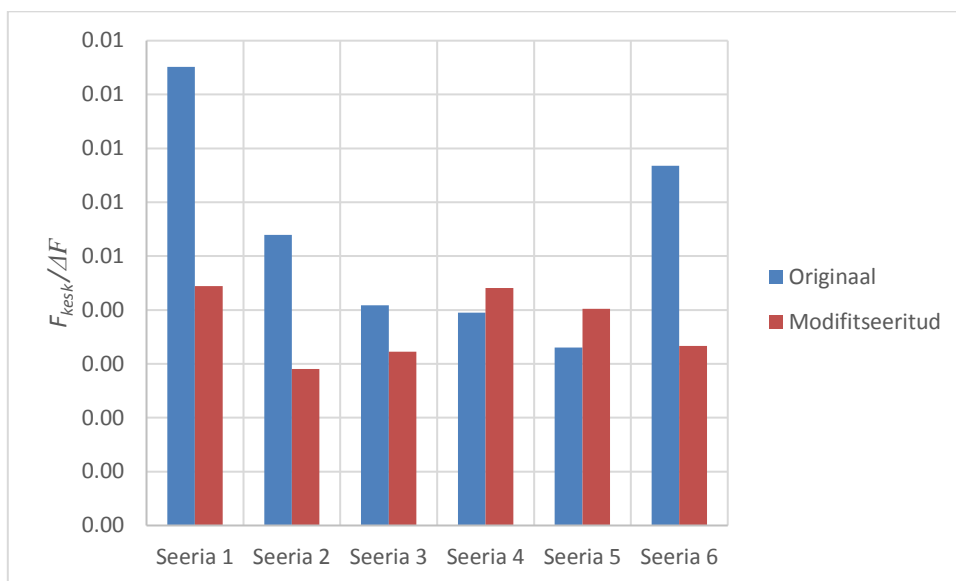
Vastavalt kirjeldatud metoodikale mõõdeti löikejõudusid sisetreimisel tavalise ja modifitseeritud sisetreitera hoidikuga. Analüüsis on vaadeldud tangentsiaalset löikejõudu. Tabelis 2 on toodud mõõtetulemused seeriade kaupa tavalise hoidikuga, ühe seeria mõõtetulemused on saadud kolme katse keskmisena. Löikejõudude minimaalne väärtus F_{min} , maksimaalne väärtus F_{max} ja keskmine väärtus F_{kesk} on leitud kasutades DynoWare tarkvara *statistics* funktsiooni. Seejärel on leitud maksimaalse ja minimaalse löikejõu vahe ΔF . Iseloomustamiseks vibratsiooni suurust on leitud löikejõudude keskmise väärtuse F_{kesk} ja ΔF suhe. Mida suurem on antud väärtus, seda suurem on treimisel esinenud vibratsioon.

Tabel 6. Mõõteseeriade tulemused tavalise hoidikuga

Table 2. Measurement results with original tool holder

Seeria	Löikekiirus, $m \cdot min^{-1}$	Ettenihe, $mm \cdot r^{-1}$	Löikesügavus, mm	F_{min} , N	F_{max} , N	F_{kesk} , N	ΔF , N	$F_{kesk}/\Delta F$, N
1	120	0,1	0,5	102	249	173	147	0,85
2	120	0,2	0,5	212	368	289	156	0,54
3	120	0,3	0,5	294	443	364	148	0,41
4	120	0,3	1	517	774	650	257	0,40
5	120	0,2	1	490	682	582	192	0,33
6	120	0,1	1	170	336	248	166	0,67

Originaal hoidikuga ja modifitseeritud hoidikuga saadud mõõtetulemusi võrdlev graafik on joonisel 4.



Joonis 9. Sisetreimisel esinevad vibratsiooni tasemed originaal ja modifitseeritud hoidikuga

Figure 4. Vibration occurrence with original and modified tool holder

Tulemustest selgub, et vibratsiooni suurus on modifitseeritud hoidiku puhul enamasti väiksem, kuid 4. ja 5. seeria puhul on vibratsioon originaal hoidiku puhul väiksem. Suurim erinevus originaal ja modifitseeritud hoidikute vahel on 1. ja 6. seeria puhul, kus originaal hoidiku korral on vibratsioon ligikaudu 2 korda suurem, kui modifitseeritud hoidiku puhul.

JÄRELDUSED

Mõõtetulemustest järeldub, et süsinikkomposiitmaterjaliga modifitseeritud sisetreiterahoidik on teatud löikerežiimide korral vibratsioonikindlam, kui originaal hoidik. Antud uuringus kasutati modifitseerimiseks võrdlemisi lihtsat ja odavat meetodit, kuid võib eeldada paremate tulemuste saavutamist, kui valmistada süsinikkomposiitelement spetsiaalselt treihoidiku tarbeks, kus arvestatakse mõjuvate jõudude suunaga komposiitmaatriksi ehitamisel. Lisaks on oluline välja selgitada hoidiku vastupidavus pikaajalisel tööl.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] S. Coromant (Firm), *Modern metal cutting: a practical handbook*. Sandvik Coromant, 1994.
- [2] E. Jafarzadeh and M. R. Movahhedy, “Numerical simulation of interaction of mode-coupling and regenerative chatter in machining,” *J. Manuf. Process.*, vol. 27, pp. 252–260, Jun. 2017.
- [3] L. Rubio, J. A. Loya, M. H. Miguélez, and J. Fernández-Sáez, “Optimization of passive vibration absorbers to reduce chatter in boring,” *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 41, no. 1, pp. 691–704, Dec. 2013.

- [4] “What Is Carbon Fiber? | DragonPlate.” [Online]. Available: <https://dragonplate.com/what-is-carbon-fiber>. [Accessed: 29-Mar-2019].
- [5] P. K. Mallick, *Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design*. CRC Press, 2008.
- [6] V. Maksarov and J. Olt, *Materjalide lõiketooria ja lõikurid*. Tartu: Eesti Maaülikool, 2008.