



Tallinna Tehnikakõrgkooli üliõpilaste toimetised nr 25

2019



Tallinna Tehnikakõrgkooli üliõpilaste toimetised nr 25

Koostaja ja toimetaja: Anne Kraav
Tehniline toimetaja: Heleri Michalski
Väljaandja: Tallinna Tehnikakõrgkool
Pärnu mnt 62, 10135 Tallinn



Sisukord

- 4 Saateks
- 4 Foreword

Grete Uudeküll

(Tallinna Tehnikakõrgkooli rakendusarhitektuuri eriala 2019. aasta vilistlane)

- 5 Poska 41 taaselustamisprojekt
- 12 The Revitalisation of J. Poska 41

Paula Lucia Johanna Koho, Erki Lember

(Tallinna Tehnikakõrgkooli keskkonnatehnoloogia ja -juhtimine eriala 4. kursuse üliõpilane ning ringmajanduse ja tehnoloogia instituudi professor)

- 13 Aktiivmudaprotsessil põhineva reoveepuhasti optimeerimine
- 23 Optimization of wastewater treatment plants using activated sludge process

Konrad Ilustrumm

(Tallinna Tehnikakõrgkooli masinaehituse eriala 2019. aasta vilistlane)

- 25 3D-prinditud radiaatori projekteerimine tudengivormeli võistlusautole FEST19
- 29 Designing 3D-printed heat exchanger for Formula Student car FEST19

Pille Klein

(Tallinna Tehnikakõrgkooli rõiva- ja tekstiiliala ressursikorralduse eriala 2019. aasta vilistlane)

- 31 Biolagunevad agrotekstiilid kui alternatiivid polüetüleenkilele maasikakasvatuses
- 34 Biodegradable Agrotiles as an Alternatives to Polyethylene (PE) in Strawberry Farming

Kerdo Kütt, Ranno Rannamäe

(Tallinna Tehnikakõrgkooli hoonete ehituse eriala 2019. aasta vilistlased)

- 36 Defektide kaardistamine sildade tehnilise seisukorra hindamisel, kasutades ehitusinfo mudelit
- 39 Mapping of Defects when Assessing the Technical Condition of Bridges Using the Building Information Model

Vallo Vaher

(Tallinna Tehnikakõrgkooli teenusmajanduse instituudi majandusinfosüsteemide korraldamise eriala 2019. aasta vilistlane)

- 41 Ettevõtte äriprotsesside kvaliteedi tõstmise automaatsete kauba tellimussoovituste kaudu
- 48 Increasing Business Processes Quality of as Tallink Group through Automatic Goods Order Suggestions

Erich Keler

(Tallinna Tehnikakõrgkooli transport ja logistika eriala 2019. aasta vilistlane)

- 50 Iseteenenduslikku infrastruktuuri omava ettevõtte loomise võimalused Eesti pakiveoturul
- 55 Self-service infrastructure creation opportunities in the Estonian parcel delivery market

Anna-Karin Leppik

(Tallinna Tehnikakõrgkooli rõiva- ja tekstiiliala ressursikorralduse eriala 2019. aasta vilistlane)

- 58 Ratsutamiseks mõeldud valgete võistluspükste parendamise võimalused
- 61 Opportunities for Improving White Colored Equestrian Competition Breeches

Saateks

Hea lugeja!

Lugupeetud lugeja, teie käes on Toimetised nr 25. Antud kogumikus on kaheksa artiklit, mille autoriteks on TTK üliõpilased. See on kogum artikleid üliõpilaste teadus- ja arendustöödest ning sisaldab valikut käesoleval aastal enam tähelepanu pälvinud lõputöödest.

Kogumikku on koondatud tööd väga erinevatest valdkondadest ja annavad üsna tõepärase läbilõike TTK õppekavadest. Artiklite valikul on arvestatud, kõrvuti teemade aktuaalsusega, ka üliõpilase oskust probleemi või katsetulemusi analüüsida.

Artiklis toodud väidete ja tulemuste õigsuse eest vastutab eelkõige autor, aga kuna need tööd on läbinud lõputöö kaitsmise protseduuri, siis kahtlemata kajastub nendes töödes ka instituutide erialane teadustöö.

Loodame, et kogumikku valitud artiklid pakuvad huvi nii TTK liikmeskonnale kui ka meie koostööpartneritele.

Anne Kraav
arendusprorektor

Foreword

Dear reader,

This is Publications No. 25. The current collection comprises eight articles, the authors of which are the students of TTK UAS. It is a collection of articles about the students' research and development papers and includes a selection of the most outstanding graduation theses.

The collection features research papers from various fields and provides a rather credible insight into the curricula of TTK UAS. Next to being current, the choice of the articles is based on the students' skills to analyse a problem or test results.

The authors of the articles assume responsibility for the correctness of claims and results, however, as the theses have been through the defence process, professional research of the institutes is assuredly reflected.

We hope that the articles chosen for the present collection would be of interest to both our personnel at TTK UAS and our partners.

Anne Kraav
Vice-Rector for Development



Poska 41 taaselustamisprojekt

Autor: Grete Uudeküll

Juhendajad: Tallinna Tehnikakõrgkooli arhitektuuriinstituudi lektorid **Mart Keskküla** ja **Tiiu Truus**

□ Sissejuhatus

Linnaruum on pidevas muutumises. Vanad hooned lagunevad või lammutatakse, asemele ehitatakse kaasaegse arhitektuuriga maju. Linnaruum ei arene ühtlaselt, tänavatel seisavad kõrvuti uued ja vanad hooned, sealhulgas ajalooliselt väärtuslik arhitektuur.

Kahjuks ei pruugi uus arhitektuur vanaga arvestada ning võib linnaruumi kvaliteeti hoopis rikkuda. Poska 41 on oma arhitektuuri poolest uhke ja jääb tänavapildis silma, kahjuks mitte ainult positiivselt. Selle fassaad on mädanikkahjustustega ning räämas. Kõrval olev uus hoonetus ei ole arvestanud vana majaga. Poska 41 jäänud teiste, tunduvalt kõrgemate majade varju.



Foto 1. J. Poska 41 hoone fassaad. Autori foto

Projekti eesmärk on taastada muinsuskaitsealune hoone tänavapoolne fassaad ning ülejäänud maht projekteerida kaasaegsema lahendusega, et korrastada tänavapilti. Samuti on taaselustamisprojekti sihiks anda lagunevale hoonetele uus hingamine ning see ümber projekteerida selliseks, et seal on võimalik lühiajaliselt rentida külaliskortereid ja kasutada spaateenuseid.

□ Ajalooline ülevaade

Kadrioru säilinud puithooned pärinevad 19. sajandist, kui piirkond oli veel Kadrioru lossi teeninduspersonali elamukvartal – Slobodaa.

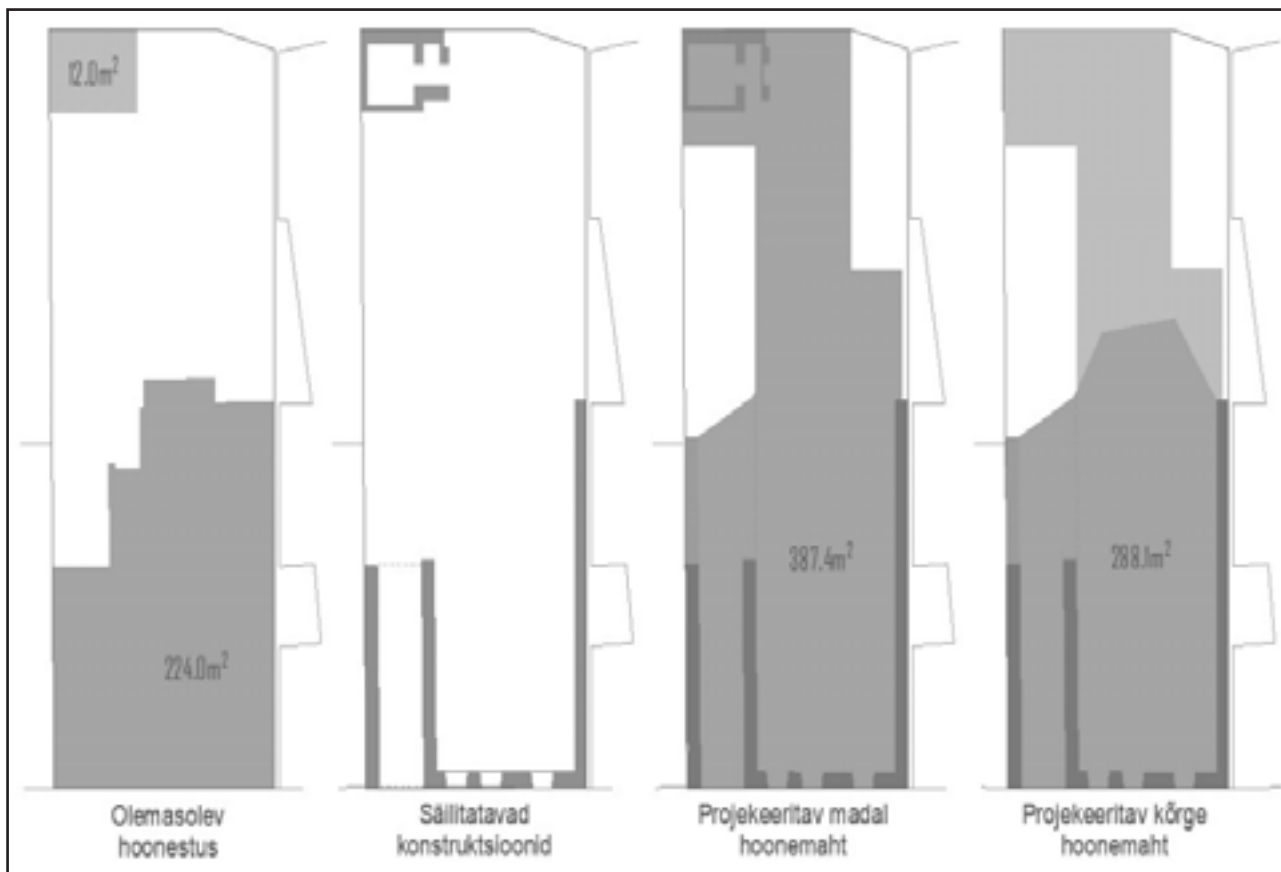
Poska 41 olemasoleva hoone projekteeris 1885. aastal insener-tehnik Aleksei Fedotov. Pargi vahetus läheduses asuva krundi omanik oli õigeusu kiriku vaimulik. Tema soov oli krundile ehitada kahekordne puitlamu. Kuna puidust Vene õigeusu kirikud olid uhkelt dekoreeritud, siis ei saanud ka preestri elamu palju maha jääda [2]. Hoone on projekteeritud eritasapinnalisena, kus kangialune ja selle kohal olevad ruumid nihkuvad 1,6 meetri võrra ülejäänud korrusepindadest. Katusekorrus on hoonel välja ehitamata ning kangialuse kohal olevas osas ei ole võimalik hetkel katusekorrust kasutada, kuna sealne kõrgus on väga madal võrreldes ülejäänud katusekorruse osaga.

I korrusel on kandvateks ja jäigastavateks konstruktsioonideks horisontaalsed tahutud palkseinad, mis on väljast vooderdatud rikkalikult dekoreeritud puitlaudisega. Naaberkinnistutest on hoone eraldatud paekivist tuletõkkeseintega. Poska 41 kinnistul on lisaks olemasolevale eramule ka paekivist kelder, mis asub krundi tagaosas, kahe küljega vastu kinnistu piire. [1]

□ Olemasoleva hoone säilitatavad detailid

Pealtnäha on 130-aastane hoone hästi säilinud, kuid kuna on seisnud aastaid tühjana, siis selle konstruktsioonid kannatavad liigniiskuse käes ja mädanevad. Hoone täielikuks restaureerimiseks oleks vajalik kõik kahjustunud detailid taastada originaalilähedaseks ning seejärel hoone uuesti üles ehitada. Kuna selline lähenemine ei ole antud hoone seisundi puhul enam mõistlik, siis on lähtutud seisukohast, et arhitektuurimälestiseks on hoone kuulutatud vaid oma erilise fassaadi tõttu ehk eesmärk on taastada ehitise Poska-tänavapoolne fassaad, sisehoovi ja hoonese viiv kangialune ning mõlemad tule müürid, nii et tänavavaade püsiks muutumatuna. Samuti tuleks rekonstrueerida tänavapoolne olemasoleva katuse maht. Ülejäänud hoone on projekteeritav täiesti uue lahendusega, sh plaanilahendus ja sisehoovi poolne maht.

1 Muinsuskaitse all olevaid objekte võib tihtipeale tabada kurb saatus – lagunemine. Kuna muinsuskaitse erinõuded on suhteliselt karmid, siis on arhitektuuriväärtuslike hoonete restaureerimine suhteliselt kulukas ja aeganõudev protsess.



▲ **Joonis 1.** | J.Poska 41 kinnistu hoonestuse areng

□ Hoonestuse ettepanek

Eesmärk on ühendada omavahel krundil asetsevad olemasolevad hooneosad, mis kuuluvad säilitamisele ja restaureerimisele.

Restaureeritavad on hoone tänavapoolne puitpitsdekoratsioonidega fassaad, tänavapoolne katusemaht, mõlemal pool kinnistu piiri asuvad tulemüürid, mis on ühenduses naaberhoonetega, ning kangialune, mille kaudu pääseb hoonesse ja sisehoovi. Samuti kuulub säilitamisele krundi tagaosas asetsev paekivist võlvidega maakelder. Olemasolevatele hooneosadele on juurde projekteeritud kaks mahtu, üks neist on suurem ja hõlmab lammutatava hoone lisades katuse pinnast kõrgemale veel ühe korruse tasakaalustades kahe naaberhoone kõrguste erinevusi Poska 41 hoone suhtes.

Teine, madalam hoonemaht, ühendab omavahel suurema hoonemahu kinnistu eesosas ning maakeldri krundi tagaosas. Madalam maht jääb olemasolevast maapinnast ainult 1,6 meetrit kõrgemale, selliselt kahte mahtu omavahel ühendades on võimalik võtta kinnistu pinnast maksimumi, kuid teha seda naabreid häirimata.

□ Hoone kuju

Hoonemahtude kuju ja olemus sõltub suuresti naaberhoonetest, mis ei ole Poska 41 krundile privaatsust taganud. Samuti mängib olulist rolli päike, millest sõltub sisehoovipoolse suurema hoonemahu fassaadi kuju.

Hoovipoolse osa madal maht meenutab pealtvaates Z-tähte. See on tingitud maakeldri asukohast ning Koidula 28/30 krundil asuva hoone lähedusest. Selline hoonekuju tagab antud mahu suhtes ka maksimaalse loomuliku valguse. Maa-aluse hoone lõunaküljes on klaasfassaad, mis küll asub maapinnast 1,6 meetrit madalamal, kuid klaasfassaadi ja kinnistu piiri vahel on piisavalt tühja ala, mis võimaldab päikesevalgusel siseruumidesse pääseda. Maa-aluse hoonemahu põhjaküljes asub olemasoleva maapinna tasandil olev haljastatud ala, mis loob siseruumidest head vaated haljastatud alale, kuid tagab siiski privaatsuse naaberhoone suhtes.



▲ Joonis 2. | Projekteeritav asendi plaaniline lahendus

■ Sisehoovipoolne fassaad

Sisehoovipoolse kõrgema mahu välisfassaadi nurgelikus on tingitud päikesevalguse pääsemisest igasse korterisse ning samuti on oluliseks teguriks naabermajade lähedus. Uus fassaad on vastupidiselt ajaloolisele tänavafassaadile minimalistlike joontega ning kaasaegse lahendusega. Kui vana fassaad on detailirohke, siis sisehoovi poolne fassaad on üleni klaasist tagades parima valguslahenduse ja eristudes silmnähtavalt olemasolevast hoonest.

Klaasfassaadis on kasutatud peegelklaasi, mille valik tuleneb krundi privaatsuse puudumisest. Peegelklaas ei lase hoovile suunatud naabermaja akendest otse projekteeritava hoone ruumidesse sisse näha. Samas peegeldab uus fassaad mängvalt ümbritsevate hoonete fassaade ning sulandub seeläbi keskkonda.

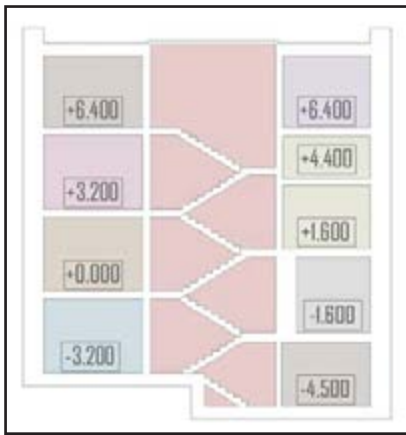


▲ Joonis 3. | Vaade hoovipoolsele fassaadile

□ Hoone funktsionaalne ülesehitus

Projekteeritaval külaliskorteritega spaahotelli hoonel on neli korrust. Maa-alusel korrusel asub spaa ning hoovipoolses madala mahuga osas kaks külaliskorterit, millest üks hõlmab restaureeritava maakeldrit.

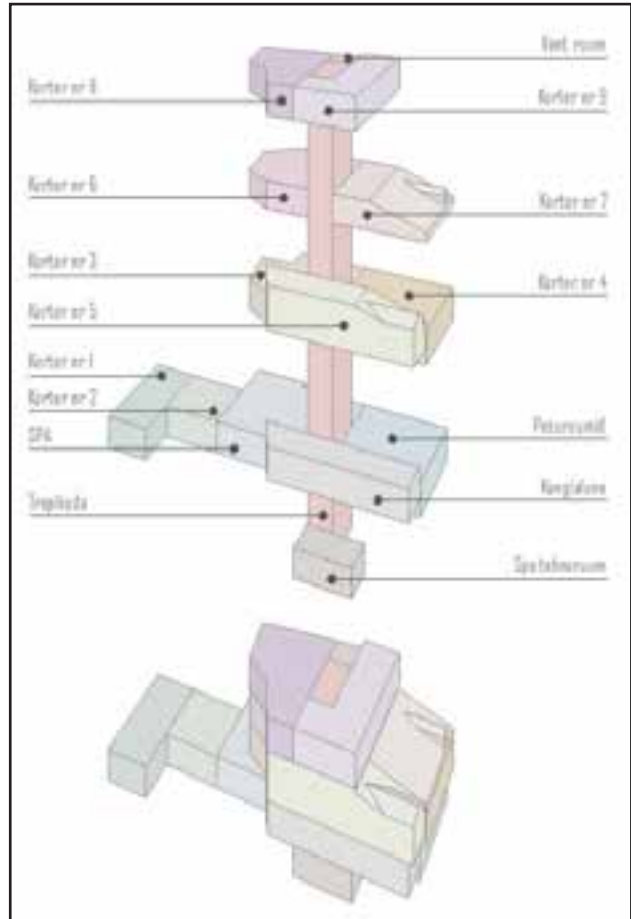
Maa-alusest korrusest 1,6m kõrgemal asub kangialune, mille all on spaad teenindav tehnoruum. Kangialuselt pääseb trepikoja kaudu spaa ruumidesse ning esimese korruse kahte külaliskorterisse. Sealt 1,6 meetrit kõrgemal asub kangialuse kohal olev läbi kahe korruse korter. Nii teisel kui kolmandal korrusel asuvad samuti kaks külaliskorterit. Kolmandal korrusel asub lisaks veel ventilatsiooniruum.



□ Maa-alune korrus

Suure mahuga osa maa-alusel korrusel, asub Spaa basseinide ja saunadega. Spaa on mõeldud peamiselt külaliskortereid rentivatele inimestele ning mahutab 10 inimest. Hoovi tagaosas asuvad kaks ühetoalist külaliskorterit.

Korteritesse pääseb kangialuselt algava kaldtee kaudu, mis lõpeb korterite esise platsiga. Ühes korteris on ära kasutatud säilinud maakeldri olemasolu. Maa-aluse korruse kangialuse poolne sein on klaassein, teises seinas on 1,6m kõrguselt algav aknarida, kust avaneb vaade haljastatud maapinnale.



▲ Joonis 4. | Hoone funktsionaalne skeem



▲ Joonis 5. | Maa-aluse korruse plaan



▲ Joonis 6. | Esimese korruse plaan

■ Esimene korrus

Esimese korruse esimesel pinnal, mis on hoone suhtes +0.000, asuvad kaks külaliskorterit. Kangialusega külgnevates seintes asuvad valgusaknad, mis annavad valgust ka hoone keskel asuvatesse ruumidesse. Esimese korruse teisel pinnal, mis jääb kangialuse kohale ning mille põrandapind hoone suhtes on +1.600, asub külaliskorter, mis hõlmab enda alla kaks korrust. Lisaks on esimese korruse tasapinnal ka hoovi-poolse madala mahu katusel olev haljastatud terrass. Seal asuvad istumisalad, käigurajad, haljastuskastid ning madalad pinnapealse juurestikuga kiviktaimed.

■ Teine korrus

Teisel korrusel, mis jääb +3.200 kõrgusele hoone nullpinnast, on kaks külaliskorterit. Sisehoovi-poolne korter sarnaneb mahu poolest esimese korruse korteriga. Tänavapoolne korter on rekonstrueeritava kaldus katuslae tõttu alumisest korterist erineva lahendusega, vanale katusemahule on lisatud tasapinnalised katuseaknad elutoa õhuruumi kohale; nii on korteris tagatud loomulik valgus, kuid katuseaknast olulisi vaateid siiski ei teki.



▲ Joonis 7. | Teise korruse plaan

▣ Kolmas korrus

Katusekorrus on projekteeritud olemasoleva katuseharja peale. Varem kahe naaberhoone vahel varju jäänud ajalooline maja tuuakse uue kõrgema mahu abil hoopis esile. Jääb mulje nagu vana hoone oleks uuema ees.

Katusekorruse kuju tuleneb sellest, et Koidula 28/30 hoonel on Poska 41 hoone katusele suunatud aknad. Seda arvestades on katusekorrus sealt ainult naabri valgusšahti laiune. Hoone tagaosas on naabermaja akna ees terrass, et seda mitte kinni müürida.

Katusekorrusel on kaks korterit ja ventilatsiooniruum ning trepikojas on trepi kohal valgusaken.



▲ Joonis 8. | Kolmanda korruse plaan



▲ Joonis 9. | Hoone lõige

■ Konstruksioonid

Fassaadi soojustamine

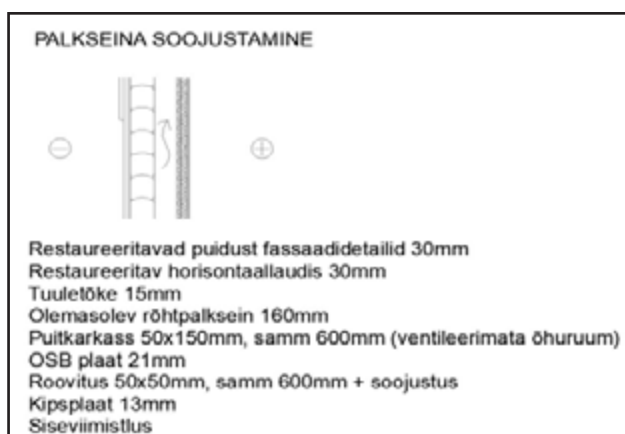
Rõhtpalkidest seinakonstruksioon tuleb parema sisekliima tagamiseks soojustada. Sellise vana hoone puhul on lubatud fassaad soojustada seestpoolt.

Kuna olemasolevast hoonest säilitatakse vaid tänavapoolne fassaadisein ja tulemüürid ning ülejäänud hoone maht lammutatakse, siis on vajalik rõhtpalkidest fassaadi toetada nii, et projekteeritavad uued konstruksioonid ei toetuks vana konstruksiooni peale.

Kuna fassaadi puitdetailid ja horisontaallaudis on osaliselt suurte kahjustustega, siis tuleb fassaadidetailid lahti võtta, puhastada, restaureerida ning vajadusel koopiaid teha. Enne laudise tagasi kinnitamist tuleb rõhtpalkide ja horisontaallaudise vahele kinnitada tuuletõkkeplaat.

Vana konstruksioon tuleb seestpoolt toetada puitkarkassiga. Uue kandekonstruksiooni peale tuleb paigaldada OSB plaat, mille peab õhukindlalt teipima, et see toimiks aurutõkkena. Selline lahendus tekitab uue ja vana kandekonstruksiooni vahele ventileerimata õhuruumi. OSB plaadi peale tuleb omakorda kinnitada roovitus, mille vahel on soojustuskiht. Kuna fassaadi soojustatakse seestpoolt, siis on maksimaalne soojustuskihi paksus 50 mm – sellise lahenduse puhul ei teki kondensaadiohtu. Soojustuskiht kaetakse kipsplaadiga, mis omakorda viimistletakse juba siseviimistlusega.

Olemasolevad aknad restaureeritakse ning taastatakse olemasolev olukord, kuid lisaks paigaldatakse uued soojapidavad tuletõkkeaknad vanade akende taha.



▲ Joonis 10. | Fassaadi soojustamine

Paekivist müürid

Ka 800 mm läbimõõduga paekivist tulemüüri on tarvis soojustada, sest olenemata müüri paksusest kiirgab see külma ning niiskusel on võimalik läbi konstruksiooni liikuda. Parim võimalik lahendus tulemüüride soojustamiseks on kasutada puidu-

põhist villatoodet, mis imeb niiskuse endasse ja hoiab kiviseina kuivana. Sellise lahenduse puhul ei ole aurutõket vaja, soojustusplaadi võib lihtsalt seestpoolt viimistleda.

Tulemüüris olevad aknad vahetatakse sarnase stiiliga tulekindlate ning soojapidavate uute akende vastu välja.

Katuse rekonstrueerimine

Kuna kogu tänavapoolne fassaad jääb ehitamise ajaks püsti, siis tuleb katusekonstruksioon ehituse ajaks demonteerida, et oleks võimalik sisehoovipoolsele mahule üle fassaadi ligi pääseda. See aga võimaldab katuslae kandekonstruksioonid välja vahetada. Uueks kandvaks konstruksiooniks katuslaes on liimpuittaladest sarikad. Selline lahendus võimaldaks ka katuseaknaid paremini paigaldada.

Katuse katvaks materjaliks jääb tsiingitud tahvelplekk, järgides vanu ajaloolisi mõõte ja valtsühendamisvõtteid.

Vundament

Paekivist restaureeritav vundament tuleb väikeses osas lahti kaevata, et näha, kui sügavale olemasolev vundament ulatub. Sellest tulenevalt saab otsustada, millist lahendust vundamendi restaureerimiseks rakendada.

Vundamendi alt tugevdamiseks tuleb müürmeetrite lõikudena alt lahti kaevata ja toetada.

Uus hoonemaht

Uute välis- ja siseseinte kandvaks konstruksiooniks on ristkihtpuitpaneelid (CLT), vahelae ja katuslae silded on CLT-plaadiga, mis tagavad piisava kandevõime ja heliisolatsioon erineva funktsiooniga tsoonide vahel. Sise- ja välisseinad on CLT-paneelidest. Välisseinad on väljastpoolt soojustatud PUR-soojustusega, viimistluseks on valge silekrohv, et tagada minimalistlik joon hoone sisehoovipoolses osas.



▲ **Joonis 11.** | Vaade tänavapoolsele fassaadile

□ Kokkuvõte

Projekti raames on keskendunud Kadrioru slobodaa ühe silmapaistvama näite – Poska 41 – taaselustamisele. Kuna hoone kontekst ümbritsevate hoonete tõttu on võrreldes kaasajaga drastiliselt muutunud, leidsin, et selle uuele hingamisele toomiseks ei piisa vaid lihtsast restaureerivast lähenemisest, vaid ehitisele tuleb läheneda tunduvalt ambitsioonikamalt.

Väärtustades vana, säilitasin hoone esifassaadi ning sellega tänavailme, kuid sisearhitektuuris ning hoovipoolisel fassaadil rakendasin julget moodsat lähenemist. Nõnda sai endisest preestrimajast luksuslik külaliskorteritega spaahotell.

Selleks muutsin tunduvalt hoone sisearhitektuurset lahendust, ehitasin välja sisehoovi jääva keldriosa, laiendasin hoone kabariite sisehoovi poole ning ka vertikaalis. Nõnda muutus kasutatavaks ka ärklikorrus.

Töö alguses seatud eesmärgid luua olemasolevast, naaberhoonete varju jäävast ajaloolisest hoonest midagi silmapaistvat ning uude keskkonda sobituvat, sai täidetud.

□ Viited

- [1] A. Pantelejev, J. Poska tn 41 hoone remont-restaureerimise muinsuskaitse eritingimused, Tallinn: 2015. Tallinna Linnaplaneerimise Ameti muinsuskaitse osakonna arhiiv
 [2] H. Kuusk, „Modernised betoonehitised varjutavad pitsilise preestrimaja kunagist hiilgust“, 2014. [Võrgumaterjal]

□ Summary

Poska 41 restoration project

The intent of The Revitalisation of J. Poska 41 was to give new life to the Poska street 41 building, one of the most prominent examples of the Kadriorg Sloboda settlement in the 19th century. As the architectural context around it has dramatically changed over time, it became clear that in this case a simple restoration was not the best course of action. Instead, a more ambitious approach was needed.

With great esteem for the original appearance of the building, I decided to keep the facade of the house, thus preserving its look when viewed from the street. The interior and the side visible from the backyard were where the changes began with a bold modern approach. It was necessary to change the internal architecture dramatically and the building was expanded towards the backyard and also vertically, so the attic became a usable space as well. Also, the cellar in the backyard was rebuilt. This is how a former simple priest house was reborn as a luxurious spa hotel with many guest apartments.

The goal set in the beginning of this final thesis to create a modern, prominent and noticeable building from an existing and historically valuable material was achieved.

□ Aktiivmudaprotsessil põhineva reoveepuhasti optimeerimine

Autorid: Paula Lucia Johanna Koho, Erki Lember

□ Sissejuhatus

Reoveepuhastusprotsess koosneb enamasti kolmest puhastusetaapist: mehaaniline puhastus, keemiline puhastus ja bioloogiline puhastus. Mehaanilise puhastuse käigus eemaldatakse suured võõrised ja liiv, mis blokeeriksid või kuluksid pumpasid. Keemiline puhastus on enamasti ette nähtud fosforiärastuseks, kus lahustunud fosfaadid sadestatakse välja näiteks $Fe_2(SO_4)_3$ abil.[1] Kuid kõige olulisem puhastusetaap on bioloogiline puhastus, kus eemaldatakse orgaaniline aine ning osaliselt lämmastik ja fosfor, mis põhjustaks veekeskkonnas eutrofeerumist. [2], [3]

Kõige levinum bioloogilise puhastuse meetod on aktiivmudaprotsess. Aktiivmuda on helbeline mikroorganismide kogum, mis kasvab suhteliselt aeglaselt ning käitub nagu elusorganism, tarbides toitaineid ning lämmastikuärastuseks ja orgaanilise aine lagundamiseks hapnikku. Just reoveepuhastite kõrge aereerimiskulud on paljudele ettevõtetele koormaks, moodustades ca 60% kogu reoveepuhasti elektrikulust. Teine oluline kulu on bioloogilise puhastuse käigus tekkiv liigmuda, mis vajab täiendavalt käitlemist. Sellest tulenevalt analüüsitakse antud uuringus erinevaid võimalusi

aktiivmudaprotsessi optimeerimiseks annuspuhasti näitel. [4], [5]

□ Olemasolev olukord

Uuritava reoveepuhasti massibilansi koostamine näitas, et ca 77% orgaanilisest ainest ehk KHT-st eemaldatakse oksüdeerimise teel. Tegemist on suhteliselt suure numbriga ning peegeldub ka opereerimiskuludes, kus 2018.a. spetsiifiline energiakulu oli 62,6 kWh*IE/aastas, keskmine annuspuhastite energiakulu jääb 30-50 kWh*IE/aastas. Orgaanilise aine eemaldamine käib reoveepuhastis kahel viisil [2]:

- orgaanilise aine sidumine biomassi ning selle eemaldamine liigmudana;
- orgaanilise aine oksüdeerimine CO₂-ks mikroorganismide ainevahetuse käigus.

Optimeeritud puhastusprotsessi korral üritatakse leida puhastusrežiimid ja aeroobsete tsükli ajad, kus võimalikult suur osa KHT-st eemaldatakse koos biomassiga, mitte oksüdeerimise teel (←60%). Selleks tuleb leida optimaalne mudavanus (SRT), aktiivmudakontsentratsioon (MLSS) ja aeratsiooni tsükli/te aeg.[6], [7]

KHT eemaldus biomassiga	KHT eemaldus oksüdeerimise teel
Kõrge liigmuda teke;	Väike liigmuda teke;
Väike energiakulu;	Suur energiakulu;
Aktiivse biomassi osakaal aktiivmudas kõrgem- orgaanilise aine eemaldus kiirem;	Aktiivse biomassi osakaal aktiivmudas väike ehk suurem biomassi kogus ei tähenda paremat puhastusefektiivsust;
Külma vee puhul võib esineda nitrifikatsiooni probleeme (madala mudavanut tõttu);	Kõrge mudavanus (SRT) tagab efektiivse nitrifikatsiooni;
Efektiivsem bioloogiline fosforieemaldus;	Madala mudakoormuse tõttu toimub rakkude lagunemine ja fosfori tagasilahustumine;
Muda tervis on parem, sest madal mudavanus ei anna filamendile kasvueeliseid ehk ei teki toitainete puudust, mis filamendi kasvu tõstab;	Võivad esineda muda settimisprobleemid, sest toitainete puuduse tõttu (kõrge mudavanus) saab filament ¹ kasvueelise;

▲ Tabel 1. | KHT ärastuse võrdlus [2], [8]

Tabelist 1 selgub, et puhastusprotsessi optimeerimise suurim kasu seisneb kiiremas orgaanilise aine eemalduses, väiksemas energiakulus, paremas aktiivmuda settivuses. Vastava analüüsi mõte ei ole anda täpseid vastuseid, kuidas reoveepuhastit opereerida, vaid näidata erinevaid seoseid kalibreeritud reoveepuhasti mudeli näitel, et võtta tulevikus vastu parimaid võimalikke opereerimisotsuseid.

Reoveepuhasti optimeerimine

Reoveepuhasti optimeerimiseks kasutati matemaatilisi mudeleid (tarkvara SUMO), mis annavad väga hea indikatsiooni, kuidas teatud puhastusrežiimid mõjutavad puhastusprotsessi tööd-efektiivsust. Matemaatilised mudelid kalibreeriti uuritava reovee spetsiifiliste näitajatega, mis on välja toodud tabelis 2:

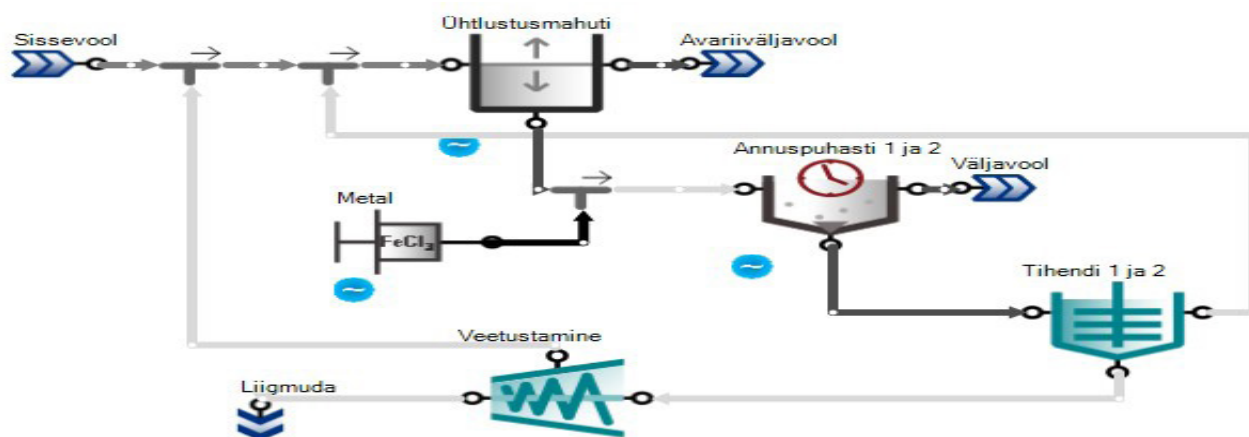
Parameeter	Väärtus	Ühik
VSS/TSS suhe (orgaaniline aine heljumis/kogu heljum)	71,4	%
Filtreeritud KHT	39,6	%
Flokuleeritav KHT	6,4	%
Lenduvate rasvhapete osakaal filtreeritud KHT-st	10,4	%
Lahustunud, bioloogiliselt mitte eemaldatav KHT	4,7	%
NH ₄ -N Nüld-st	78	%
PO ₄ -P Püld-st	66,7	%

▲ Tabel 2. | Tähtsaimad korrigeeritud parameetrid uuritud reoveepuhasti mudeli kalibreerimiseks.

Joonisel 1 on kujutatud uuritud reoveepuhasti mudelit. Puhastusprotsess koosneb ühtlustusmahutist, kahest annuspuhastist, kahest staatilisest tihendist ning veetustamisprotsessist. Koagulandina kasutati mudelis FeCl₃, kuna kahjuks puudub antud tarkvaras Fe₂(SO₄)₃ doseerimisvõimalus, kuid matemaatilise mudeli jaoks on oluline, et tegemist oleks kolme valentse rauaga ehk raua oksüdatsiooniaste oleks +3, seega on tegemist mudeli jaoks identsete ainetega.

Võrreldavate tulemuste saamiseks, sisestati baasstenaariumisse praegused andmed, mille kohaselt koosneb ca 8 h puhastussükkel järgmistest etappidest:

1. Täitmine/segamine 122 min;
2. Täitmine/aereerimine 118 min;
3. Aereerimine 120 min;
4. Settimine 60 min;
5. Väljavool 60 min;
6. Väljavoolu lõpetamine 4 min;
7. Liigmuda eemaldus.



▲ Joonis 1. | Uuritud reoveepuhasti mudel.

1 Filament ehk niitjasbakter põhjustab reoveepuhastites aktiivmuda pundumist ehk muda settivusomaduste halvenemist.

Modelleerimisprotsessi käigus hinnati mudavanuse mõju õhukulule, liigmuda tekkele ning reoveepuhasti puhastusefektiivsusele 12 °C ja 18 °C juures. Lisaks analüüsiti erinevaid puhastusrežiime, et leida efektiivseimad aereerimistsükli ajad.

□ Mudavanuse mõju annuspuhastile

Kui orgaanilise aine eemaldamiseks piisab mudavanusest ca 5 ööpäeva, siis nitrifikatsiooniks peab Eesti tingimustes olema tagatud vähemalt 10-12 ööpäeva. [2] Kõrge mudavanus üle 15 ööpäeva tagab stabiilsuse, kus võime kindlad olla, et aeglase kasvuga Nitrosomonas ja Nitrobakter jõuavad reprodutseerida ning selle tulemusena tagada hea NH₄-N ja NO₂-N oksüdeerimise (nitrifikatsiooni). Samas, kõrge mudavanusega kaasneb ka aktiivse biomassi osakaalu vähenemine ehk aktiivmudakontsentratsioon on kõrgem, kui väikse mudavanuse puhul, kuid vastavaid mikroorganisme ei pruugi olla märkimisväärselt rohkem. Sealjuures suureneb endogeenne hingamine, mis tõstab vajalikku ööpäevast hapniku kulu. [2], [7]

□ Erinevate puhastusrežiimide võrdlus

Järgnevalt võrreldi nelja erinevat opereerimistsükli, kahe temperatuuri juures 12 °C ja 18 °C. Vastavad temperatuurid valiti kogemusest, kus lämmastikuärastuse puhul võetakse aluseks temperatuur 12 °C ning 18 °C on Eesti väikepuhastite keskmine suvine temperatuur. Temperatuur on eriti tähtis hapnikukulu ning liigmuda tekke arvu-
tamisel. Režiimid valiti sellised, mis võimaldaksid ka jooksvalt antud tulemustest opereerimisotsuste vastuvõtmisel paralleeli võtta. Ehk erinevad strateegiad, kuidas energiakulusid ja saastetasu vähendada.

Modelleeriti järgmisi stsenaariume:

- baasolukord (hetke olukord);
- kaks võrdset täitmist 225 m³/d + 225 m³/d-lihtsustamise mõttes modelleeriti kogu protsessi maht 1 annuspuhastina;
- kaks võrdset täitmist ning esimene aeroobne tsükkel 2 h teine 1,5 h.
- kaks erinevas mahus täitmist (279 m³/d ja 171 m³/d) ning esimene aeroobne tsükkel 2 h teine 1,5 h.

Vastavad stsenaariumid lubavad piisavas ulatuses hinnata, kuidas teatud opereerimisrežiimide muutmine mõjutab kogu protsessi.

Baasolukorra kirjeldus (reaktsiooniaeg 360 min):

- Täitmine/segamine 120 min (korrigeeriti 2 min võrra);
- Täitmine/aereerimine 120 min (korrigeeriti 2 min võrra);
- Aereerimine 120 min;
- Settimine 60 min;
- Väljavool 60 min;
- Liigmuda eemaldus
- Väljavoolu lõpetamine 4 min.

Stsenaarium A (reaktsiooniaeg 480 min):

- Täitmine/segamine 120 min;
- Aereerimine 120 min;
- Täitmine/segamine 120 min;
- Aereerimine 120 min;
- Settimine 60 min;
- Väljavool 60 min;
- Liigmuda eemaldus.

Stsenaarium B (reaktsiooniaeg 480 min):

- Täitmine/segamine 120 min;
- Aereerimine 150 min;
- Täitmine/segamine 120 min;
- Aereerimine 90 min;
- Settimine 60 min;
- Väljavool 60 min;
- Liigmuda eemaldus.

Stsenaarium C (reaktsiooniaeg 420 min):

- Täitmine/segamine 120 min (279 m³/d);
- Aereerimine 120 min;
- Täitmine/segamine 90 min (171 m³/d);
- Aereerimine 90 min;
- Settimine 60 min;
- Väljavool 60 min.
- Liigmuda eemaldus.

□ Mudavanuse mõju annuspuhasti efektiivsusele

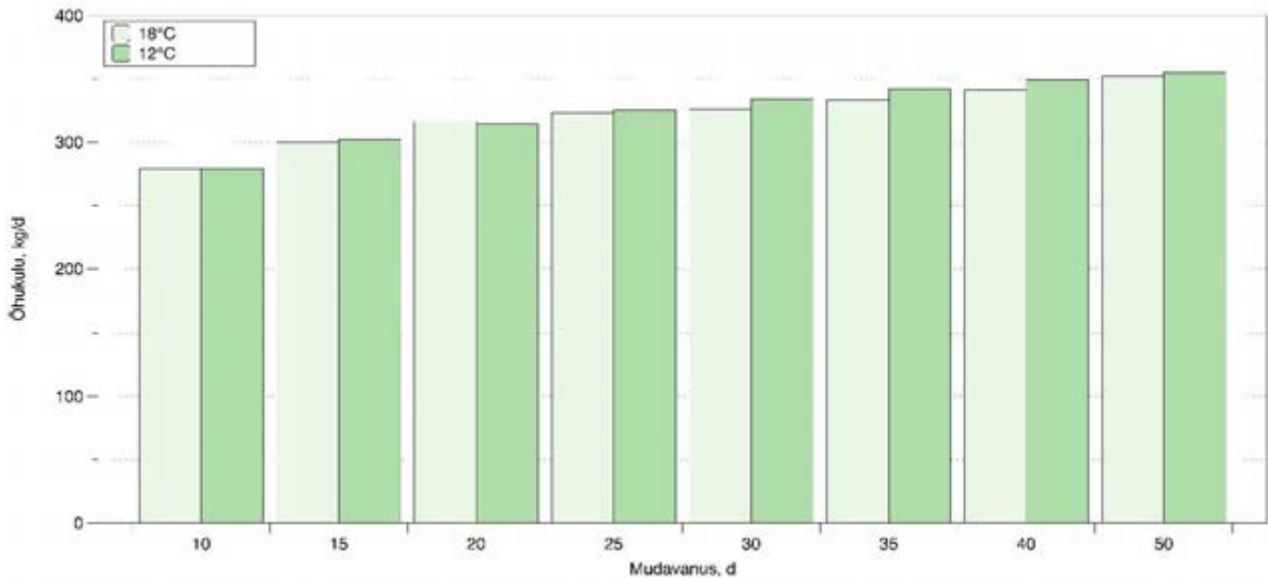
Mudavanus (SRT) on aktiivmudaprotsessi üks kõige tähtsamaid parameetreid, eriti reoveepuhastite puhul, mis peavad läbi viima täielikku lämmastikuärastust. Kuna nitrifitseerijad on kõige aeglasema kasvuga, siis peame NH₄-N ja NO₂-N oksüdeerimiseks Eesti oludes opereerima mudavanusega vähemalt 10 ööpäeva. [6], [7]

See on piisav aeg, et tagada antud aeglase kasvuga kemoautotroofide reprodutseerimine ning seeläbi efektiivne lämmastikuärastus. Kahjuks enam

2 Endogeenne hingamine – eluspäsimiseks mikroorganismide poolt tarbitud hapnik, mida ei kasutata orgaanilise aine lagundamiseks (ehk substraadi hingamiseks).

reoveepuhasteid ei suuda siiski korralikult mudavanust määrata, seetõttu tuleb antud numbritesse suhtuda ettevaatlikkusega ja alati tagada teatud varu/ohutusfaktor. Heaks indikaatoriks on $\text{NH}_4\text{-N}$ kontsentratsioon, kui see järjest tõuseb, siis on see signaaliks, et nitrifitseerijaid on protsessi jäänud liiga väheks (või protsess on pärsitud mõnest välistest tegurist). [2]

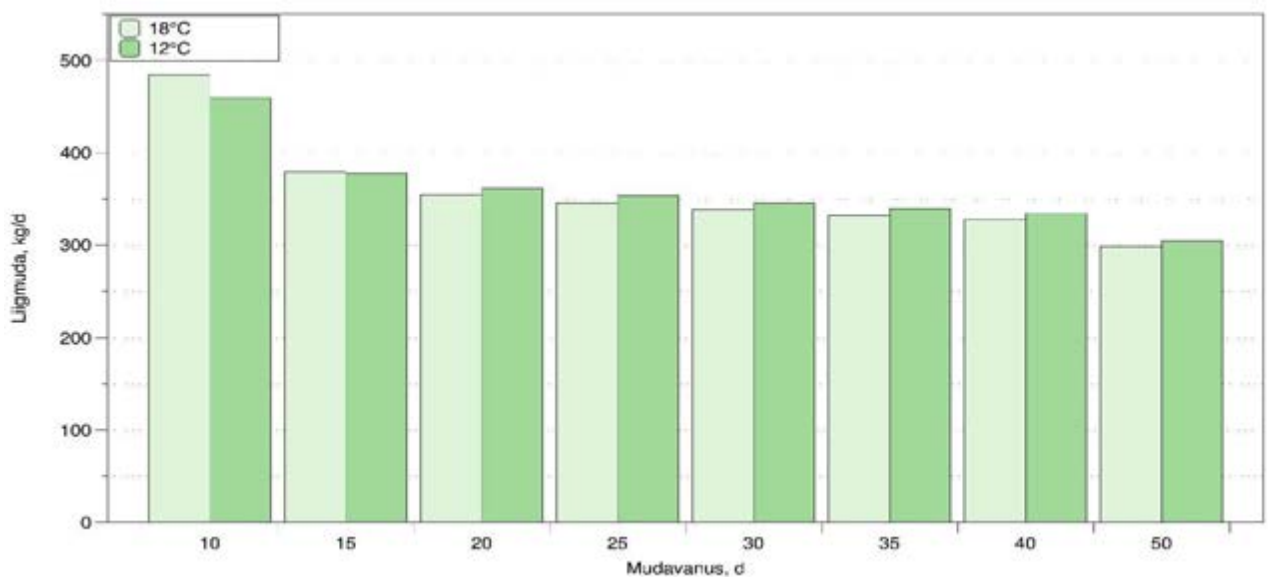
Nagu joonisel on näha, siis mudavanuse 10 ja 15 ööpäeva vahe tähendab õhukulu tõusu ca 7%. Samas uuritud reoveepuhasti puhul oli arvutuslik mudavanus 33 päeva ehk võttes vajaliku mudavanuse näiteks 15 ööpäeva, siis antud juhul tarbitakse 18 °C juures ca 8% rohkem õhku, kui efektiivseks puhastuseks tarvis oleks, 12 °C juures on vastav näit 10%.



▲ **Joonis 2.** | Mudavanuse (SRT) ja õhukulu (OTR) omavaheline seos 12 °C ja 18 °C juures.

Sarnaselt aktiivmudakontsentratsioonile mõjutab mudavanus õhukulu, põhjused on tingitud kõrge mudavanusega kaasnevast kõrgest biomassi kontsentratsioonist. Joonisel 2 on näidatud mudavanuse sõltuvus õhukulust kahe erineva temperatuuri juures.

Ühe olulise faktorina, miks paljud reoveepuhastid opereerivad kõrge mudavanusega on väiksem liigmuda teke ja seeläbi muda aeroobne stabiliseerimine. Selleks peaks mudavanus olema vähemalt 25 ööpäeva. [2], [9]



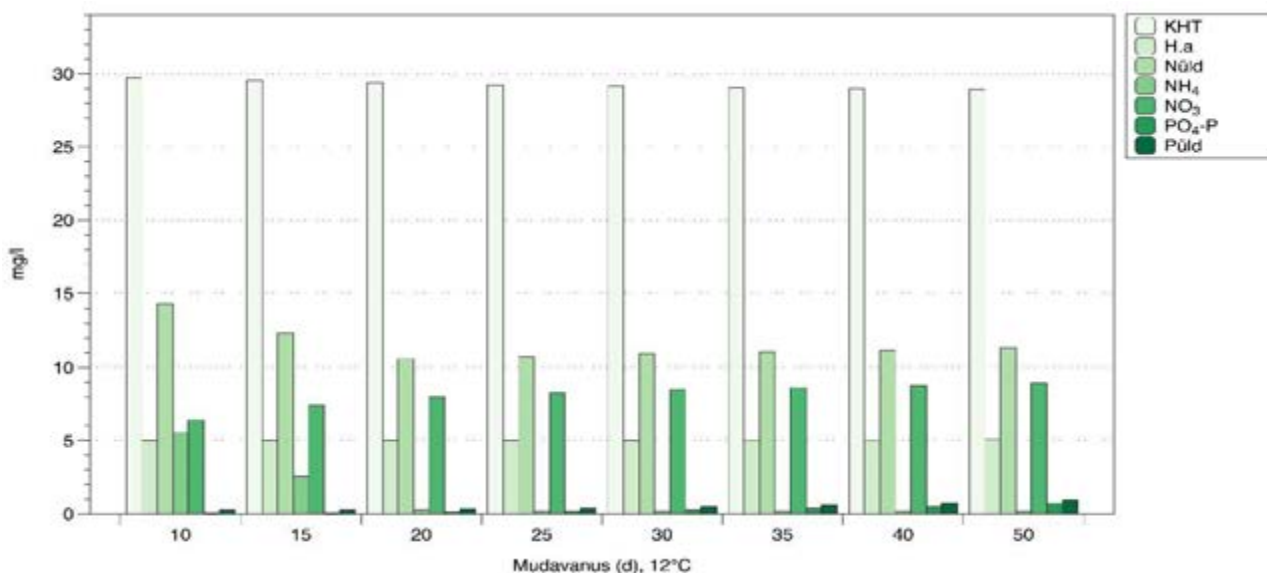
▲ **Joonis 3.** | Liigmuda tekke (WAS) ja mudavanuse (SRT) omavaheline seos.

Joonisel 3 selgub, et uuritud reoveepuhasti, mida opereeritakse hetkel mudavanusega ca 33 ööpäeva moodustub 12 °C juures ligikaudu 9% vähem liigmuda, kui mudavanuse 15 ööpäeva juures. 18 °C puhul on vastav protsent 11%. Kõrge mudavanus tagab aeroobse settestabiliseerimise, kuid põhjustab suurt energiakulu ning näiteks fosfori tagasilahustumist. Seega on see mõistlik vaid olukordades, kus soovitakse reoveesetet kasutada otse põllumajanduses, haljastuses.

Joonisel 4 on välja toodud mudavanuse mõju reoveepuhasti puhastusefektiivsusele. Nagu jooniselt selgub, siis mudavanus ei oma kõrgemate väärtuste puhul märkimisväärset mõju reoveepuhasti väljundile. 12 °C juures on näha, et mudavanus 10 d ei ole tõhusaks nitrifikatsiooniks piisav ning seetõttu esineb heitvees ca 5,5 mg/l ammooniumi (NH₄-N), kuid 15 päeva juures toimub juba efektiivne lämmastikuärastus. Huvitav tähelepanek tuli välja

Joonisel 5 on esitatud samad tulemused 18 °C kohta. Jooniselt selgub, et juba mudavanuse 10 d juures toimub efektiivne lämmastikuärastus. Sarnaselt eelmisele joonisele on ka siin täheldatav suurema mudavanuse korral fosfori tagasilahustumine, mis on võrreldes 12 °C-ga ca 27% suurem ehk kõrgema temperatuuri korral kiireneb rakkude lagunemine ning seeläbi fosfori tagasilahustumine. Lisaks võib seda põhjustada kõrgema temperatuuri juures vees hapniku lahustuvuse vähenemine.

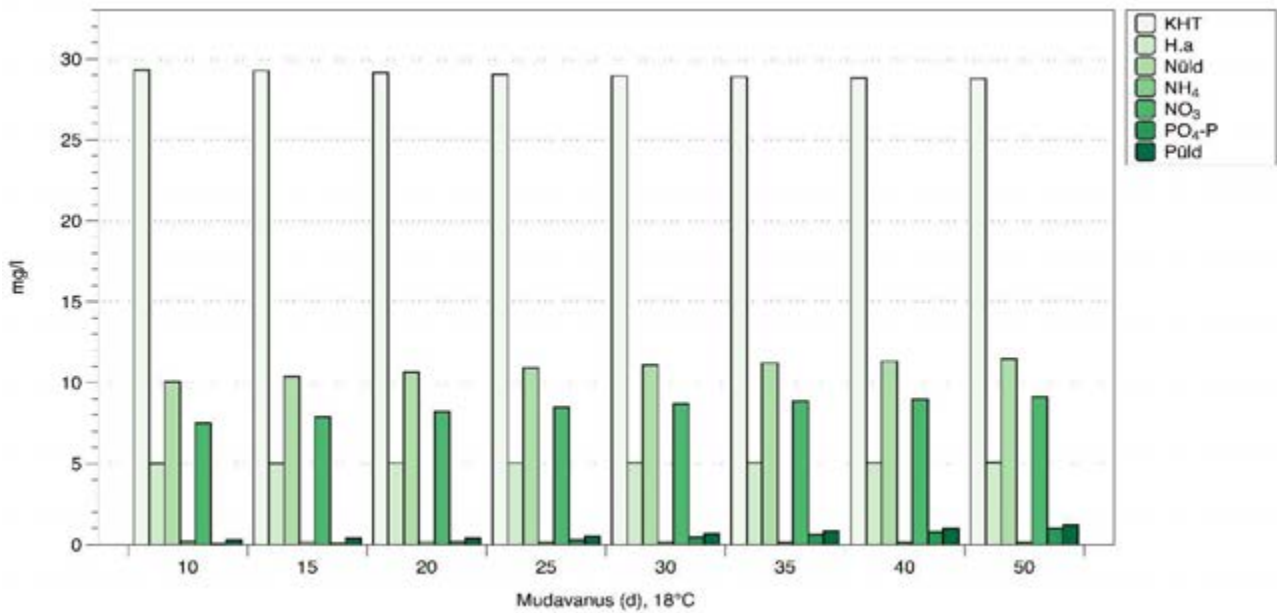
Jooniselt 4 ja 5 selgub, et 12 °C juures on efektiivseks lämmastikuärastuseks optimaalne mudavanus 15-20 ööpäeva ja 18 °C juures piisab 10-15 ööpäevast.



▲ **Joonis 4.** | Erineva mudavanuse ja põhiliste reoainete eemaldusefektiivsuse võrdlus (12 °C).

Püld ja PO₄-P puhul, kus mudavanuse kasvades vastavad kontsentratsioonid tõusid. See on arvatavasti põhjustatud madalast mudakoormusest ehk olukorrast, kus orgaanilise aine ja mikroorganismide suhe on tunduvalt alla 0,2 (F/M) ning seetõttu toimub aktiivmuda lagunemine ning seotud fosfori vabanemine.

Samuti, kui puhastusprotsessis on kõrge aktiivmudakontsentratsioon, siis seda rohkem fosforit seotakse küll biomassi, kuid kuna liigmuda eemaldus jääb enamasti samaks, siis fosfor hakkab protsessis akumuldeeruma ning eriti suvel võib fosforiärastus olla sellest tulenevalt pärsitud. Lisaks mõjutab kõrge aktiivmudakontsentratsioon (eriti suvekuudel) lahustunud hapniku vajadust aeroobses tsoonis, mis samuti vähendab bioloogilise fosforiärastuse efektiivsust.

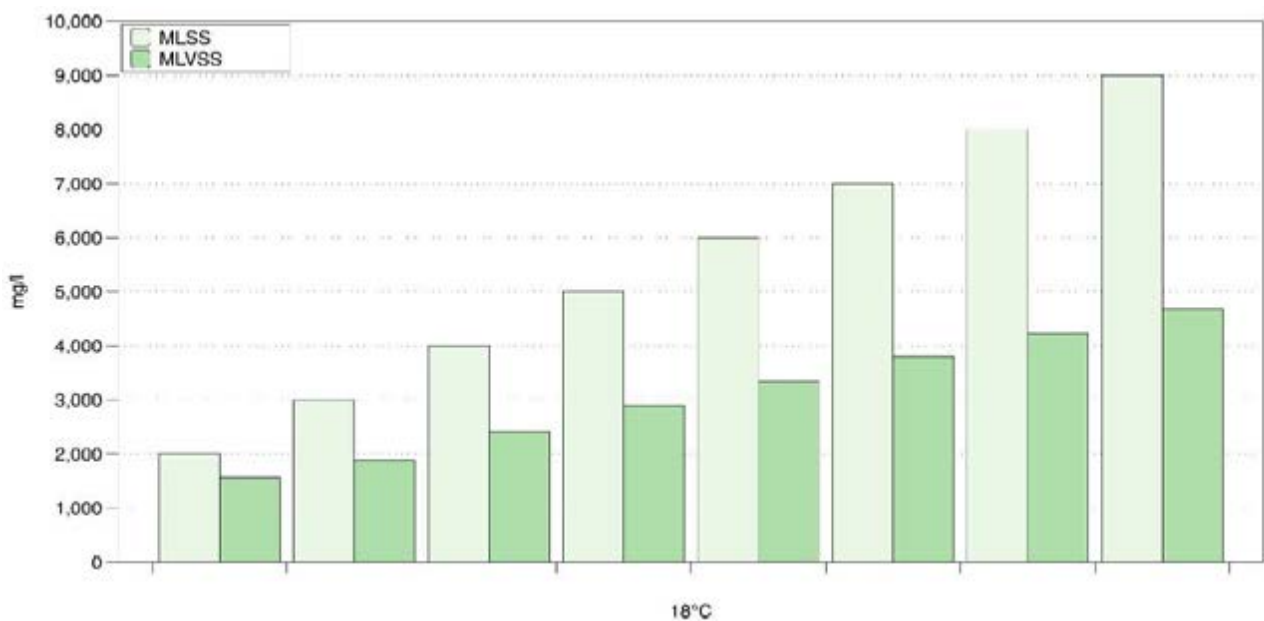


▲ **Joonis 5.** | Erineva mudavannuse ja põhiliste reoainete eemaldusefektiivsuse võrdlus (18 °C).

Joonisel 6 on välja toodud aktiivmudakontsentratsioon ja selles sisalduva aktiivse biomassi/orgaanilise aine osakaal (MLVSS), mida kõrgem on antud parameetri osakaal aktiivmudast, seda rohkem on meil annuspuhastis elusaid (aktiivseid) mikroorganisme.

settivust, suurendab elektrikulu jne.

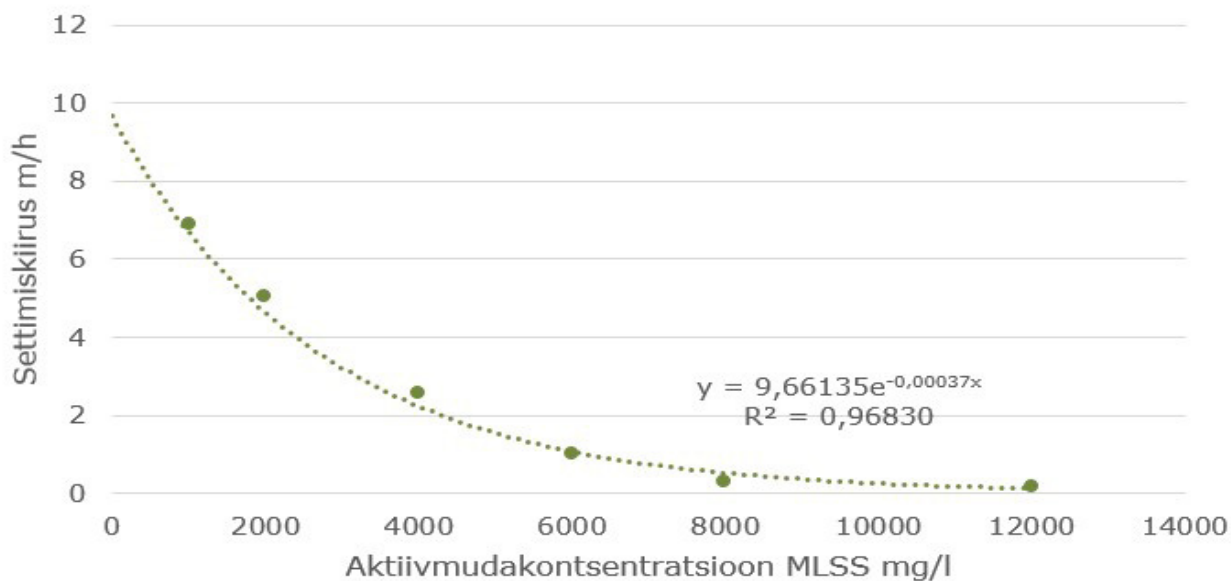
Lisaks suureneb kõrge aktiivmudakontsentratsiooni puhul ajapikku anorgaanilise aine osakaal, mis samuti puhastusefektiivsust ei tõsta (välja sadestatud fosfaadid, liivaosakesed jne). [2], [6], [7], [10]



▲ **Joonis 6.** | Aktiivmudakontsentratsiooni (MLSS) ja aktiivmudast sisalduva orgaanilise aine (MLVSS) kontsentratsioonide võrdlus.

Nagu jooniselt selgub, siis aktiivmudakontsentratsiooni kasvades, mis tähendab ka kõrget mudavannust, aktiivse biomassi osakaal kogu aktiivmudast väheneb. Mis näitab, et suurem aktiivmudakontsentratsioon ei tähenda automaatselt kõrgemat puhastusefektiivsust, vaid pigem suureneb passiivse biomassi osakaal, mis mõjutab

Aktiivmudakontsentratsiooni ja selle settivuskiiruse omavaheline seos on esitatud jooniselt 7. Nagu jooniselt selgub, siis kõrgem aktiivmudakontsentratsioon vähendab settivuskiirust ja seeläbi heljumi eemaldust. Sarnast efekti võib täheldada 30 minutilises settivuskatses, kus muda tihenemisel teatud aja jooksul settivuskiirus järjest väheneb.



▲ Joonis 7. | Vesilinnu settimisfunktsioon.

□ Erinevate puhastusrežiimide võrdlus

Kuna annuspuhasti on väga keeruline puhastusprotsess, kus iga detail mõjutab otseselt opereerimiskulusid, siis ei mahu kahjuks antud töö raamesse kõikide võimaluste analüüsimine, vaid näitena tuakse lisaks baasstsenaariumile kolm erinevat puhastusrežiimi, mida kirjeldati eelmises peatükis.

Puhastustsüklite analüüsiks lähtuti samuti kahest temperatuurist 12°C ja 18 °C ning valiti mudavanuseks eelmisest arutelust välja tulnud optimaalseimad (ohutud) väärtused vastavalt 20 ja 15 ööpäeva. Ohutu tähendab seda, et see ei ole küll kõige efektiivsem, kuid see on lämmastikuärastuse seisukohalt kõige ohutum efektiivsem mudavanus. Tabelis 3 on esitatud nelja stsenaariumi tulemused, kus lähtuti optimaalsest mudavanusest.

Võrreldes tabelis 3 vajalikku õhukulu, liigmuda teket ning reoveepuhasti efektiivsust, siis 12 °C juures on kõige tõhusam stsenaarium C, kus toimus kaks täitmist, esimene ca 62% ööpäevasest mahust ning teine 38%.

Vajalik õhukulu võrreldes baasstsenaariumiga vähenes seeläbi 3%, mis võib tunduda väike kokkuhoid, kuid pikas perspektiivis on tegemist märkimisväärse säästuga. Lisaks täheldati suhteliselt head fosforiärastust ning võrreldes baasstsenaariumiga 40% paremat lämmastikuärastust. Seega võib eeldada saastetasude vähenemist.

18 °C juures leiti, et parim puhastusrežiim on

samuti stsenaarium C. Õhukulu vähenes võrreldes baasstsenaariumiga 3%, liigmuda teke 2% ning lämmastikuärastus toimus samuti efektiivsemalt, 45% parem tulemus kui baasstsenaariumis. See on põhjustatud optimaalsest toitainete suhetest, kus enne esimest täitmist eemaldatakse osa nitraatidest juba teise täitmise käigus.

Eelnevad numbrid väljendavad juba protsessijuhtimise seisukohalt optimeeritud puhastusprotsessi (mudavanus, aktiivmudakontsentratsioon), kus täiendavalt otsitakse võimalusi reoveepuhasti efektiivsuse tõstmiseks läbi erinevate puhastus-režiimide võrdlemise (erinevad tsüklite pikkused jne) ehk tegemist ei ole olemasoleva olukorra ja parima võimaliku lahenduse võrdlusega. Kogu eeldatav energia kokkuhoid võrreldes parimat optimeeritud puhastusrežiimi reaalse olukorraga on ca 10-15%.

Nagu tabelist 3 selgus, siis juba selline väike muudatus, nagu kaks täitmist ja aeroobsete tsüklite pikkuste optimeerimine vähendavad keskmiselt 3% aereerimiskulusid.

Antud kokkuhoid tuleneb põhiliselt kahest faktorist:

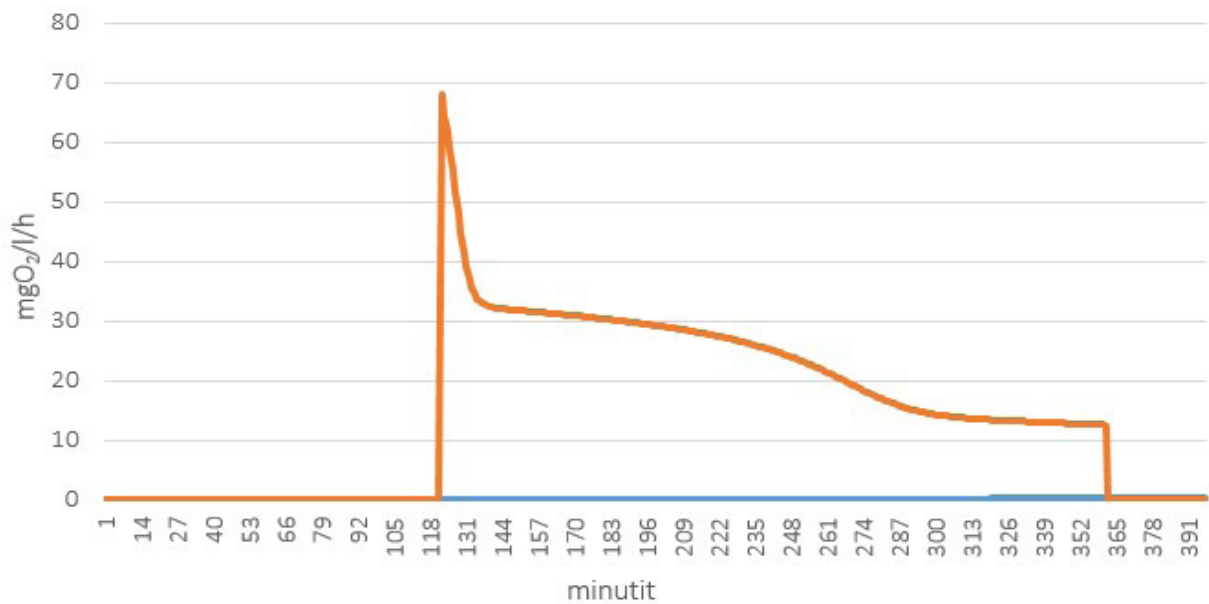
- mikroorganismide kohanemine uute oludega kestab suuremate annuste puhul kauem;
- suurema orgaanilise koormuse korral kulub kogu süsteemi aeroobseks muutumiseks kauem aega kui väikeste koormuste korral ehk mitu täitmist tagab selle, et süsteem saavutab kiiremini aeroobse töörežiimi ja seega õhupuhurite tööaeg väheneb.

	Mudav vanus (d)	O ₂ kg/d	Liig- muda kg/d	KHT	Nüld	NH ₄ -N	NO ₃ -N	Püld	PO ₄ -P
Baasstsenaarium 12 °C	20	362	402	29,09	10,55	0,19	8,04	0,30	0,09
Stsenaarium A 12 °C	20	363	394	29,03	6,89	0,52	4,13	0,44	0,23
Stsenaarium B 12 °C	20	353	403	29,16	7,27	3,50	1,56	0,35	0,14
Stsenaarium C 12 °C	20	354	402	29,17	6,4	0,83	3,3	0,33	0,12
	Mudav vanus (d)	O ₂ kg/d	Liig- muda kg/d	KHT	Nüld	NH ₄ -N	NO ₃ -N	Püld	PO ₄ -P
Baasstsenaarium 18 °C	15	354	424	29,00	10,45	0,15	7,98	0,32	0,10
Stsenaarium A 18 °C	15	354	410	28,99	6,48	0,15	4,08	0,42	0,21
Stsenaarium B 18 °C	15	346	418	29,12	6,45	0,45	3,77	0,34	0,13
Stsenaarium C 18 °C	15	345	416	29,13	5,7	0,19	3,27	0,35	0,14

▲ **Tabel 3.** | Nelja erineva stsenaariumi võrdlus optimaalse mudavvanuse korral (*antud tulemused on võrreldavad omavahel, kuid mitte eelmise peatüki arv-väärtustega*).

Järgnevalt toome välja erinevate puhastusrežiimide hapniku omastamiskiiruse (OUR mgO₂/l/h) joonised. Antud parameeter iseloomustab hästi puhastusprotsessiks vajalikku õhukulu.

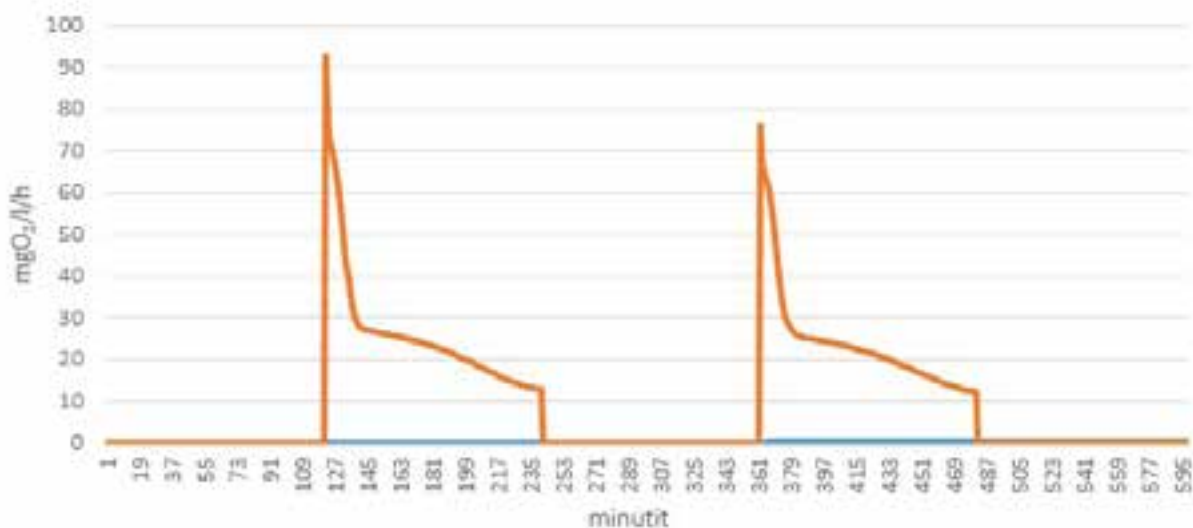
Orgaanilise koormuse tõusmisel näiteks täitmise ajal vastav parameeter kerkib ning peale orgaanilise aine eemaldamist mikroorganismide poolt hapnikuvajadus väheneb ning alles jääb ainult endogeenne hingamine ehk see osa, mis tarbib hapnikku, kuid kasu sellest puhastusprotsessile ei ole.



▲ **Joonis 8.** | Baasstsenaariumi hapniku omastamiskiirus (18 °C juures).

Vastav endogeenne hingamine on hästi näha joonisel 8. Sellelt on vaadeldav, et alates 118. minutist algab aeroobne protsess ning hapnikuvajadus tõuseb kiirelt, 144. minutiks on kergesti lagundatav orgaaniline aine ärastatud ning 300. minutiks ka bioloogiliselt raskemini lagundatav aine.

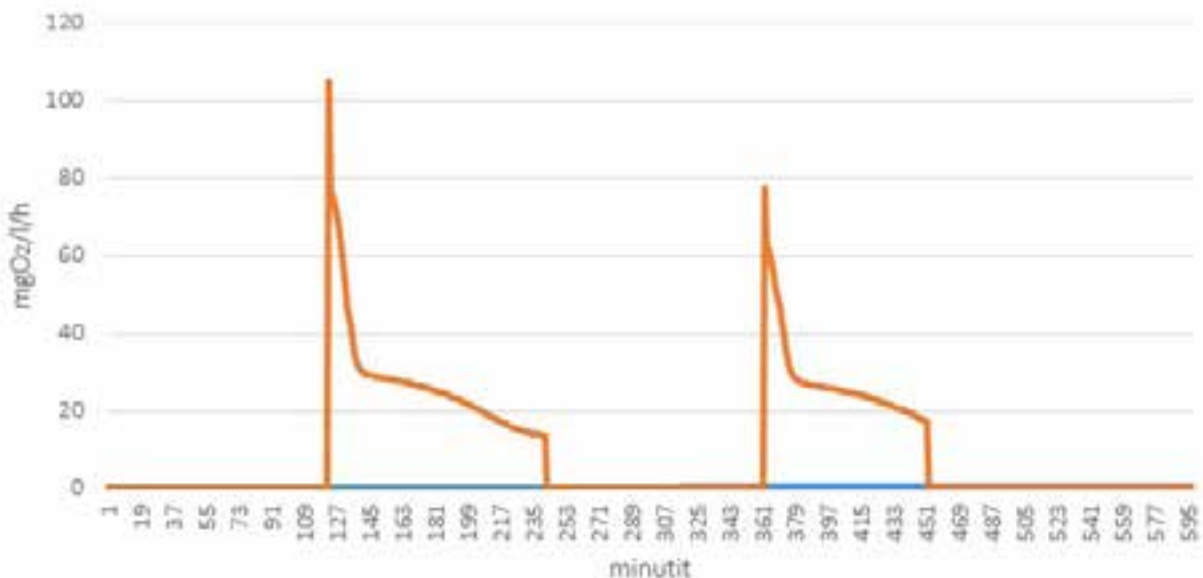
300-365 minutit on näha endogeenset hingamist ehk puhastusprotsessi seisukohalt hapniku ja tsükli aegade raiskamist.



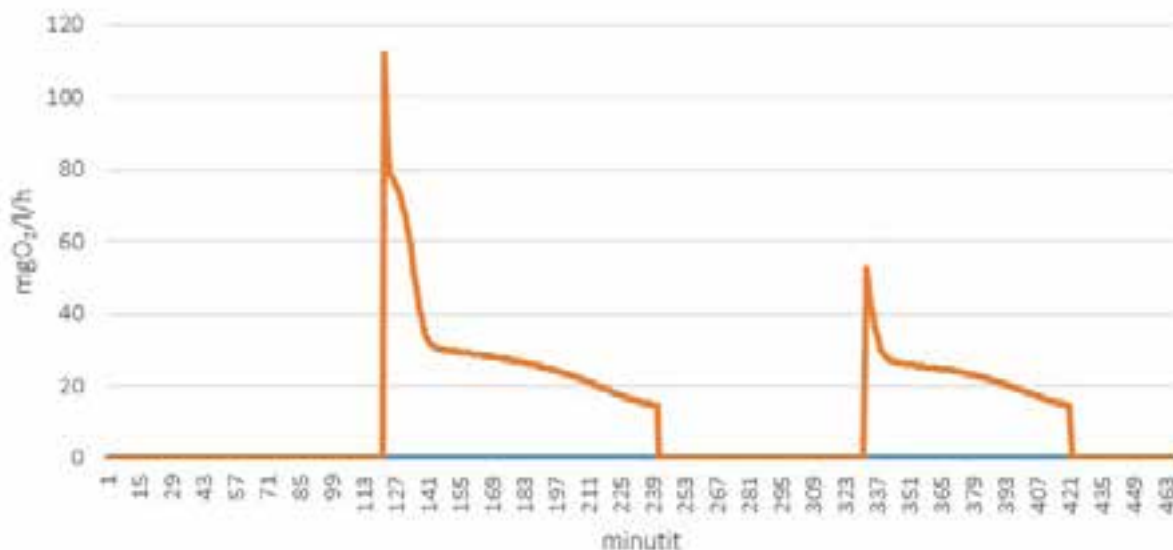
▲ Joonis 9. | Stsenarium A hapniku omastamiskiirus (18 °C juures).

Joonisel 9 näeme stsenaarium A hapniku omastamiskiirust, kus meil on kaks võrdset täitmist ning kaks võrdset aeroobset tsüklit. Jooniselt on hästi näha täitmisajad (127. ja 361. minutil). Võrreldes vastavat graafikut joonise 8-ga, siis on näha, et puudub peaaegu täielikult endogeenne hingamine ehk aeroobne tsükel on koormatud hästi.

Joonisel 10 on esitatud stsenaarium B tsüklit ise-loomustav joonis. Stsenaarium B puhul oli meil kaks võrdset täitmist, kuid teine aeroobne tsükel oli 30 minutit lühem. Seda on näha ka jooniselt, kus tsükli pikkus ei ole olnud piisav ning osa raskesti bioloogiliselt lagundatavast ainest on veel lagundamata. Ehk joonisel 451 minutit, mis on alles languses.



▲ Joonis 10. | Stsenaarium B hapniku omastamiskiirus (18 °C juures).



▲ **Joonis 11.** | Stsenarium C hapniku omastamiskiirus (18 °C juures).

Joonisel 11 näeme stsenaarium C hapniku omastamiskiirust iseloomustavat joonist.

Antud stsenaariumi puhul oli meil esimene aeroobne tsükkel ja täitmismaht suurem. Antud režiim peaks parandama lämmastikuärastust ehk teise väiksema mahulise täitmisega tagatakse see, et esimesse täitmisse jääb väiksem nitraadi koormus kui kahe võrdse täitmise puhul. Vastavaid tulemusi kinnitas ka tabel 3. Jooniselt selgub lisaks, et tsüklite pikkus on hea, sest täpselt 240. minuti juures algab endogeenne hindamine.

□ Kokkuvõte

Uuritud reoveepuhasti modelleerimine näitas, et puhastusprotsessi on võimalik optimeerida suures ulatuses ainult opereerimisrežiimide muutmisega. Kuna reoveepuhasti ei pea täitma tänapäeval ainult suubla heitvee norme, vaid tegema seda ka energiaefektiivselt, siis soovitatakse uuringu tulemusel järgmisi tegevusi:

- vähendada aktiivmudakontsentratsiooni (MLSS) 2500-3500 mg/l-ni, sellega on tagatud aktiivse biomassi kõrge osakaal (MLVSS) ning biomass sisaldab võimalikult vähe inertset orgaanilist ainet, mis tarbib küll hapnikku, kuid reoainete oksüdeerimises ei osale;

- väiksem aktiivmudakontsentratsioon tagab aktiivmuda kiirema seadmise ehk kogu vajalik seadmistsükli pikkus on lühem ning heljumi sh fosfori kontsentratsioon suublas väheneb;

- õhukulu ehk elektrikulu seisukohalt efektiivselt mudavanas 12 °C juures on 15 ööpäeva. Suubla piirnormide seisukohalt kõige ohutum mudavanas

antud temperatuuri juures on 20 ööpäeva. 18 °C juures on efektiivselt mudavanas 10 ööpäeva.

- liigmuda teke väheneb mudavanas kasvades, seega on antud punkti analüüs ettevõtte strateegiast, kas soovitakse vähendada elektrikulu, saastetasusid või settekäitlusekulusid, mis on mingil määral samuti seotud elektrikuluga (veetustamine).

□ Summary

Optimization of wastewater treatment plants using activated sludge process

The most common method of biological wastewater treatment is the activated sludge process. Activated sludge is a flaky set of microorganisms that grows relatively slow and behaves like a living organism,

consuming nutrients for nitrification and oxygen for the decomposition of organic matter. The high aerating costs of wastewater treatment plants is a concern for many companies, as it makes up about 60% of the total electrical cost of the treatment plant. Another important expense is the excess sludge generated during biological treatment that requires further handling. This study analyzed a variety of possibilities to optimize the activated sludge process with the example of a sequencing batch reactor (SBR) to adopt the best possible operational decisions in the future.

The compilation of the mass balance of the investigated wastewater treatment revealed that about 77% of organic substances, i.e. COD, are removed by oxidation and this also reflects in the operating costs. This study aimed to try to find purification regimens and aerobic cycles for an optimized

treatment process where most of the COD is removed with biomass, not by oxidation.

To optimize the wastewater treatment plant, we applied mathematical models which gave a very good indication of how certain purification regimes affect the efficiency of the purification process. These mathematical models were calibrated with specific indicators of the subject wastewater. The modeling process assessed the effect of sludge age on aeration cost, the formation of excess sludge and the efficiency of the treatment plant at 12 °C and 18 °C. Also, various treatment scenarios were analyzed to find the most effective aeration cycles. As the SBR is a very complex treatment process, where each detail directly affects the costs of operation, it was not possible to analyze all the possibilities in this study. As an example, we introduced three different treatment scenarios in addition to the base scenario.

A comparison of the treatment regimens showed that in both cases, at 12 °C and 18 °C, the most effective scenario was with two fillings, first about 62% of the daily volume and then 38% for the second. At 12 °C, the aeration cost decreased by 3% compared to the base scenario. Also, a relatively good phosphorus reduction and 40% better nitrogen removal were observed compared to the base scenario. At 18 °C, the aeration cost decreased by 3% compared to the base scenario, the generation of excess sludge was 2% less and the efficiency of nitrogen removal also increased by 45%. At 12 °C, an optimal sludge age for nitrification was found to be 15 to 20 days. At 18 °C, a sludge age of 10 to 15 days was found to be sufficient.

The wastewater treatment plant is not only required to comply with the standards for the effluent of the water but also to do so in an energy-efficient manner. The biggest benefit of optimizing the purification process lies in the faster removal of organic matter, a smaller energy cost and better sedimentation of activated sludge. The modeling of the mentioned wastewater treatment plant showed that the treatment process can be optimized to a large extent by only modifying the operating regimes.

▣ Viidatud allikad

[1] M. L. Davis, *Water and Wastewater Engineering. Design Principles and Practice*. 2010.

[2] M. Henze, C. M. Loosdrecht, A. G. Ekama, ja D. Brdjanovic, *Biological Wastewater Treatment*. London: IWA Publishing, 2011.

[3] N. F. Gray, *Biology of wastewater treatment*, 2. ed. London: Imperial College Press, 2004.

[4] A. A. Badejo, D. O. Omole, J. M. Ndambuki, ja W. K. Kupolati, „Municipal wastewater treatment using sequential activated sludge reactor and vegetated submerged bed constructed wetland planted with *Vetiveria zizanioides*“, *Ecol. Eng.*, kd 99, lk 525–529, 2017.

[5] D. V. für W. ATV-DVWK Abwasser und Abfall, *ATV-DVWK-Regelwerk. A 131*. [Englische Ausg.]. A 131. [Englische Ausg. Hennef: Ges. zur Förderung d. Abwassertechnik, 2000.

[6] EPA, *Process design manual for nitrogen control*. Washington D.C: Office of Technology Transfer, 1973.

[7] N. F. Gray, *Biology of wastewater treatment*. Dublin: Imperial College Press, 2004.

[8] G. Carletti, P. Pavan, D. Bolzonella, ja C. Cavinato, „Occurrence and removal of heavy metals from industrial and municipal wastewater : a comparison between MBR and conventional activated sludge processes (CAS)“, 2003.

[9] *Wastewater Sludge Processing*, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2005, lk i–xii.

[10] M. Raud, E. Lember, E. Jõgi, ja T. Kikas, „Nitrosomonas sp. Based biosensor for ammonium nitrogen measurement in wastewater“, *Biotechnol. Bioprocess Eng.*, kd 18, nr 5, lk 1016–1021, 2013.

3D-prinditud radiaatori projekteeritud tudengivormeli võistlusautole FEST19

Autor: Konrad Ilustrumm

Juhendaja: Tallinna Tehnikakõrgkooli tehnikainstituudi õpetaja **Peter Šverns**

Eessõna

Käesolev lõputöö on valminud Tallinna Tehnikaülikooli ja Tallinna Tehnikakõrgkooli tudengite ühisprojekti Tudengivormel raames ühe õppeaasta jooksul. Lõputöö teema valikul lähtuti meeskonnas täidetud ülesannetest, teema keerukusest ning isiklikust huvist soojusülekanedega seotud probleemide vastu.

Töö autor soovib tänu avaldada oma juhendajale, Peter Švernsile, kelle nõuanded ja soovitusel olid abiks lõputöö koostamisel, Tallinna Tehnikaülikooli Inseneriteaduskonnale ja vanemteadurile Lauri Kollale, kes tootis radiaatorid ning Rico Jaanipele, kes andis nõuandeid, millised lahendused on 3D-printimistehnoloogiaga võimalik toota. Samuti suur tänu kõigile FS Team Tallinn tegevliikmetele ja veteranidele, kes olid abiks lõputöö valmimisel.

Sissejuhatus

Formula Student on 1980. aastal loodud võistlussari, mille eesmärk on anda inseneriteadusi õppivatele tudengitele praktiline väljund oma teadmiste rakendamiseks ning uute kogumiseks. Võistlussarjas osalevad ülikoolid ja rakenduskõrgkoolid üle maailma. Tänapäevaks hõlmab sari üle 600 meeskonna ning meeskonnad võistlevad kolmes erinevas kategoorias – sisepõlemismootorid, elektrivormelid ja isesõitva vormeli klass. Võistlus ei sisalda ainult ehitatud autoga ringrajal sõitmist, vaid kohtunikele tuleb sõidukit esitleda kolmel alal: disainikaitsmine, kus esitletakse kontseptsiooni otsuseid, auto kuluaruanne ning äriplaan auto kasumlikuks tootmiseks.

Selle hooaja võistlusauto kannab nime FEST19 ning nelikveolistest elektrimootoriga vormelitest on sõiduk järjestikus viies ja üleüldiselt kaheteistkümnes masin. Kõigile eelmistele ja praegu arendusetapis olevatele nelikveolistele võistlusautodele on olnud vaja kogu jahutussüsteem meeskonna poolt projekteerida.

Käesoleva lõputöö raames valmib täiustatud 3D-prinditud radiaator, mille esimene versioon

projekteeriti ja toodeti eelmisel hooajal võistlusautole FEST18. Lõputöö probleem on see, et ostutootena saadavad radiaatorid on kindlate standardsete mõõtmetega ning seega on loodavad lahendused võistlusauto jaoks piiratud.

Radiaatorit on võimalik ise valmistada, kuid jahutuskärje geomeetriad on samuti piiratud ja uenduslikke lahendusi on keeruline teha.

Töö eemärk on projekteerida FEST18 lahendusest mõõtetelt väiksem 3D-prinditud radiaator, seejuures säilitades või suurendades jahutusvõimsust sama temperatuurivahemiku juures.

Ülesandeks on uurida vee ning õhu kokkupuutel tekkivat soojusülekanne eraldi. Eesmärgi täitmiseks valitakse radiaatorist üks osa, millele tehakse kindlaksmääratud parameetritega soojusülekanne analüüs. Samad analüüsid tehakse ka eelmise hooaja lahenduse kohta.

Simulatsiooniprogrammina kasutatakse ANSYSi tarkvara. Analüüsiga ei otsita tegelikke väärtuseid, vaid pigem lahendust, mille tulemused on paremad baasanalüüsist.

FEST18 lähteparameetrid

Jahutussüsteemi üldine plaan mõjutab projekteeritavate radiaatorite asukohta vormelauto küljes ning seda mitme radiaatoriga tuleb arvestada.

FEST18 jahutussüsteem on tehtud kahe paralleelse liinina, kus mõlema liini keskel asub üks pump ja peale seda toimub hargnemine kahte harusse. Nii jääb ühte paralleelsesse ahelasse kaks mootorit ja kaks kontrolleri ja üks radiaator.

Eelmise hooaja kohta on vormeli rajatamise andmed olemas ning nende kaudu saab arvutada ühes jahutusahelas tekkiva jahutusvõimsuse vajaduse. Selleks tuleb ligikaudu 900 W.

FEST18 võistlusautol olid esmakordselt kasutuses prinditud radiaatorid, mis andsid väga vajaliku esmakogemuse 3D-printimis tehnoloogiaga.

Seeläbi saadi teada, et radiaatori veepaagid peavad olema veetilgale sarnase kujuga vältimaks sisestruktuure, mis tehakse printitud seina toestamiseks, kui sel ei ole ühtegi tuge. Samuti nähti, et 0.3 mm seinapaksust on võimalik printida.

▣ Radiaatori üldiste mõõtmete määramine

Sirgete ribidega radiaatorid on ühed enamlevinud ja lihtsamad lahendused. Samuti on nende abil võimalik mõistliku arvutuskeerukusega rehkendada jahutusvõimsus ettemääratud temperatuurivahemikus. Seda meetodit kasutatakse käesolevas töös, et määrata radiaatori mõõtmed. Selleks tehakse arvutusmoodul arvutusprogrammi MS Excel.

Tulemused näitavad, et võrreldes FEST18 lahendusega võib arvutuslikult oodata kuni 7 K jahutussüsteemi temperatuuri langust projekteeritava radiaatoriga, kus vooluhulkade ja temperatuuride vahemikud jäetakse muutmata. Radiaatori mõõtmeteks kujuneb 150 x 150 x 20 mm.

Kuna soojusülekanne toimub kahel voolisel üksteisest sõltumata, tehakse kaks erinevat analüüsi: üks vee ja radiaatori pinna kontaktis toimuva ning teine radiaatori ja õhu kontaktis toimuva soojusülekannde kohta.

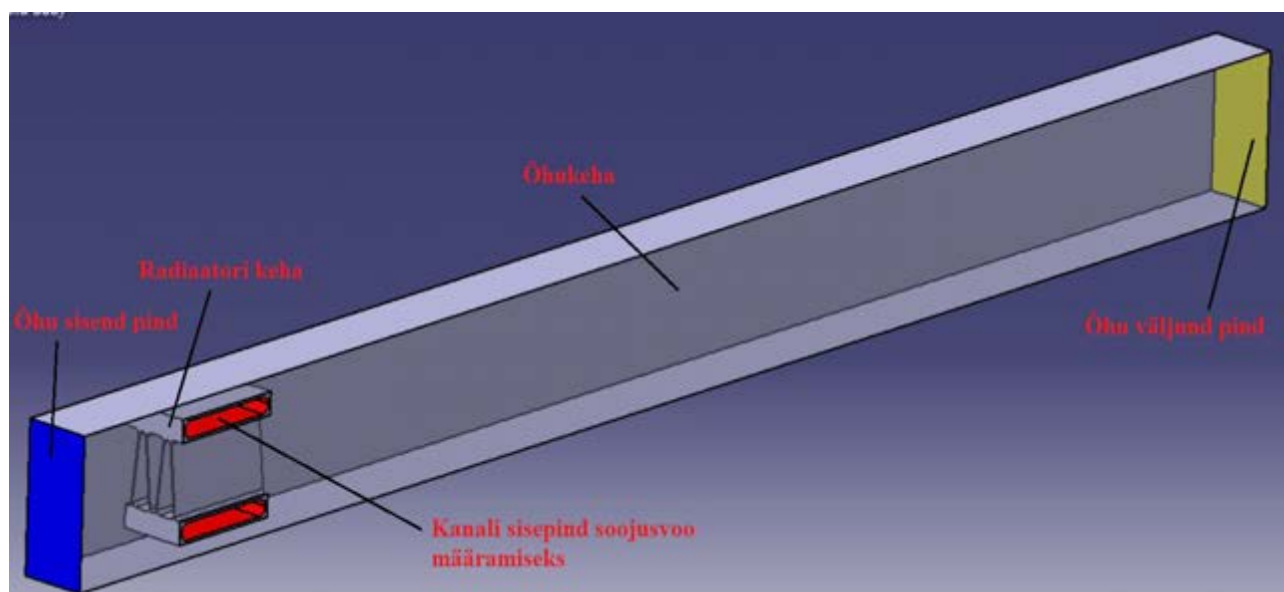
Kogu radiaatori analüüsimine on ajamahukas ja suurt arvutusjõudlust nõudev töö. Mõlemad tegurid olid piiratud, mistõttu valiti radiaatorist üks väike osa. Seda hakatakse analüüsima LEM-programmiga ANSYS, milles kasutatakse analüüsimoodulit Fluent voolise voolamise ja soojusülekannde analüüsimiseks.

Soojusülekanne soojusjuhtivuse kaudu läbi tahke materjali on aeglane protsess, mida soovitakse analüüsis arvestada. See mõjutab üldist soojusülekannde kiirust.

Seetõttu valitakse radiaatorist kärje osa, mis hõlmab endas lõiget kahest veekanalist ja nende vahele jäävast nelja ribiga osast. Sinna ümber tehakse õhumudelit väljendav osa. Seel (Sele 1) on näha CAD kujutis radiaatorist tehtud lõikest, mida hakatakse analüüsima.

▣ Radiaatori soojusülekannde analüüsid

Radiaatori erinevaid lahendusi hakatakse võrdlema soojusülekannde analüüside baasil. Otsitakse lahendust, mille korral on pinna temperatuur kõige madalam.



▲ Sele 1. | Sirge ribiga analüüsimudel

Käesolevas töös ei otsita reaalseid analüüsitulemusi, vaid võrreldakse erinevaid lahendusi baasanalüüsiga. Seega luuakse ühtsed analüüsiparameetrid, mida kasutatakse kõigi analüüside puhul.

Tulemusega välditakse olukorda, kus soojusülekanne mõjutavad muud soojuslikud tegurid kui radiaatori geomeetria. Parameetrid on näha tabelites.

Tabel 1. | Analüüsiparameetrid õhukülje soojusülekanne analüüsimiseks

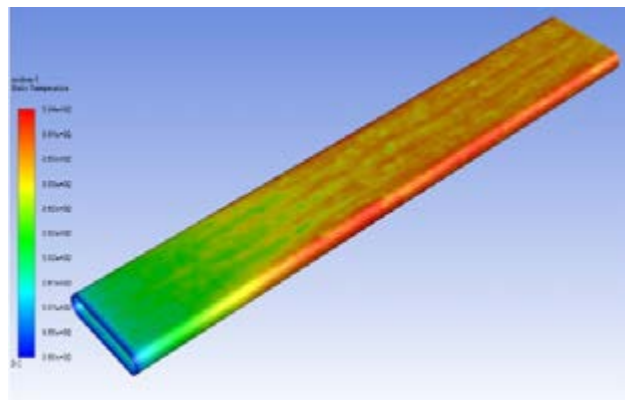
Parameeter	Väärtus/ nimetus	Ühik
Õhu liikumise kiirus	4	m/s
Õhu temperatuur	300	K
Soojusvoog	5000	W/m ²
Soojusülekanne aeg	4	s
Arvutusmudel	k-omega SST	
y+	< 1	
Ribide paksus	0,2	mm

Tabel 2. | Algpameetrid veekanali analüüsimiseks

Parameeter	Väärtus/ nimetus	Ühik
Vee liikumise kiirus	0,5	m/s
Vee temperatuur	350	K
Soojusvoog	5000	W/m ²
Soojus-ülekanne aeg	4	s
Arvutus-mudel	k-omega SST	
y+	< 1	
Veekanali seinapaksus	0,4	mm

Pärast kõigi analüüsi parameetrite määramist saab teostada esimese analüüsi. Peamiselt jälgitakse pinnatemperatuuri näitajat. Soojusülekanne võrrandite kaudu väljendub, et pinnatemperatuur ja jahutava voolise temperatuuri vahe näitab pinna soojusülekanne teguri muutumist, kas suuremaks või väiksemaks vastavalt siis.

Baasanalüüsiks tehti sirge sileda seinaga veekanali analüüs. Tulemused on näha seel (Sele 2).



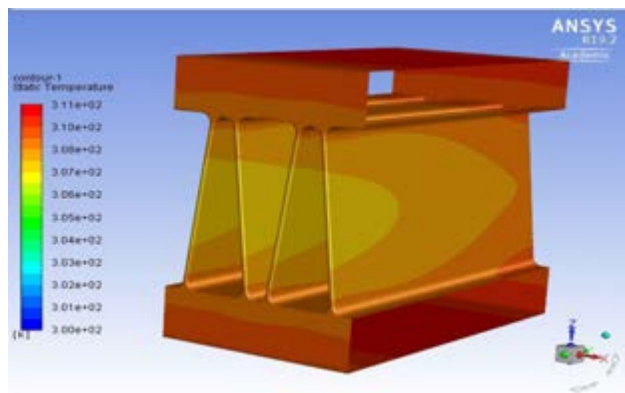
▲ Sele 2. | Baasanalüüsi pinna temperatuuri tulemused

Analüüsitulemustelt on näha, kuidas peale veerandit kanali pikkust hakkab pinna temperatuur kasvama. Põhjuseks on veevoolu väljakujunemine ning seina äärde tekib aeglasemate veekihtide ala. Temperatuur on kanali alguses 352 K ning 100 mm pärast (kanali lõpus) tõusnud 354 K-ni.

Õhuga kokkupuutuva külje analüüsimisel lähtutakse samadest parameetritest tulemuste jälgimisel.

Baasanalüüsiks tehti sirge sileda seinaga ribi analüüs.

Tulemused on näha seel (Sele 3).



▲ Sele 3. | Baasanalüüsi pinna temperatuuri tulemused

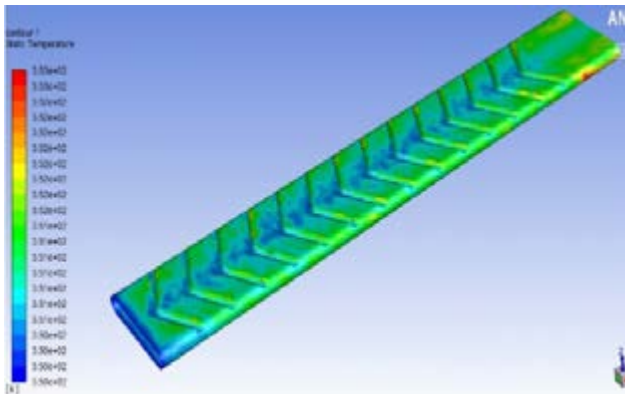
Seel (Sele 3) on näha, et ribi pinna temperatuur on suures ulatuses 307,9 – 309 K ning ribi tagumises otsas 310 K.

□ Soojusanalüüside võrdlustulemused

Baasanalüüsi tulemusi vaadeldes on selge, et veekanali seina geomeetriat tuleb muuta, mis segaks seinäärset aeglaselt liikuvaid vee kihte. Selleks on mitmed võimalused, mida hakatakse omavahel võrdlema.

Uuriti, milliseid lahendusi kasutatakse ostutoodetes soojustorude pinna soojusülekande teguri tõstmiseks ning hinnati, kas sarnast geomeetriat oleks võimalik muudetuna kasutada käesoleva töö radiaatori veekanalis.

Pärast üle üheksa analüüsi omavahelist võrdlemist valiti välja lahendus, kus seina peale on tehtud 60-kraadised kõrgendused, mis segavad vett veekanalis. Tulemused on näha seel (Sele 4).



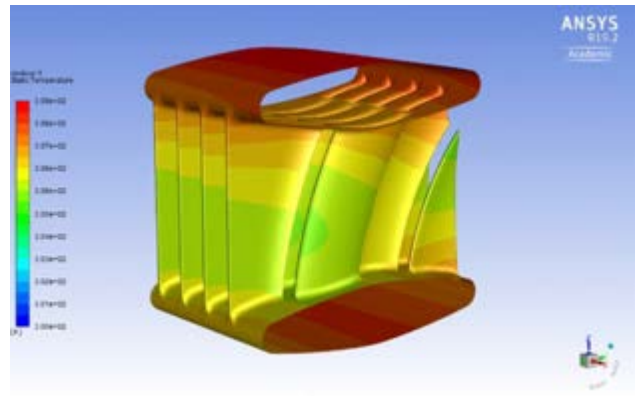
▲ Sele 4. | 60-kraadise kõrgendusega veekanali analüüsi tulemused

Õhuga kokkupuutuva soojusülekande pinna analüüsimine oli keerulisem, seda peamiselt lõplikeks elementideks jagamise protsessis, mistõttu tuli teha sageli muudatusi CAD-mudelisse ja arvestada sellega erinevate lahenduste tegemisel.

Teooria on õhukülje soojusülekande tõhusamaks muutmisel sama veekanali omaga. Seina äärde tekib ääreala, kus õhu kiirus on aeglustunud kuni täieliku peatumiseni ning mida tuleb mõjutada, kasutades selleks erinevaid geomeetrisi lahendusi.

Esimese mudelina prooviti ribi, mis lainetab. Lõpplahendusena ei soovita kasutada masstootanguna toodetavat ribi, kuna need on tulenevalt tootmistehnoloogiast sageli piiratud geomeetria-ga. Printimisega on võimalik teha tunduvalt keerulisemat geomeetriat, millel on ka suurem soojusülekande tegur.

Tulemused on näha seel (Sele 5).



▲ Sele 5. | Lainetava ribiga analüüsi tulemused

Tulemused on näha tabelites (Tabel 3 ja Tabel 4).

Lahendus	Baasanalüüsi tulemus, [K]	Analüüsi tulemus, [K]	Erinevus, [K]
Poolkaar kõrgendused	354	352	-2
Sirged sooned		356	+2
Spiraal		354	0
60 kraadi kaldega kõrgendus			
60 kraadise nurgaga V-tähe kujuline kõrgendus		352	-2

▲ Tabel 3. | Veekanali analüüsitulemuste koondtabel

Lahendus	Baasanalüüsi tulemus, [K]	Analüüsi tulemus, [K]	Erinevus, [K]
Lainetav ribi	308.5	308	-0,5
Tahapoole lainetav ribi		308,5	0
Sälkude ribi 1 variant		308	-0,5
Sälkudega ribi 2 variant		307	-1,5
Kumera kanaliga		305	-3,5

▲ Tabel 4. | Õhupoole analüüside koondtabel

□ Radiaatori lõplik mudel ja tootmine

Järgmisena sooviti uurida, milline on kogu vee voolamine radiaatoris. Selleks tehti eraldi analüüs ja uus mudel vee voolavuse analüüsimiseks. Tulemuseks sai keskelt läbivoolamisega radiaator.

Printimistehnoloogias ei nähta otseselt asendust üldistele patenteeritud masstootmisprotsessidele, vaid võimalust toota esmapilgul liiga keerulisi tooteid. Käesolevas töös oleva radiaatori võimaldas 3D-printida Tallinna Tehnikaülikool inseneriteaduskond. Projekteerimise käigus arvestati antud võimalustega, millega on printimisega tegeleva vanemteaduri sõnul teoreetiliselt võimalik printida 0,2 mm seinapaksust.

Radiaator printiti pikali asendiga töölaua peal. Sellise meetodiga välditi tugistruktuuride printimist, mida ei oleks olnud võimalik hiljem enam eemaldada.

□ Kokkuvõte

Lõputöö eesmärk sai täidetud, mille tulemusena projekteeriti ja toodeti 3D-printitud radiaator, mille mõõtmed on väiksemad kui eelmisel hooajal kasutatud tudengivormelil ning sama jahutusvõimsus saavutatakse madala temperatuurivahega juures.

Arvutuslikult saadi radiaatori põhilise soojusülekanne pinna – kärje, mõõtmeteks 150 x 150 x 20 mm. Laiuse mõõdule lisanduvad veel veepaakide laius. Eeldatav jahutussüsteemi temperatuuri langus on 7 K.

Enamus vee ja radiaatori kui ka õhu ning radiaatori vahelisest soojusülekanne pinnast oli 3 K madalam temperatuur võrreldes baasanalüüsiga. See tähendab hinnanguliselt kahekordset ja 70% suurust soojusülekande teguri suurenemist.

Radiaator kaalub ligikaudu 273 g vähem võrreldes eelmise aasta lahendusega.

Töö autor näeb perspektiivi arendada töös toodud lahendusi edasi saavutamaks veelgi paremat lahendust, vähendades ribide paksust ning muutes ribide vahet väiksemaks.

□ Summary

Designing 3D-printed heat exchanger for Formula Student car FEST19

The thesis Designing 3D-printed heat exchanger for Formula Student car FEST19 was about analyzing heat transfer, and on this basis designing and manufacturing a 3D-printed heat exchanger. The thesis aimed to design a heat exchanger that is smaller in measurements but has the same or higher heat transfer rate for a given temperature difference than car heat exchanger from last season.

The task was to examine water-to-radiator and radiator-to-air heat transfer process separately to find a geometry that has a higher heat transfer rate with pre-defined parameters. All the analyses were performed using the same parameters. The aim was not to find actual results for the heat transfer but to compare different geometries with pre-defined parameters. Subsequently, the geometry with the lowest surface temperature was chosen as the final geometry.

□ Viidatud allikad

[1] MTÜ Tudengi Vormel; Konrad Ilustrumm, FEST 18 - Cooling System, Tallinn: MTÜ Tudengi Vormel, 2018.

[2] General Engine Management Systems Ltd 2019, „GEMS Performance Electronics,” [Võrgumaterjal].

Available: General Engine Management Systems Ltd 2019. [Kasutatud 07. mai, 2019].

[3] AMK, „Scribd,” 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.scribd.com/document/263816062/PDK-205481-KW26-S5-FSE-4Q-en>. [Kasutatud 15. september, 2018].

[4] Y. A. Cengel, Heat Transfer - A Practical Approach Second Edition, Mcgraw-Hill, 2002.

[5] ANSYS Inc, „ANSYS Fluent Meshing User´s Guide,” ANSYS Inc, 2005.

□ Biolagunevad agrotekstiilid kui alternatiivid polüetüleenkilele maasikakasvatuses

Autor: Pille Klein

Juhendaja: Tallinna Tehnikakõrgkooli rõiva ja tekstiili instituudi lektor Diana Tuulik

□ Sissejuhatus

Uurimistöö eesmärgiks oli leida alternatiivid maasikakasvatuses kasutatavale UV-kaitsega mustale polüetüleenkilele biolaguneva agrotekstiili näol, sest suurenenud on keskkonnasõbralikumate materjalide kasutamise osatähtsus ja sünteetilise polümeerimaterjali kasutamine kujutab endast koormust keskkonnale.

Maasikakasvatuses polüetüleenkile asendamine biolaguneva agrotekstiiliga vähendab jäätmete teket ning säästab transpordi- ja tööjõuressursse. Biolagunevate agrotekstiilide kasutamine on aga meie regioonis uudne ning leiab rakendust üsna vähesel määral.

Selleks, et selgitada välja Eesti maasikakasvatajate huvi ja senised kogemused biolagunevate agrotekstiilide kasutamise osas ning millised on enim kasutust leidnud biolagunevad agrotekstiilid, kasutati antud uurimistöös kahte meetodit: veebiküsitlust selgitamaks Eesti maasikakasvatajate valmisolekut polüetüleenkile asendamiseks biolaguneva agrotekstiili vastu ning info kogumist turul kättesaadavate maasikakasvatuses sobilike biolagunevate agrotekstiilide kohta tuginedes teadusartiklitest, raamatutest ja tootjate kodulehtedelt saadavale infole ning infopäringu läbiviimist biolagunevate agrotekstiilide tootjatele lisainfo saamiseks.

□ Metoodika

Selleks, et selgitada Eesti maasikakasvatajate huvi ja senised kogemused biolagunevate agrotekstiilide osas, viidi maasikakasvatajate seas läbi küsitlus, mille üldiseks vastasmääraks kujunes 42% ehk 59-st küsitlusest vastas 25 maasikakasvatajat. Maasikakasvatajatele suunatud küsimustiku eesmärgiks oli selgitada, milliseid materjale kasutatakse käesoleval ajal maasikakasvatuses, millised on kasvatajate teadmised ja suhtumine uudsetesse materjalidesse ning biolagunevate agrotekstiilide edaspidine võimalik kasutuselevõtt. Andmeid koguti nii veebiküsitlusena, e-maili teel kui ka telefoniintervjuudena.

Uuringu valim oli juhuslik ning tulemused ei kaasa kõiki Eesti maasikakasvatajaid. Andmed maasikakasvatajate kohta on saadud Maasikakasvatajate

Liidu kodulehelt ning PRIA „PMAIS Avalik Vaade“ veebilehelt. [1]

Uurimistöö raames koguti informatsiooni turul kättesaadavatest maasikakasvatuseks sobilikest biolagunevatest agrotekstiilidest erinevatest teadusartiklitest ning tootjate kodulehtedelt.

Lisaks teostati infopäringud agrotekstiilide tootjatele lisainformatsiooni saamiseks, nagu biolagunevate agrotekstiilide tehnilised omadused, koostis ja hind. Päring saadeti enim kõneainet pakkunud biolagunevate agrotekstiile tootjatele ettevõtetele, päringule vastasid pooled ja valim selekteeriti välja info konstruktiivsuse alusel.

□ Tulemuste analüüs

Uuringu tulemusena selgus, et biolagunevaid agrotekstiile toodetakse nii looduslikest kui sünteetilisest polümeeridest. Maasikakasvatuses kasutatakse peamiselt polülaktiidi- (PLA) või polülaktiid/polühüdoksübutüraadipõhiseid (PLA/PHB) materjale ja mõnel juhul PLA koos looduslike kiududega. PLA on osutunud heaks alternatiiviks polüetüleenkilele. PLA kiudude tugevus koos looduslike kiududega segatuna on kõrgem ja samuti ei mõjuta ümbritseva keskkonna temperatuuri ega niiskuse muutused materjali omadusi. [8] Allikmaterjalides enim kõneainet pakkunud biolagunevaks materjaliks on Mater-Bi, mille tootja on Novamont Company. Mater-Bi on biolagunev ja kompostitav tärglisepõhine termoplastne materjal. [2]

Lisaks Mater-Bi-le on ettevõtte Novamont poolt toodetud agrotekstiil Agrobiofilm, mis on arendatud Mater-Bi preparaadist, materjali iseloomustab suurem sisaldus taastuvaid tooraineid kui teistel biolagunevatel agrotekstiilidel. [3]

Järgmiseks näiteks on Eesti turul saada olev Mater-Bi toormaterjalist valmistatud biolagunev agrotekstiil BioAgri Garden, mis koosneb tärglise ja biolagunevate polümeeride segust.

BioAgri Garden on peamine biolagunev ja komposteeruv agrotekstiil Skandinaavias ja Baltikumis ning tootjaks on BioBag International AS. [10] Mater-Bi alusel on valmistatud ka Bio360 tootjalt Dubois Agrinovation.

Huvipakkuvaks biolagunevaks materjaliks on osutunud kootud polümeertekstiil Ökolys, mis tänu oma ainulaadsele biopolümeerile on biolagunev ja kergesti kompostitav.

Ökolys tootja on Beaulieu International Group ja materjali funktsionaalne kasutusiga on umbes kolm aastat. [4] Eesti turul saada olev on Hortex OY Biokangas, mis on 100% biolagunev, valmistatud taimepõhisest polülaktiidist (PLA), vastupidav ning kasutuseaga 3-5 aastat. [11]

Näitena tuuakse veel 100% biolagunev mittekoostatud PLA-põhine agrotekstiil Ecotex MulchMat'i, mida toodab Hy-Tex Ltd. Ecotex MulchMat on orgaaniline umbrohutõrjevahend, mis laguneb täielikult 3.-5. aasta jooksul ilma sünteetilisi jälgi jätmata pinnasesse. [5]

Lisaks sünteetilisest kiust agrotekstiilidele on põllumajanduslike agrotekstiilide tootmiseks kohandatud ka traditsioonilised looduslikud kiud, nagu villa-, džuuudi, kookose- ja tselluloosi- kiud.

Terra Lana Products Ltd poolt toodetud biolagunev agrotekstiil Terra Lana Mulch Mat on kasutatav peamiselt maastikukujunduses, kuid siiski on leitud kasutust ka maasikakasvatuses.

Terra Lana Mulch Mat kestab tavaliselt 18 kuud kuni 2 aastat, on valmistatud villajätmetest või puhtast villast ja lagunemisel ei jää maapinda kahjulikke ühendeid. [6] Lambavillast agrotekstiili toodab ka Austria ettevõtte Lehner Wolle, Materjal on 100% lambavillast, millel ei ole sünteetilisi lisandeid. [7] Looduslikest kiududest sagedamini kasutatakse ja vastupidavam on džuuudipõhine agrotekstiil, mis on kõige odavam ja tugevam looduslikest kiududest. [9]

Džuuudipõhisel agrotekstiilil võib tulevikus olla soodsamad turutingimused tänu kasvavale murele keskkonnaprobleemide osas kogu maailmas. Järgnevalt on toodud biolagunevate agrotekstiilide võrdlustabel.

Toode	Tootja	Koostis	Kasutusaeg
Mater-Bi	Novamont Company	Tärklisepõhine termoplastne materjal	6 kuud
BioAgri Garden	BioBag International AS	Tärklisepõhine termoplastne materjal	u 24 kuud
Agrobiofilm	Novamont Company	Tärklisepõhine termoplastne materjal	6-8 kuud
Bio360	Dubois Agrinovation	Tärklisepõhine termoplastne materjal	4- 6 kuud
Ökolys	Beaulieu International Group	PLA-põhine kootud polümeertekstiil	kuni 3 aastat
Ecotex Mulchmat	Hy-Tex Ltd	PLA-põhine mittekoostatud polümeertekstiil	max 1000 päeva
Terra Lana Mulshmat	Terra Lana Products Ltd	Villa- ja džuuudikiud	18-24 kuud

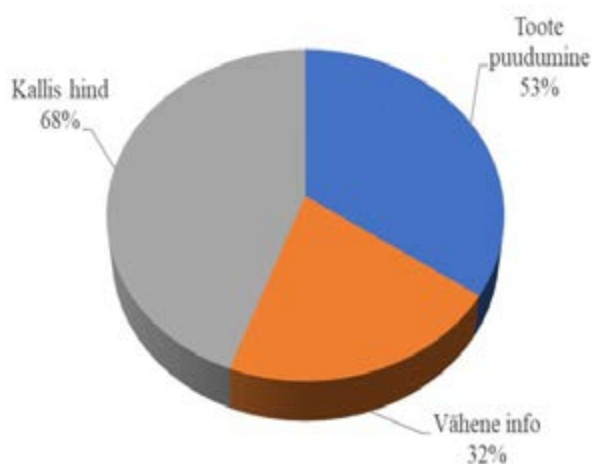
▲ Tabel 1. | Biolagunevad agrotekstiilid

Küsitluses sooviti analüüsida maasikakasvatajate taustinformatsiooni ning nende valmisolekut uudemate materjalide kasutamiseks.

Küsitlusest selgus, et kaks vastanut on kasutanud alternatiivina polüetüleenkilele ka biolagunevat maasikakile, kaks maasikakasvatajat peenravaipa, kaks saepurumultši ja põhku ning üks geotekstiili.

Rahule jäädi vaid peenravaiba omadusele hoida niiskust ning selle omadus umbrohutõrjena. Peenravaiba miinustena toodi välja rohke tigude levik, samuti ei saa peenravaiba alt muttide/mügride tegutsemiste tagajärgi likvideerida.

Polüetüleenkile kasutatjalt sooviti teada saada, millised on olnud põhjused alternatiivsete lahenduste mittekasutamises (Joonis 1) ja põhjustena toodi välja kallist hinda (68% vastanutest), huvipakkuva toote puudumist turul (53% vastanutest) ning info vähest kättesaadavust (32% vastanutest).



▲ **Joonis 1.** | Põhjused alternatiivide mittekasutamises diagramm (% vastanutest)

Biolagunevate multšikilede kasutamisel on rahulolematuse põhjustanud materjali kiirem lagunemine. Lisaks sooviti teada maasikakasvatajate valmisolekut maksta sobiva biolaguneva agrotekstiili korral selle eest kõrgemat hinda.

Küsitluse põhjal pooled vastanud on nõus, aga sõltub see ikkagi hinna suurusel. Uuringu tulemusena selgus, et maasikakasvatajate teadlikkus biolagunevate agrotekstiilide kohta on olemas, kuid enamus vastanutest pole valmis seda siiski ostma kõrge hinna ning maasikakasvatuseks sobimatuse tõttu. Kaks vastanut, kes on katsetanud biolaguneva maasikakilega, ei soovi edaspidi biolagunevaid agrotekstiile kasutada.

Maasikakasvatajad on alternatiivsetest lahendustest huvitatud, küll saab takistuseks kasutamisel materjalide hinnavahe, mis sünteetiliste biolagunevate agrotekstiilide puhul on kaks kuni kolm

korda kallim UV-kindlast PE-kilest ja looduslikest kiududest agrotekstiilide puhul kuni kuus korda kallim. Küsitluse tulemusena selgub, et huvi biolaguneva agrotekstiili vastu on olemas ning tulevikus võiks laieneda biolagunevate agrotekstiilide sissetoomine Eesti turule.

□ Järeldused ja kokkuvõte

Uuringust selgus, et praegu domineerivad turul biolagunevatest agrotekstiilidest peamiselt sünteetilised biopolümeersed materjalid.

Sünteetilistest biopolümeeridest valmistatud materjalid, mille kasutusiga on vähemalt 24 kuud, on BioAgri Garden, Ökolys, Hortex OY Biokangas, Duracover. Mater-Bi preparaadi põhiselt valmistatud biolagunevad agrotekstiilid, nagu Agrobiofilm, BioAgri Garden ja Bio 360, on lühema kasutusajaga, keskmiselt 4-12 kuud. Biolagunevate agrotekstiilide tulevik on paljutõotav.

Tootjate teadmiste integreerimine taimekasvatajate, mikrobioloogide ja keemikute uuringutega aitab kaasa selle valdkonna edasiarenemisele ning loodetavasti toodetakse edaspidi usaldusväärseid biolagunevaid agrotekstiile.

Probleemseks kohaks on väikeste materjalifragmentide pinnasesse jäämine ja nende pikaajaline võimalik kahjulik mõju keskkonnale; ökosüsteemi põhise mõju hindamiseks on vaja teha täiendavaid uuringuid.

Looduslikest kiududest eelistatumad agrotekstiilide tootmisel on džuu, vill, kookos. Looduslike kiudude eelisteks on biolagundatavus, märgtugevus, niiskuse säilitamise võime, aitab vähendada aurustumist ja vältida sellega pinnase kuivamist, materjal toimib lagunedes loodusliku väetisena. Looduslikust kiust agrotekstiilid on küll loodussõbralikumad, samas Eesti tarbijale raskesti kättesaadavad. Puuduseks peetakse veel lühikest kasutusiga ning kallist hinda.

Kirjandusuuringule tuginedes võib järeldada, et PE-kile populaarsus tuleneb tõenäoliselt selle lihtsast käsitlemisest, inertsetest omadustest ja madalast hinnast.

Samal ajal kujutab PE-kile endast suurenenud tootmise ja kasutamise tõttu koormust keskkonnale. Sellest tulenevalt on tekstiilitööstused PE-kile asendamise eesmärgil arendanud uudeid biolagunevaid agrotekstiile.

Uuringu tulemusi analüüsid selgus, et biolagunevatele polümeeridele on viimastel aastakümnetel küll palju tähelepanu pööratud, kuna nende võimalikud rakendused on seotud keskkonnakaitsega.

Praegu on aga vähesed biopolümeeride rühmad turule tähtsad. Peamine põhjus on nende hinnatase, mis ei ole konkurentsivõimeline.

Käesolevas uurimistöös jagati biolagunevad agrotekstiilid kaheks: sünteetiliselt ning looduslikul kiul põhinevad agrotekstiilid.

Leiti, et kuigi looduslikel kiududel põhinevad agrotekstiilid on üldiselt pinnasele ja keskkonnale soodsamad, on nende rakendamine niiskes kliimas limiteeritud liiga kiire biolagundatavuse, halbade esteetiliste omaduste ja kõrge hinna poolest.

Saadaval on lai valik sünteetiliselt kiudu sisaldavaid agrotekstiile, mis on samuti hästi biolagunevad ning meie kliimas paremini rakendatavad.

Leiti, et kõige mõistlikum on Eestis maasikataludes kasutada toodet Ökolys, sest see on 100% biolagunev ning teiste toodetega võrreldes pikema kasutusajaga (3 aastat).

Eesti maasikakasvatajatele tehtud uuringust selgus, et 28% talunikest on kasutanud alternatiivseid materjale ning 52% maasikakasvatajatest on motiveeritud maksma biolagunevate agrotekstiilide eest kõrgemat hinda, kui sobiv toode oleks saadaval.

Vajadus, mida maasikakasvatajad peavad oluliseks, on materjali lagunemise kiirus ehk materjali omadus mõjuda umbrohutõrjena ja hind. Seega on oluline jätkata Põhjamaade kliimas rakendatavate kulutõhusate biolagunevate agrotekstiilide arendamist ja tootmist.

□ Summary

Biodegradable Agrotexiles as an Alternatives to Polyethylene (PE) in Strawberry Farming

The aim of the final thesis Biodegradable agrotexiles as an alternative to polyethylene (PE) in strawberry farming was to analyze the possibility of replacing the most widely used black polyethylene material with biodegradable agrotexile.

First, available information about PE plastic and biodegradable agrotexiles was collected from articles, books, web-pages of producers.

Then a survey was composed and shared with the target group in order to map the current situation in Estonia: the number and location of strawberry farms, background of the farmers (age, gender), use of PE plastic and biodegradable agrotexiles, and motivation to start using alternative materials in the future (i.e., environmental attitudes and possibility to invest in more expensive materials).

Also, manufacturers of biodegradable agrotexiles were contacted to collect detailed and correct information about available textiles (properties, price, etc.).

The research showed that the popularity of PE plastics is most probably caused by their easy applica-

tion, inert character, and low cost.

However, large-scale production and use of polyethylene have a substantial environmental impact.

The survey verified that 28% of the Estonian strawberry farmers questioned have tested alternative materials to PE, such as biodegradable plastic, mulch from straw and sawdust, geotextile or some other gardening textile. However, these materials degrade in the Estonian climate faster than mentioned in the product specifications.

The analysis concluded that the most suitable product available the moment to the Estonian strawberry farmers is Ökolys because of its high biodegradability (100%) and long lifetime (3 years).

The main reasons behind the low use of alternative agrotexiles are their high price, low awareness, and a shortage of suitable products. However, the survey also showed that 52% of Estonian strawberry farmers are willing to pay a higher price for agrotexiles if suitable products were available.

Therefore, it is essential to increase farmers' knowledge about the topic and develop cost-efficient biodegradable agrotexiles applicable in Nordic climate conditions.

□ Viidatud allikad

[1] Põllumajandusamet, „PMAIS Avalik Vaade,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://portaal.agri.ee/avalik/#/mahe>. [Kasutatud 04. aprill.2019]

[2] Mater Bi „Biodegradable and Compostable Mulch Film”, [Võrgumaterjal]. Available: <http://materbi.com/en/solutions/agriculture/mulching-film/> [Kasutatud 16.veebruar.2019]

[3] AGROBIOFILM, „Final Report Summary - AGROBIOFILM (Development of enhanced Biodegradable films for Agricultural activities),” [Võrgumaterjal]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/95775/reporting/en> [Kasutatud 17.veebruar.2019]

[4] Ökolys™ „Beaulieu International Group Technical Textiles,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.beaulieutechnicaltextiles.com/en/category/c/2/agrotexiles> [Kasutatud 16.veebruar.2019]

[5] Ecotex Mulchmat „Hy-Tex Ecotex MulchMat™ Biodegradable Weed Control Matting,” [Võrgumaterjal]. Available: https://www.hytex.co.uk/docs/biodegradables/ecotex/B_EcoTex_MulchMat_01.pdf. [Kasutatud 22. aprill.2019]

[6] Terra Lana Products Ltd, „Terra Lana Mulchmat,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.terralana.co.nz/phone/mulch-mat.html>. [Kasutatud 21. aprill.2019]

[7] Lehner Wolle GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.lehnerfloral.at/en>. [Kasutatud 27. aprill.2019]

[8] N.L. Thomas „What are Biodegradable Fabrics?“ 28.juuni.2016 [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.fabricoftheworld.com/what-are-biodegradable-fabrics-importance-and-examples/?fbclid=IwAR0NRgGcq9hRO9BYKIRMkz5uysYvTg-0HZdJyZIUAtYAzHL6Hxz3nhKyp8Ts> [Kasutatud 12.veebruar.2019]

[9] M. Malinconico, Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture, Springer-Verlag GmbH Germany, 2017, p.192

[10] BioBag, „ BioAgri multšikile,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.biobag.ee/pollumajandus/> [Kasutatud 04. aprill.2019]

[11] Hortex OY, „Biokangas,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://hortex.fi/2017/03/08/biokangas/> [Kasutatud 04. aprill.2019]

Defektide kaardistamine sildade tehnilise seisukorra hindamisel, kasutades ehitusinfo mudelit

Autorid: Kerdo Kütt ja Ranno Rannamäe

Juhendaja: Tallinna Tehnikakõrgkooli ehitusinstituudi professor Martti Kiisa

Sissejuhatus

Ehitise seisukorra hindamisel on üldlevinud meetodiks kahjustuste asukoha kirjeldamisel vastavate (eskiis)jooniste tegemine. Kuna ülevaatus käigus tehakse rohkelt fotosid ja paljudel juhtudel teostatakse ka laserskaneerimine, siis oleks mõistlik saadud infot ära kasutada ka kahjustuste asukoha kaardistamisel ja andmete salvestamisel, et vältida lisatööd eraldi jooniste valmistamise näol ning esitada kahjustustega seonduv info senisest oluliselt ülevaatlikumalt.

Käesoleva artikli eesmärgiks on välja töötada meetod silla ülevaatus käigus kogutava info (eelkõige defektid) kaardistamiseks ja arhiveerimiseks, kuna praegu sildade seisukorra hindamisel kasutatav kahjustuste ulatuse ja asukoha kirjeldamise meetod ei pruugi alati anda üheselt arusaadavat ning piisavat informatsiooni. Eelkõige puudutab see sildu, mis on keerulise tehnilise lahendusega ning ulatuslike kahjustustega.

Ülevaatus protsessis saab edukalt ära kasutada laserskaneerimise ja fotogramm-meetria abil koostatud ehitusinfo mudeleid, mille populaarsus

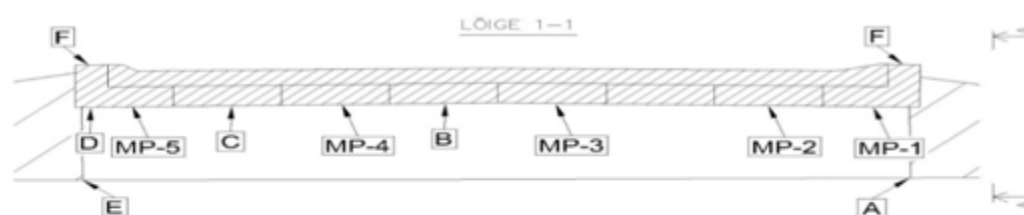
kasvab kiiresti. Mudelit rikastatakse ülevaatus käigus kogutava täiendava infoga ning lõpptulemus on hetkel kasutatavatest meetoditest märgatavalt tõhusam ja visuaalselt ülevaatlikum. Väljatöötatud meetod peab võimaldama antud protsessi efektiivselt läbi viia ja vältima sama info mitmekordset sisestamist.

Hüpoteesina eeldatakse, et virtuaalreaalsuse (VR) tark- ja riistvara funktsionaalsus on piisav püstitatud eesmärkide saavutamiseks. Selle tõestamiseks töötatakse välja vastav protseduur ja kasutatakse ühte silda, mille näitel seda testitakse.

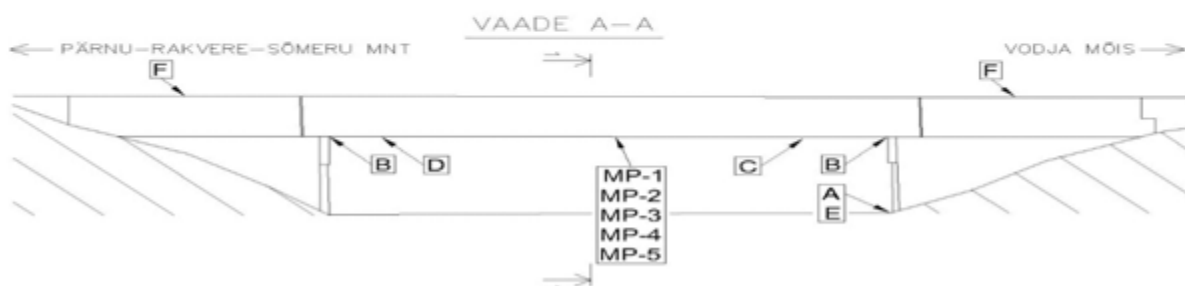
Uue meetodi väljatöötamine

Kõigepealt analüüsiti praegusel hetkel kasutatavaid meetodeid sildade defektide kirjeldamiseks (Joonis 1). Kitsaskohtade kaardistamisel selgus, et ülevaatus teostamise protseduuri on võimalik parendada ja muuta protsesse arvestatavalt efektiivsemaks.

Suurimaks probleemiks osutus asjaolu, et keeruliste ehitiste ja suurte mahtude korral on defektide täpne kirjeldamine väga ajamahukas töö. [1], [2], [3], [4]



Joonis 9. Mõõtepunktide ja kahjustuste skemaatilised asukohad silla ristlõikel



Joonis 10. Mõõtepunktide ja kahjustuste skemaatilised asukohad silla külgsuunal

▲ **Joonis 1.** | Eskiisjoonis silla kahjustuste (A...E) ja mõõtepunktide (MP-1...MP-5) asukoha kirjeldamiseks [1]

Töötati välja protsessikirjeldus (Joonis 2), kus nii fotogramm-meetria kui ka laserskaneerimise teel saadud mudelitesse (Joonis 3) on Autodesk Reviti tarkvara kasutades võimalik salvestada vajalikku lisainformatsiooni ning seejärel läbi erinevate visualiseerimistarkvarade seda ka teiste protsessis osalejateni viia.

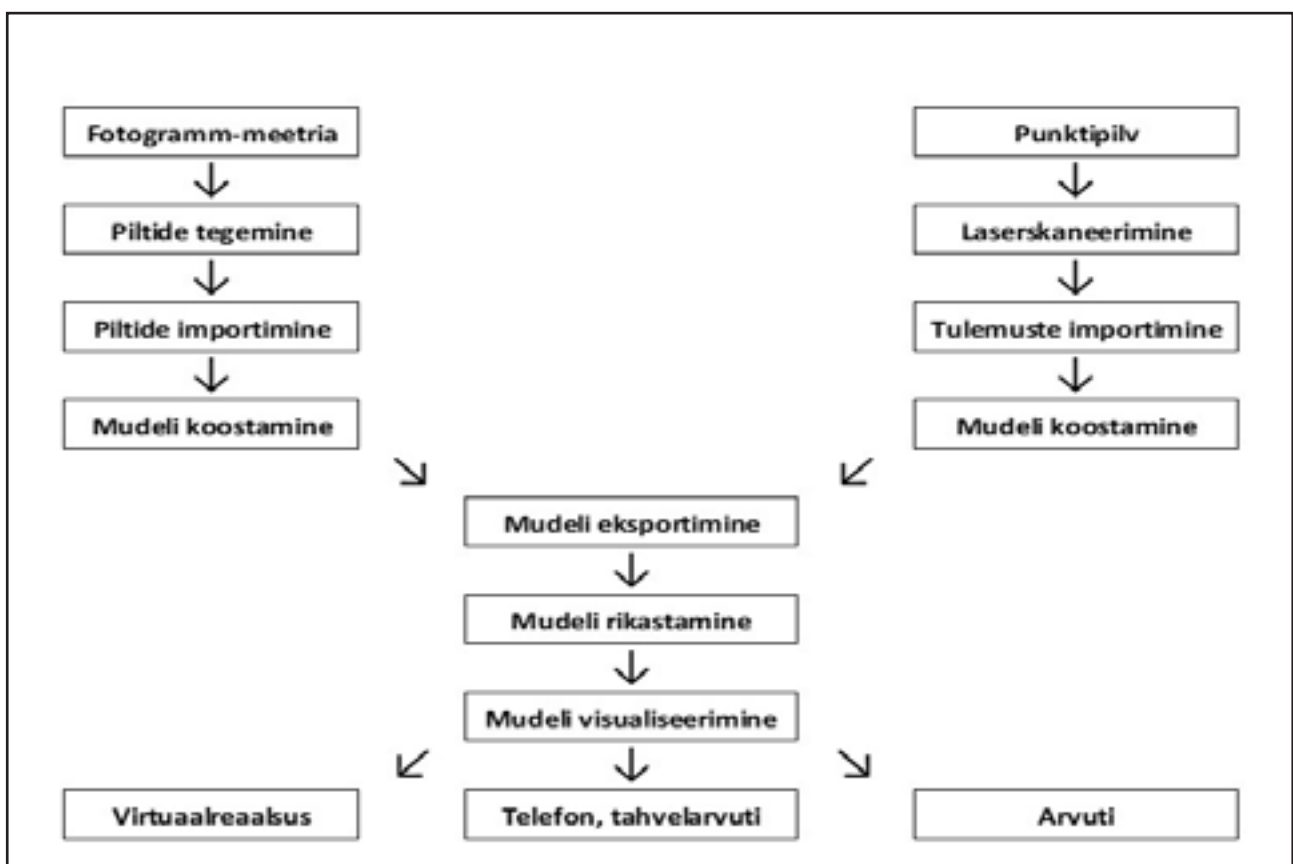
Töö käigus katsetati erinevaid tarkvarasid, millega on mudelit võimalik luua, muuta ning vaadelda (Autodesk Revit, Trimble Tekla Structures, Graphisoft Archicad, Trimble SketchUp, Autodesk AutoCAD), kuid paljudel juhtudel ei vastanud tarkvara funktsionaalsus ootustele ja/või vajadustele.

Seejuures ei olnud esmaseks prioriteediks mitte mudelist atraktiivse visuaali loomine, vaid

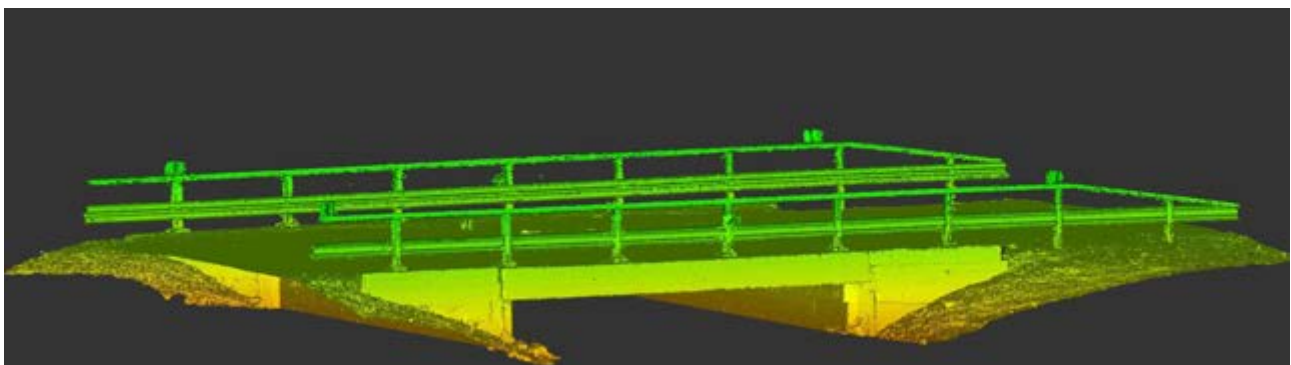
toimivate tegevusprotsesside ja lahenduste väljatöötamine.

Laserskaneerimise tulemusena valmis RCS formaadis fail, mis kujutab endast punktipilve. Järgnevalt imporditi fail tarkvarasse Pointfuse, kus punktipilv konverteeriti madala detailsusega ühtseks pinnaks.

Suure detailsusega mudel oli liiga mahukas ja arvuti tehnilised piirangud takistasid edasist tööd. Saadud fail eksporditi IFC (ingl k. Industry Foundation Classes) failina tarkvarast välja, mis võimaldas saadud faili viia Reviti tarkvarasse, kus toimus edasine mudeli täiendamine.



▲ Joonis 2. | Lõputöös kirjeldatud protsessi põhimõtteline skeem



▲ Joonis 3. | Väljavõtte silla laserskaneerimise teel koostatud mudelist (punktipilv) [1]

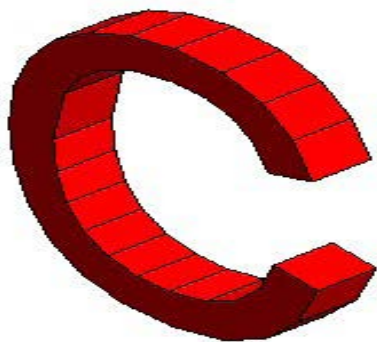
Fotogramm-meetria meetodil valmis silla mudel nii drooni- kui ka käsikaamera abil tehtud fotode põhjal [6], [7], [8]. Niimoodi saadud STL (ingl k. Standard Triangle Language) fail viiakse SketchUp tarkvarasse, mille abil saadi IFC formaadis fail, et seda oleks võimalik Reviti keskkonda viia.

Reviti tarkvaras muudeti mudelit selliselt, et seda oleks võimalik eksportida ning vaadelda VR tarkvaras.

Revitis modelleeriti sillamudelile juurde täiendav element, mis iseloomustab kahjustuse asukohta ja millele lisati omakorda kahjustuse informatsioon (Joonis 4, Joonis 5, Joonis 6).

Selliselt rikastatud ehitusinfo mudel on mõnes visualiseerimistarkvaras edukalt vaadeldav ja funktsionaalselt kasutatav (mudelis on võimalik ringi liikuda ning näha kahjustustega seotud informatsiooni).

Eriti head ülevaadet on võimalik saada virtuaalreaalsusprille kasutades, mis tekitavad realistliku kohalolekutunde ja võimaldavad keskkonda tõetruult kogeda.



▲ **Joonis 4.** | Revitis juurde modelleeritud element, millega seoti ära kogu kahjustusega seotud informatsioon

■ 3D-mudeli vaatlemine

Mudeli vaatlemiseks on vajalik 3D-mudelite vaatamist toetava vaatlemistarkvara olemasolu, mis toetab IFC faili formaati. Lisaks peab vaatlustarkvara võimaldama erineva funktsionaalsusega visuaalse vaatluse toetamist, mudelis navigeerimise võimalust ja mõõtude võtmist.

Samuti elementide valikusse võtmise võimalust, elementide külge lisatud parameetrite kuvamist ning omama ka elemendi parameetrite väärtustesse lisatud kausta- ja veebilingi avamise võimalust [5].

Kokku vaadeldi 16 erinevat tarkvara (VRcollab V0.10.2.1, IrisVR Prospect 2.5.3, Autodesk Revit Live 2.1.0.963, Enscape 2.5, Insite VR 3.0.0, Fuzor 5.0, Solibri Model Viewer v9.8, Tekla BIM-sight 1.9.9, Trimble Connect 1.6.0.126, BIMcollab Zoom 2.1.9.196, BIM 360 Team 1.2.3, Dalux viewer android-2.2.1, Trimble Connect v2.7, StreamBIM 0.0.0+37c558d4, BIM Vision 2.19 ja A 360 veebiversioon).

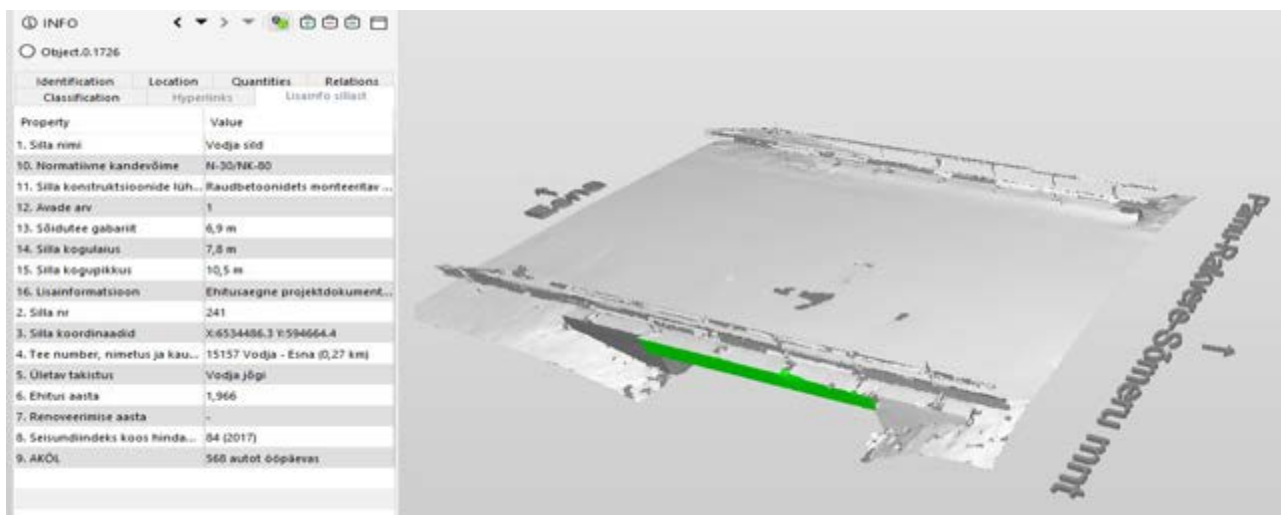
Virtuaalreaalsuse tarkvaradest andis VR prille kasutades funktsionaalsuselt parima tulemuse Fuzor, kuna seal on võimalik avada mudelisse lisatud veebilinke. Nn arvutipõhistest ekraani abil kasutatavatest visualiseerimistarkvaradest eristus teistest Solibri Model Viewer, kuna selle funktsionaalsus võimaldab lisaks veebilinkidele avada ka kaustalinke (Joonis 5, Joonis 6).

Telefonirakendustest andsid võrdväärse funktsionaalsuse BIM 360 Team ja StreamBIM, kus oli võimalik veebilinke avada.

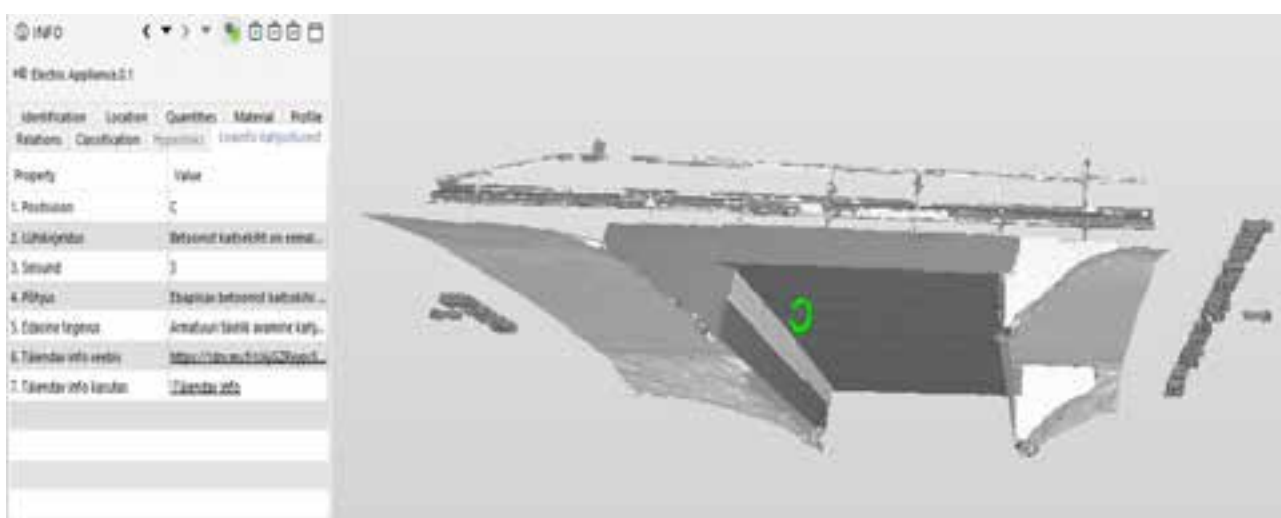
Tuleb eraldi rõhutada, et paljude testitud tarkvarade korral ei olnud funktsionaalsus antud kontekstis piisav ja neid põhjalikumalt edasi ei vaadeldud.

Suurima probleemina kogu vaadeldava protsessi juures saab välja tuua asjaolu, et visuaalselt väga tõetruu lõpptulemuse saavutamise on enamikel juhtudel pärsitud arvutite ebapiisava jõudluse tõttu.

Sisendandmete mahtu, punkt pilve näol, tuli alati protsessi käigus kärpida, et mudelite töötlus ajalisel mõttes jääks mõistlikkuse piiridesse. Siiski on tark- ja riistvara kiire arengu tõttu sellelaadsed probleemid järjest lahenevas ning eksisteerib väga suur tõenäosus, et juba lähitulevikus saab oluliselt tõsta mudelite visuaalset kvaliteeti.



▲ Joonis 5. | Väljavõte Solibri Model Viewerist koos lisainformatsiooniga sillast



▲ Joonis 6. | Väljavõte Solibri Model Viewer mudelist koos lisainformatsiooniga kahjustusest

□ Kokkuvõte

Käesolevas artiklis on kirjeldatud uudset meetodit silla tehnilise seisukorra hindamise käigus fikseeritavate defektide kaardistamiseks, visualiseerimiseks ja arhiveerimiseks.

Selleks on kasutatud kaasaegseid meetodeid, mille käigus laserskaneerimise ja fotogramm-meetria abil koostatud ehitusinfo mudeleid rikastatakse vastava informatsiooniga.

Väljatöötatud innovaatiline meetod võimaldab kahjustuste kohta edastada selget, põhjalikku ja ülevaatlikku informatsiooni, kasutades selleks kaasaegseid infotehnoloogilisi võimalusi.

Püstitatud eesmärgid said töö käigus täidetud, kuna vajalikud tegevused suudeti tervikprotsessina läbi viia ning tulemus on juba praegu realselt kasutatav.

Edasise töö käigus on võimalik protsessi edasi arendada ehitistele ja muudele objektidele ning

neid veelgi optimeerida, kuna arvutite jõudlus ja visualiseerimistarkvarade funktsionaalsus areneb jõudsalt.

□ Summary

Mapping of Defects when Assessing the Technical Condition of Bridges Using the Building Information Model

A common method of condition assessment of bridges is to depict the damages through relevant drawings, but it may not always provide unambiguous and sufficient information, especially in the case of constructions with technically complex and extensive damages. Moreover, it may even make it more difficult to see the bigger picture.

This paper aims to elaborate on a new method for mapping, visualizing and archiving defects

identified during the assessment of a bridge's technical condition.

For that purpose, we used advanced methods in which the construction information models created by laser scanning and photogrammetry were supplemented with other relevant information.

First, we examined the currently used inspection methods and different virtual reality technical solutions. During the analysis, the bottlenecks were mapped, and a solution was developed that would provide an alternative to improve the inspection system and streamline the work. We prepared a process description that allows storing additional information within the models obtained by using photogrammetry and laser scanning and then deliver it to other participants using different data visualization software. Finally, the model achieved was viewed using virtual reality goggles, computer screens, and smart devices.

The set objectives were attained since all the necessary activities were fully implemented and the final result is already operational. In the future, it is possible to improve and optimize the processes even further, as the performance of computers and the functionality of visualization tools are improving rapidly.

▣ Viidatud allikad

[1] M. Kiisa, „Vodja silla tehnilise seisukorra hinnang“, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2019.

[2] M. Idnurm, „Ehitise seisukorda hinnatakse süsteemselt,“ Ehitaja, kd. 218, nr 7/8, pp. 38-41, 2017.

[3] S. Sein, „Sildade haldamine ja kvaliteedikontroll omavahel kooskõlla,“ Teeleht, nr 93, pp. 14-17, 2018.

[4] M. Kiisa, „Sildade seisukorra hindamine,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://ekool.ttkk.ee/pluginfile.php/68183/mod_resource/content/4/Osa%207.%20Sildade%20seisukorra%20hindamine%20%5B2019-01%5D.pdf. [Kasutatud 15. aprill, 2019].

[5] Tallinna Tehnikakõrgkool, „Ehitusinfo mudelite visualiseerimine virtuaalreaalsuses,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.rkas.ee/sites/default/files/public-uploaded-files/BIM/Ehitusinfo%20mudelite%20visualiseerimine%20virtuaalreaalsuses%20%5B2018-07-11%5D.pdf>.

[Kasutatud 26. veebruar, 2019].

[6] K. Huul, „Drooni fotogramm-meetria rakendamine kõrgusmudelite ja ortofotode loomiseks Raadi karjääri näitel“, Tartu: Tartu Ülikool, 2016, p. 46.

[7] Maa-amet, „Fotogramm-meetria,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.maaamet.ee/et/eesmargid-tegevused/fotogramm-meetria>. [Kasutatud 12. märts 2019].

[8] V. Veeleid, „Mis juhtub, kui anda geodeedile droon?“, Teeleht, nr 94, pp. 28-30, 2018/2019.

Ettevõtte äriprotsesside kvaliteedi tõstmine automaatsete kauba tellimussuovituste kaudu

Autor: Vallo Vaher

Juhendaja: Tallinna Tehnikakõrgkooli teenusmajanduse instituudi külalislektor Lia Valdek, MA

Sissejuhatus

Info- ja kommunikatsioonitehnoloogia (IKT) on tänapäeval põimunud tihedalt kõigi elu- ning ärivaldkondadega. Tekkinud on tehnoloogiapõhine ärimudel, kuhu on IKT integreeritud.

Infotehnoloogia on eduka äritegevuse karkass ning eksisteerib selleks, et võimaldada ja parandada ettevõtlust. Ärieesmärkide saavutamiseks on vaja IKT tuge ning sellest tulenevad IT eesmärgid. Seoses tööjõupuuduse ja -kulude kasvuga peavad ettevõtted olema efektiivsemad ning töötajaskonna lisatundide ja -sammude vähendamiseks tegelema automatiseerimisega (Olulisemad trendid, mis mõjutavad nii kaubandust kui ka tootjaid, 2017).

Lõputöö uurimisprobleem tuleneb uuritava meretranspordiettevõtte aegunud müügisüsteemi tarkvarast ning selle puudulikust funktsionaalsusest. Peen- ja tarbekaupade tellimusprotsess on ajamahukas, rutiinne ning võimaldab inimlikke eksimusi. Konkureerides samas piirkonnas veel kahe suure laevafirmaga peab uuritav ettevõtte olema tõhus ja pakkuma klientidele kvaliteetset teenust. Automatiseerimine võimaldab olla konkurentsivõimelisem, efektiivsem ja väiksemate kuludega saavutada suuremat kasumit (Kütt, 2018).

Koos sellega käib kaasas töö muutumine inimeste jaoks mugavamaks. Kaardistades protsesse ja korraldades ressursikulukad või põhjendamatult keerukad kohad ümber, saavutatakse optimeeritud protsess (Avaliku sektori äriprotsessid, 2012).

Eesmärk ja uurimisülesanded

Lõputöö eesmärk on muuta uuritava meretranspordiettevõtte laevade peen- ja tarbekaupade tellimusprotsess optimaalseks ning automaatseks.

Lõputöö eesmärgi täitmiseks püstitati järgmised ülesanded:

- analüüsida müügisüsteemi rolli ettevõtte äriprotsessides ja selgitada müügisüsteemi telli-

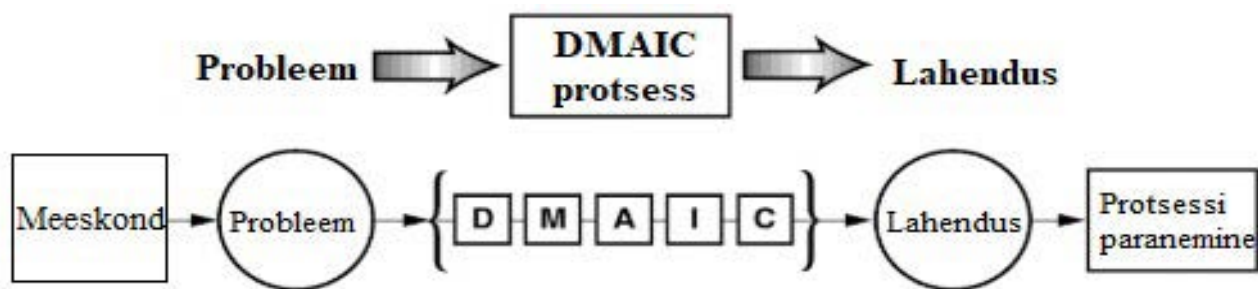
musprotsessi automatiseerimisvajadust;

- koostada müügisüsteemi automatiseerimise rakenduse loomiseks arendusprojekt, mille käigus formeeritakse lähteülesande analüüs, esitatakse funktsionaalsed ja mittefunktsionaalsed nõuded ning kvaliteedimõddikud;
- disainida ja luua müügisüsteemi automatiseerimise rakendus;
- viia läbi rakenduse testimine, valideerimine ja paigaldus;
- analüüsida arendusprojekti jõustumisjärgset tagasivaadet, mille käigus kaardistatakse kasutajakogemus, analüüsitakse loodud rakenduse tööd ja tuuakse välja arendusettepanekud järgmisteks etappideks.

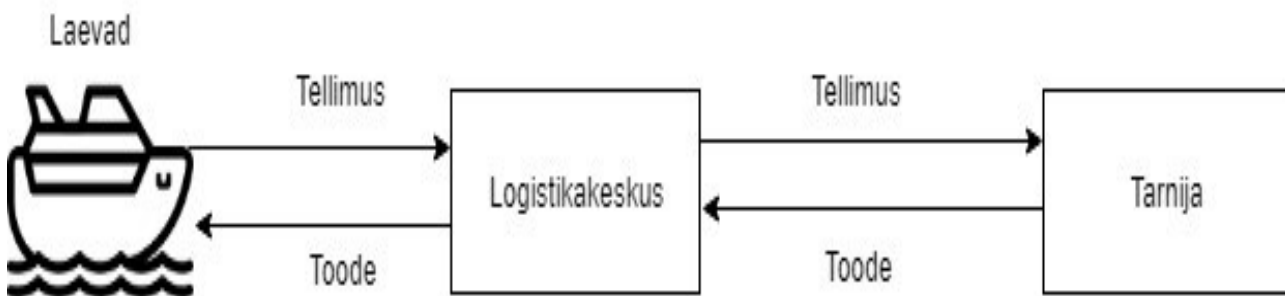
Uurimistöö teoreetilised lähtekohad ja meetodid

Lõputöö esimeses osas tutvustatakse ettevõtet ja müügisüsteemi rolli uuritava ettevõtte äriprotsessides. Kirjeldatakse laevades asuvaid kauplusi, viimaseid trende ja kaubanduses ja organisatsioonis kasutatavat müügisüsteemi.

Seejärel selgitatakse müügisüsteemi automatiseerimisvajadust, mille käigus viiakse läbi vaatlusuuring, analüüsitakse probleemi ja võrreldakse alternatiivseid lahendusi ning leitakse optimaalseim lahendus kitsaskohale.



▲ **Joonis 8.** | DMAIC protsessi skeem (Shankar, 2009)



▲ **Joonis 9.** | Laevade kaupade tüüpiline tellimisprotsess

Joonis 8 väljendab protsessi parandamiseks kasutatavat DMAIC meetodikat. Probleemi viimine läbi DMAIC (probleemi määratlemine, mõõtmine, analüüs, parendamine, kontroll) faaside koostöös meeskonnaga lahendab probleemi algpõhjuse. Kui protsessi parandamise meetodikat peetakse iseenesest protsessiks, siis on probleemiks protsessi parandamise meetodika panus, väljund on probleemi lahendus. Meetodika protsessikastis toimub probleemi määratlemine, mõõtmine, analüüs, parendamine, kontroll (Shankar, 2009).

Seoses uue logistikakeskuse valmimisega, toimub enamuse laevade poes müüdavate kaupade tellimusi läbi pealao. Laev esitab tellimuse, logistikakeskus komplekteerib tellitud tooted ning saadab laeva. Pealao jäägi vähenedes täiendab varusid tarnija (vt Joonis 9). Nagu jooniselt näha on tarneahelas mitu erinevat logistikategevust, mis eeldab info ja kaupade liikumist ilma vigadeta.

Ettevõtte kasutab kõikides laevades, hotellides ja maapealsetes kauplustes kassasüsteemina OSCAR Cruise Management (OCM) tarkvara. Selle tarkvara omanik on MICROS Retail Systems. 2017. aasta lõpus teavitas MICROS Retail Systems, et OCM tarkvara enam edasi ei arendata. Tellimusprotsessi automatiseerimine on vajalik ka inimlike eksimuste vältimiseks. Automatiseeritud protsessid aitavad vähendada töötajate vahetumisel või asendamisel tekkivaid tööseisakuid ja -vigu. Laevanduses on eriti tähtis, et kõik protsessid

toimuksid õigeaegselt, sest erinevalt tavakaubandusest on laevad pidevalt liikumises ning viibivad sadamates ainult kindlatel kellaaegadel. Samuti ei ole laevades suuri laoruume. Eksimuse korral jääb kaup laeva toomata ning järgmine tarnimise võimalus on alles ühe kuni kolme päeva pärast, senikaua ei ole laeva poodides võimalik toodet müüa.

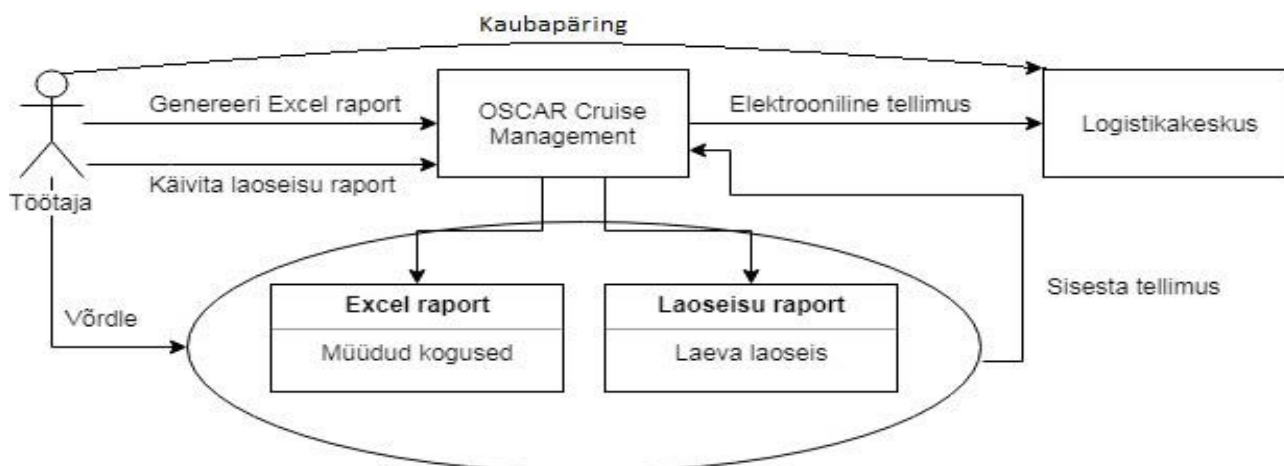
Ettevõtte ei teeni toote müügil kasumit ja kliendid on pettunud. Kuna olemasolevat kassasüsteemi ei arendata enam edasi, siis on vajalik leida probleemile lahendus. Autori hinnangul sobib uuritava tellimusprotsessi kvaliteedi tõstmiseks kombineeritud meetodina väärtusahela kaardistamine, Just in time meetod, korratav PDCA tsükkel ning Mura, Muri ja Muda tehnika.

2018. aasta jaanuaris viidi kahe laeva kaupluste juhatajate seas läbi vaatlusuuring, mille käigus mõõdeti peen- ja tarbekaupade tellimusprotsessi igale etapile kuluvat aega. Vaatlusuuringu tulemusel selgusid peen- ja tarbekaupade tellimiseks vajalikud tegevused, nendele kulunud aeg ning tellimusprotsessi skeem.

Tabelis 13 kajastatakse igapäevast tellimusprotsessi ega arvestata üksikuid suuremaid tellimusi (sortimendi muudatus) ning inimese võimekuse langust eelkõige väsimuse tõttu. Väiksemad tegevused on grupeeritud töö liigi järgi ja leitud aritmeetiline keskmine ajakulu.

Töö liik	Keskmine ajakulu
Müügisüsteemi rakenduse avamine ning müügiandmete eksportmooduli avamine	45 sekundit
Müügiandmete eksportmooduli seadistamine ning andmete eksport Exceli	120 sekundit
Laoseisu eksportmooduli avamine	15 sekundit
Laoseisu eksportmooduli seadistamine ning andmete eksport Exceli	100 sekundit
Müügi ning laoseisu andmete võrdlemine	5 sekundit toote kohta
E-posti koostamine ning saatmine	600 sekundit
E-posti vastuse ootamine	3600 sekundit
Müügisüsteemi tellimuste sisestamise mooduli avamine	15 sekundit
Tellimuse sisestamine	5 sekundit toote kohta
Tellimuse kinnitamine	10 sekundit

▲ Tabel 13. | Keskmine ajakulu kauba tellimisel



▲ Joonis 10. | Peen- ja tarbekaupade tellimusprotsess

Summaarselt võtab ühe tellimuse sisestamine aega 905 sekundit, kuhu lisandub aeg toodete sisestamiseks – 10 sekundit toote kohta ning aeg e-postile vastuse ootamiseks – keskmiselt 3600 sekundit.

E-postile vastuse ootamise ajal täidavad töötajad teisi tööülesandeid, seega keskendub lõputöö autor eelkõige tellimuse sisestamise ajale.

Joonis 10 väljendab hetkel kasutuses olevat peen- ja tarbekaupade tellimusprotsessi mudelit. Sellelt on näha, et töötajal on kohustus teha mitmeid erinevaid käsitsi käivitavat funktsiooni, et luua tellimus. Kõige ajamahukam on kaubapäringu e-postile vastuse ootamine ning vea-almi raportite võrdlemine ja müügisüsteemi sisestamine.

Vaatlusuuringu põhjal saab järeldada, et peen- ja tarbekaupade tellimusprotsess on ajamahukas. Tellimuse koostamiseks peab töötaja käivitama käsitsi mitmeid erinevaid alamprotsesse, mis põhjustab tööandjale liigseid tööjõukulusid ega ole kooskõlas kulusäästliku mõtteviisiga.

Lõputöö teine osa koosneb rakenduse loomisest, mille käigus tutvustatakse selle loomise teoreetilist raamistikku, analüüsitakse rakendusele esitatavaid funktsionaalseid ja mittefunktsionaalseid nõudeid, seatakse kvaliteedimõõdikud, disainitakse rakendus ning luuakse rakendus kasutades parimaid praktikaid.

Valminud rakendus testitakse, valideeritakse ja paigaldatakse laevadele. Kuna uuritava ettevõtte põhitegevus ei ole tarkvaraarendus, siis puudus projekti meeskonnal tarkvara loomise kogemus ja selge nägemus projekti lõpptulemusest.

Seetõttu lähtuti rakenduse loomisel agiilsest arendusmetoodikast, mille eeliseks on paindlikkus ning vea ilmnemisel saab sellega kohe tegeleda. Jälgiti osaliselt SCRUM iteratiivse arendamise raamistikku, mille käigus jaotatakse protsess

lühikesteks etappideks (sprint) ning peale igat staadiumi on näha arengut ja valmib tükk toodet. Iga sprindi käigus loodud funktsionaalsus esitatakse etapi lõpus äripoole esindajale ja vajadusel ka kaupluste juhatajatele väljundi korrektsuse hindamiseks.

Arendusprotsess jaotati viieks etapiks: analüüs, kavandamine, teostamine, testimine ja valideerimine. Dokumenteerimine toimus paralleelselt rakenduse loomisega ning hoiti JIRA projektihaldus-tarkvaras, mis andis võimaluse tellijal ja arendajal jälgida, millises seisus arendusega parasjagu olakse.

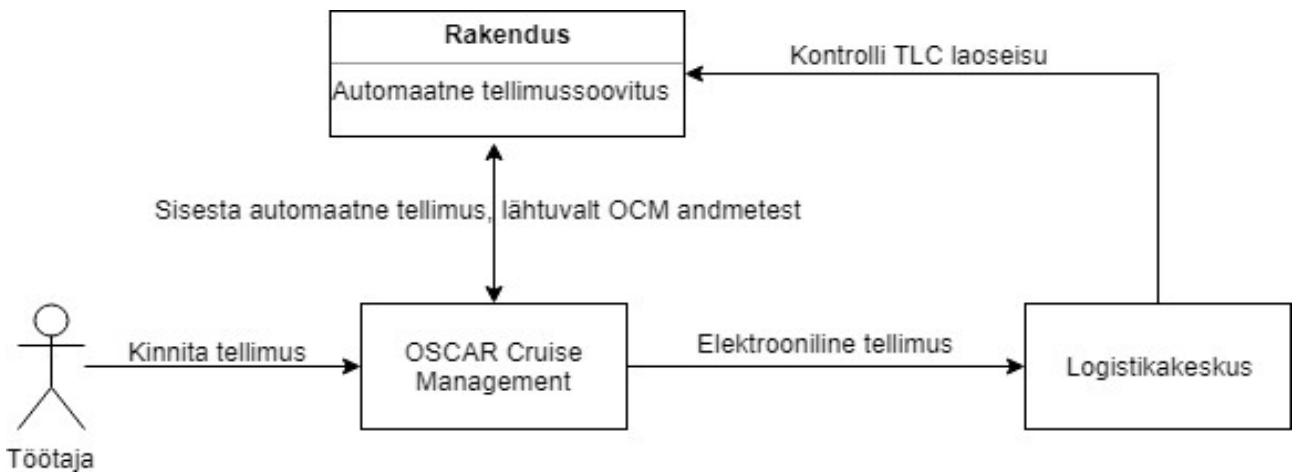
Lähteülesande analüüsi metoodikana kasutati teadmiste ärianalüüsi mudelit, Business Analysis Body of Knowledge (BABOK), mis on ärialase analüüsi praktikate üldtunnustatud standardi juhend, selle põhikontseptsiooni mudel (Business Analysis Core Concept Model, BACCM) koosneb kuuhest terminist, millel on ühine tähendus kõigile ärianalüütikutele.

Nendeks terminiteks on: muutus, vajadus, lahendus, sidusrühm, väärtus ja kontekst (A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge, 2015). Tellija nõuete kirjeldamiseks moodustati töögrupp, kus olid laevade kaupluste juhatajad, Tallink Duty Free AS esindaja ja lõputöö autor ning lähtuti FURPS+ metoodikast ehk silmas peeti funktsionaalsust, kasutatavust, usaldusväarsust, jõudlust, toetust ja disaini piiranguid.

Tabelis 14 on kajastatud tellijapoolsed rakendusele esitatavad ärikriitilised nõuded, ilma milleta ei ole võimalik rakendust pilootprojektina laevade peal käivitada. Lisaks ärikriitilistele nõuetele koostati madalama prioriteediga nõuete tabel.

Funktsionaalsed nõuded	Mittefunktsionaalsed nõuded
TLC ja laeva laoseisu arvestamine	rakendus on turvaline
kui TLC laos toodet ei ole, siis seda tellida ei saa	infole pääseb ligi ainult määratud kasutajad
arvestab laeval müüdud koguseid	rakendus ei tohi tekitada serveris ega andmebaasis ülekoormust
arvestab akumulereeritud müüke, 50% kasti täituvusel genereeritakse tellimus (kui kaupa saab tellida ainult kasti kaupa)	rakenduse töö peab olema lõppenud enne müügisüsteemi perioodi lõppu
käivitub Stockholmis olles, et kaup jõuaks õigeaks ajaks laeva	
peab käivituma ette antud kellaajal	
saadab Exceli raporti kaupluste juhatajate e-postile	
genereerib automaatse tellimussoovituse müügisüsteemi	
töötajal on võimalus muuta automaatset tellimussoovitust	
arvestab hetke ning kuni seitsme päeva pärast algavat kampaaniat	
müügipunktid on eristatavad	
arvestab ainult aktiivseid tooteid	

▲ **Tabel 14.** | Funktsionaalsete ja mittefunktsionaalsete ärikriitiliste nõuete tabel



▲ Joonis 11. | Oodatav peen- ja tarbekaupade tellimusprotsess

Tellija pidas oluliseks mõõdikute seadmist erinevate protsessietappide (vt Joonis 11) töökindluse, jõudluse, turvalisuse, hooldatavuse ja kasutajate rahulolu juhendmaterjalide osas.

Rakenduse mõõdikute kontrollmõõtmine toimus ajavahemikus september 2018 kuni veebruar 2019.

Töökindlus:

- rakenduse tõrgeteta käivitamine, eesmärk 95% kuus;
- keskmiselt parandamisele kuluv aeg (MTTR), eesmärk kuni 5 tundi;
- keskmine rikete vaheline aeg (MTBF), eesmärk kuni 1 nädal.

Jõudlus:

- tellimussoovitude genereerimise kiirus, eesmärk kuni 1 tund;
- rakenduse käivitumisel tekkiv protsessori ja mälu koormus serverile, mitte üle 10% käivitumise ja töötamise ajal.

Turvalisus:

- turvaintsidentide arv, rakenduse käivitamine või tellimussoovitude andmete muutmine autoriseerimata inimeste poolt, eesmärk on 0 korda.

Hooldatavus:

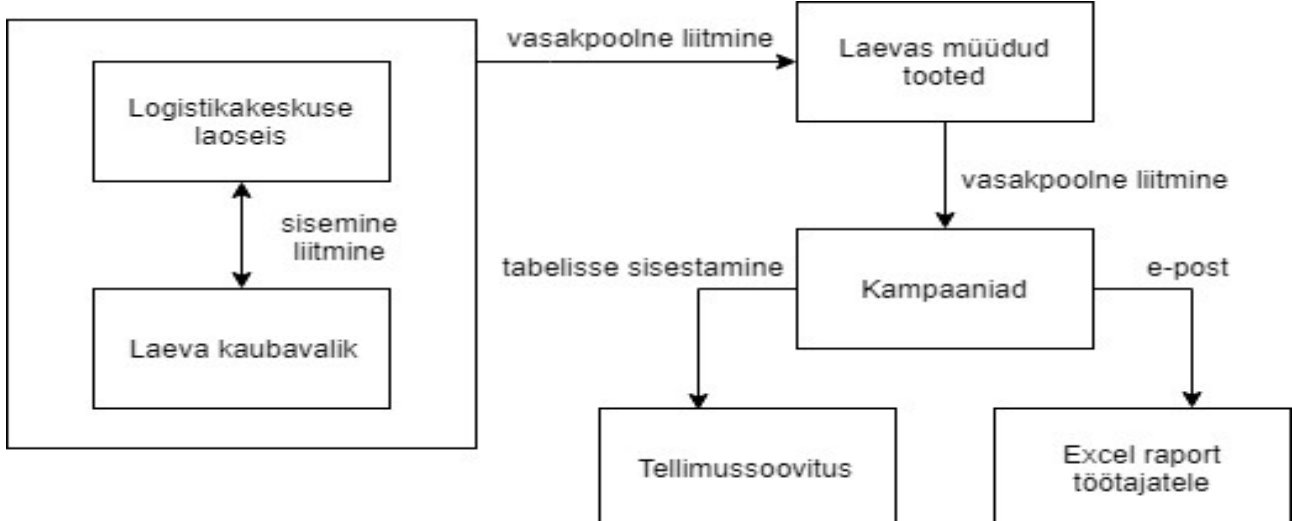
- rakendusele kuluv hoolduse aeg, kuni 1 tund kuus.

Kasutajate tagasiside:

- kasutajate rahulolu juhendmaterjalidega 90%.

Mõõdikuid kasutatakse tellimussoovitude rakenduse töö ja tagasiside info hankimiseks, et saavutada äriprotsessi kvaliteedi tõstmise eesmärk.

Rakendus peab olema töökindel, kiire, vähese koormuse ja hooldusvajadusega, turvaline ning ettevõtte personali poolt lihtsasti kasutatav. Disaini käigus valmis mitu joonist, et rakendus oleks visuaalselt lihtsalt vaadeldav ning arusaadav. Joonisel 12 on nähtav rakenduse üldine info töötlemise struktuur.



▲ Joonis 12. | Rakenduse info töötlemise struktuur

Rakenduse töötamise käigus loodud tellimussoovitused sisestatakse automaatselt müügisüsteemi andmebaasitabelisse ning saadetakse Exceli failina kasutajate e-postile. Tellimussoovituse loomiseks on vajalik koguda andmed logistikakeskuse andmebaasist (TLC laoseisu päring) ja laeva müügisüsteemist (ItemList, Ship Sales, Ship Promo päringud).

Andmete aluseks on laeva müügisüsteemi laeva kaubavalik (ItemList) päring, mis kasutab müügisüsteemi põhitabeleid ja sisaldab kõiki laevas müüdavaid tooteid ning selle infot. Antud tabelist tuleb välja filtreerida üleliigsete müügipunktide ja tarnijate kirjed ning võrrelda neid logistikakeskuse (TLC) laoseisuga. Kasutada sisemise liitmise (Inner Join) käsku, ühendavaks väljaks on unikaalne toote number. Tulemuseks on tooted, millele hakatakse tellimussoovitusi andma.

Lähtuvalt nõuetest valiti rakenduse loomiseks Microsoft Visual Studio, millega on kõige kergem ning kiirem loodavat rakendust luua, lisaks on sellel ka ühilduvus ettevõttes kasutatavate MS SQL andmebaaside ning Excel tabelarvutusprogramiga.

Esimeses iteratsioonis koostati SSIS rakenduse pakett, millele hakati lisama funktsionaalsust.

Teises iteratsioonis lisati kaubavaliku (ItemList) päring, mis käivitub laeva müügisüsteemi andmebaasist. Selle koostamisel kasutati kokku 10-t tabelit, et saada kogu vajalik tooteinfo.

Kolmandas iteratsioonis lisati müüdnud toodete (ShipSales) päring, mille käigus arvutatakse tellimisperiodil müüdnud kogused. Arvestatakse ka ajalugu (akumuleeritud müügikogused) ja tehakse konkreetne tellimussoovitus. Ajaloo arvestamiseks oli vajalik teha abitabelid, kus andmeid hoistatakse.

Neljandas iteratsioonis lisati eelnevatest päringutest kokku saadud info jagamine kaheks, kasutades SSIS paketi multiedastus (multicast) funktsiooni. Esimese väljundi info suunatakse Excel tabelitesse ja teise väljundi info kirjutatakse andmebaasi tabelisse, et müügisüsteem genereeriks automaatselt tellimussoovituse.

Viimasel iteratsioonis lisati info jaotamine müügipunkti numbri järgi ja lisati sinna järjekorra number. Järjekorra numbri genereerimiseks kasutatakse C# programmeerimiskeelt. Rakenduse testimiseks loodi üldine testplaan ja valiti sobivad testimise strateegiad (vt Tabel 15).

Testi tüüp	Kirjeldus	Kommentaar
Integratsiooni test	Kontrollitakse komponentide vaheliste liidete vastavust tarkvara disainile ning kõigi komponentide ühilduvust üksteisega	
Funktsionaalsuse testimine	Rakenduse vastavuse kontrollimine funktsionaalsetele nõuetele	
Vastuvõtu testimine	Testitakse äriesindaja vaatepunktist lähtudes, tema enda keskkonnas ja hinnatakse, kas tarkvara on kasutuselevõtuks valmis	Viiakse läbi koos äripoole esindajaga
Regressioonitestimine	Kogu süsteemi testimine, kindlustamaks, et projektiga seotud tööd ei kahjusta puutumata funktsioone	
Kasutaja sertifitseerimise test	Test viiakse läbi peale lahenduse käiku viimist, et kindlustada selle edukat käiku laskmist	Viib läbi äripoole esindaja

▲ Tabel 15. | Valitud testimise strateegiad

Integratsiooni testimine toimus rakenduse loomise ajal. Põhilised probleemid olid tingitud erinevatest andmetüüpidest ja nende töötlemisest. Funktsionaalsuse testimise käigus kontrolliti, kas iteratsioon vastab funktsionaalsetele nõuetele ja kas vajalikke tegevusi on võimalik korrektselt läbi viia. Vastuvõtu testimise käigus paigaldati eelnevad testid läbinud rakendus laeva müügisüsteemi testserverisse, mille andmebaasi oli eelnevalt tõstetud ühe laeva müügisüsteemi värsked andmed. Rakendus käivitati käsitsi ja ajastatult.

Kontrolliti tulemust, hinnati koormust serverile ning valmidust kasutusele võtuks. Testimise järgselt muudeti Exceli raporti väljade formaati personalile paremini loetavaks. Vastuvõtu testimise järgselt rakenduses tehtud muudatused olid pigem vormistuslikud raporti väljade muutmised. Muudatuste järgselt rakenduse regressioonitestimises vigu ei tuvastatud ning see võimaldas paigaldada rakendus laevade müügisüsteemi serveritesse.

Peale rakenduse paigaldamist müügisüsteemi serverisse selgitati lõppkasutajatele tarkvara töö põhimõtteid ning juhendati selle kasutamist. Peale kasutajate koolitust jälgiti kasutaja tegevust rakenduse kasutamisel. Tänu eelnevalt testitud ja automatiseeritud rakendusele, ei tekkinud töötajatel tarkvara kasutamise probleeme, rakendus töötas reaalses stsenaariumites ja vastas spetsifikatsioonidele ning rakenduse käiku laskmise võis lugeda edukaks.

Rakendus paigaldati MS SQL Integration Services salvestatud pakettide kataloogi, mis tagab lihtsa ja selge rakenduse haldamise. Vältimaks seisuaega võimaliku infrastruktuuri rikete korral, seadistas autor rakendusest varukoopiate tegemise varuseadmesse. Lisati rakenduse toimimise monitooring, kasutuses on MS SQL alarmeerimisfunktsioon ning System Center Operations Manager (SCOM).

Rakenduse programmifailid, Exceli tabeli mall, ajastatud töö ning andmebaasi tabelite loomiseks vajalikud SQL käsud koguti ühte kausta ning salvestati müügisüsteemi keskserverisse. Rakenduse dokumentatsioon on nähtav JIRA projektihalduses ja Wiki tarkvara kirjeldaval lehel.

■ Uurimistulemused, järeldused ja ettepanekud

Lõputöö kolmandas osas viidi läbi arendusprojekti jõustumisjärgse tagasisaate (PIR) analüüs, mille

käigus kaardistati kasutajakogemus ja analüüsiti loodud automatiseerimise rakenduse tööd ning mõju ettevõttele. Tulemustest lähtuvalt toodi välja rakenduse edasiarendamise võimalused.

Selleks, et hinnata peen- ja tarbekaupade automaatse tellimussuovituse rakenduse kasutajate rahulolu tagasiside ning koguda arendusettepanekud, viis lõputöö autor läbi kaks küsitlust. Esimene toimus 2018. aasta juunis (n = 9 kaupluse juhatajat) ning teine 2019. aasta jaanuaris (n = 22 kaupluse juhatajat). Mitu küsitlust oli vajalik, kuna rakendus paigaldati esimese etapina ettevõtte kolmele laevale ning teises etapis ülejäänud laevadele. Küsimustik koosnes kaheksast skaalaküsimusest (5-palliline Likerti skaala), oli ingliskeelne ja viidi läbi Google Forms keskkonnas.

Esimese küsitluse tulemuste põhjal otsustati, et akumuleeritud kauba täituvuse osakaal tõstetakse 50% pealt 90% peale. Kõik korduvküsitlusele vastanud olid nõus või pigem nõus väidetega, et rakendus on lihtsustanud nende tööd, vähendanud peen- ja tarbekaupadega tellimistega seotud töö mahtu ning neid on piisavalt juhendatud rakendust kasutama. 77,3% vastanuid ei ole kogenud rakendusega töötamisel probleeme. Tõusnud oli rahulolu juhendmaterjali piisavuse ning kättesaadavusega.

Rakenduse tööloogi analüüsist selgus, et vaadeldava perioodi (01.01.2018-01.02.2019) jooksul koostas rakendus 88 669 tellimussuovitust ning telliti 394 050 ühikut kaupa. Vigade osakaal kõikidest käivitumistest moodustab 0,42%. Enamus laevade peal (7) ei esinenud vaadeldava perioodi jooksul ühtegi viga rakenduse töös.

Rakenduse loomise käigus püstitati selguse loomiseks kvaliteedimõõdikud, millele peab tarkvara vastama. Vaadeldava perioodi jooksul kogutud andmete analüüsimise tulemusel selgus, et automaatsete tellimussuovituste rakendus on vastanud kõikidele tarkvarale seatud mõõdikutele (vt Tabel 16).

Möödik	Eesmärk	Möödetud vaadeldaval perioodil
Rakenduse tõrgeteta käivitumine	95,00% kuus	99,58%
Keskmiselt parandamisele kuluv aeg	5 tundi	30 min
Keskmine rikete vaheline aeg	1 nädal	2 kuud
Tellimussoovituse genereerimise kiirus	1 tund	3,5 minutit
Rakenduse käivitumisel tekkiv protsessori ja mälu koormus serverile	Kuni 10%	Alla 1%
Turvaintsidentide arv, rakenduse käivitamine või tellimussoovituste andmete muutmine autoriseerimata inimeste poolt	0	0
Rakendusele kuluv hoolduse aeg	1 tund kuus	10 minutit kuus

▲ Tabel 16. | Rakenduse vastavus seatud möödikutele

Ettevõtte peen- ja tarbekaupade tellimiste sisestamisega hoidis ettevõtte uuritud perioodil kokku 23 139 töötundi ja 254 529 eurot.

Automaatsete tellimussoovituste rakenduse arenduse järgmises etapis planeeritakse lühendada protsessi ning jätta laeva kaupluste juhatajad tellimuse kinnitamise etapist kõrvale. Laevadel müüdüd toodete koguste ning laoseisu põhjal genereerib rakendus tellimussoovituse ning saadab selle logistikakeskuse laoprogrammi. Tellimusprotsessi lühendamise arendus eeldab täiendavat analüüsi ning liidestamist logistikakeskuse ressursside juhtimise tarkvaraga (Oracle E-Business Suite). Kaupluste juhatajatele tuleb jätta võimalus tellida planeeritavate eriürituste tarbeks kaubavaru.

Hetkel koostatakse automaatseid tellimussoovitusi kauplustes müüdivas peen- ja tarbekaupadele.

Arendusettepanekute uuringu tagasisidena selgus, et töötajad soovivad laiendada automaatseid tellimusi ka baaridesse ning lisada teisi kaubakategooriad.

Kuna rakenduse arenduses arvestati tulevikus võimalike müügipunktide ja kategooriate lisandumist, siis muutujate muutmine võimaldab teha kiiresti vajalikud muudatused.

Oluline on välja selgitada potentsiaalsed kaubakategooriad, mille tarneahel on sarnane peen- ja tarbekaupadele ning analüüsida nende lisamist automaatsete tellimussoovituste rakendusse. Hilisemas faasis tuleb kaaluda ka ülejäänud kategooriate lisamist.

□ Summary

Increasing Business Processes Quality of as Tallink Group through Automatic Goods Order Suggestions

The purpose of this thesis was to increase business processes quality of AS Tallink Group through automatic order suggestions. The final thesis comprises 57 pages, 13 images, and 16 tables. The research problem of this thesis derived from the outdated sales system software used by AS Tallink Group and its deficient functionalities.

The process of ordering fine and consumer goods is time-consuming, routine and prone to human error. The examined company competes with two other large shipping companies in the same area and therefore needs to be effective and provide quality service to passengers. Automation allows a company to increase competitiveness, be more efficient and achieve higher profits at lower costs.

The thesis comprised three parts. The first chapter introduced the company and the role of the sales system in the business processes of Tallink Group. It also described the stores on the ships, the latest trends in retail and the sales system used by the company. Next, it gave a description of the DMAIC method and LEAN thinking. Finally, it explained the need for automation of the sales system which involved conducting a survey, analyzing the problem, comparing alternative solutions and choosing the optimal solution to the problem.

The second part of the work was dedicated to creating an application and consisted of a theoretical framework of application creation, analysis of the functional and non-functional requirements for the application, setting of quality indicators, and the design and creation of the application using the best practices. The development of the application was agile and Scrum framework was followed. The completed application was tested, validated and installed in the ships.

In the third part of the thesis, an analysis of the retrospective review of the development project was carried out during which the user experiences were mapped and the performance of the created automation application and its impact on the company was analyzed. After the user feedback survey, improvements to the application were made and the possibilities for further development of the application were presented.

The final thesis aimed to create a sales system order process automation application that would speed up the process and reduce the working time of the staff. During the period considered, 23 139 working hours were saved. The application created as the result of this project has met the set goals as it is reliable, fast, optimized and satisfies the users, so we can consider the development project and final thesis a success.

▣ Viidatud allikad

- [1] Avaliku sektori äriprotsessid. Protsessianalüüsi käsiraamat. (2012). Ernst & Young Baltic AS. Kasutamise kuupäev: 10.04.2019, allikas Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium: https://www.mkm.ee/sites/default/files/protsessianaluusi_kasiraamat.pdf
- [2] A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge. (2015). Toronto: International Institute of Business Analysis.
- [3] Kütt, K. (20. august 2018. a.). Automatiiseerimise võidukaik. Aga mis saab inimestest? Kasutamise kuupäev: 10.04.2019, allikas Director.ee: <https://director.ee/2018/08/06/automatiiseerimise-voidukaik-aga-mis-saab-inimestest/?v=a57b8491d1d8>
- [4] Shankar, R. (2009). Process Improvement Using Six Sigma: A DMAIC Guide. Milwaukee: ASQ Quality Press.
- [5] Olulisemad trendid, mis mõjutavad nii kaubandust kui ka tootjaid. (2017.) Äripäev. Kasutamise kuupäev: 10.04.2019, allikas Kaubandus.ee: <https://www.kaubandus.ee/uudised/2017/11/10/olulisemad-trendid-mis-mojutavad-nii-kaubandust-kui-ka-tootjaid>

Iseteeninduslikku infrastruktuuri omava ettevõtte loomise võimalused Eesti pakiveo turul

Autor: Erich Keler

Juhendaja: Tallinna Tehnikakõrgkooli logistikainstituudi lektor Kati Nõuakas

Sissejuhatus

Artikli aluseks oleva töö „Iseteeninduslikku infrastruktuuri omava ettevõtte loomise võimalused Eesti pakiveoturul“ eesmärgiks oli saada vastus küsimusele, kas Eesti pakiveoturul on tekkimas tingimused ühtse iseteenindusliku infrastruktuuri loomiseks.

Pakiautomaatide ajastu sai Eestis alguse 2008. aastal, mil SmartPOST OÜ lansseeris esimese pakiautomaatide võrgustiku. 2010. aastal omandas SmartPOSTi pakiautomaatide võrgustiku Posti Grupp OY. Alates sellest ajast opereeritakse seda Itella SmartPOSTi kaubamärgi all.

Töö valmimise hetkel oli Eestis 4 eraldiseisvat pakiautomaatide võrgustikku. Ühel neist asusid pakiautomaadid siseruumides, ülejäänud opereerivad välistingimustesse paigaldatud seadmeid. 2011. aastal lansseeris tolleaegne Eesti Post AS välistingimustesse mõeldud pakiautomaatide võrgustiku ja 2016. aastal järgnes ka DPD Eesti AS. Paralleelselt käivitas Collect.Net oma iseteeninduslike pakiautomaatide võrgustiku, mis on mõeldud erinevatele operaatoritele ristikasutamiseks. [1, 2, 3]

Pakiveoturu kiire kasvu taga on e-kaubandus. Autor uuris töös pakiautomaatide teenusepakujate võrgustike katvust ja arvu, samuti klientide rahulolu teenusepakujate poolt võimaldatavate lahendustega. Koostatud on ülevaade pakiautomaatide lahendusi käsitlevatest uurimistöödest maailmas. Analüüsi erinevate näitajate omavahelisi seoseid ja püüti formuleerida parim võimalus pakiveoturu arenguks. Artikli tulemuste osas tuuakse välja peamised järeldused ning ettepanekud.

Meetod

Uurimus koosneb kolmest osast: arvutisimulatsioon pakiautomaadi läbilaskevõime leidmiseks, kvantitatiivne uurimus kliendikogemuse väljaselgitamiseks ja geograafiliste andmete analüüs.

Arvutisimulatsiooni tulem võimaldas anda hinnangu, kuivõrd vastab turul eksisteerivate ja liisanduvate seadmete läbilaskevõime tulevikunõudlusele. Olemuse poolest on simulatsiooni puhul tegu virtuaalses keskkonnas teostatud katseuringuga.

Simulatsiooni läbiviimiseks kasutati reaalseid kliendi käitumise andmeid ja mõõdeti erinevate sisendmuutujatega saadud tulemusi. Andmed analüüsi, milledest selekteeriti selline muutujate kombinatsioon, millega saavutati kõrgeim läbilaskevõime tulemus.

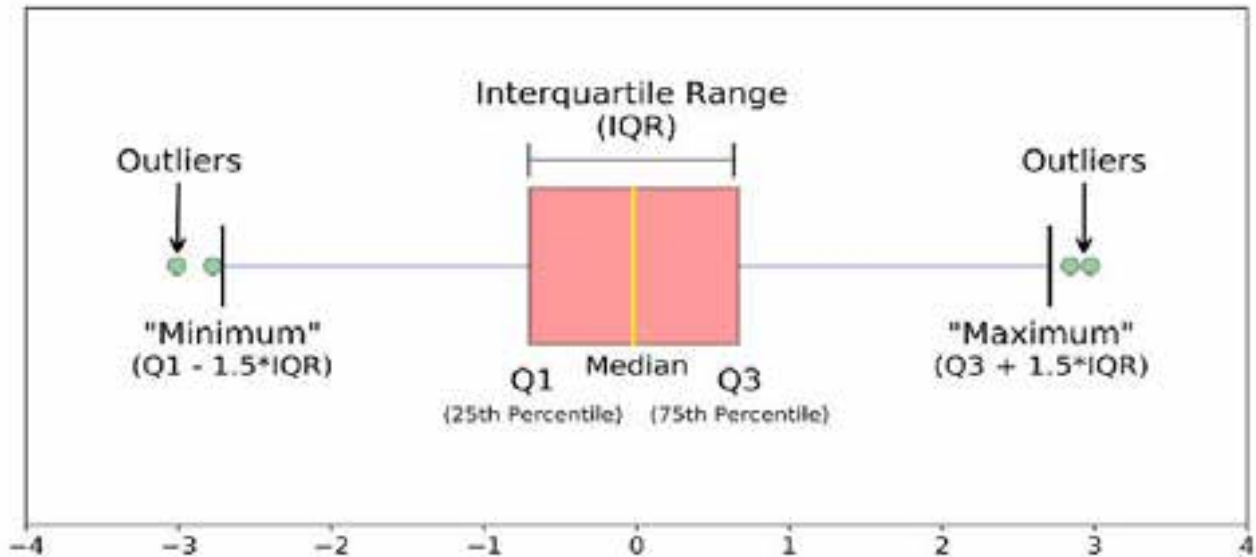
Kogu uurimise käigus kogutud kvantitatiivsete andmete analüüsi, simulatsiooni ettevalmistamise ja visuaalide koostamise viis autor läbi Python programmeerimise keeles Jupyter ja PyCharm keskkonnas.

Jupyter on interaktiivse andmeteaduse ja teaduslike arvutuste toetamiseks loodud ja maailmas laialt kasutusel olev keskkond.

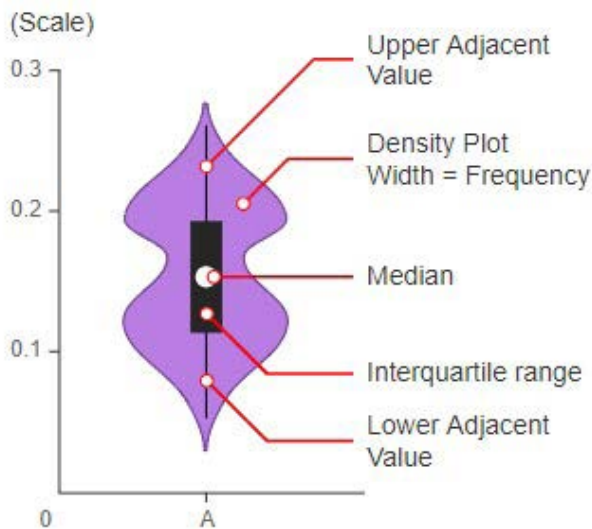
PyCharm on integreeritud arenduskeskkond, mis võimaldab arendada Python programmeerimiskeeles koostatud programme.

Autor kasutas arvutuste teostamiseks NumPy ja Pandas lisamooduleid, andmete koondamiseks Pandas moodulit ning visuaalide koostamiseks Matplotlib ja Seaborn mooduleid.

Eelpool nimetatud Python moodulid on loodud teaduslike arvutuste ning arvutuskäikude toetamiseks. Graafikute koostamisel kasutas autor karpdiagrammi tüüpi graafikut, millel on toodud mediaanväärtus karbi keskel, 25% ja 75% kvartiili piirid ning statistilise tähendusega miinimum- ja maksimumväärtused (Joonis 1).



▲ Joonis 1. | Karpdiagramm [4]



▲ Joonis 2. | Viuldiagramm [5]

Jaotusfunktsiooni tiheduse kajastamiseks kasutab autor viuldiagrammi, millel on lisaks jaotusele peale kantud ka tiheduse andmed (Joonis 2).

Struktureerimata vaatluse teel saadud andmete kinnitamiseks otsustas autor viia läbi küsitluse teel kvantitatiivse uuringu.

Sihtgrupiks olid internetis aktiivsed inimesed.

Küsitluse eesmärgiks oli saada vastus küsimusele, kuid võrd on pakiautomaaditeenust kasutavad kliendid segaduses õige pakiautomaadi leidmisega. Seatud sihi saavutamiseks esitati vastajale üldisi ava-, demograafilisi-, põhi- ja kontrollküsimusi. Enamik küsimustest olid kinnised st vastajale anti ette kindlad valikuvariandid.

Geograafiliste andmete analüüsi eesmärgiks oli

leida erinevate pakiautomaatide võrgustike elanikkonna katvuse ulatus.

Andmete töötlemiseks kasutas autor ArcGIS Pro tarkvara ning Eesti Statistikaameti poolt võimaldatud rahvastiku paiknemise andmestikku.

Autorile edastas Statistikaamet rahvastiku andmed kogu Eesti kohta täpsusega 1000 meetrit, tihedalt asustatud alade kohta täpsusega 500 meetrit ning suurimate linnade kohta täpsusega 100 meetrit.

Geograafilise analüüsi teostamiseks kasutab autor 1000 meetri täpsusega Statistikaameti andmestikku.

ArcGIS Pro tarkvara võimaldab koostada erinevate tunnustega geograafilisi kihte ja neid omavahel võrrelda, saades tulemina kvantitatiivseid andmeid.

Need olid sisendiks andmeanalüüsile, mille kaudu selgitas autor välja võrgustike põhilised kvantitatiivsed omadused.

Eelpool mainitud meetodite ja teiste autorite uurimistööde tulemid koondas autor meta-analüüsi teel. Autor selgitas välja pakiautomaatide võrgustike tulevikunõudlusest tingitud peamised näitajad, millele need võrgustikud peavad olema võimelised tulevikus vastama.

▣ Analüüs

Artikli autor viis läbi simulatsiooni selgitamaks välja pakiautomaatide maksimaalset läbilaskevõimet. Eesmärk oli leida vastus küsimusele, milline on pakiautomaadi läbilaskevõime ühe kapilahtri kohta ühes kuus.

Kui üksiku pakiautomaadi läbilaskevõime on piiratud x maksimaalse väärtusega, siis on ka

üleriigiliselt kõigi pakiautomaatide läbilaskevõime piiratud lähtuvalt pakiautomaatide arvust ja kapilahtrite koguarvust.

Läbilaskevõime sõltub esmasel vaatlusel järgmistest faktoritest: pakiautomaadi kapilahtrite koguarv, pakkide hoiuaja jaotus ehk kui kiiresti kliendid pakkidele järele tulevad ning pakiautomaatide täitmise tihedus. Lihtsa loogika põhjal eeldas autor, et paki hoiuaja jaotuse põhiliste parameetrite näitajate vähendamine suurendab läbilaskevõimet.

Samuti peaksid läbilaskevõimet suurendama pakiautomaadi kapilahtrite arvu lisamine ja täitmise tiheduse tõstmine.

Pakiautomaadi iseloomust tingituna on iga seadme kapilahtrite koguarv staatiline. Pakiautomaatidele on küll võimalik täiendavate kapilahtritega mooduleid vastavalt vajadusele juurde panna, kuid antud simulatsiooni läbipaistvuse tagamiseks lähtub autor siiski fikseeritud kapilahtrite arvust. Simulatsiooni ette valmistades võib oletada, et mida suurem on pakiautomaadi kapilahtrite arv, seda suurem on ka selle seadme maksimaalne läbilaskevõime.

Hoiuaeg erineb piirkonniti ning samuti kellaajaliselt, sõltuvalt sellest, mis kell pakk automaati

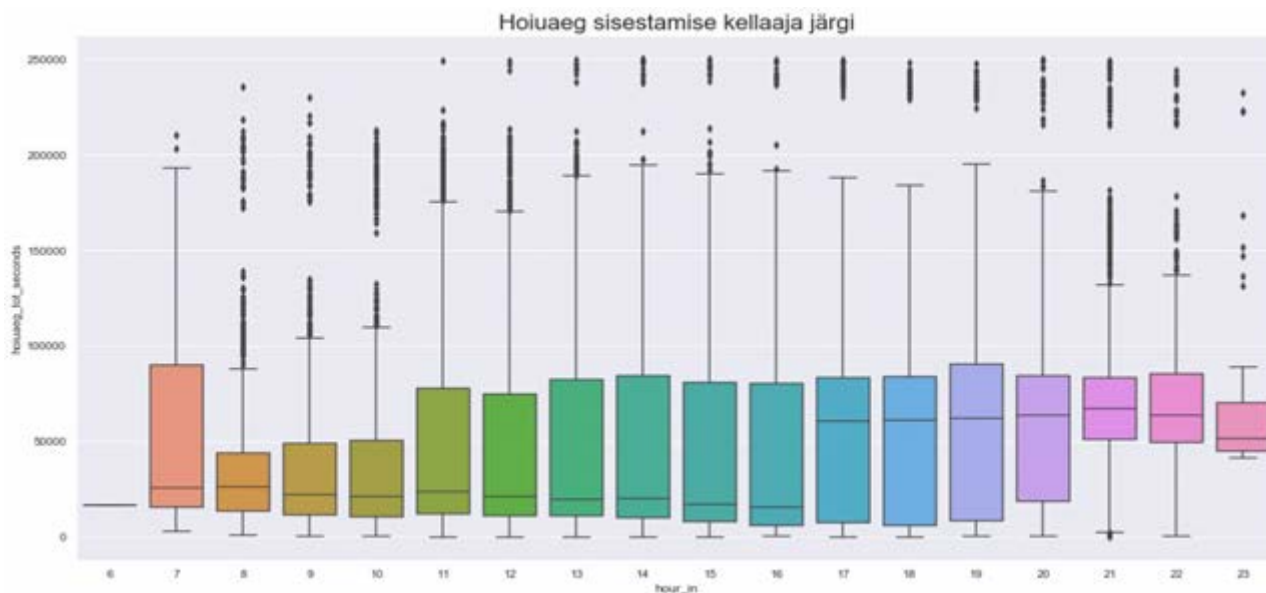
sisestatakse ning millal saab klient paki saabumise kohta teate.

Mida varem klient info saab, seda kiiremini võtab ta ka tõenäoliselt paki välja. Eelpool mainitud tendents on tuvastatud Collect.Net pakirobotite paki hoiuaja andmete analüüsi käigus.

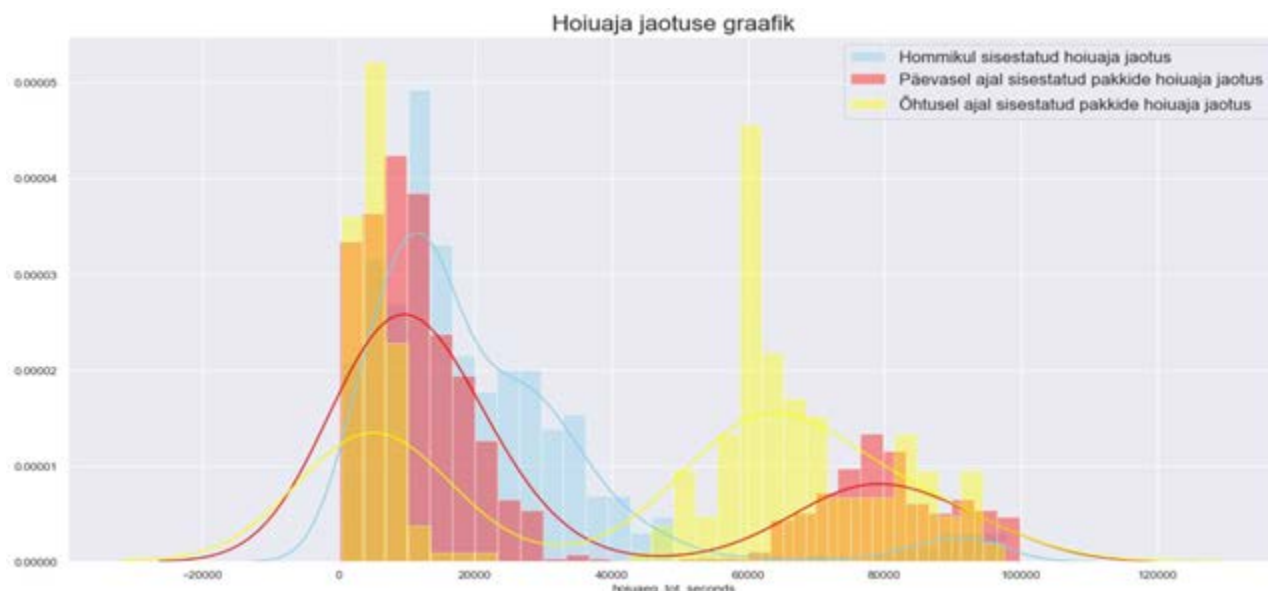
Samade andmete põhjal on näha hoiuaja pikkuse jaotuse erinevusi sisestamise kellaaja lõikes (Joonis 3). Iga sisestamise kellaeg omab unikaalset hoiuaja jaotust.

Kõige ilmekamalt illustreerib hoiuaja jaotuse erinevust hommikuse ja päevase täitmise andmete kõrvutamise teel saadud jaotuse tiheduse graafik (Joonis 4). Visualiseerimise eesmärgil on hoiuaja tulemused piiratud 100 000 sekundi pikkuse hoiuajaga.

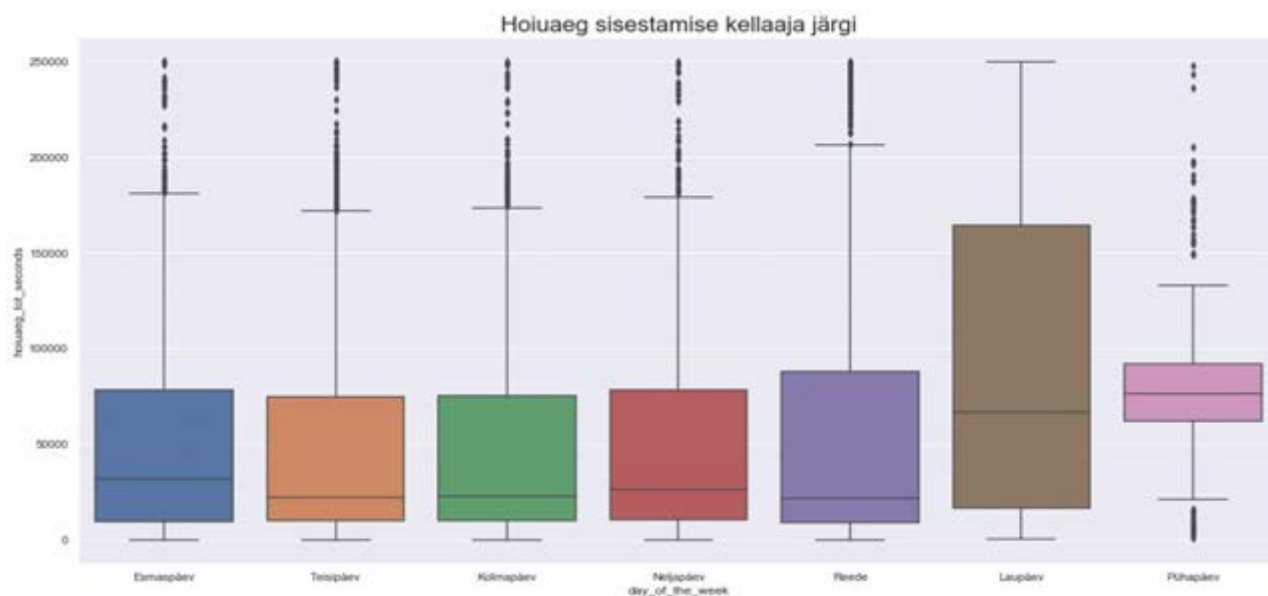
Sellisel juhul ilmneb selgelt sisestamise kellaajast sõltuv jaotuste erinevus, kusjuures iga sisestamise kellaaja kohta on eristatav unikaalne jaotuse sõrmejälg. Kasutatud andmefailis esineb pakke, mille hoiuaeg on pikem kui 100 000 sekundit ja jäid seetõttu graafiku koostamisel välja. Simulatsiooni läbiviimisel eelpool mainitud andmetega siiski arvestati.



▲ Joonis 3. | Pakisaadetiste hoiuajad sisestamise tunni lõikes. (Autori koostatud.)



▲ **Joonis 4.** | Hoiuagade distributsioonide erinevus sõltuvalt sisestamise kellaajast. (Autori koostatud.)



▲ **Joonis 5.** | Hoiuaja erinevus sõltuvalt nädalapäevast. (Autori koostatud.)

Lisaks sellele erineb hoiuaja distributsioon olulisel määral ka nädalapäevade lõikes. Nädalavahetustel on kliendi reageerimine paki saabumistele aeglasem ja hoiuaja mediaanväärtused kõrgemad. Laupäeviti ja pühapäeviti pakiautomaatidesse sisestatud pakid ootavad automaatides järele tulemist kauem kui nädala sees sisestatud saadetised. Madalamaid hoiuaja jaotuse näitajaid võib märgata teisipäeval sisestatud pakide puhul, kuid hoiuaja mediaanväärtus püsib tööpäevade lõikes ühel tasemel (Joonis 5).

Hoiuaja distributsiooni näitajaid analüüsides võib teoretiseerida ka hoiuaja jaotuse erinevuse osas geograafiliselt. Väiksemate linnade ja asulate pakiautomaatidesse tellivad kaupa ka need inimesed,

kes elavad pakiautomaadist kaugemal ning seega nende paki saabumistele reageerimise aeg on suure tõenäolisusega pikem võrdluses klientidega, kelle jaoks asub pakiautomaat igapäevasel koju-tööle marsruudil ja eraldiseisvat käiku paki väljavõtmiseks pole vaja plaanida. Simulatsiooni vaates otsustas autor siiski geograafilist hoiuaja jaotuse erinevust mitte arvesse võtta ning piirdus saabumise kellaaja ja nädalapäevade erinevustega.

Viimane faktor, mida simulatsiooni koostamisel arvesse võeti, on teenindamise tihedus. Autoril ei ole ligipääsu teenusepakkujate pakiautomaatide teenindamise graafikutele, selles lõigus tehakse sellest lähtuvalt oletusi ja simuleeritakse

läbi erinevad pakiautomaadi täitmise stsenaariumid.

Eeldatakse, et pakiautomaadi teenindamine ei toimu enne kella 09:00, seda selle tarbeks, et saada terviklikumat pilti kõigi pakiautomaaditeenuse operaatorite kohta Eestis.

Itella SmartPOSTi pakiautomaadid asuvad kaubanduskeskuste siseruumides ja tihtipeale ei ole sinna ligipääsu varem kui kell 09:00 hommikul. Simulatsiooni ettevalmistamisel võib mõelda, et täitmise tiheduse tõstmine suurendab ka pakiautomaadi läbilaskevõimet.

Teenindamise simuleerimisel eeldati, et iga teenindamisega täidetakse kõik parasjagu pakiautomaadis olevad vabad lahtrid ehk tagatud on kaupade katkematu voog pakiautomaati. Maksimaalse läbilaskevõime arvutamise juures töötab selline oletus eesmärgi saavutamise suunas – reaalsuses ei pruugi operaatoril lähtuvalt tarneahela ülesehituse spetsiifikast iga täitmise juures olla nii palju kaupa, et kõik kapilahtrid saaks täidetud.

Lisaks sellele tuleb pakiautomaatide teenindamisel arvestada saadetiste suurustega.

Töö autoril ei ole ligipääsu teenuseosutajate kapilahtrite ja pakimahtude suuruste jaotuse andmetele ning simulatsiooni läbiviimisel kapilahtrite ja pakisaadetiste suurustega ei arvestata.

Operaatoril võib olla kaasas suur hulk pakke, kuid automaadis ei pruugi olla vaba ühtegi õiges suuruses kapilahtrit, mis pärsib tegeliku läbilaskevõimet veelgi. Reaalne läbilaskevõime (operational capacity) on seega tehnilisest läbilaskevõimest oluliselt madalam.

Simulatsiooni läbiviimiseks koostas autor Python programmeerimise keeles koodi.

Programm koostab virtuaalse pakiautomaadi, mis koosneb määratud kapilahtrite arvust. Seejärel määrab programm aastase perioodi alates käivitamise hetkest tagasiulatuvalt. See on periood, mille kohta simulatsioon läbi viiakse. Määratud perioodi väikseim ajahetk on simulatsiooni alguspunktiks. Simulatsiooni perioodi kohta teostatakse iteratsioon üheminutilise intervalliga. Intervall lisatakse iga sammuga alguspunktile, saades nii iga kord kätte uus simulatsiooni ajahetk. Iga iteratsiooniga kontrollitakse, millised virtuaalse pakiautomaadi kapilahtrid on tühjad. Juhul, kui simulatsiooni ajahetk vastab mõnele pakiautomaadi teenindamiseks määratud kellaajale, täidetakse tühjad kapilahtrid virtuaalsete tellimustega.

Lisatud pakisaadetiste kogus ja täitmise kellaeg lisatakse simulatsiooni logisse. Iga tellimuse hoiuaeg valitakse juhuslikkuse põhimõttel

lähteandmetest ja arvutatakse see ajahetk simulatsiooni perioodis, millal virtuaalne kapilahter tühjeneb. Iga iteratsiooni käigus kontrollitakse, kas mõni hoiuaeg on möödunud.

Aegunud hoiuaegadega tellimused eemaldatakse virtuaalsest pakiautomaadist. Simulatsiooni käigus koostatud logi on selle tulemiks.

□ Tulemused

Simulatsiooni käigus saadud tulemuste analüüs näitas, et aastase perioodi pakiautomaadi läbilaskevõime ei ole sõltuvuses täitmise kellaajast juhul, kui pakiautomaadi täitmist teostatakse üks kord päevas.

Maksimaalne läbilaskevõime püsib sõltumata teenindamise kellaajast praktiliselt ühel tasemel.

Juhul, kui pakiautomaadi täitmine toimub kaks korda päevas, on läbilaskevõime ühekordse täitmisega võrreldes suurem.

Suurenemine kasvab täitmise kellaegade vahelise aja kasvuga paralleelselt ja saavutab oma maksimaalse väärtuse hommikuse kella 09:00 ning päevase kella 17:00 täitmise juures.

Õhtuse täitmise sealt hilisemaks nihutamine või hommikuse täitmise kellaaja muutmise puhul on simulatsiooniga saadud läbilaskevõime väiksem. Tulemus viitab sellele, et maksimaalse läbilaskevõime saavutamine kindla hoiuaja jaotuse juures ei ole niivõrd seotud täitmise kellaajaga, vaid pakiautomaadi üksiku ukse jõudeaja minimeerimisega kogu seadme ulatuses.

Suurimat läbilaskevõimet õnnestus simulatsiooniga saavutada seitsmekordse pakiautomaadi täitmise juures. Selleks väärtuseks on 31 855 pakki aastase perioodi kohta saja kapilahtriga automaadis. Reaalses olukorras ei ole pakiautomaadi seitsmekordne täitmine kuluefektiivne, sest iga täitmisega sisestatakse sellisel juhul automaati vaid 12,6 pakki.

Realistlik stsenaarium on autori nägemusel pakiautomaadi täitmine kolm korda päevas. Kolmekordse täitmise erinevate stsenaariumite seast on simulatsiooni kaudu saavutatud maksimaalse läbilaskevõime väärtuseks 28 596 saadetist aastase perioodi kohta kokku ehk 285,96 pakki ühe kapilahtri kohta.

Keskmiseks stsenaariumite tulemuseks on aga 26 889 pakki ehk 268,89 pakki ühe kapilahtri kohta aastas. Maksimaalset väärtust saavutas stsenaarium, kus pakiautomaat täidetakse kell 11.00, 16.00 ja 19.00.

Arvestades seda, et automaati kasutatakse ka pakisaadetiste saatmiseks, peab automaadis olema piisav arv uksi klientide saadetiste vastu-

võtmiseks. Kapilahtrite saatmisteks kasutamine tähendab läbilaskevõime täiendavat vähendamist, sest ukсед on saatmisteks eraldatud ja ei ole sisestamiseks kasutusel. Väheneb pakiautomaadi kogu kapilahtrite arv. Seda, ja erinevaid teisi kitsendusi arvesse võttes leiab autor, et tegelik pakiautomaatide maksimaalne läbilaskevõime on kuni 70% simulatsiooni kaudu leitud väärtusest ehk 188,2 paki ühe ukse kohta aastas.

▣ Kokkuvõte

Pakiveoturu mahu tulevikuprognosis näitavad kasvutempo jätkumist. Aastaks 2027 ületab pakiveoturu maht 25 miljoni paki piiri. Olemasolevate pakiautomaatide võrgustike läbilaskevõime ei võimalda teenusepakkujatel tulevikunõudlust ära teenindada. Turul olevate kapilahtrite arv peab nõudluse teenendamiseks suurenema ligi kaks korda s.o. 120 000-ni. Selle numbri saavutamiseks on pakiveoturu jaoks, antud lõputöö tulemuste kohaselt, parim võimalik suund tarnijaneutraalse, suure mahutavuse, efektiivse, tuntud ja käidavatele asukohtadele keskendunud pakiautomaatide taristu loomine.

Autori hinnangul tuleks pakiautomaati täita kolm korda päevas – kell 11.00, 16.00 ja 19.00. Kolmekordse täitmise erinevate stsenaariumite seast on simulatsiooni kaudu saavutatud maksimaalse läbilaskevõime väärtuseks 28 596 saadetist aastase perioodi kohta kokku ehk 285,96 pakki ühe kapilahtri kohta.

Keskmiseks stsenaariumite tulemuseks on aga 26 889 pakki ehk 268,89 pakki ühe kapilahtri kohta aastas. Arvestades seda, et automaati kasutatakse ka pakisaadetiste saatmiseks, peab automaadis olema piisav arv ukse klientide saadetiste vastuvõtmiseks.

Kapilahtrite saatmisteks kasutamine tähendab läbilaskevõime täiendavat vähendamist, sest ukсед on saatmisteks eraldatud ja ei ole sisestamiseks kasutusel. Seda, ja erinevaid teisi kitsendusi arvesse võttes leidis autor, et tegelik pakiautomaatide maksimaalne läbilaskevõime on kuni 70% simulatsiooni kaudu leitud väärtusest ehk 188,2 paki ühe ukse kohta aastas.

▣ Summary

Self-service infrastructure creation opportunities in the Estonian parcel delivery market.

The parcel delivery market volumes are growing rapidly both in Estonia and globally. The main factor

behind it is a considerable growth of e-commerce. Parcel locker service providers have implemented three separate locker networks in Estonia.

These networks operate largely in parallel covering the same demand. At the same time, operators are forced to increase parcel locker network locker count, which has resulted in a situation where there could be up to eight different parcel locker machines around a single point of attraction. This results in confusion for the consumer and one of the most important advantages – convenience – has started to diminish.

The parcel delivery market growth is set to continue for the coming decade. By the year 2027, the parcel delivery market volume in Estonia will surpass 25 million parcels. The existing parcel machine network capacity is not sufficient to handle this volume. To cope with future demand, the total locker count available in the Estonian market must grow two-fold, from around 60000 currently to the level of 120000 lockers. To achieve this, the best solution according to the thesis at hand is to implement a carrier-neutral, increased capacity, effective, well-known infrastructure focused on main regional and local points of attraction.

The main question of the thesis has, in the authors' view, been confirmed. Also, questions secondary to the thesis have been positively resolved.

Several analysis by-product results are of value when conducting further research into adjacent subjects. The author has managed to keep an impartial and objective view throughout the process of researching and analyzing the problem present in the market.

The author thanks Kati Nõuakas for the guidance provided, several former comrades for their help when conducting the client poll, Collect.Net staff for granting client behavior data access, current and former colleagues for aiding in finding valuable source information, the Statistics Estonia for population distribution data surpassing all expectations, and others.

▣ Viidatud allikad

[1] „Itella ostab SmartPOSTi edukalt käivitatud pakiautomaatide võrgu,“ <https://uus.smart-post.ee/ariklient/uudised>, 2010.

[2] Konkurentsiamet, „Itella SmartPOST OÜ kaebuse alusel alanud haldusmenetluse lõpetamine,“ 2012.

- [3] Sisuturundus, „Eesti pakiautomaadi ettevõtted aitavad e-kaupmehel vallutada maailma,“ Kaubandus.ee, 2016.
- [4] M. Galarnyk, „Towards Data Science,“ 12 09 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://towardsdatascience.com/understanding-boxplots-5e2d-f7bcbd51>. [Kasutatud 26 04 2019].
- [5] „The Data Visualisation Catalogue,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://datavizcatalogue.com/methods/violin_plot.html. [Kasutatud 26 04 2019].
- [6] F. Märtsoo, „Viimane miil,“ Logistika ja ekspordi käsiraamat, 2017.
- [7] R. W. Goodman, „Whatever You Call It, Just Don't Think of Last-Mile Logistics, Last,“ SupplyChainBrain, 2005.
- [8] Collect.Net, „Collect.Net,“ Cleveron AS, 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <http://collect.net/>. [Kasutatud 2019].
- [9] DPD, „DPD veebileht,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dpd.com/ee/avaleht/siteutilities/tueueptingimused>. [Kasutatud 21 04 2019].
- [10] A. E. Post, „Omniva,“ 01 01 2017. [Võrgumaterjal]. Available: www.omniva.ee. [Kasutatud 21 04 2019].
- [11] Cleveron, „Cleveron 302,“ 04 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://cleveron.com/products/cleveron-302>. [Kasutatud 04 2019].
- [12] PickPoint, „PickPoint services,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://pickpoint.ru/services/>. [Kasutatud 21 04 2019].
- [13] C. Setien, „International Post Corporation,“ 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ipc.be/services/markets-and-regulations/e-commerce-market-insights/e-commerce-articles/parcel-lockers>. [Kasutatud 26 04 2019].
- [14] A. Bengyel, Interviewee, [Intervjuu]. 04 2019.
- [15] I. K. MAREK RÓ YCKI, „Parcel and Postal Technology International,“ 02 04 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.parcelandpostal-technologyinternational.com/analysis/why-carrier-agnostic-parcel-lockers-are-the-future.html>.
- [16] K. K. J. L. Stanisław Iwan*, „Analysis of parcel lockers' efficiency as the last mile delivery,“ Szczecin Ülikool, 2015.
- [17] M. B. A. B. A. L. Ugo Lachapelle, „Parcel locker systems in a car dominant city: Location, characterisation and potential impacts on city planning and consumer travel access,“ Montreal, 2018.
- [18] M. P. a. M. P. Julian Allen, „AN ANALYSIS OF THE SAME-DAY DELIVERY MARKET AND OPERATIONS IN THE UK,“ University of Westminster, 2018.
- [19] S. S. Rein Ahas, „Regionaalse pendelrände kordusuuring,“ Tartu Ülikool, 2013.
- [20] Konkurentsiamet, KONKURENTSIAMETI ARUANNE, Tallinn: Konkurentsiamet, 2018.
- [21] T. Oja, „Pealinn,“ 31 07 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.pealinn.ee/tagid/koik/konkurentsiameti-aruanne-eesti-inimesed-saatsid-aastaga-ule-111-n225516>. [Kasutatud 26 04 2019].
- [22] M. Luts, „Omniva uus logistikakeskus,“ 2017.
- [23] A. Veskimeister, „How to build the biggest parcel locker network in the World?,“ 2019.
- [24] E.-k. Liit, „Presentatsioon seminarilt,“ Tallinn, 2019.
- [25] D. Group, „DPD Group,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://eshopperbarometer.dpd.com/>. [Kasutatud 26 04 2019].
- [26] T. Soosalu, „Eesti Pank,“ 25 04 2019. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.eestipank.ee/press/eestlased-ostavad-internetist-rohkem-kui-varem-25042019#_ftnref1. [Kasutatud 26 04 2019].
- [27] K. Rootalu, „Korrelatsioonikordajad,“ Tartu, 2014.
- [28] R. Hinno, „Korrelatsioon,“ 2015. [Võrgumaterjal]. Available: https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/123035_a45749a8afa-747b48a51b51c03820300.html. [Kasutatud 26 04 2019].

[29] E. H. J. a. H. Samet, „Spatial Join Techniques,” University of Maryland, 2005.

[30] Vikipeedia, „Ortodroom,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://et.wikipedia.org/wiki/Ortodroom>.

[31] M. Pärli, „Kasvav turg meelitab: pakiautomaadi teenusepakkujaid tõmbab e-kaubanduse levik,” err.ee, 2016.

□ Ratsutamiseks mõeldud valgete võistluspükste parendamise võimalused

Autor: Anna-Karin Leppik

Juhendaja: Tallinna Tehnikakõrgkooli rõiva ja tekstiili instituudi lektor Diana Tuulik

□ Sissejuhatus

Uurimistöö eesmärgiks oli leida võimalused valgete ratsutamiseks mõeldud võistluspükste parendamiseks, kuna turul olemasolev tootevalik ei rahulda kõiki ratsanike vajadusi. Peamised harrastatavad ratsaspordialad Eestis on takistus- ja koolisõit ning kolmevõistlus.

Kõik need kolm spordiala eeldavad kohustusliku rõivastust võistlaval ratsanikul, mille üheks osaks on valged ratsapüksid. Eesti kliimas välisshooajal võisteldes võivad valged ratsapüksid kiiresti märguda, mille tulemuseks on läbipaistvad ja sadula tõttu tugevalt pruuniks või halliks määrdunud püksid. Tulemuseks on ratsanike mitteesinduslik välimus ja ebamugavustunne terve võistluse vältel.

Leidmaks probleemile lahendust keskenduti neljale osale: uuriti rõivastuse rolli ratsaspordis, et tutvuda valgete ratsapükste kasutusala- ning keskkonnaga ja võimalike ratsaniku võistlusvälimust piiravate reglementeeritud määrustikega. Teises ehk teoreetilises osas uuriti, kuidas kliendikeskne tootearenduse meetod aitab mõista tarbija vajadusi ja võimaldab nende kaardistamist. Kolmandas osas viidi läbi tarbijaküsitlus ning analüüsiti kõiki tulemusi, et välja selgitada peamised vajadused toote suhtes ning suurimad puudused olemasolevate produktide seas. Viimaks tehti ettepanekud parema toote loomiseks, võttes arvesse uurimistöö käigus saadud teoreetilisi teadmisi ja praktilisi tulemusi.

□ Metoodika

Keskkonnaga tutvumine

Kolmevõistluse, koolisõidu ja takistussõidu määrustikega tutvudes selgus, et nendel aladel on võistlusrõivastus karmilt reglementeeritud ja ratsanike võistluspüksid peavad olema valged (või helebeežid) ning järeleandmisi värvi osas ei tehta, mis välistas võimaluse teha ettepanekuid toote värvivaliku osas. Lisaks tutvuti ratsaspordivõistluste keskkonnaga, kust leiti hulk pükste puhast välimust ohustavaid tegureid, nagu näiteks

vihm, pori, liiv, tolm, hobuste karvad ja ila, sadula ja ratsavarustuse hooldusvahendid ning värvained.

Kliendikeskne tootearendus

Sobilik meetod probleemide tuvastamiseks, tarbijate vajaduste hankimiseks ja ettepanekute tegemiseks antud toote puhul oli kliendikeskne tootearendus. Kuna valgete võistluspükste näol on tegemist spetsiifilise tootega, mille arendamisel ei pruugi piisata ainult tootearendaja teadmistest, oli oluline koguda võimalikult palju informatsiooni tarbijatelt endilt, et saada parem ettekujutus toote kasutusala-dest, -keskkonnast, -kogemusest ja esinevatest probleemidest. Kliendikeskne tootearenduse meetodil on peamiseks eestvedavaks jõuks kliendi vajadused, mitte innovatsioonid tehnoloogias [1, p. 336], [2, p. 82]. Seega kliendikeskne tootearendus võimaldas määrata toote tegelikud probleemid, mille alusel oli hiljem võimalik teha järeldused ja ettepanekud probleemide likvideerimiseks.

Uuringu läbiviimine

Tarbijate vajaduste hankimiseks oli oluline läbi viia sihtgrupisisene küsitlus. Valgete võistlusteks mõeldud ratsapükste sihtgrupp olid takistussõitjad, koolisõitjad ja kolmevõistlejad. Küsimustik koostati vastavalt kliendikeskse tootearenduse meetodile ning see koosnes 12-st kohustuslikust ja 1-st vabatahtlikust küsimusest. Küsitluse eesmärk oli koguda võimalikult palju informatsiooni tarbijatelt endilt, et mõista tarbija vajadusi, nõudmisi, kogemusi ja sellest tulenevalt analüüsida saadud informatsiooni ning kasutada seda pükste arendamisel.

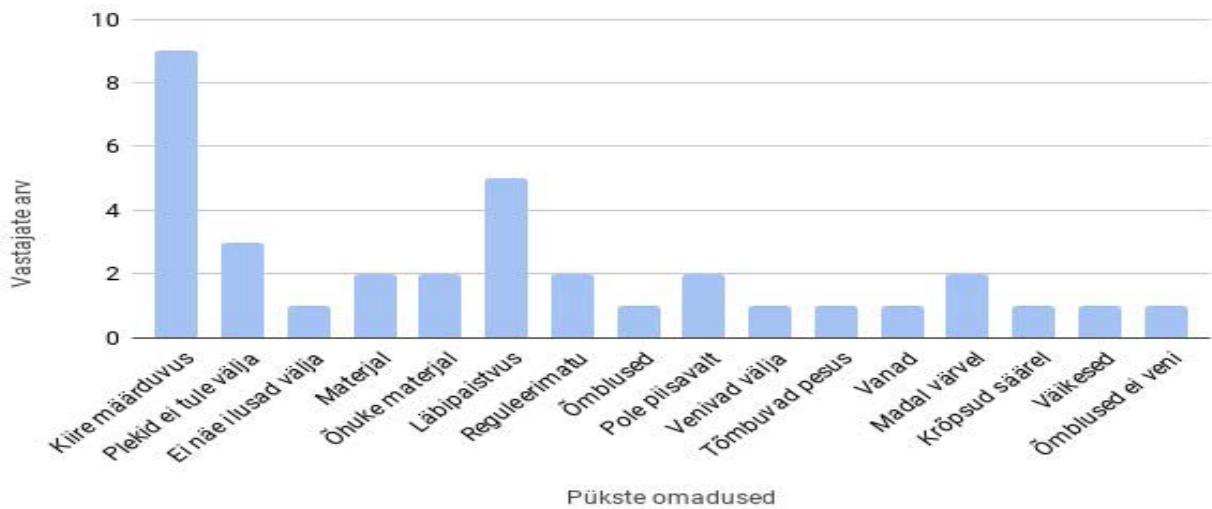
Tulemused

Uuringu käigus küsitleti kokku 34 ratsanikku. Kõik vastajad olid aktiivsed ratsasportlased ja võtsid osa ratsaspordivõistlustest vähemalt paaril korral aastas.

34. vastaja vahel jagunesid spordialad järgmiselt: 30 takistussõitjat (88,2%); 2 koolisõitjat (5,9%); 6 kolmevõistlejat (17,6%).

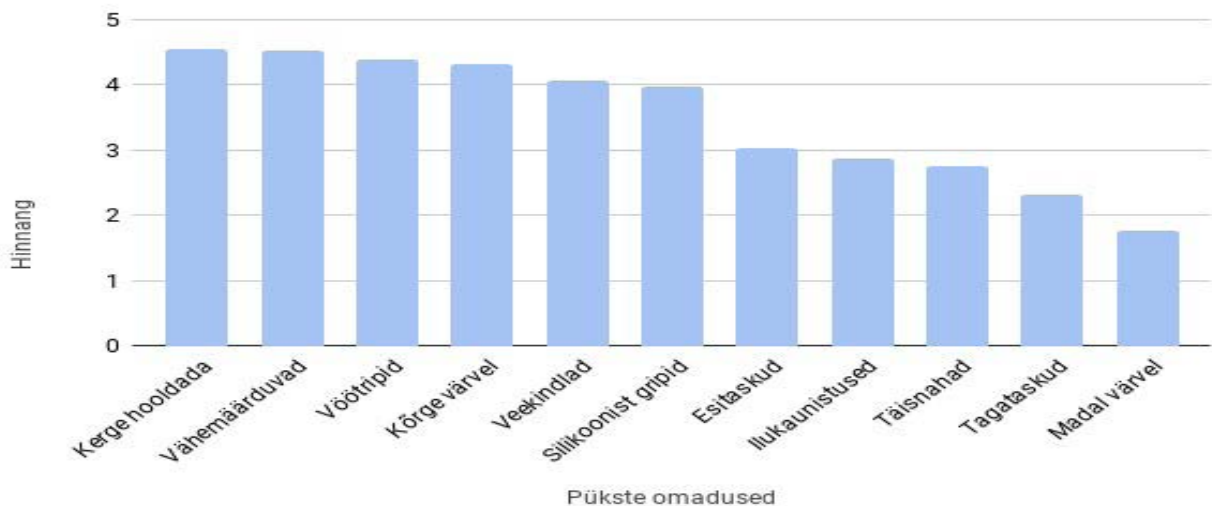
Küsitluses selgus, et olemasolevate pükste puhul oli üks suurimaid murekohti pükste materjal, mis läheb kiiresti mustaks. Lisaks kurdeti liiga läbipaistva materjali ja pükstelt raskesti eemaldatavate plekkide üle.

14 tarbijat 22-st märkis, et pükste märgumisel muutusid nad jalas ebamugavaks, 12 tarbijat 22-st mainis, et püksid muutusid märgumisel läbipaistvaks (Joonis 3).



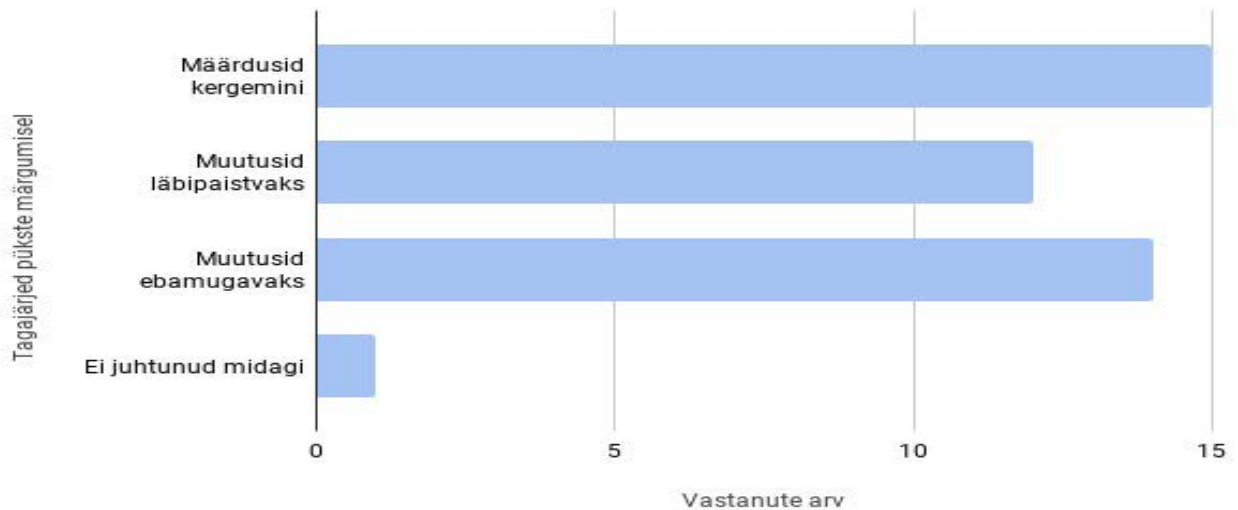
▲ **Joonis 1.** | Tarbijate poolt välja toodud halvimald pükste omadused.

Suunava küsimuse juures, kus vastajatel paluti märkida olulised omadused võistluspükstel 5- palli skaalal, peeti kõige tähtsamaks pükste kergemat hooldatavust. Vähim oluline omadus oli madal värvel. (Joonis 2).



▲ **Joonis 2.** | Tarbijate hinnang etteantud pükste omadustele.

Küsimusele, kas tarbijatel on ette juhtunud olukordi, kus püksid on märgunud vihma tõttu vastas 22 ratsanikest "jah", mille tagajärjel märkis 15 inimest, et püksid määrdusid märgumisel kergemini.



▲ **Joonis 3.** | Tagajärjed pükste märgumisel.

□ Järeldus

Võttes kokku tarbijaküsitluse tulemused võis järeldada, et Eesti ratsutajate peamine probleem valgete võistluspükste suhtes on nende kiire määrdumus, peale vihma käes märgumist ning plekid, mis ei tule enam pesus välja.

Tarbijaküsitlus kinnitas püstitatud probleemi olemasolu ja vastuste hulk tõestas, et tegemist oli laialt levinud probleemidega ratsanike seas Eestis ning et turul ei ole tooteid, mis rahuldaksid ratsanike vajadusi.

Suur hulk vastanutest kurtis ka pükste üle, mis paistsid läbi, mille värv ei olnud piisavalt valge ja millel puudusid kvaliteetseid õmbluseid. Tehti järeldus, et konkurenttooted ei suuda rahuldada Eesti kliimas võistlevate ratsanike tegelikke vajadusi.

Konkurentsianalüüsi ja organoleptilise vaatluse alusel soovitati pükste materjaliks valida polüamiidkiududest valmistatud kangast segatuna elastaaniga.

Polüamiidist kangal on hea hõõrdekindlus, elastsus, tugevus ja kuju säilitamise omadus. [31, p.166], [32, p 430] Elastaani sisaldus kangas võimaldab luua väga veniva kanga.

Kanga siduseks oli soovitatud kasutada toimset sidust. Toimne sidus annab kangale tugevuse, vastupidavuse ja kulumiskindluse, mis on ratsapükste puhul olulised omadused.

Toimse siduse abil on võimalik saavutada pehmemad, elastsemad ja suurema venivusega püksid. Toimne sidus ei kortsu nii kiiresti ja hoiab kanga kauem puhtana, kuna ei määrdu nii kergesti. Ideaalne kangas ratsapükste jaoks, mis on toimse sidusega ning valmistatud polüamiidist

ja elastaanist, on tvill. [43], [44].

Kuna ratsapükse kantakse tihti õues otsese päikesevalguse käes ning polüamiid on sellele tundlik, soovitatakse kangast töödelda valgust stabiliseeriva viimistlusega.

Lisades antioksidante nagu tina- või alumiiniumkloriidi, vase- või mangaansoolasid, takistavad need kanga kahjustumist päikesevalguses [30, p. 73], [30, p. 201].

Kanga värvimisprotsess võiks olla perioodiline, et tagada vajalik valge toon. Kangale soovitakse teha ka optilist valgendamist, sest see varjaks päikesevalguse kahjustuse tagajärjena tuleneva kollaka tooni, absorbeerides energiat ultravioletses valguses ja uuesti kiirates seda kui nähtavat valgust.

Samuti selgus tarbijaküsitlusest, et valgeid pükse on keeruline puhtana hoida, mistõttu on oluline kasutada vett- ja mustusthülgavaid viimistlusi nende hõlpsamaks hooldamiseks ning valgena säilitamiseks. Pükste vett- ja mustusthülgavuse saavutamiseks on sobilik viimistlemine fluorsüünikuga, mis võimaldab muuta kangast vett-, õli- ning veebaasil mustusthülgavaks.

Vett- ja mustusthülgavad viimistlused ei lase pükstel määrduda niivõrd tugevalt, et plekke pole enam võimalik välja pesta ning ei lase neil kergesti märguda ja püksid ei muutu läbipaistvaks esimesel kokkupuutel vihmaga. See kaitseks pükse väliste tegurite eest nagu liiv, tolm, karvad, ila, sadula ja muu ratsavarustuse puhastus- ja värvained, mudapritsmed jne.

Võttes arvesse reegleid, traditsioone ja tarbijaküsitlusest selgunud toote disaini puudutavat informatsiooni olid tehtud järeldused, et muudatused toote tavapärasest välisusest ei loo tarbijale lisa-

väärtust. Küsitlusest selgus, et ratsanikud eelistavad kõrgema värvliga pükse, sest see võimaldab võistlussärgil paremini püsis püsida. Sääre allosa on soovituslik teha õhemast ja venivamast kangast, mis lihtsustaks pükste kandmist saabastega.

Samuti selgus küsitlusest, et tarbijad vajasisid sadulaga paremat haakumist võimaldavaid elemente, mis on pükstega sama värvi ja ei torka silma.

Läbipaistvad silikoonist gripid alates põlvedest kuni reite keskosani aitavad suurepäraselt ratsanikul haakuda sadula nahaga ning parandavad seega stabiilsust ja sadulas püsimist, jäädes seejuures märkamatuks.

Võttes kokku väljatoodud ettepanekud pükste parendamiseks võis öelda, et toote parendamisel oli põhiorhk materjali ja viimistluse selektsioonil. Tehtud ettepanekud kanga valiku ja viimistluse osas aitasid lahendada tarbija suurimad probleemid, milleks on pükste kiire märgumine ja määrdumine, kanga läbipaistvus märgumisel ja pükste raske puhastamine.

Tulemuseks on teoorias tarbija vajadustele vastav toode, kus on lahendatud suurimad probleemid, mis esinevad praegu turul saadaolevate pükstega. Kõik ettepanekud olid vastavuses määrustikega, seega pükste välimus vastas reeglitele ja püksid on lubatud kandmiseks nii rahvuslikul kui ka rahvusvahelisel tasandil.

□ Kokkuvõte

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli leida võimalused valgete ratsutamiseks mõeldud võistluspükste parendamisele. Probleemi lahenduse leidmiseks tutvuti võistluspükste kasutusala ja määrustikega, viidi läbi tarbijauuring kliendikeskse tootearenduse meetodil, mis aitas tuvastada suurimad probleemid ning konkurentsianalüüs aitas leida põhjendusi ja lahendusi nendele probleemidele.

Lõputöö esimene osa keskendus ratsaspordi olemuse, ajaloo, määrustike, spordialade ja rõivastusega tutvumisele, mis oli oluline enne tootearenduse protsessi alustamist.

See võimaldas paremini mõista keskkonda, milles tarbija pükse kannab. Teises peatükis keskenduti kliendikeskse tootearenduse loomusele, mis võimaldas hankida tarbija vajadused, kaardistada peamised probleemid olemasolevate pükstega.

Kolmas peatükk keskendus kliendikeskse tootearenduse metoodika rakendamisele, mis algas tarbijauuringu läbiviimisest.

Uuringu tulemused kinnitasid, et 65% ratsanikest on võistlustel sattunud vihma kätte, mille tulemusel muutub valgete võistluspükste välimus mitte esinduslikuks, riie hakkab läbi paistma ja tarbija kogeb ebamugavustunnet.

Tarbijaküsitlus kinnitas probleemi olemasolu ja aitas määrata ka teised probleemid, mis esinevad pükstel. Nendeks on näiteks pükste kiire määrdumus, läbipaistvus, mitte piisavalt valge värv ja raske hooldatavus.

Märgumine, kiire määrdumine ja raske hooldatavus olid kõik reaalsed probleemid pükste puhul ning nende probleemide lahendamiseks toodi välja ettepanekud materjali valikus, viimistluses ja disainis, mille järgimisel on võimalik luua tarbija vajadustele vastav toode.

Valides materjali pidi silmas pidama esimeses peatükis välja toodud toote keskkonda ja tegevusvaldkonda ning kolmandas peatükis esitletud tarbija vajadustega.

Toote materjal pidi olema väga veniv, sile, vastupidav ja hõõrdekindel, mitte läbi paistma, kuid samas tunduma nagu ratsanik ei oleks kuidagi piiratud oma liikumistes.

Selliseks kangaks sobis tvill, mis on valmistatud polüamiidist, kuhu on lisatud venivuse andmiseks elastaani. Uute pükste arendamisel tasub kindlasti pöörata kõige rohkem tähelepanu viimistlusele, sest vett- ja mustusthülgava viimistluse rakendamine tootele annaks tõelise konkurentsieelise ja lahendaks suurimad pükstel esinevad probleemid.

Pükste välimus, lõige ja ilukaunistused peaksid jääma tagasihoidlikuks, et olla vastavuses esimeses peatükis esitletud traditsioonidega ja määrustikes olevate reeglitega.

Rakendades töös välja toodud ettepanekuid, mis on saadud põhjalikul ratsaspordi kõikide aspektide analüüsimisel ja kasutajate tagasisidel, oleks võimalik luua Eesti tarbija vajadustega ideaalses vastavuses olev toode.

□ Summary

Opportunities for Improving White Colored Equestrian Competition Breeches

The purpose of the thesis Opportunities for Improving White Equestrian Competition Breeches was to find out how to improve white competition breeches used in equestrian sports like show jumping, dressage and eventing, or in cross country competitions.

Rain is a common phenomenon in the Estonian climate even in summer and it might be quite

problematic for horseback riders when competing outside. As soon as the rainfall starts, the white breeches get wet, become transparent and get brown or gray stains from the saddle.

The first part of the thesis concentrated on understanding the equestrian sports, its historical influences, traditions and set rules that must be followed during each competition.

The second chapter concentrated on customer-driven product development processes, focusing on how these processes can help identify the client's problems, expectations and needs regarding the product.

The third chapter concentrated on putting the customer-driven product development process in use by analyzing and interpreting the raw data gathered through an online questionnaire.

The information collected helped to map the problems that occur regarding the product and to establish the customer's needs. Raw data gathered from 34 customers demonstrated that white competition breeches become unpresentable as soon as it starts to rain.

Other problems verified were that the breeches become dirty fast and are hard to clean, the fabric is often see-through and the stains on are impossible to remove.

The fourth part of the thesis proposed the right solutions for improving the white competition breeches used in equestrian sports.

For this product, a material blend of polyamide and elastane is recommended to achieve maximum elasticity, fabric strength, and easy care.

Also, water and stain-resistant finishing were recommended to attain breeches that stay dry and clean even during rainy weather.

If all suggested improvements are applied, it will result in competition breeches that stay dry and clean for a longer period, do not become transparent, are easy to take care of and follow the standards set by the International Equestrian Federation.

▣ Viidatud allikad

[1] David L. Rainey, Product Innovation: Leading Change through Integrated Product Development, New York: Cambridge University Press, 2005, p. 625

[2] John S. Oakland, Total Quality Management: text with cases, 3rd edition, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003, p. 484

[3] Roshan Paul, Functional Finishes for Textiles, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2015, p. 656

[4] B. L. Deopura, R. Alagirusamy, M. Joshi, B. Gupta, Polyesters and Polyamides, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2008, p. 592

[5] Textile School, Characteristics of twill weave [Võrgumaterjal], Available: <https://www.textileschool.com/208/characteristics-of-twill-weave/> [Kasutatud 18. mai, 2019]

[6] Sewport, What is Twill Fabric: Properties, How it's Made and Where [Võrgumaterjal], Available <https://sewport.com/fabrics-directory/twill-fabric> [Kasutatud 18. mai, 2019]

[7] Howard L. Needles, Textile Fibers, Dyes, Finishes, and Processes, a Concise Guide, New Jersey: Noyes Publications, 1986, p. 232