



Tallinna Tehnikakõrgkooli üliõpilaste toimetised nr 21

2017



Tallinna Tehnikakõrgkooli üliõpilaste toimetised nr 21

Koostaja ja toimetaja: Anne Kraav
Tehniline toimetaja: Mari-Leen Treimann
Väljaandja: Tallinna Tehnikakõrgkool
Pärnu mnt 62, 10135 Tallinn

ISSN 1406-7641

Sisukord

Saateks
Foreword

Kadi Aas

(Tallinna Tehnikakõrgkooli teedehituse eriala 2017. aasta vilistlane)

Ultrahelimeetodi kasutamine betoonis esineva prao sügavuse määramiseks
Determining the Crack Depth in Concrete Using Ultrasound

Katre Worth

(TTK rõivaste tehnilise disaini ja tehnoloogia eriala 2017. aasta vilistlane)

Zero-waste'i ehk jääkideta disaini meetodil rõivakomplekti loomine
Designing a Zero-Waste Collection

Kirsti Palmi

(TTK rõivaste tehnilise disaini ja tehnoloogia eriala 2017. aasta vilistlane)

Katteõmblusmasina operaatorite töö analüüs efektiivsuse tõstmiseks AGN OÜ-s
Work Analysis of Cover Stitch Machine Operators for Efficiency Improvements in AGN OÜ

Mirle Lembinen

(TTK keskkonnatehnoloogia ja -juhtimise eriala 2017. aasta vilistlane)

Joogivee tootmiseks kasutatavate filtermaterjalide võrdlus Viimsi veevärgi näitel
Comparison of Different Filter Materials Used in Drinking Water Production Based on the Example of Viimsi Veevärk

Kristiina Abel

(TTK transpordi ja logistika eriala 2017. aasta vilistlane)

Tallinna koolide kättesaadavus ühistranspordiga põhikooliõpilaste kodu–kooli liikumissuundadel
Accessibility of Schools in Tallinn by Public Transport on Primary School Students' Home to School Routes

Maili Tannenberg

(TTK rakendusarhitektuuri eriala 2017. aasta vilistlane)

Mitte-linn – tulevikumaastikud Põhja-Tallinnas
„Non-City” – Future Scapes of Northern Tallinn

Carolyn Engso

(TTK transpordi ja logistika eriala 2017. aasta vilistlane)

Kas on võimalik leida optimaalseim lahendus Eestis tegutsevatele ümarpuidettevõtetele puidu väljaveoks?
Is it possible to find the optimal solution for roundwood companies operating in Estonia for the export of timber?

Tanel Uibokand, Kaur Vahtrik

(TTK tehonmaterjalide ja turunduse eriala 2017. aasta vilistlased)

Töödeldud taimse biomassi tehnoloogilised omadused ning rakendusvõimalused
Technological properties and areas of application of processed biomass

Saateks

Hea lugeja!

Lugupeetud lugeja, teie käes on TTK Toimetised nr 21. 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, need annavad üsna tõepärase läbilõike TTK õppekavadest. Artiklite valikul on arvestatud kõrvuti teemade aktuaalsusega ka üliõpilase oskust probleemi või katsetulemusi analüüsida.

Artikli koostamisel on juhendajal nõuandev roll ja nad ei esine artiklite kaasautoritena. Artiklis esitatud väidete ja tulemuste õigsuse eest vastutab eelkõige autor, aga kuna need tööd on läbinud lõputöö kaitsmise protseduuri, kajastub nendes kahtlemata ka instituutide erialane teadustöö.

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

Anne Kraav
arendusprorektor

Foreword

Dear Reader!

You are now holding the 21st issue of the Proceedings of TTK University of Applied Sciences. The issue contains 8 articles written by the students of TTK University of Applied Sciences, representing the students' research work and the best graduation theses of the year 2017. The published articles are from various fields and give a good overview of the study programmes offered at TTK University of Applied Sciences. In the selection process, both the topicality of the issues and the students' skills to analyse the problems were taken into account.

In the writing process, the supervisors had a supporting role, therefore they are not mentioned as co-authors. The main responsibility of presenting credible data and state ments relies on the author, but as the articles have passed the procedure of graduation theses defence, they can be seen as valid representation of the research conducted in the institutes of TTK University of Applied Sciences.

Hopefully the articles will be of interest to the lecturers, students, staff and other stakeholders of TTK University of Applied Sciences.

Anne Kraav
Vice Rector for Development

□ Ultrahelimeetodi kasutamine betoonis esineva praosügavuse määramiseks

Autor: Kadi Aas

Juhendajad: ehitusinstituudi lektor Karin Lellep, ehitusinstituudi direktor professor Martti Kiisa

□ Sissejuhatus

Betooni kvaliteedi ja ühtluse hindamiseks on kasutusel mitmeid mittepurustavaid meetodeid, millest artiklis vaadeldakse ultraheli. Ultrahelimeetod kasutab kõrgel sagedusel helienergiat ning põhineb laine levimisel ja mõnedel juhtudel lainete peegeldusel, mis võimaldab fikseerida betoonis esinevaid defekte. Selle meetodi teoreetiliseks aluseks on see, et laine leviku kiirus sõltub keskkonna tihedusest ja elastsetest omadustest. Seetõttu on see väga hea pragude ja kihistumiste lokaliseerimiseks, kuid seejuures peavad andurid olema elemendiga väga heas kontaktis.

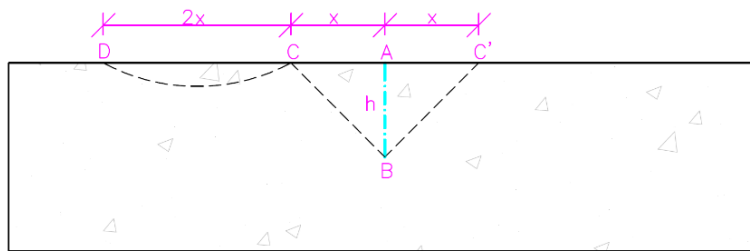
Käesolevas töös eeldatakse, et laine leviku kiirus homogeenses betoonis on tunduvalt suurem kui praoga kohas ehk läbi praosügavuse ei levi. Artiklis on uuritud ultraheliseadme kasutusvõimalust betoonkonstruktsioonide pragude sügavuse määramisel, mille tarbeks viidi läbi ulatuslik katseseeria üle 2000 mõõtmisega. Uurimistöö baseerub mõõteseadmel Proceq Pundit Lab*, mida TTK ehitusinstituut kasutab ehitiste seisukorra hindamisel. Seade võimaldab mõõta laine levimise aega kahe anduri vahel täpsusega $\pm 1\%$. Eri mõõtemetodite ja seadme testimiseks valmistati betoonist proovikehad mõõtmetega 200 × 200 × 800 mm, millele projekteeriti sisse kindla sügavusega praod (2, 4, 6 ja 8 cm). Ultrahelimõõtmiste alusel määrati laine levimise kiirus betoonis ning pragude sügavused. Laine levimise kiirus betoonis määrati otsese mõõtmise teel nii, et andurid paiknesid prisma vastaspindadel ja pragude sügavuste määramiseks teostati ultrahelimõõtmisi katsekeha pealmiselt pinnalt.

□ Töös kasutatavate ultrahelimeetodite kirjeldus | Heli levimise kiirus betoonis

Seade mõõdab kahe anduri vahelist laine levimise aega ning selle põhjal on võimalik arvutada laine levimise kiirust. Kõikide siin esitatud arvutusmeetodite korral eeldatakse, et heli leviku kiirus betoonis on ühes piirkonnas mõõtmisel sama. Tegelikuses võib esineda mittehomoogeenseid piirkondi (nt kihistumine, täitematerjali ebaühtlane suurus jne). See on oluline lihtsustus, kuna vastasel korral ei oleks võimalik praosügavust hinnata.

□ Praosügavuse määramine meetodil 1

Meetodil 1 arvutatakse betoonis esineva praosügavus praota ja praoga piirkonnas saadavate tulemuste alusel (Joonis 1). Selle mõõtemetodi puuduseks on asjaolu, et eeldatakse sama laine leviku kiirust pinnalt mõõtes ja ümber praosügavuse. Enamasti on pinnal betooni pind poorem kui betoonkonstruktsiooni sees. Sellest tulenevalt on varasemad uurimistööd näidanud, et seda meetodit kasutades on hinnanguline viga 15%. [1]



▲ **Joonis 1** | Meetodil 1 kasutatavad parameetrid.

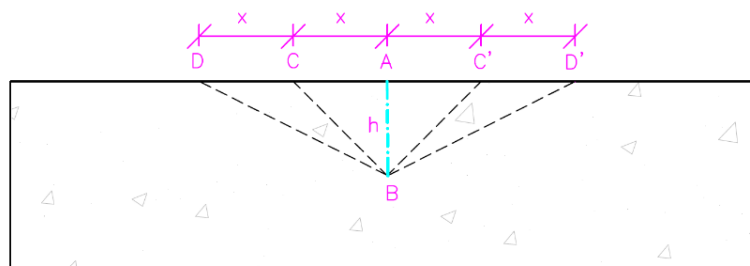
Meetodil 1 arvutatakse prao sügavus laine levimise aja järgi praota (t_0) ja praoga (t_1) piirkonnas valemist (1) [2, p. 2]:

$$h = \left(\frac{x}{t_0}\right) \sqrt{t_1^2 - t_0^2}, \quad (1)$$

kus t_0 – laine levimise aeg praota piirkonnas μs (punktide C ja D vahel);
 t_1 – laine levimise aeg praoga piirkonnas μs (punktide C–B–C' vahel);
 x – anduri kaugus praost mm (lõik A–C ja A–C');
 h – prao sügavus mm (lõik A–B).

■ **Prao sügavuse määramine meetodil 2**

Meetodiga 2 arvutatakse betoonis esineva prao sügavus mõõtetulemuste t_1 ja t_2 alusel (Joonis 2). Meetodi eeliseks on asjaolu, et ei vajata pindmist ultrahelimoõtmist pragudeta piirkonnas. Täpsuse suurendamiseks on nõutav paljude korduskatsete läbiviimine, sest mõõtetulemuste erinevus on (eelkõige väikeste sügavustega pragude korral) niivõrd väike, et mõõteseadme viga tekitab mõõtemääramatuse.



▲ **Joonis 2** | Meetodil 2 kasutatavad parameetrid.

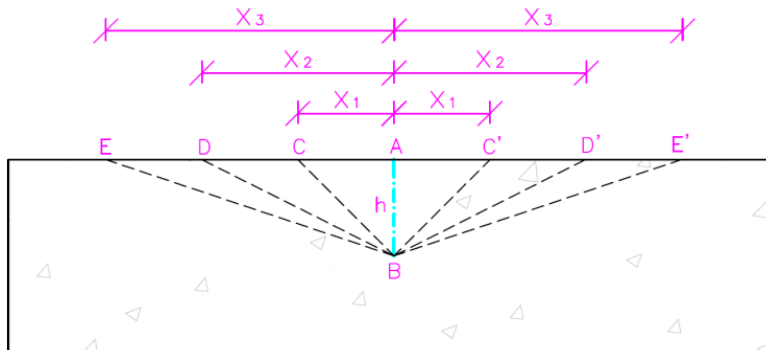
Meetodil 2 on prao sügavus leitav järgmise valemiga (2) [2, p. 3]:

$$h = x \sqrt{\frac{4t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2}}, \quad (2)$$

kus t_1 – laine levimise aeg 1. mõõtmisel μs (punktide C–B–C' vahel);
 t_2 – laine levimise aeg 2. mõõtmisel μs (punktide D–B–D' vahel);
 h – prao sügavus mm (lõik A–B).

▣ Praosügavuse määramine meetodil 3

Meetodiga 3 on võimalik arvutada betoonis esineva praosügavus, kombineerides mõõtetulemusi paarikaupa. Käesolevas töös on vaadeldud suuruseid t_1 , t_2 ja t_3 (Joonis 3). Üheks põhjuseks, miks seda kasutada, on suurema hulga andmete kogumine, et suurendada mõõtetulemuste statistilist usaldusväärsust. Selle meetodi eeliste ärakasutamiseks on välja töötatud mitmeid statistilisi lähenemisi, nt [1], [2], [3].



▲ **Joonis 3** | Meetodil 3 kasutatavad parameetrid

▼ **Tabel 1** | Joonisel 3 esitatud ja arvutustes kasutatavate parameetrite selgitus

Parameeter	Ühik	Selgitus
h	mm	Prao sügavus, kaugus punktist A punktini B
x_1	mm	Anduri kaugus praost (lõik punktide A ja C ning A ja C' vahel)
x_2	mm	Anduri kaugus praost (lõik punktide A ja D ning A ja D' vahel)
x_3	mm	Anduri kaugus praost (lõik punktide A ja E vahel ning A ja E' vahel)
t_1	μs	Laine levimise aeg punktide C–B–C' vahel
t_2	μs	Laine levimise aeg punktide D–B–D' vahel

Mõõtemetodi 3 valem (3) [2, p. 4]:
$$x_i^2 = v^2 \frac{t_i^2}{4} - h^2, \quad (3)$$

kus t_i – laine levimise aeg mõõtmisel, μs ;
 v – laine levimise kiirus, m/s;
 h – praosügavus, mm.

Praosügavust on vastavalt kasutatud meetodile võimalik määrata järgmiste valemite abil:

Praosügavuse määramiseks meetodil 3 võib toimida järgmiselt:

$$h = \sqrt{\frac{t_1^2 \times x_2^2 - t_2^2 \times x_1^2}{t_2^2 - t_1^2}}. \quad (4)$$

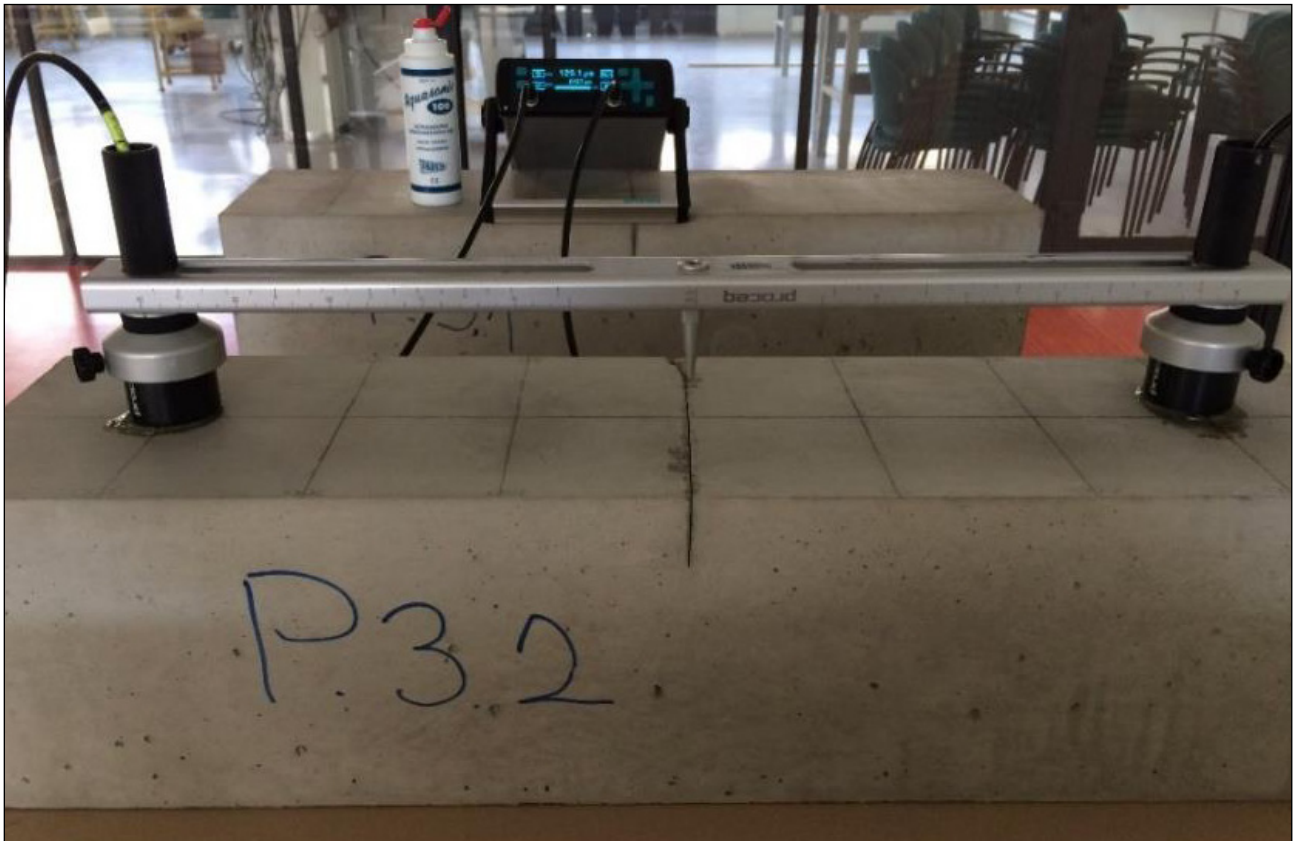
$$h = \sqrt{\frac{t_1^2 \times x_2^2 - t_3^2 \times x_1^2}{t_3^2 - t_1^2}}. \quad (5)$$

$$h = \sqrt{\frac{t_2^2 \times x_3^2 - t_3^2 \times x_2^2}{t_3^2 - t_2^2}}. \quad (6)$$

- mõõtetulemuste t_1 ja t_2 olemasolul kasutada valemit (4);
- mõõtetulemuste t_1 ja t_3 olemasolul kasutada valemit (5);
- mõõtetulemuste t_2 ja t_3 olemasolul kasutada valemit (6).

□ Laboratoorsed katsed | Katsekehad

Kokku projekteeriti ja valmistati 10 katsekeha (prismad mõõtmetega 200 × 200 × 800 mm), millele teostati heli leviku kiiruse saamiseks viis otsest mõõtmist ning hilisema praod sügavuse arvutamiseks 10 pinnalt mõõtmist (seejuures teostati mõõtmisi 1., 7., 14., 28., 42. ja 56. päeval). Prismadele projekteeriti sisse kindla sügavusega praod – 2 cm, 4 cm, 6 cm ja 8 cm, mis kujutavad endast 1 mm laiust õhupilu (Foto 1). Üks komplekt prismasid tehti tulemuste võrdlemise eesmärgil ilma praota. Katsekeha valmistamisel kasutati betooni tugevusklassiga C35/45 (tsement CEM II/A-Te 52,5N ning täitematerjali terasuurse suurim nimimõõde 16 mm).



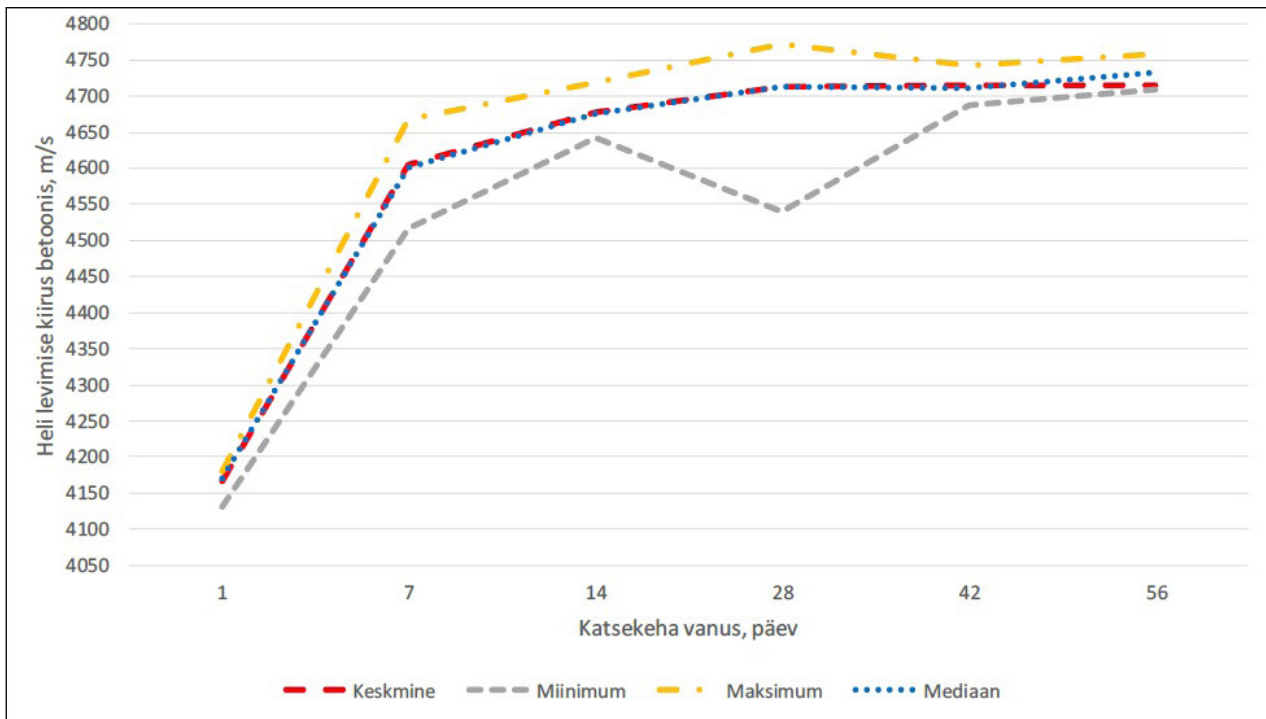
▲ Foto 1 | Pinnalt mõõtmine (taustal on näha ka mõõteseadet Proceq Pundit Lab[®])

□ Katsetulemused | Heli levimise kiirus betoonis

Heli levimise kiiruse kokkuvõtlikud tulemused on esitatud joonisel 4. Alla ühe nädala vanusel betoonil oli heli leviku kiirus aeglasem, kuid sellest järgmistel mõõtmistel jäi vahemikku 4500–4800 m/s. Statistilistest meetoditest on tulemuste analüüsimiseks kasutatud mõõtetulemuste keskmist, mediaani, miinimumi ja maksimumi.

Katsetuste käigus jõuti järgmiste järeldusteni:

- heli levimise kiiruse puhul on kõige õigem kasutada kõikide võrreldavate mõõtetulemuste maksimumväärtust, sest laine läbib materjali alati kõige lühemat teed pidi ning seejuures on laine levimise kiirus suurim (ja laine leviku aeg kõige lühem);
- alates 28 päeva vanustest katsekehadest on heli leviku kiirus betoonis praktiliselt konstantne.



▲ **Joonis 4** | Heli levimise kiirus betoonis sõltuvalt katsekeha vanusest

□ Prao sügavuse määramine

Prao sügavuse määramiseks mõõdeti laine levimise kiirus pinnalt mõõtmisel andurite neljas eri asetusel. Saadud tulemuste (t_0 , t_1 , t_2 , t_3) alusel arvutati prao sügavus kolmel meetodil, mille tulemused on esitatud tabelis 2. Tabelis näidatud arvutuslikud pragude sügavused on määratud iga katseseeria kõige väiksema laine levimise aja järgi. Prao tegelik sügavus oli teada, kuna proovikehade valmistamise käigus paigaldati betooni sisse metallleht, mis pärast betooni kivinemist eemaldati.

Nagu tabelist selgub, siis väga paljudel juhtudel prao sügavuse arvutamise valem ei toiminud. See probleem on põhjustatud laine levimise kiiruse mõõteveast ja andurite paigaldamise ebatäpsusest. Probleem esines pigem väiksema sügavusega pragudel, sest sellisel juhul on kahe mõõtetulemuse erinevus väga väike ja mõõteviga võib olla sellest suurem. Seda asjaolu arvestades otsustati alates 42. mõõtepäevast väikese prao sügavusega (2 cm ja 4 cm) katsekehasid edasi mitte mõõta.

Meetod 1 andis suhteliselt usaldusväärsed lõpptulemused. Seejuures sai selle meetodiga määra-

ta pragude sügavust ka alla 4 cm sügavuse korral. Alates 4 cm prao sügavuse korral jäi viga üldjuhul 1 cm piiridesse. Siiski tuleb arvesse võtta asjaolu, et tegemist oli keskkonnamõjude tõttu kahjustamata betooni pinnaga. See on tähtis aspekt, kuna see meetod eeldab sama heli leviku kiirust betooni pinnal ja betoonkeha sees, mis vanemate betoonkonstruktsioonide korral ei pruugi olla täidetud.

Meetod 2 ei ole alla 4 cm sügavuste pragude määramiseks piisavalt täpne, kuid on edukalt rakendatav alates 6 cm sügavustest pragudest. Seejuures jäi viga enamasti 1,5 cm piiridesse, olles 8 cm prao sügavuse korral vaid mõned millimeetrid, ületades seega täpsuselt ka meetodit 1.

Meetod 3 vajab erialakirjanduse põhjal täiendavat statistilist andmete tötlust ja iteratsioonimeetodite kasutamist. Uurimistöö piiratud mahu tõttu neid ei vaadeldud, kuid olemasolevate mõõteandmete põhjal on seda võimalik edaspidi uurida. Vaadeldud meetoditest on just meetod 3 kõige universaalsem, kuna võimaldab mõõtmisel kasutada väga erinevaid mõõtebaasi pikkuseid. Samas on meetod 3 tundlik ka valesti valitud mõõtebaasi suhtes.

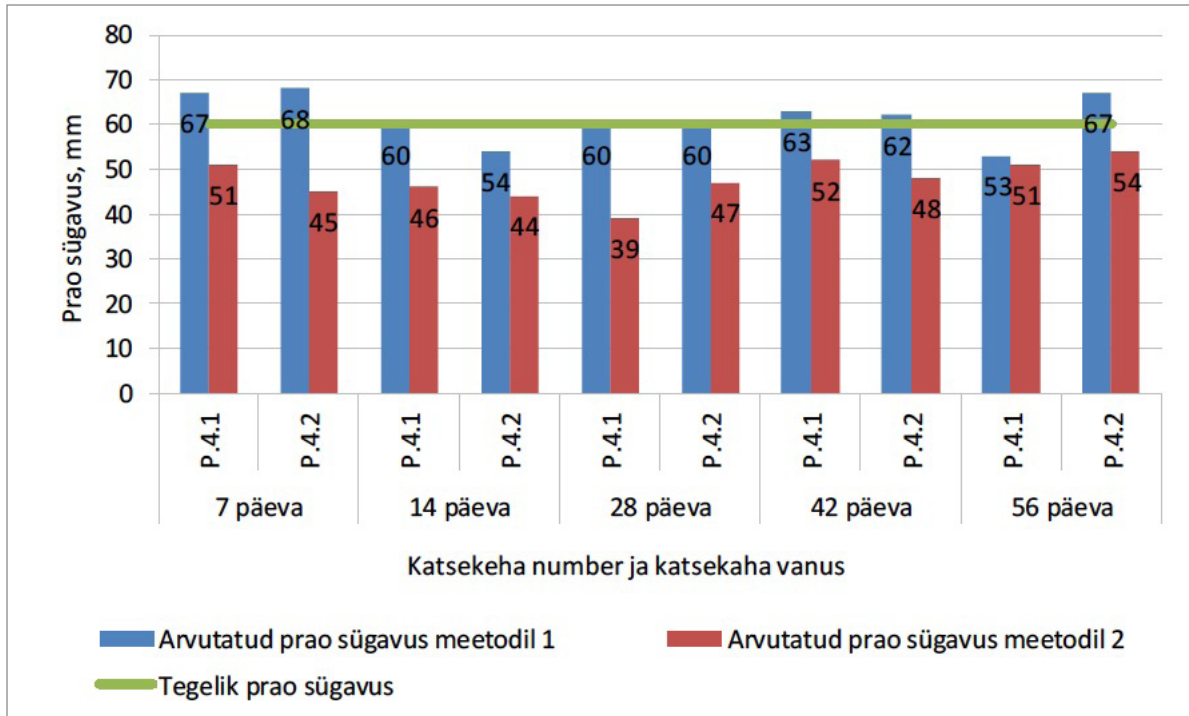
▼ Tabel 2 | Arvutatud pragude sügavused eri meetodite korral.

Katsekeha vanus	Katsekeha	Prao tegelik sügavus, mm	Arvutuslik prao sügavus mõõtetulemuste põhjal*,				
			Meetod 1 (t ₀ ja t ₁)	Meetod 2 (t ₁ , t ₂)	Meetod 3 (t ₁ , t ₂)	Meetod 3 (t ₁ , t ₃)	Meetod 3 (t ₂ , t ₃)
7 päeva	P.1.1	0	0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
7 päeva	P.1.2	0	0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
7 päeva	P.2.1	20	38	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
7 päeva	P.2.2	20	19	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
7 päeva	P.3.1	40	49	24	24	#NUM!	#NUM!
7 päeva	P.3.2	40	39	14	14	#NUM!	#NUM!
7 päeva	P.4.1	60	67	51	51	15	#NUM!
7 päeva	P.4.2	60	68	45	45	13	#NUM!
7 päeva	P.5.1	80	90	78	78	57	#NUM!
7 päeva	P.5.2	80	93	83	83	62	#NUM!
14 päeva	P.1.1	0	0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
14 päeva	P.1.2	0	0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
14 päeva	P.2.1	20	0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	24
14 päeva	P.2.2	20	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
14 päeva	P.3.1	40	45	23	23	17	#NUM!
14 päeva	P.3.2	40	37	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
14 päeva	P.4.1	60	60	46	46	34	#NUM!
14 päeva	P.4.2	60	54	44	44	17	#NUM!
14 päeva	P.5.1	80	93	79	79	57	#NUM!
14 päeva	P.5.2	80	92	80	80	62	#NUM!
28 päeva	P.1.1	0	0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
28 päeva	P.1.2	0	0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
28 päeva	P.2.1	20	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	30
28 päeva	P.2.2	20	16	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
28 päeva	P.3.1	40	46	28	28	23	#NUM!
28 päeva	P.3.2	40	34	17	17	#NUM!	#NUM!
28 päeva	P.4.1	60	60	39	39	#NUM!	#NUM!
28 päeva	P.4.2	60	60	47	47	42	#NUM!
28 päeva	P.5.1	80	88	78	78	72	44
28 päeva	P.5.2	80	89	77	77	59	#NUM!
42 päeva	P.4.1	60	63	52	52	46	#NUM!
42 päeva	P.4.2	60	62	48	48	45	30
42 päeva	P.5.1	80	88	77	77	72	55
42 päeva	P.5.2	80	88	78	78	60	#NUM!
56 päeva	P.4.1	60	53	51	51	49	40
56 päeva	P.4.2	60	67	54	54	50	31
56 päeva	P.5.1	80	88	81	81	77	62
56 päeva	P.5.2	80	87	81	81	78	67

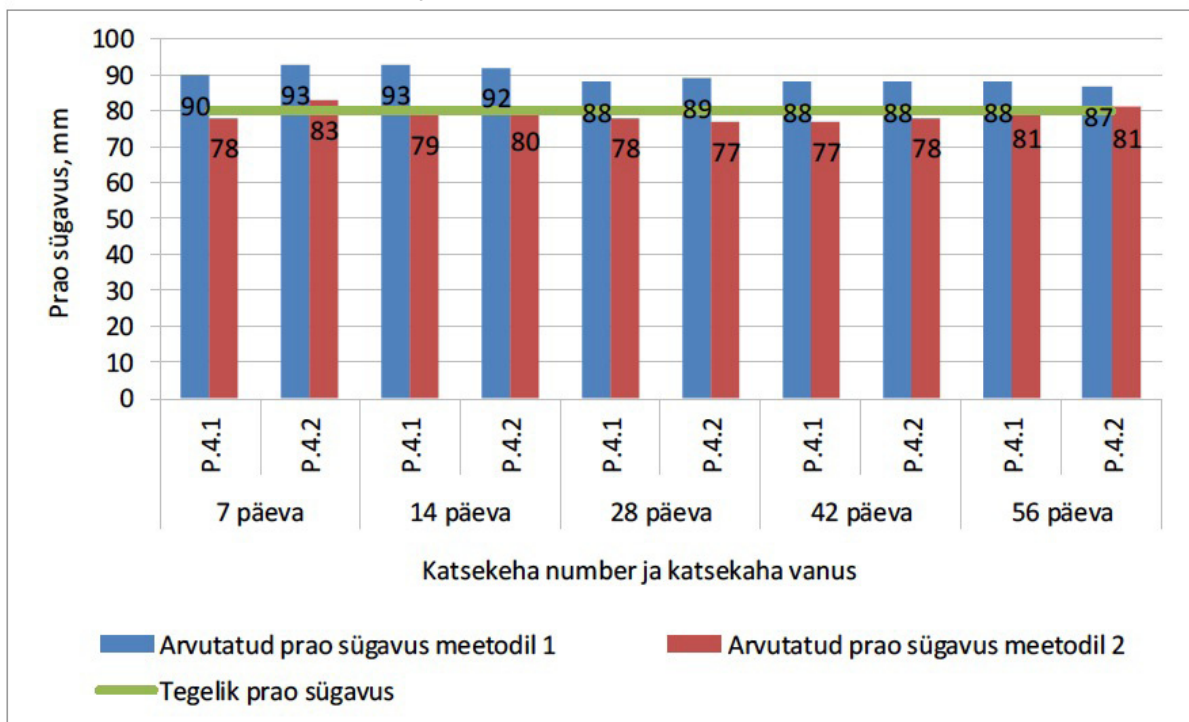
* #NUM! – vastav märges näitab, et lõpptulemus viga ületab mõõtevea tõttu prao sügavust

Parema ülevaate saamiseks on joonistel 5 ja 6 esitatud graafiliselt meetodite 1 ja 2 abil määratud pragude sügavused 6 ja 8 cm prao korral. Ühtlasi on graafikutelt näha, et arvestatavat korrelatsiooni katsekehade vanuse ja mõõtetulemuste vahel ei ole.

▼ **Joonis 5** | Mõõdetud ja tegeliku prao sügavuse võrdlus 6 cm prao korral, kasutades meetodeid 1 ja 2



▼ **Joonis 6** | Mõõdetud ja tegeliku prao sügavuse võrdlus 8 cm prao korral, kasutades meetodeid 1 ja 2



Mõõtetulemuste vea hindamine

Käesolevaga on hinnatud mõõtetulemuste vigu, mis koosnevad seadme mõõtmisveast ja andurite paigutamise ebatäpsusest. Seadme mõõtmisvea tuvastamiseks teostati võimalikult sarnastel tingimustel 100 kontrollmõõtmist. Kontrollmõõtmised näitasid, et:

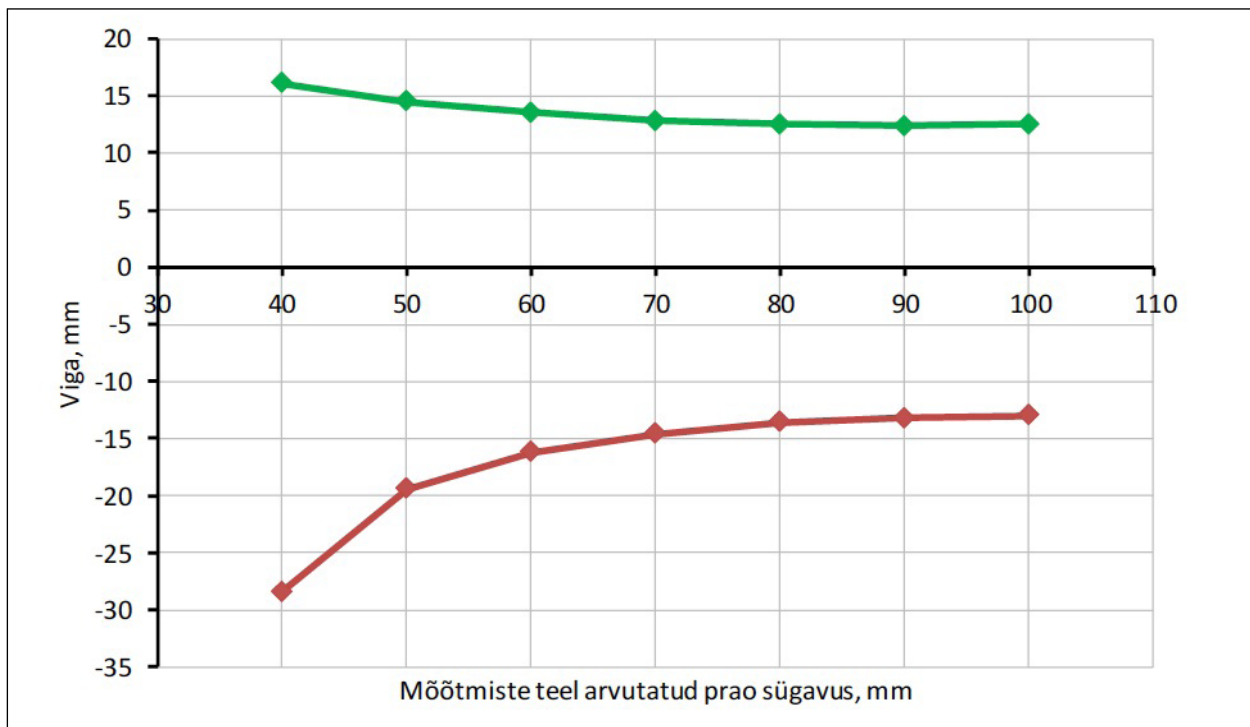
- mõõteseadme suhteline viga sõltub baasi pikkusest, olles lühema baasi korral suurem;
- kõikidel katseseeriatel jäi mõõteseadme suhteline viga (standardhälbe alusel) alla $\pm 1\%$;
- kui kasutada mõõteseadme suhtelist viga $\pm 1\%$, siis võib tekkida mõõtemääramatus alla 4 cm sügavuste pragude korral.

Teiseks sõltub mõõtetulemuse täpsus andurite paigutamise täpsusest. Siinkohal on viga kirjeldatud absoluutse veana, kuna anduri paigutamise

täpsus ei sõltu baasi pikkusest. Töö käigus läbi viidud katsetele tuginedes võib väita, et piisavalt hoolsalt töid läbi viies ning mõõtestatiivi kasutades, on võimalik saavutada täpsus ± 2 mm. Rasketes tingimustes (nt väliobjektidel) ning mõõtestatiivita töötades ei pruugi see täpsus olla saavutatav ja mõõtmiste läbiviija peaks vastavat viga objektiivselt korrigeerima. Kui mõõtetööde läbiviijal ei ole teisi andmeid, siis andurite paigaldamise veaks on soovitatav võtta ± 4 mm.

Mõõtetulemuse summaarse vea analüütiline hindamine on väga mahukas tegevus ja nõuab täiendavat uurimistööd. Joonisel 7 on näitena esitatud lõpliku vea hindamine meetodi 2 korral.

▼ **Joonis 7** | Mõõtmistulemustest (meetod 2, $x = 100$ mm, $v = 4000$ m/s) arvatud prao sügavuse võimalik viga, kui mõõteseadme täpsus on $\pm 1\%$ ja andurite paigaldamise täpsus ± 2 mm



■ Kokkuvõte

Artiklis on uuritud ultraheliseadme kasutusvõimalust betoonkonstruktsioonide pragude sügavuse määramisel. Artikkel baseerub mõõteseadmel Proceq Pundit Lab⁺, mida TTK ehitusteaduskond kasutab ehitiste seisukorra hindamisel.

Heli levimise kiiruse määramisel betoonis jõuti järgmistele tulemusteni:

- heli levimise kiiruse puhul on kõige õigem kasutada kõikide võrreldavate mõõtetulemuste maksimumväärtust, sest laine läbib materjali alati kõige lühemat teed pidi ning seejuures on laine levimise kiirus suurim;
- ühe päeva vanusel betoonil oli heli leviku kiirus aeglasem, kuid sellest järgnevatel mõõtmistel jäi vahemikku 4500–4800 m/s;
- alates 28 päeva vanustest katsekehadest on heli leviku kiirus betoonis praktiliselt konstantne (4750 m/sek).

Prao sügavuse määramiseks mõõdeti laine levimise kiirus pinnalt mõõtmisel andurite neljas eriasetuses. Saadud tulemuste alusel arvutati prao sügavus kolmel meetodil.

- Meetod 1 andis prao sügavuse määramisel suhteliselt usaldusväärsed lõpptulemused. Seejuures sai selle meetodiga määrata pragude sügavust ka alla 4 cm sügavuse korral. Alates 4 cm prao sügavuse korral jäi viga üldjuhul 1 cm piiridesse. Siiski tuleb arvesse võtta asjaolu, et tegemist oli keskkonnamõjude tõttu kahjustamata betooni pinnaga. See on tähtis aspekt, kuna see meetod eeldab sama heli leviku kiirust betooni pinnal ja betoonkeha sees, mis vanemate ning eelkõige välitingimustes paiknevate betoonkonstruktsioonide korral ei pruugi olla täidetud.
- Meetod 2 ei ole alla 4 cm sügavuste pragude ääramiseks piisavalt täpne, kuid on edukalt rakendatav alates 6 cm sügavustest pragudest.

Seejuures jäi viga enamasti 1,5 cm piiridesse, olles 8 cm prao sügavuse korral vaid mõned millimeetrid, ületades sellega ka meetodit 1.

- Meetod 3 vajab erialakirjanduse põhjal täiendavat statistilist andmete töötlust ja iteratsioonimeetodite kasutamist. Lõputöö piiratud mahu tõttu neid ei vaadeldud, kuid olemasolevate mõõteandmete põhjal on seda võimalik edaspidi uurida. Vaadeldud meetoditest on just meetod 3 kõige universaalsem, kuna võimaldab mõõtmisel kasutada väga erinevaid mõõtebaasi pikkuseid. Samas on meetod 3 eriti tundlik valesti valitud mõõtebaasi suhtes.

Väga paljudel juhtudel prao sügavuse arvutamise valemid ei toimunud. See probleem on põhjustatud laine levimise kiiruse mõõteveast ja andurite paigaldamise ebatäpsusest. Probleem esines pigem väiksema sügavusega pragudel (alla 4 cm), sest sellisel juhul on kahe mõõtetulemuse erinevus väga väike ning mõõteveiga võib olla sellest suurem. Mõõteseadme suhteliseks veaks on soovitatav kasutada väärtust $\pm 1\%$ ja arvestada, et andurite paigutamise täpsus on vahemikus ± 2 kuni ± 4 mm (sõltuvalt mõõtetööde läbiviija vilumusest ning katse läbiviimise tingimustest). Tuleb eraldi rõhutada, et prao sügavuse määramine on eriti tundlik andurite paigaldamise täpsuse suhtes ja võimalusel tuleks vältida andurite asukoha muutmist ühe mõõteseria jooksul.

■ Summary | Determining the Crack Depth in Concrete Using Ultrasound

The article researched the ultrasonic method for determining cracks in concrete. The article is based on the measuring equipment Proceq Pundit Lab⁺, which the Faculty of Construction of TTK University of Applied Sciences (TTK UAS) uses to assess the condition of structures

Determining the ultrasonic velocity in concrete produced the following results:

- in the case of velocity, the correct way is to use the maximum value of all measured test results, because the wave always passes through the material using the shortest path and therefore the velocity is the greatest;
- when determining the velocity, it is not suggested to use the minimum value, because the nonhomogeneity of concrete can cause the elongation of sound propagation;
- one-day old concrete had a slower velocity, but in the following measurements it remained between 4500-4800 m/s;
- starting from 28-day old test specimens, the velocity in concrete was practically constant.

The pulse velocity used to measure crack depths in concrete, was done from the surface using four different configurations of sensors. The obtained results were used to calculate the depth of cracks using three different methods:

- Method 1 gave a fairly reliable end result for crack depth and it can also be used to measure cracks less than 4 cm deep. Starting from crack depths of 4 cm, the error was usually up to 1 cm. It is still important to factor in that the concrete surface was undamaged by environmental effects. It is an important aspect, since this method assumes a constant ultrasound velocity near the surface and inside the concrete, which might not be so in the case of older concrete structures.
- Method 2 is not accurate enough to measure cracks less than 4 cm, but can be successfully used for cracks starting from a depth of 6 cm. The error was mostly up to 1,5 cm and in the case of an 8 cm crack it was only a few millimeters, exceeding the accuracy of method 1.
- Method 3 needs further statistical data analysis and the use of iteration methods. Due to the volume constraints of the thesis at hand, this

method was not studied as deeply, but the gathered data can be used to research this further in the future. Method 3 is the most universal out of all the methods in question, since it allows the use of very different measurement base lengths. At the same time, method 3 is especially sensitive to a wrong measurement base.

In very many cases, the formulae for calculating the depth of a crack did not work. Such a problem is caused by the error in ultrasonic velocity and the incorrect placement of sensors. The problem occurred in measuring cracks with a smaller depth (below 4 cm), for in such cases the difference in the two measurements is very small and the measurement error can be greater than that. When measuring with ultrasound, it is suggested to use a measurement error of $\pm 1\%$ and to take into account that the accuracy of placing the sensors is between ± 2 to ± 4 mm (depending on the skills of the person conducting the measurement and the conditions). It is further needed to stress the fact, that the measuring of a crack is especially sensitive to the placing accuracy of the sensors and if possible, relocating of the sensors during one measurement series should be avoided.

■ Viidatud allikad

1. S. M. M. G. J. H. Bungey, Testing of Concrete in Structures, 4th Edition, London, New York: Taylor&Francis, 2006, p. 353.
2. A. M. I. J. P. P. B. A. R. C. A. Pinto, Use of Ultrasound to Estimate Depth of Surface Opening Cracks in Concrete Structures, Florianópolis: Civil Engineering Department, Federal University of Santa Catarina, 2010, p. 11.
3. British Standard Institution, BS 1881-203:1986. Testing Concrete. Recommendations for Measurement of Velocity of Ultrasonic Pulses in Concrete, London: British Standard Institution, 1986.

□ *Zero-Waste*'i ehk jääkideta disaini meetodil rõivakomplekti loomine

Autor: Katre Worth

Juhendajad: rõiva ja tekstiili instituudi lektor **Diana Tuulik**, rõiva ja tekstiili instituudi lektor **Teele Peets**

□ Sissejuhatus

Lõputöö vaatleb *zero-waste*'i ehk jääkideta disaini rolli moetööstuses ja arutleb selle moesuuna vajalikkuse üle. Töös on keskendunud kangajääkide elimineerimisele disaini kaudu, integreerides kogu kanga tootesse. Lisaks sellele vaatleb autor *zero-waste*'i tähendust ka laiemalt, mis siin tähendab kangaste valikut, mis toetaks nii *Zero-waste*'i kui ka jätkusuutlikkuse põhimõtteid. Töö eesmärgiks on luua rõivakomplekt, mille kanga kasutamise efektiivsus on 100% ning selle valmistamisel oleks arvestatud valitud kanga omadustega. Seatud eesmärgi saavutamiseks on esmalt tutvutud *zero-waste*-meetodi ajalooga ja arutletud, mis rolli mängib meetod moetööstuses tulevikus. Loetletud on disainereid, kes viljelevad *zero-waste*-meetodit ning uuritud ja analüüsitud nende loomingut – tehnikaid ja põhimõtteid. Selgitatud on kanga valiku põhimõtteid ja uuritud nõgest kui kiutaimet, selle omadusi ning miks on see kangas vastavuses *zero-waste*-põhimõtetega. Autor otsib vastust küsimusele, miks pole *zero-waste*-meetodit hakatud praktiseerima suur- tööstustes ja kuidas lahendada meetodiga seotud kitsaskohti.

□ *Zero-waste*'i ehk jääkideta disaini olemus

Zero-waste-kontseptsiooni võib vaadelda kui ringset süsteemi, kus kõigal on kasutusotstarve ja miski ei välju ringlusest jäägina. Lähtuvalt sellest saab *zero-waste*'i ehk jääkideta disaini kontseptsiooni rõivatööstuses (või ka mõnes muus tootmisega tegelevas tööstuses) vaadelda kui

meetodit, mis tegeleb tootmise käigus tekkivate jääkide nullini viimisega, integreerides neid tootesse või kasutades ära kellegi teise ülejäägid. [1]

Zero-waste-meetodil põhineva rõivadisaini saab jagada laias laastus kaheks – tarbija-eelne ja tarbija-järgne. Esimene neist tegeleb jääkide kõrvaldamisega tootmisprotsessi käigus, mis eeldab, et toote valmistamisel tarvitatakse ära kogu kangas. Teine meetod kasutab juba ringluses olevaid esemeid neid ümberdisainides, vältimaks toodete äraviskamist. [2] Mõlema meetodi eesmärgiks on vähendada jäätmete hulka ja väärtustada ressursse.

Lõputöös on *zero-waste*-olemust defineeritud kui jääkideta disaini, mis keskendub tarbija-eelsele *zero-waste*-meetodile, elimineerides kangajäägid toote disaini kaudu ja integreerides tootesse kogu kanga, sh ultiääred. Lisaks kanga 100%-lisele kasutamisele, mida autor käsitleb kui *zero-waste*-meetodi kitsamat tähendust rõivadisainis, on mõistet rakendatud ka laiemas tähenduses. *Zero-waste*'i laiema tähenduse all rõivadisainis peab lõputöö autor silmas, et valitud kanga tootmisprotsessis oleks ressursside, sh vee- ja taimekaitsevahendite kasutamine minimaalne ning et kogu tooraine leiaks pärast kiu eemaldamist kasutusotstarbe.

□ *Zero-waste*'i ehk jääkideta disaini meetodil rõivakomplekti kavandamine

Zero-waste-meetodi puhul algab disainiprotsess erinevalt traditsioonilisest disainiprotsessist kanga valikuga. Kanga valikust sõltub, milliseks

kujuneb toote disain, lõikeline lahendus, tehnoloogilised sõlmed ja lekaalide paigutus. Tähtsaks saavad nii kanga tehnilised parameetrid, mida mõjutavad kanga koostis, sidus ja viimistlus kui ka eetiline pool, mis tähendab keskkonda säästvat kangatootmise protsessi, alustades kiutaimede kasvatamisega ning lõpetades kanga viimistluse ja transpordiga, mis toetaks jätkusuutliku arengu põhimõtteid.

Pidades silmas kanga tehnilisi parameetreid ja eetilist olemust, on planeeritavaks kangaks nõgese kiust valmistatud kangas. Kõrvenõgest (*Urtica dioica*) on Kesk-Euroopas kiutaimena teadaolevalt kasutatud juba alates 12. sajandist. Tööstuslikul teel nõgesest kiu tootmine algas 19. sajandil, pakkudes I ja II maailmasõja ajal head alternatiivi puuvillale. [3] Omadustelt sarnaneb nõgese kiud lina ja kanepi kiule. Lisaks võib öelda, et nõgesest valmistatud kangas ei hallita ega tõmba pesus kokku. Ka on nõgese kiud kergem kui lina ja kanep, sest varre puitunud osa all üksikult paiknevad kiud on seest õõnsad, millest ühtlasi tuleneb ka nõgese kiu isolatsioonivõime. [4], [5], [6, p 151]

Pärast kanga valikut on oluline määratleda sihtgrupp, kellele sellise kontseptsiooniga komplekt on suunatud ning mis puhul ja kus seda kantakse. Autori loodud kliendi profiiliks on keskkonnateadlik klient, kes hindab looduslikke materjale ja omanäolisust. Enda riietuse juures peab ta oluliseks eelkõige selle eetilistust, seda nii kanga kasutuses kui ka rõivaste valmistamise protsessis. Talle on oluline teada, et kantav rõivas toetab säästva arengu põhimõtteid, olles samas mugav ja praktiline.

Kavandatud kevad-suvise komplekti moodustavad avaralõikelised voodrita mantel, püksid ja pluus (joonis 1). Komplekti näol on tegemist üks-suurus-sobib-kõigile stiilis toodetega, mis on inspireeritud Eesti rahvarõiva püstkraega särkidest, kiilude kasutamisest ja tikanditest. Tooteid luues pole lähtunud hetketrendidest, vaid pigem

püütakse minimalistliku disaini kaudu rõhutada komplekti ajatust, lihtsust ning selgust. Lõiked on konstrueeritud minimaalse lekaalide arvuga, samuti on kasutatud vähe abimaterjale. Kõik komplekti juures kasutatavad materjalid on looduslikku päritolu, rõhutamaks toodete naturaalsust.

Erinevalt traditsioonilisest disainiprotsessist toimub *zero-waste*-meetodi puhul toote disaini, lõike tegemise, tehnoloogia valimise ja juurde-lõikusprotsess samaaegselt. See tähendab pidevat arutelu ning kompromisside tegemist kõigi rõiva valmistamise etappide vahel, alustades moe kavandamisest kuni õmblemise ja lõppviimistluseni välja. Iga järgnev samm tuleb eelnevaga kooskõlastada, et protsessi lõpp-produkt, praegusel juhul püksid, mantel või pluus, oleks vastavuses *zero-waste*-põhimõtetega, ohverdamata selle esteetilisust ja praktilisust.

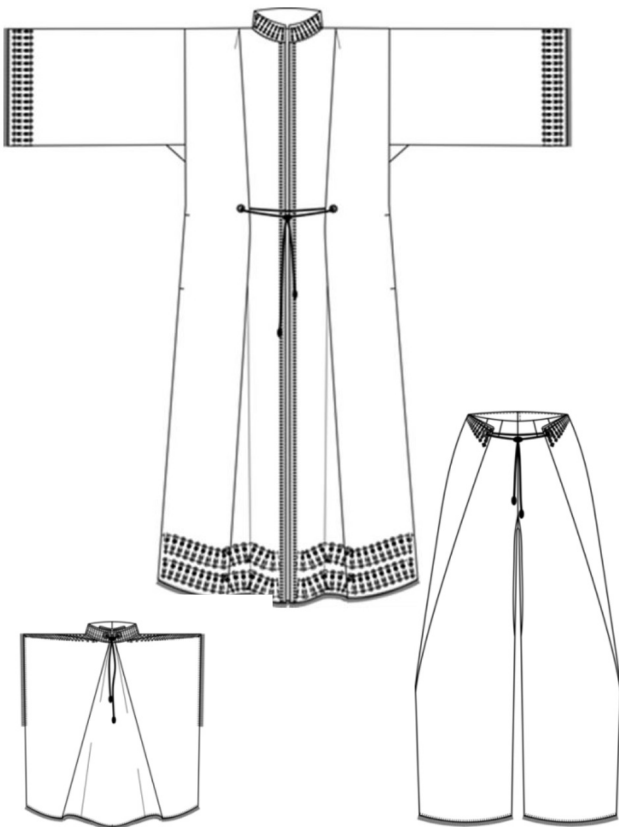
▣ Lõigete konstrueerimise meetodika

Zero-waste on moesuund, mille puhul on võimalik lõigete konstrueerimisel kasutada erinevaid tehnikaid neid omavahel kombineerides ning täiustades. Nii palju, kui on jääkideta disaini viljelejaid, on ka erinevaid lähenemisviise ja stiile, kuid nende kõigi eesmärgiks on luua toode, mis ei tekitaks kangajääke ja oleks nii eetiline kui ka esteetiline. Lõputöös on võrreldud *zero-waste*-disainerite lõigete valmistamise tehnikaid, nagu Timo Rissaneni kasutatav *puzzle*-tehnik, kus lekaalid paigutatakse kangale justkui pusletükid; ruutmosaaiiline tehnik, kus kangale prinditud lõikejooned lõigatakse laserlõikajaga välja ning toode modelleeritakse otse mannekeenile, mille harrastajaks on Holly McQuillan, või siis Julian Robertsi leiutatud meetod *Substraction cutting*, kus keha suunatakse läbi kanga sinna lõigatud avade kaudu ning soovitud rõiva vorm saavutatakse mitte kanga lisamisega, vaid pigem selle eemaldamisega. [7, pp 86–191], [8]

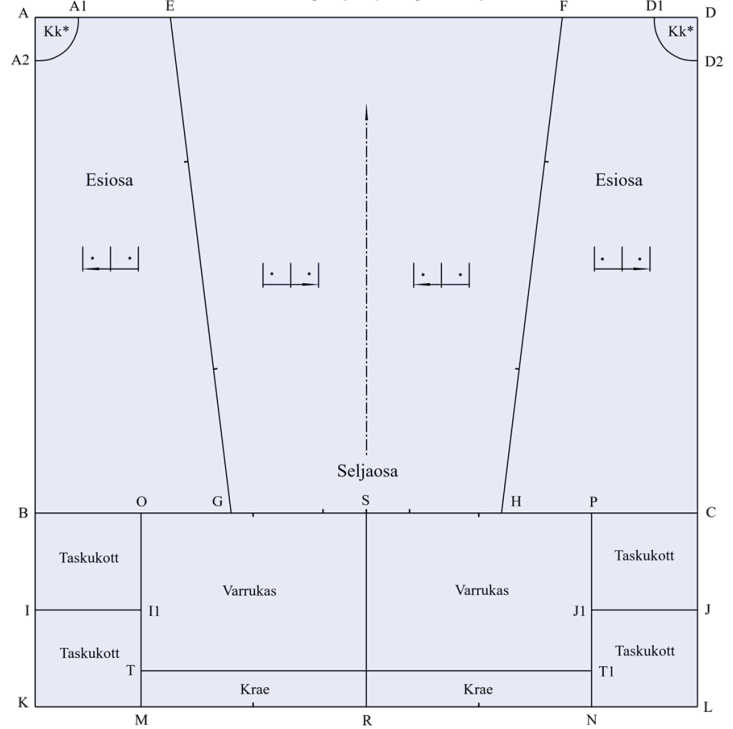
Kirjeldataud tehnikaid analüüsid ja võrreldes

on zero-waste-meetodil loodud rõivakomplekti lõigete konstrueerimisel kasutatud kahte lähenemisviisi. Esimesel, mantli ja pluusi puhul, on toode konstrueeritud nelinurkadest (joonis 2 ja 3). Kohe on arvestatud kanga laiust ning lekaalid konstrueeritud ja paigutatud sellest lähtuvalt. Nelinurksetest kujunditest koosneva rõiva eelis on selle lihtsus, kuna ei teki ebamäärase kujuga vahetükke, millele hiljem kasutusotstarvet leida. Ühtlasi on võimalik minimeerida lekaalide ja õmbluste arvu. Tehnika puuduseks võib pidada, et see on sobilik vaid avaralõikeliste rõivaste loomiseks, mis ei järgi kehakumerusi. Teise lähenemisviisi puhul, millega on konstrueeritud püksid, on esmalt valmistatud põhilõige, millest on tuletatud omakorda moekohane lõige (joonis 4). Sellele on tehtud paigutusjoonised ja tekkinud vahekadudele on leitud kasutusotstarve ning vajadusel on lekaale muudetud. Zero-waste'i lähenemisviisi/tehnika eeliseks on selle tuttavlikkus töö esimeses etapis, sest põhilõiget konstrueeritakse harjutud viisil, puuduseks võib pidada, et lõike tegemisel tekivad ebakorrapärase kuju ja suurusega vahetükid, millele tuleb leida kasutusotstarve.

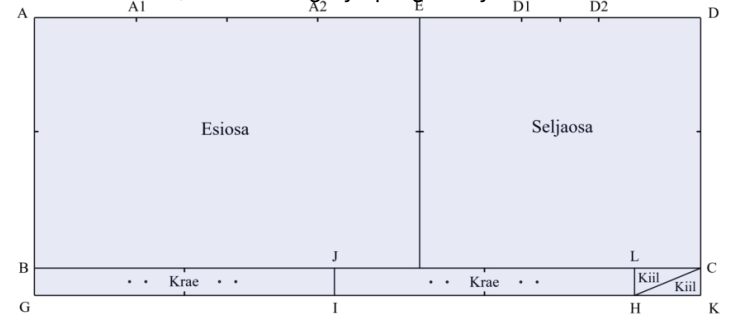
▼ Joonis 1 | Mantli, pluusi ja pükste tehniline



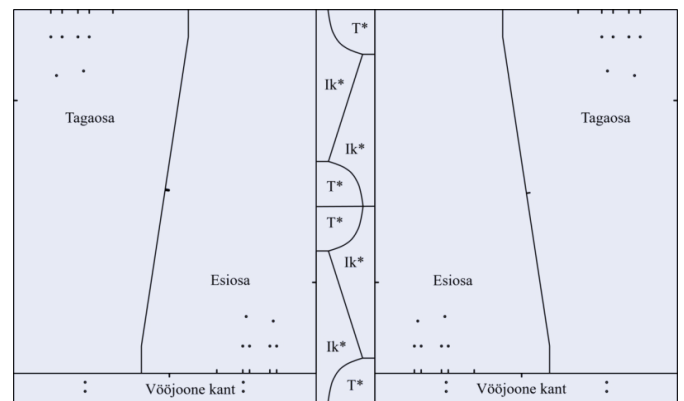
▼ Joonis 2 | Mantli lõige ja paigutusjoonis



▼ Joonis 3 | Pluusi lõige ja paigutusjoonis



▼ Joonis 4 | Pükste lõige ja paigutusjoonis



Kuna lõigete konstrueerimine ja paigutusjooniste tegemine toimub samaaegselt, lisatakse lõigetele kohe ka õmblusvarud ning mõeldakse välja õmblustehnoloogia. Selle komplekti puhul on kõik nähtavale jäävad lõikeservad õmmeldud kaskahekordse õmblusega või kaetud lõikeservaga kappõmblusega, et tagada rõivaste esteetiline välimus ka toote sisemisel poolel.

□ Järeldused

Zero-waste'i ehk jääkideta disaini võib vaadelda kui ideaalset korraldust moetööstuses, kus kogu kangas integreeritakse 100%-liselt tootesse ning ühes sellega väärtustatakse kiutaime kasvatamisele, töötlemisele, kanga kudumisele, viimistlemisele, toote õmblemisele ja transpordile kulutatud ressursse ning lahendatakse kanga jääkide probleem. Pidev koostöö tootmisetappide vahel (disain, tehnoloogia väljatöötamine, paigutus- ja jooniste tegemine, juurdelõikus, õmblemine jne) tagab, et eri positsioonidel töötavad töölised oskavad näha n-ö suuremat pilti, mis ei lõpe nende tööruumiga ning langetada otsuseid, mis muudavad tootmisprotsessi tõhusamaks ja ressursse säästvamaks. Siinkohal tekibki küsimus, miks pole *zero-waste* leidnud teed tänavamoodi ja seda praktiseerivad pigem üksikud moeloojad kui suurtööstused? Sama küsimus oli ka lõputöö kirjutamise ajendiks ja sooviks mõista moetööstuse, sh *zero-waste*-moesuuna kompleksset maailma.

Töö kirjutamise ja komplekti loomise käigus leidsid vastuse paljud küsimused, näiteks kanga absoluutne 100%-line kasutamine – kas toote õmblemise käigus äralõigatavad väljahargnenud niidid, kanga kokkutõmbuvusest ja venimisest tulenevad lekaalide ebatäpsuste tasandamised või nurkade sujuvamaks lõikamised tähendavad, et toode pole täielikult *zero-waste*-meetodil loodud? Autor leiab, et iga *zero-waste*-juhtumit tuleb käsitleda eraldi ning kui minimaalne kanga kadu tagab esteetilisema välimuse, on see õigustatud. Teise tekkinud küsimusena esitab autor väikestele detailidele kasutusotstarbe leidmise, mille lahenduseks pakub ta välja, et toode disainitaks nii, et ei tekiks üleliigseid detaile, millele hiljem kasutusotstarve leida. Kuigi tooted on disainitud üks-suurus-sobib-kõigile stiilis ja tehnilist paljundust neile tehtud pole, on autor arvamusel, et sellele tuleks läheneda loominguviselt, võttes arvesse toote omapärasid.

Autori esimene katsetus luua *zero-waste*'i ehk jääkideta disaini meetodil rõivakomplekt, kujunes huvitavaks ja väljakutsuvaks ülesandeks. See ergutas kasutama fantaasiat ja nägema rõiva loomise protsessi kui tervikut. Töö algusetappides esitatud küsimusele: miks pole *zero-waste* jõudnud massidesse, päris selget ja ühest vastust ei leitud – see annab võimaluse probleemiga edasi tegeleda.

□ Kokkuvõte

Lõputöö eesmärgiks oli luua *zero-waste*-meetodil valmistatud rõivakomplekt, mille kavandamisel, tehnoloogia valikul ja lõike konstrueerimisel oleks arvestatud valitud kanga tehnilisi parameetreid ja omadusi. Lisaks oli autori sooviks kanga valikul järgida *zero-waste*-põhimõtteid ning kasutada kangast, mille kiutaime kasvatamine ja kiuks töötlemine kulutaks minimaalselt vett ja taimekaitsevahendeid ning samas saaks pärast kiueraldamist järelejäävad taimeosad muul otstarbel realiseerida, et väärtustada kogu ressursi ja vältida jääkide teket.

Lõputöö käigus valmis kolmest tootest koosnev rõivakomplekt, kuhu kuuluvad mantel, püksid ja pluus. Rõivad on üks-suurus-sobib-kõigile stiilis ja kõigi kolme toote kanga kasutamise efektiivsus on 100%. Komplekt on inspireeritud Eesti rahvapärimuse püstkraega särkidest ja kiilude kasutamisest kaelakaares, käeaugukaares ning istmikuõmbluse vahel. Tooted on avaralõikelised ning minimalistlikud, koosnedes võimalikult väikesest arvust lekaalidest ja õmblustest. Kõik kasutatavad materjalid on looduslikku päritolu, rõhutatakse komplekti naturaalsust.

□ Summary | Designing a Zero-Waste Collection

The aim of this diploma thesis is to create a zero-waste collection that's design, choice of technology and pattern making take into account technical parameters and characteristics of a

given fabric. Furthermore the author`s ambition is to utilize the zero-waste concept also in the process of choosing the fabric. This means that cultivation of the plant and its fiber processing includes a minimal use of water and fertilizers. It is also important that the part of the plants which are remaining after removing fiber from the stem would find use in some other field of application to value the resource and prevent waste.

Together with the diploma thesis, a mini collection was developed which includes a coat, trousers and a blouse. All those products are designed according to the one-size-fits-all principle and the fabric usage is 100%. The collection is inspired by Estonian traditional clothing that features stand-up collar shirts and gussets between shoulder seams, armholes and crotch. All of the used materials are of natural origin to emphasize the genuineness of the collection.

The conclusion points out questions and discussion topics that were raised during the writing process. It provides answers to the research questions, offers possible solutions, and gives ideas for new research topics. To sum up the aim of the thesis to create a zero-waste collection was achieved.

4. J. Müssig, *Industrial Applications of Natural Fibers*, West Sussex: John Wiley & Sons, 2010.

5. „Swicofil,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.swicofil.com/products/016nettle.html#Properties>. [Kasutatud 20. aprill 2017].

6. L. Luhamaa, „Nõges Vormsi moodi: ülevaade 2012. aasta juulis Vormsil toimunud nõgesekiu töötlemise töötoast,“ *Lugusid Materjalidest*, 2013.

7. T. Rissanen ja H. McQuillan, *Zero Waste Fashion Design*, London: Bloomsbury, 2016.

8. J. Roberts, „Free Cutting,“ 2013. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 13. märts, 2017].

▣ Viidatud allikad

1. „Artun,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.artun.ee/jaakideta-disain-zero-waste/>. [Kasutatud 11. märts, 2017].

2. „Wikipedia,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Zero-waste_fashion. [Kasutatud 11. märts, 2017].

3. MRI Loodusteaduste Didaktika Lektoraat Tartu Ülikool, „Eesti Taimed,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://bio.edu.ee/taimed/oistaim/no-ges2.htm>. [Kasutatud 14. märts, 2017].

□ Katteõmblusmasina operaatorite töö analüüs efektiivsuse tõstmiseks AGN OÜ-s

Autor: Kirsti Palmi

Juhendaja: ettevõtte AGN OÜ tootmisjuht Kristi Lell.

□ Sissejuhatus

Uurimistöö eesmärgiks oli AGN OÜ katteõmblusmasina operaatorite töö uurimine, kuna nende masinõmblejate tööefektiivsus oli väga suure erinevusega. Lisaks oli tekkinud konflikt päevase tootmisefektiivsuse ja tööoperatsiooni jõudluse vahel. Katteõmblusmasina operaatorid valiti välja töötulemuste järgi, kus võrreldi tööoperatsioonide sooritusajaga ette antud standardajaga, st kas masinõmblejad jõuavad kehtestatud standardajaga operatsiooni sooritada.

Selleks, et välja selgitada katteõmblusmasina operaatorite normide mittetäitmise põhjused ning teha ettepanekuid produktiivsuse tõstmiseks, kasutati uurimistöös kolme meetodit: normaalaja uuringuid, päevapildistamist ja õmblejate mikroliigutuste uuringuid. Normaalaja uuringuid rakendati kehtivate standardaegade paikapidavuse kontrollimiseks ja masinõmblejate jõudluste väljaselgitamiseks. Päevapildistamiste varal selgitati välja liigsed ajakulutused tööpäevas ning mikroliigutuste uuringuga vaadeldi ja uuriti katteõmblusmasina operaatorite töömeetodeid.

□ Metoodika | Normaalaja uuringud

Normaalaja uuringuid kasutatakse operatsiooni sooritamise aja kindlaksmääramiseks. Uuringute eesmärgiks on arendada ja kontrollida standardaegu.

Normaalaja uuringute vaatlusobjektideks valiti pükste allääre, toote kumera allääre, toote ringse allääre ja varruka allääre õmblemise operat-

sioonid. Uuritavad operatsioonid jagati kolmeks, eraldades masintöö aja toote/detaili käsitlemise aegadest, ning seejärel mõõdeti iga elemendi kestvus. Kusjuures tööuurijad eelistavad sentimeeterminutitega stopperkella, millel üks minut on võrdeline 100 sekundiga.

Uuringute tulemused korrastati kronometreerimisega, võttes arvesse, et uuritavas õmblusettevõttes on töö korraldatud seeriatootmise põhimõttel. Kronometreerimisel võrreldakse tegelikku püsivustegurit normatiivsega ning soovitakse tekitada olukord, kus esimene on teisest väiksem. Vastupidises olukorras tuleb mõõtreaast kustutada teistest kõige rohkem erinevad tulemused. Võrdluses kasutatav normatiivne püsivustegur kPN on spetsialistide välja töötatud ning erineb tootmistüübi, operatsiooni kestvuse ja tööelemendi sooritamise viisi poolest (kas masinaga, masinaga ja käsitsi või käsitsi). Tegelik püsivustegur kPT arvutatakse mõõtrea suurima ja vähima tulemuse jagatisena [7] [1, p. 249]:

$$k_{PT} = A_{max} / A_{min} \quad (7)$$

kus A_{max} – tööelemendi suurim väärtus;
 A_{min} – tööelemendi vähim väärtus.

Jõudluse määramiseks kasutati Robert Lee Morrow välja töötatud sünteetilist ehk arvutuslikku meetodit, saades ühtlasemad tulemused kui vaateleja hinnangule toetuva meetodiga. Sünteetilisel jõudluse määramisel võrreldakse normaalaja uuringus saadud tulemusi varem kindlaks määratud standardaegadega [8] [2, p. 392]:

$$P = \frac{F}{O} \cdot 100\%, \quad (8)$$

kus F – ettevõtte määratud standardaeg;
 O – vaatluste käigus mõõdetud operatsiooni aeg.

Tööpäeva pildistamine

Tööpäeva pildistamisega uuriti õmblejate tööpäeva struktuuri ja selle elemente jooksva aja järgi ühe minuti täpsusega. Kuna tööpäevades esines mitmeid olulisi osasid, mis kestsid alla ühe minuti, siis nende kajastamiseks märgiti päevapildistamise ankeedile, mitu korda tööline selliseid töötegevusi teostas ning nende kestvus mõõdeti mõõtekellaga. Hiljem arvutati sarnaste mõõdetud töötegevuste keskmine kestvus, korrutati päeva jooksul tehtud kordadega, lahutati etapiajast ja liideti tööajakulusele, kuhu töötegevus kuulub. Sellisteks lühikesteks tegevusteks olid: talongi võtmine ja nimetähtede kirjutamine, paki vahetamine, stange vahetamine ja õmbluspraagiga tegelemine.

Mikroliigutuste uuringud

Töömeetodite uurimisel kasutati mikroliigutuste meetodit, kus filmi masinõmbleja operatsiooni sooritusest jagab arvutiprogramm lühikesteks, umbes 0,2-sekundilisteks kaadriteks, seejärel analüüsitakse liigutusi kaader haaval ning registreeritakse andmed SIMO tabelisse (Tabel 3). [2, pp 223–225]

▼ **Tabel 3** | Lõik SIMO tabelist [2, pp 223–225]

Nr	Elemendi aeg, sek	Vasak käsi	Tähis	Liigutuse klass				
				1	2	3	4	5
1	0,44	Liigub varrukale	RE					
2	0,05	Võtab varruka allääre serva	G					

SIMO tabelis on esitatud vasaku ja parema käe liigutuste kestvused, nende sisu, liik ja klass. Klassi märkimisel värvitakse ära ruudud kuni kõrgema klassini, mis vaadeldava liigutuse juures esines. [2, pp 223–225]

Käesolevas uurimistöös sooritati mikroliigutuste analüüs kõikide õmblejate ühele toote ringse allääre ja ühele varruka allääre operatsioonile.

□ Tulemuste analüüs | Normaalaja uuringute analüüs

Normaalaja uuringute jooksul vaadeldi kokku 63 operatsiooni, millest 14 ehk 22% oli sooritatud alla normaaljõudluse ning 78% oli sooritatud normaaljõudlusega või efektiivsemalt.

Suurima keskmise jõudlusega (158,27%) oli õmbleja 347 ja väikseimaga (95,06%) 342, kelle keskmine operatsioonide jõudlus jäi uuringutes ainsana alla normaaljõudluse ehk 100% (tabel 4).

▼ **Tabel 4** | Õmblejate keskmine jõudlus

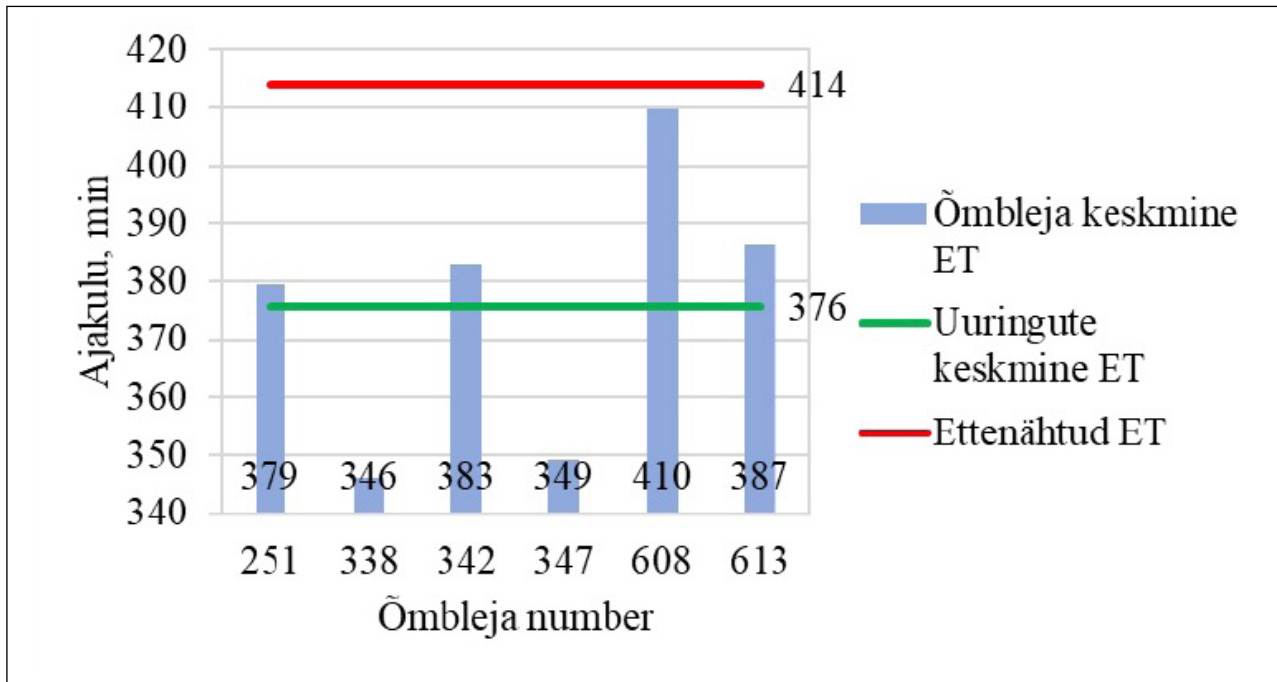
Operatsioon	Keskmine jõudlus, %						
	251	338	342	347	608	613	621
Toote kumer alläär	127,11	82,18	100,85				
Toote ringne alläär	110,36	125,22	85,73	152,94		88,50	
Varruka alläär		155,39	98,59	163,60	106,72	124,17	
Pükste alläär	137,52						107,32
Keskmine	125,00	120,93	95,06	158,27	106,72	106,34	107,32

Tööpäeva pildistamiste analüüs

Tööpäeva pildistamistest selgus, et normatiivset etapiaega ET (414 minutit ehk 86% 480-minutisest tööpäevast) ei suutnud ükski vaadeldud töölistest täita (Joonis 8). Kõige lähemal eesmärgile oli õmbleja 608, kes jättis mõlemal vaadeldud tööpäeval kasutamata pool ettenähtud taastusajast.

Reaalselt kasutasid õmblejad keskmiselt 376 minutit ehk 78,27% tööpäevast etapiajaks ET. Tegelike tulemuste ja normatiivse aja vahe tuleneb sellest, et uuringute käigus registreeriti liigseid ajakulutusi ettevalmistusajaks, päevakonstandis ja pausiajas ning selle tulemusena vähenes aeg tegevusteks, mis olid otseselt vajalikud toodete töötlemiseks.

▼ Joonis 8 | Etapiaegade võrdlus 480-minutise tööpäeva jooksul



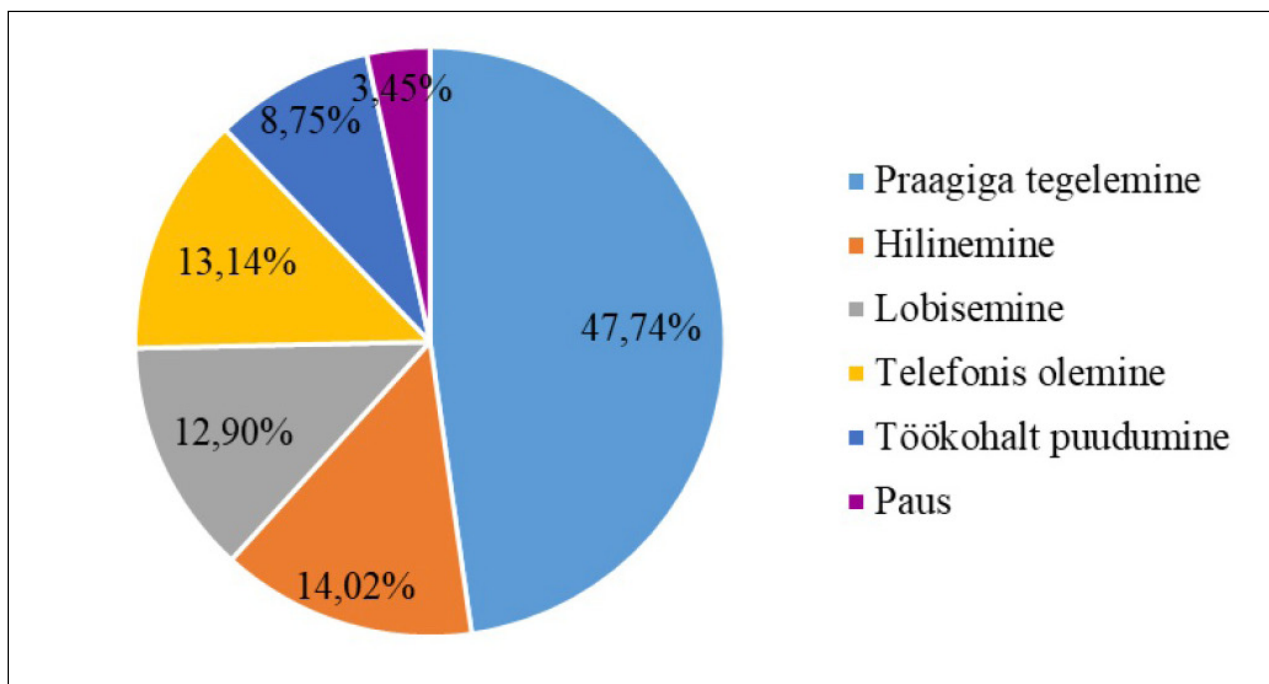
Ettevalmistusajaks on AGNis katteõmblusmasina tööle kehtestatud 11 minutit, kuid uuringutes kasutati toodete ja detailide käitlemiseks 16,82 minutit. Suurimateks ajakulutusteks olid paki vahetamine (7,07 minutit), operatsioonitalongide rebimine nimetähtede kirjutamisega (5,78 minutit) ja talongide kleepimine päevatöölehele (3,12 minutit).

Uuringutes jäi kolme tööliste kasutatud ettevalmistusaeg alla normi või normi piiresse, kuid kahel töölisel ületas tegelik aeg rohkem kui kaks korda normi.

Päevakonstandiks kasutati uuringutes keskmiselt 20,78 minutit kehtestatud 10 minuti asemel ning kõikide õmblejate kasutatud ajad ületasid normi. Päevakonstandi ajamahukamateks tegevusteks olid stange vahetamine (4,43 minutit), niidistamine (4,23 minutit) ja töö vahetamine (3,72 minutit).

Suurimaks liigsete ajakulutustega elemendiks oli pausiaeg. Nimelt ei ole ettevõttes seda päevatöö sisse arvestatud, mis tähendab, et seda ei tohiks esineda. Uuritud operaatorid kasutasid pausiajaks keskmiselt 24,10 minutit ehk 5,02% tööpäevast. Kui vaadelda õmblejaid eraldi, siis oli töötaja (608), kellel vaadeldud päeval pausiaega ei esinenud, leidis ka operaatoreid (338, 347), kelle kasutatud pausiaeg oli 48,82 ja 59,09 minutit.

Suurimaks ajakulutuseks oli praagiga tegelemine, millele kulus keskmiselt 11,51 minutit ehk peaaegu pool pausiajast (Joonis 9). Hilinemise (3,38 minutit) all on mõeldud hommikul hiljem töö alustamist ning lõunalt õigeaegselt mittenaasmist. Telefonis olemise ja töökaaslastega lobisemise peale kulus ligikaudu kolm minutit ja töökohalt puudumisi oli 2,11 minutit.

▼ **Joonis 9** | Pausiaja jagunemine protsentuaalselt

Mikroliigutuste analüüs

Töömeetodite uuringust selgus, et vasaku käega sooritatakse rohkem liigutusi kui paremaga, kuna paremat kätt kasutatakse põhiliselt hoidmiseks, mis on ajaliselt pikk liigutus. Vasaku käega sooritatakse lühemaid ettevalmistavaid ja abistavaid liigutusi.

Toote ringse allääre õmblemisel kasutati 34–37 vasaku käe liigutust ning 18–24 parema käe liigutust. Operaatorite sarnased liigutuste arvud näitavad, et nad kasutavad analoogseid töömeetodeid. Uuringus oli erandjuhiks tööline 342, kes võrreldes teiste õmblejatega sooritas kordades rohkem liigutusi. Samuti oli tema vaadeldud operatsiooni teostamise aeg pikem kui teistel.

□ Järeldused ja kokkuvõte

Normaalaja uuringute jooksul vaadeldud 63 operatsioonist oli ainult 14 sooritatud alla normaaljõudluse, samuti jäi vaid ühe masinõmbleja (342) keskmine operatsioonide jõudlus alla normaaljõudluse (95,06%). Sellest võib järeldada, et uuritud katteõmblusmasina tööle määratud standardajad on õiglasel ja alla 100% soori-

tused on enamjaolt põhjustatud mittepüsivatest teguritest. Põhjusteks võivad olla õmbleja emotsionaalne seisund, konkreetse operatsiooni sooritamise või materjali käitlemise ebapiisavad oskused, kogemused ja töötahe.

Vaatlustest selgus ka, et paaril õmblejal on teostatavate operatsioonide varieeruvus väga väike, näiteks masinõmbleja 608 palistab enamjaolt varruka allääri, selle tulemusena ei arene teiste operatsioonide sooritamise oskused. Harjutamiseta ei teki töölisel õigeid töövõtteid ja meetodeid ning efektiivsus nendel operatsioonidel on väiksem.

Operatsiooni jõudluse tõstmiseks tuleks liigsetest liigutustest ja ebaõigetest töövõtetest tulenevate ajakadude vähendamiseks kehtestada standardmeetodid ning nende kinnistamiseks peaks masinõmblejad sooritama (harjutama) erinevaid operatsioone, k.a neid, milles nad nii head ei ole. Standardmeetodite kasutamisel automatiseeruvad operaatori liigutused, võimaldades tööd kiiremini sooritada ja suurendada töötahet. Tööõpetaja tähelepanu parimate töömeetodite demonstreerimisel ja õpetamisel tekitab õmblejas tunde, et tema töö on vajalik ning aitab üle saada pahameelest, mis tekib oskuste puudumisest.

Operatsioonide varieerumine ja standardmeetodite juurutamine aitavad lisaks efektiivsuse tõstmisele vähendada monotoonsest tööst tulenevat mentaalset ja füüsilist koormust. Veel enam, õmblejate oskuste suurenemine võimaldab töö paremat korraldamist, eriti kolleegide haigestumiste või puudumiste korral.

Masinõmblejate päevavaatluse uuringutest tuli välja, et liigsete ajakulutuste kestvus oli keskmiselt 40,70 minutit, moodustades 480-minutilisest tööpäevast 8,48%. Suured lisakulutused on põhjuseks, miks on tekkinud sissejuhatuses mainitud konflikt õmblejate operatsiooni jõudluse ja päeva efektiivsuse vahel. Nimelt operaatorite üle normaaljõudluse sooritustega ei ole võimalik katta liigsetest ajakulutustest tulenevat ajakadu ning õmblejad jõuavad teostada ettenähtust vähem operatsioone.

Ajakadude vähendamiseks tuleks õmblejate tähelepanu juhtida liigsetele ajakulutustele, mille tulemusena etapiaeg kahaneb, ning pakkuda välja elemente, näiteks stange vahetamine, mida oleks võimalik ajaliselt kiiremini sooritada. Pausiaja mittetöiste tegevuste likvideerimine on keerukam, kuna töölised on teadlikud sellest, et nad ei jõua sooritada vajalikul hulgal operatsioone, kui tegelevad palju mittetöiste tegevustega. Samas ei pruugi nad olla teadlikud, kui palju neil muudeks tegevusteks reaalselt aega kulub ning tähelepanu juhtimine võib abiks olla.

Liigsete ajakulude vähendamiseks oleks standardmeetodite kehtestamine esialgu ajamahukam, kuid kõige efektiivsem viis. Näiteks standardmeetoditega oleks võimalik vähendada õmblusniitide kaotamist enne õmbluse lõpetamist, mida loetakse vales töövõtteks õmblusmasina niidistamisel ning põhjustab praakõmbluste tegemist masinõmbleja ebapiisavatest oskustest tulenevalt.

Lisaks saab standardmeetoditega vähendada tööliste kehalist koormatust ja seoses sellega vähendada aega masinõmbleja taastumiseks.

Sellest tulenevalt on võimalik operaatorite puhke- aega lühendada ning katta tööprotsessi ettevalmistusaja ja päevakonstandi lisaajakulud tööpäeva jooksul.

Taastusaja vähendamisega võib olla oht kurnatuse tekkeks masinõmblejatel. Seepärast on soovitatav enne uue abiaja jaotuse kehtestamist selgitada välja täpsed ajakadude tekkepõhjused ning võimalusel kasutada nende vähendamiseks teisi meetodeid. Mõlemal juhul, jättes taastusaja samaks või seda vähendades, on oluline muuta masinõmblejate taastumine efektiivsemaks. Efektiivistamine toob kaasa praagi vähenemise tootmises, produktiivsuse kasvu ning tööta jate tervema ja positiivsema enesetunde.

■ Summary | Work Analysis of Cover Stitch Machine Operators for Efficiency Improvements in AGN OÜ

The aim of this graduation thesis Work Analysis of Cover Stitch Machine Operators for Efficiency Improvements in AGN OÜ is to determine reasons, why workers are unable to accomplish fair day's work set by company and propose methods for productivity increase.

Data for the thesis were gathered with time study, work sampling and micromotion study. Research started with seven participants, after few time study measurements were taken, seventh worker decided to drop out of the study, therefore work sampling and micromotion studies are based on observations of six sewers.

The objective of time study was to determine workers efficiency performing following operations: hemming of garment's circular, garment's rounded, sleeve and pantleg hemline, thus conclude if standard times set by company are fair. 14 out of the 63 observed operations, were executed under normal performance rate. Furthermore, in average most worker's managed to accomplish operations with standard time or faster, only one

performance was under 100% rate. These results show that set standard times are fair.

Work sampling revealed 40,70 minutes of excessive time consumption in bundle handling, preparation elements and as pause time – forming 8,48% of 480-minute workday. Bundle handling activities took in average 16,82 minutes, 5,82 minutes more than company's standards stated, most time consuming were garment or detail bundle handling and taking of operation ticket with initial writing on a bundle card. For preparations workers needed double the amount of time than company's rate, average preparation time was 20,78 minutes, excessive time 10,78 minutes forms 2,25% of a workday. Pause time was major contributor to loss of productive time – 24,10 minutes, which makes 5,02% from 480 minutes. More than half of 24,10 minutes was used to non-work related activities like chatting, use of mobile phone etc, 11,51 minutes was needed to repair defective seams.

Comparing performances derived from time study and time used for defective seam repair, link was found. Worker's with highest and lowest average performance needed more time to redo defective seams, than other observed operators. In addition to excessive time consumption in some work elements, these results illustrate perfectly why operation performance and fair day's work contradict each other.

Micromotion study was used to determine working methods of the operators by analysing videotapes filmed in time study. Most of the methods used by workers were similar, however two operators were registered, who used more motions than average. This indicates that given workers have poor work skills, thus having lower performance rating. Also, study showed that worker with highest performance (158,27%) did not have better methods than other sewers, but faster movements.

On the basis of the results of this research, proposals were made for improving workers performances. Firstly, company should implement

standard working methods. By eliminating unnecessary motions willingness to work increases, fatigue and time lost in different work elements decreases. Secondly, operations carried out by sewers should vary, it helps to fasten standard methods, decrease mental and physical fatigue caused by monotonous work, improves work planning and levels time used for bundle handling and preparation elements.

Thirdly, workers may not be aware of the time losses in workday, so their attention should be brought to these excessive time consumptions. Furthermore, elements, which can be accomplished faster should be offered.

One way to tackle excessive time consumption in bundle handling and preparations is to decrease time of rest allowance from 45 minutes to 30 minutes. Decreasing the time of rest may build up fatigue, therefore additional studies should be made, to determine exact causes of time losses before implementing new allowance standards. Also, very important is to make workers' recovery time more efficient.

▣ Viidatud allikad

1. H.-E. Kabral, Tootmine ja operatsiooni-juhtimine, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2007, p. 269.
2. B. W. Niebel, Motion and time study, Homewood: Irwin, 1988, p. 799.
3. V. R. Babu, Industrial engineering in apparel production, New Delhi: Woodhead Publishing India, 2012, p. 184.

Joogivee tootmiseks kasutatavate filtermaterjalide võrdlus Viimsi Veevärgi näitel

Autor: Mirle Lembinen

Juhendajad: arhitektuuriinstituudi lektor Erki Lember, ASi Viimsi Vesi veetöötlusosakonna juht Nele Nilb

Sissejuhatus

Maailmas on 14×10^9 m³ vett, millest vaid 2,5% on magevesi. [1] Suur osa mageveest (98,8%) on aga liustikena või põhjaveena. Seetõttu on puhas vesi väga paljudes maailma piirkondades kättesaamatu ja soolase vee puhastamine liiga kulukas. Eriti oluline on puhta joogivee olemasolu, sest muu olmevesi ei nõua nii kõrget kvaliteeti. Eestis on nii pinnavett kui ka põhjavett enamikus piirkondades piisavas koguses ja Eestit üldiselt joogivee napus ei ähvarda. Lisaks on põhjavesi kergesti kättesaadav, sest ei paikne väga sügaval maapõues. Põhjavett on odavam puhastada kui pinnavett, kuna põhjavesi on parema kvaliteediga ega vaja nii põhjalikku puhastamist kui pinnavesi. Pinnavee puhastamise tehnoloogia on palju keerulisem ja kulukam ning seetõttu kasutab suur osa Eestist just põhjavett nii tarbe- kui ka joogiveena. Kuid ka põhjavees on lisandeid, mis halvendavad vee kvaliteeti. Tihti ei piisa vaid vee välja pumpamisest, vaid peab eemaldama ka lisandid (nt raud, mangaan, ammoniumioon) ning kontrollima vee kvaliteeti.

Üheks piirkonnaks, kus kasutatakse joogiveena põhjavett, on Viimsi vald, kus vee-ettevõtjaks on AS Viimsi Vesi. Ettevõtte vastutab kvaliteetse joogivee tagamise ja tarbijateni viimise eest. Artiklis kirjeldatakse ASi Viimsi Vesi katseseadme tööd.

Lõputöö eesmärgiks on võrrelda veepuhastusprotsessis kasutatavate filtermaterjalide efektiivsust ning leida võrdluse abil, milline filtermaterjal eemaldab veest kõige paremini rauda (Fe²⁺), mangaani (Mn⁴⁺) ja ammoniumit (NH⁴⁺). Katsetused viiakse läbi laboratoorses tingimustes.

Uuringud annavad vastuse, mis filtermaterjal eemaldab uuritavad komponendid kõige paremini ja annab meile esimese ülevaate, kas nende filtrite abil suudetakse kehtivaid piirnorme täita.

Töö esimeses osas antakse ülevaade veekäitluse teoreetilisest osast, nagu toorvee allikad, põhilised veepuhastusprotsessid ja teises osas analüüsitakse katsete tulemusi.

Põhjavesi

Taastuva loodusvarana on vesi kogu maailma elustikule eluliselt vajalik, olles oluline komponent toiduainete sidumisel (hüdroolüüs). Põhjavesi on oluline ökosüsteemides ja veeringes, sest sellest saab ükskord pinnasevesi. [2]

Põhjavesi on maapinnaalune vaba vesi, paiknedes maakoore ülaosa kivimite ja setete poorides ning lõhedes. Põhjavesi võib liikuda kihtide vahel raskusjõu või rõhu toimele. [3]

Kambriumi-Vendi põhjaveekompleks

Suur osa eestlasi ammutab oma joogivee Eesti kõige sügavamast ja enamikku mandriosa hõlmavast Kambriumi-Vendi põhjaveeladestikust. Viimsi vallas ammutatakse vett just sellest kihist ja seetõttu on töös vaatluse all Kambriumi-Vendi põhjaveekompleks. [4]

Põhjavee kasutamine

Eestis võetakse põhjavett kõigist põhjavee kihtidest. Tallinnas ja Narvas kasutatakse joogiveeks ka pinnavett, sest neis piirkondades on kvaliteetse põhjaveevaru puudus. Kirde-Eestis on pinnase-

kihid kahjustatud põlevkivi kaevandamise tagajärjel. Kõige suurem põhjavee vajadus ja tarve on Kambriumi-Vendi ja Siluri-Ordoviitsiumi kihtidest. [3] Põhjavee kasutamise tingimused on sätestatud veeseadusega, mis reguleerib vee kasutamist ning peab tagama põhjavee ökoloogilise tasakaalu ja puhtuse. Põhjavee seisundit ei tohi halvendada ja selle ärahoidmiseks piiratakse saasteainete sattumist veekeskonda. Hoitakse põhjavee võtmise ja taastumise tasakaalu. Lisaks on sätestatud veekvaliteedi piirväärtused saasteainete kontsentratsiooni kohta vees, mida ei tohi keskkonnanõude ja inimese tervise huvides ületada. [5]

Põhjavee kvaliteedi näitajad

Puhtale joogiveele seatud kvaliteedinõuded jagunevad järgmiselt [6]:

- mikrobioloogilised,
- keemilised,
- indikaatorid (nõuded elementide sisaldusele).

Tervisekaitsele suunatud nõuded on mikrobioloogilised ja keemilised. Vee üldise reostuse taset ja organoleptilisi omadusi väljendavad indikaatornäitajad. Otsest ohtu inimese tervisele indikaatornäitajate piirsisalduse ületamine ei tähenda, küll aga võib see mõjutada tarbijate vee kasutamise tingimusi ja elukvaliteeti. [6]

Mikrobioloogilised näitajad on näiteks enterokokid ja *escherichia coli*. [7]

Keemilised näitajad on näiteks antimon, arseen, benseen, boor, elavhõbe, fluoriid, nitraat, pestitsiidid jt. [7]

Indikaatornäitajate kõrgem tase põhjustab sageli veehägusust ja vee ebameeldivat lõhna. Nendeks võivad olla raua, sulfaadi, mangaani, kloriidioonide orgaaniliste ainete kõrge sisaldus indikaatornäitajate tase, mis tervisele just otsest ohtu ei kujuta. [6]

Indikaatornäitajad on näiteks mangaan, ammoonium, raud, naatrium jpm. [6], [7]

Käesolevas töös uuritavateks näitajateks on raud, mangaan ja ammooniumioonid ning seetõttu käsitletakse edaspidi neid kolme indikaatorit täpsemalt.

Raud põhjavees

Raud on üks levinumaid elemente maakooses, olles levikult neljandal kohal ja alumiiniumi järel metallidest teisel kohal, moodustades 5% kogu maakoorest. Rauda leidub looduses puhtal kujul harva, sagedamini leitav ioonidena Fe^{2+} ja Fe^{3+} , mis ühinevad kergesti hapniku ja väävliga, millest omakorda tekivad kergesti hüdroksiidid, sulfiidid ja karbonaadid. $Fe(OH)_2$ on raua kõige levinum ühend looduses. Põhjavees esineb lahustunud kujul raud(II)sooladena, mis on aga joogivee varudes ebastabiilsed ja hapnikuga oksüdeerides sadestuvad kui raud(III)hüdroksiid, mis settib välja roostevärvi sademena. [8]

Anaeroobne põhjavesi võib sisaldada Fe^{2+} kuni mõni milligramm liitri kohta, ilma et oleks värvimuutust või hägusust vees, kui pumbatakse otse kaevust. Hägusus ja värvimuutus võivad tekkida torustikes, kui raua tase on üle 1 mg/liitris. Rauarikas vesi soodustab veekeskkonnas rauabakterite teket. Riiete ja torustike määrdumine võib toimuda kõrgematel kontsentratsioonidel kui 0,3 mg/liitris. Põhjaveele annab raud kollakaspruuni värvuse ja põhjustab rauabakterite kasvu veevärgi- ja jaotussüsteemides, mille tulemusena ladestub limane kate torustikele ja torustikud võivad kinni kasvada. [8], [9]

Raud soodustab vereloomet ja on asendamatu hemoglobiinis. Iga aine liigtarbimine võib aga põhjustada probleeme. Kõrge rauasisaldus, üle 5 mg/l, võib inimesele ohtlikuks muutuda, kuna tekitab stressi, mis omakorda soodustab teiste haiguste teket. [8], [10]

Inimeste tervise kaitseks on joogiveele määratud piirnormid. Rauasisalduse piirmääraks joogivees on 200 µg/l. [7]

Rauabakterid suudavad kahevalentse raua (Fe^{2+}) ühendeid kolmevalentseks (Fe^{3+}) oksüdeerida, et saada vajalik energia elutegevuseks. Rauabakterite paljunemine toimub neile soodsates tingimustes, rauarikastes ladestustes raua kontsentratsiooni 1–2 mg/l juures. Paljunemisprotsessi kiirendab hapniku ja soojuste hulk, eriti tõhus on protsess 30–45 kraadi juures. Paljunemiseks sobivaim koht on sooja vee varustusüsteemides, kus torustik võib ummistuda rauabakteritest moodustunud mudast. Vesi hakkab ebameeldivat lõhna eraldama, kui roostekihis hakkavad elama rauabakterid. [11], [12]

Mangaan põhjavees

Mangaan on üks levinuim metall maakooses, tavaliselt esineb koos rauaga. Mn on komponendiks rohkem kui sajale mineraalile, aga looduses puhtal kujul ei esine. Mn on element, mis on vajalik nii inimeste kui ka loomade keha funktsioneerimiseks, samuti paljude rakuensüümide toimimiseks ja võib aktiveerida paljusid muid ensüüme (kinaasid, dekarboksülaasid, transferaasid, hüdrolaasid). Mn esineb paljudes oksüdatsiooniastmetes; keskkonna ja bioloogilise vaatenurga alt on olulisemad oksiidid, kus esineb Mn^{2+} , Mn^{4+} või Mn^{7+} . [13]

Põhjavees ei ole mangaani kogus inimese tervisele ohtlik ja selle sisaldus on vajalik organoleptiliste omaduste tagamiseks. Vette tekib must sete, kui mangaanisaldus on üle 5 mg/l. See rikub valamuid ja pesu. Kõige paremini jõuab mangaan kehasse joogivee kaudu. Toiduga nii kergesti ei omastata. Liigse tarbimise tulemusena on ohtlik ajule, mille tagajärjel võib tekkida Parkinsoni tõbi, esineb nõrkust, impotentsust ja ärrituvust. [10], [14], [15], [16]

Inimeste tervise kaitseks on joogiveele määratud piirnormid. Joogivees on mangaanisalduse piirmääraks 50 µg/l. [17]

Ammooniumioon põhjavees

Ammooniumi looduslik tase põhjavees on 0,2 mg/l.

Kõrgemad looduslikud kontsentratsioonid (kuni 3 mg/l) võivad esineda pinnasekihtides, kus on palju huumust, rauda või mis asuvad metsades. [17]

Veetorude katmiseks kasutatud tsemendimördist võib samuti lahustuda märgatavas koguses NH_4^+ ja muuta lisatud kloori puhastusvõimet. Suurenenud ammooniumitase töötlemata vees võib mõjutada mangaanifiltrite tööd, sest suur osa hapnikku kulub nitrifitseerimisele. Sellest tulenevalt võib esineda vee maitseomaduste häiringuid. NH_4^+ katiooni tulemusena võib joogivees leiduda nitraate, mis võivad tekkida katalüütilise reaktsiooni tulemina või ammooniumit oksüdeerivate bakterite esinemise tõttu vees. [17]

Esimese veepuhastusseadme lesehitis

Viimsi veepuhastusprotsessi esimese etapina läbib vesi Venturi injektorit, kus aereeritakse toorvett õhuga ja järgmiseks etapiks on kontaktmahuti, kus vee viibeaeg on 10 minutit. Rauaeemaldus toimub oksüdeerimisprotsessi tulemusena, kus Fe^{2+} oksüdeerub Fe^{3+} ning moodustub rauasade, mida on võimalik hilisemas etapis eemaldada filtreerimise teel. Õhuga rikastatud vesi läbib seejärel spetsiaalse degaseerimisseadme GDT, mis aitab eemaldada põhjavees lahustunud gaasid. Vesi liigub edasi filtrisse, kus esimesed uuritavad filtermaterjalid on Magno Dol Akdolit ja antratsiit, et eraldada raua, mangaani ühendid ja oksüdeerida ammoonium. Gravitatsioonilised filtrid on lahtised ja filtreerimine toimub läbi filtrikihi raskusjõu toimele. Võimaldavad vett puhastada efektiivselt ja täisautomaatselt. [18], [19], [20], [21]

Uhtevesi suunatakse puhta vee mahutist filtrisse alt poolt üles. Enne seda protsessi kobestatakse filtermaterjal õhuga, et uhtevesi piisava vooluhulgaga pääseks läbi filtermaterjali ja puhastaks selle sademest. Uhtumine toimub iga 64 h tagant. Must uhtevesi suunatakse kanalisatsiooni nagu ka puhastatud vesi, kuna tegemist on katse-seadmega.

Kirjeldataud protsess oli kasutusel ainult esimese filtri kolme esimese katse kasutamise ajal.

Eelised:

- väike ruumivajadus,
- puudub reostuse oht.

Puudused:

- suur energiatarve;
- lisatav hapnikuhulk pole piisav, et puhastusprotsess saaks toimida.

Teise veepuhastusseadme ülesehitus

Esimeses etapis pihustatakse pihusti abil vesi aeratsioonikoloni, milles aeratsioon on lahtine. Kolonnis asetsevad HUFOD (aukudega kettad), mida mööda vesi langeb ja toimub vee hapnikuga rikastamine, hapnik lahustub vette. Lahtise aeratsiooni käigus lahustub suurem osa hapnikust loomulikult teel. Suur kogus O_2 suunatakse aereerimisanumasse, sest töötlemata veel on suur kogus hapnikku vajavaid baktereid või vajatakse hapnikku muudeks keemilisteks protsessideks. Hapnikutase hoitakse kõrgemal kui 2 mg/l, et saaks toimuda nitrifikatsioon. Edasi liigub vesi kontaktmahutisse, kus viibeaeg on 10 minutit, et tagada rauaeralduseks piisav kontaktaeg. Edasi juhitakse vesi avatud gravitatsioonilisse filtrisse. [18], [21], [22], [23], [24]

Teisel katseseerial oli uuritavaks filtermaterjaliks jämedam kvartslüiv ja antratsiit, mis sobib hästi raua, mangaani ja ammooniumi eemaldamiseks. Kolmandas katses oli filtris uuritavaks filtermaterjaliks peenem kvartslüiv ja antratsiit, mis sobib samuti hästi raua, mangaani ja ammooniumi eemaldamiseks. Filtri tagasipesu toimub samamoodi nagu eespool kirjeldatud filtri puhul.

Lahtise aeratsiooni eelised:

- puudub elektrikulu;
- suurem osa hapnikust pääseb loomulikult teel vette (protsess efektiivsem);
- HUFOD biofiltrid on kerged, kauakestvad, ei ummistu ega vaja asendamist.

Puudused:

- reostuse oht (ava lahtine),
- suurem ruumivajadus.

□ Materjalid ja meetodika

Proovide võtmine algab sellega, et tuleb lasta veel paar minutit ämbrisse joosta ja alles siis lasta kolvi sisse vett, et sealt hapnikku määrata. Järgmisena võetakse 200 ml pudelisse vett, et hiljem saaks seda analüüside tegemisel laboris kasutada.

Määrati raua, mangaani, ammooniumi, hapniku ja pH sisaldus torveest ja filtraadist. Laboris kasutati raua määramiseks kolorimeetrit ning reagenti (Vario IRON TPTZ E10 Powder pack), mangaani määramiseks samuti kolorimeetrit ja reagente (Vario Ascorbic Acid Powder, Alkaline Cyanide reagent, PAN Indicator) ning ammooniumi määramiseks samuti kolorimeetrit ja tabletid (Ammonia no. 1 ja Ammonia no. 2). Hapniku sisaldust mõõdeti elektroodiga ja pH sisaldust pH-meetriga.

Filtermaterjalid

Veetöötlusjaamades on levinud kahekihilised filtrid (kvartslüiv + antratsiit või aktiivsüsi). Töötükli pikendamiseks kasutatakse ülalt alla filtreerimissüsteemi. Filtrikihis asetatakse kõige jämedama teraläbimõõduga kandekiht kõige alla, filtrites on selleks levinuim kruus. [9]

Selles katseseadmes on ka kasutusel kruus. Seejärel kvartslüiv või Magno Dol Akdolit ja kõige pealmiseks kihiks on antratsiit. Eriti oluline on filtri kihtide projekteerimisel arvutada filtermaterjalide erikaal, mis on osakeste suuruse tähtsusest ka olulisem, et vältida filtri kandekonstruktsiooni ülekoormust.

□ Tulemused ja arutelu

Katseseadmelt võeti torvee ja filtraadi proovid, et määrata ja võrrelda raua (Fe), mangaani (Mn) ning ammooniumi (NH_4^+) sisaldust ja leida filtermaterjalide efektiivsus. Eesmärgiks on selgitada, kas filtraat vastab joogivee nõuetele.

Esimene uuritav filtermaterjal on Magno Dol Akdolit (0,5–2,5) ja antratsiit ajavahemikul 12.04–24.08.2016. Eraldi on esitatud raua, mangaani ja ammooniumi tulemused.

Teiseks uuritavaks filtermaterjaliks on jämedam kvartslüüv (0,71–1,25 mm) ja antratsiit (0,8–2,0 mm), mille tulemused on mõõdetud ajavahemikul 7.09–4.01.17.

Kolmandaks uuritavaks filtermaterjaliks on peenem kvartslüüv (0,4–0,8 mm) ja antratsiit (0,8–2,0 mm), mille tulemused on mõõdetud ajavahemikul 13.02–21.03.17.

Esimese filtermaterjali raua, mangaani ja ammooni-umi sisalduse tulemused filtraadis on paranenud alates 4. katse tegemisest. Järeldusena võib öelda, et filter vajab aega tööle hakkamiseks. Põhjuseks ilmselt filtermaterjalis tekkiv mikrobioloogiline kooslus (rauabakterid, nitrifitseerivad bakterid jms). Samuti mõjutab puhastusefektiivsust aeratsiooni intensiivsus. Esimese kolme katse ajal toimus aereerimine injektori abil, aga hiljem kasutati lahtist aeratsiooni, mis on tõhusam. Ilmselt selle mõjul hakkaski protsess toimima. Esimese filtermaterjali lõpptulemused on väga head, sest need ei ületa lubatud piirsisalduse määra (raud 0,2 mg/l, mangaan 0,05 mg/l ja ammoonium 0,5 mg/l). Nende tulemuste põhjal sobib esimene filtermaterjal joogivee tootmiseks.

Teise filtermaterjali rauaärastuse tulemused paranesid alates kolmandast katsest, kus saavutati kontsentratsioon \leftarrow 0,02 mg/l. Edasised katsed näitasid aga veidi kehvemaid tulemusi. Selle põhjuseks võisid olla toorvees sisalduvate reoainete kõrgemad kontsentratsioonid või filtermaterjali oli kogunenud sadet (uhtumisest kaua aega möödas). Raua kontsentratsioon viimases viiendas katses oli \leftarrow 0,02 mg/l ja see tulemus näitab, et filtermaterjal sobib joogivee tootmiseks. Mangaani kontsentratsioon hakkas langema 4. katsest alates. Tulemuseks oli 0,02 mg/l ja see tulemus vastab joogivee nõuetele. NH_4^+ tulemused hakkasid alates 4. katsest paranema – kontsentratsioon filtraadis vähenes, millest võib järeldada, et nitrifitseerivad bakterid hakkasid toimima. Seega võib öelda, et teine valitud filtermaterjal sobib samuti joogivee tootmiseks.

Kolmanda filtermaterjali raua kontsentratsioon vastas joogivee nõuetele juba esimese katse puhul ning neljanda katse tulemus oli \leftarrow 0,02 mg/l. Mangaani osas tagati joogivee nõuetele vastavus kolmanda katsega. NH_4^+ joogivee nõuetele vastavus saavutati viienda katsega – 0,05 mg/l. Võib öelda, et ka kolmas uuritav filtermaterjal sobib seega joogivee tootmiseks.

□ Järeldused

Lõputöö käigus tehtud katsetuste tulemuste põhjal võib järeldada, et kõik filtermaterjalid sobivad veepuhastusprotsessi filtermaterjaliks. Efektivsemateks olid nii peenem kui ka jämedam kvartslüüv. Praktikas aga tasuks kasutada jämedama liivaga filtermaterjali, kuna nii ei teki kiiresti filtri ummistumist ja see vajab vähem pesu ning samuti võimaldab filtreerida suuremat veehulka.

Aeratsioon on efektiivne veepuhastusmeetod, mille käigus saab veest eemaldada gaase ning toimub ühtlasi raua ja mangaani ärastus. Toimub $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ja $\text{Mn}^{2+} \rightarrow \text{Mn}^{4+}$ (oksüdeeritakse lahustuvatest ühenditest lahustumatuks), mille tagajärjel Fe^{3+} ja Mn^{4+} sadestuvad filtrile ja neid on lihtsam veest eemaldada. Aeratsiooni käigus antakse piisavalt hapnikku, et nitrifitseerivad bakterid saaksid paljuneda ja kujundada vajaliku elukeskkonna. Selle tagajärjel saavad bakterid hakata tööle ja veest eemaldatakse nitrifikatsiooni käigus NH_4^+ . Kui eespool kirjeldatud tingimused on täidetud, töötab filter hästi. Bakterite tööle hakkamine võtab aega ja seda on näha ka analüüsides, et alles viimaste katsete käigus hakkasid tulemused paranema. Lahtise aeratsiooni mõjul hakkasid esimese uuritava filtri tulemused paranema kiiresti. Võib väita, et lahtine aeratsioon on tõhusam meetod (enne seda oli kasutusel injektori+GDT).

Veepuhastusprotsessis tekkinud setted kogunevad filtritele, mis ummistavad filtri. Selle tagajärjel rõhukadu filtrites suureneb. Filtrite pesemiseks kasutatakse uhtumist, mis peseb filtrist välja sinna sattunud setted. Uhtumist

tulebki rakendada protsessis selleks, et veekvaliteet musta filtri tõttu ei langeks. Uhtumine toimub kindla aja tagant, kui piisav hulk vett on läbi filtri voolanud või vasturõhk suurenenud. Mida tihedamalt uhtetsükli toimuvad ja piisava vooluhulgaga, seda kindlam saab olla, et vee kvaliteet vastab normidele. Enne uhtumist tuleb õhuga filtermaterjal kobestada, tänu sellele pääseb uhtevesi suurema takistuseta filtrist läbi.

▣ Kokkuvõte

Erinevad katsetused katseseadmel tehti põhjusega, et näha, milline protsess/tehnoloogia ja filtermaterjal toimib kõige paremini, et saada kätte puhast joogivett. Põhjaveest otse pumbatud vesi ei vasta joogivee nõuetele ning kindlad nõuded on paika pandud joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuetes ning analüüsimeetodite määruses nr 82. Sellest lähtuvalt peab vastama nõuetele tarbijale minev joogivesi Fe^{2+} 0,2 mg/l, Mn^{4+} 0,05 mg/l ja NH_4^+ 0,5 mg/l.

Lõputöös käsitleti kahe tehnoloogia, injektor+GDT ja lahtise aeratsiooni võimalusi vee protsessis ning uuriti kolme erineva filtermaterjali efektiivsust, millest üks on Magno Dol Akdolit ja kaks eri jämedusega kvartslia põhised. Uurimuse viis lõputöö autor läbi Viimsi veepuhastusjaama akrediteerimata laboris. Katsetulemuste põhjal leiti filtrite eemaldatud raua (Fe^{2+}), mangaani (Mn^{4+}) ja ammoniumi (NH_4^+) kogus veest ja tehti järeldusi nende ärastusefektiivsuse osas.

Töö käigus anti ülevaade raua, mangaani ja ammoniumi eemaldamise vajalikkusest. Millise kontsentratsiooni juures muutuvad need ained inimesele ohtlikuks ja millised võivad olla tagajärjed. Uurimus näitab, et need ained on inimesele väikestes kontsentratsioonides kasulikud, kuid suures koguses kahjulikud, mis tingib joogivee filtreerimise vajalikkust.

Kõik filtermaterjalid sobivad kasutamiseks vee-

puhastusprotsessis, sest kõik eemaldavad raua, mangaani ja ammoniumi piisavas koguses, et joogivesi vastaks nõuetele, kuid efektiivsemaks filtermaterjaliks on nii peenem kui ka jämedam kvartsliv + antratsiit. Praktikas tasuks kasutada jämedama liivaga filtrit.

Katseseeriatesse sattus ka tulemusi, kus filtrist väljuv vesi oli kehvema kvaliteediga kui sisenev vesi. Seda saab lugeda kas katseveaks (väljuv või sisenev vesi mõõdeti valesti, anumad olid saastunud vms) või oli filtritele kogunenud mustust, mis võis muuta filtraadi proovi kehvema kvaliteediga veeks kui siseneva toorvee kvaliteet. Sellest tingituna esineb efektiivsuse graafikutel negatiivseid tulemusi. Kindlasti tuleb kontrollida, mis võisid selliseid tulemusi põhjustada, et tagada joogivee piisav puhtus ja tulevaste katsete puhul saada usaldusväärsemad andmed.

Kõige olulisem on veepuhastuse juures korralik ja õigesti optimeeritud filtripesu ning korralik aeratsioon.

▣ Summary | Comparison of Different Filter Materials Used in Drinking Water Production Based on the Example of Viimsi Veevärk

Different tests were carried out to see what process/technology and filter material work best in the drinking water treatment process. Untreated groundwater does not meet the requirements, specified by Regulation No 82, concerning the quality and control requirements and analysis methods of drinking water. According to the regulation, the drinking water has to meet the following levels: Fe^{2+} 0,2 mg/l, Mn^{4+} 0,05 mg/l, and NH_4^+ 0,5 mg/l.

In the graduation thesis two technologies for water treatment were studied: injector + GDT and diffusion aeration possibilities. The effectiveness of three different filter materials was analysed. Magno dol Akdolit was used in one filter, while

layers of silica sand of different grain size were used in two filters. The tests were carried out by the author of the thesis in the non-accredited laboratory of the Viimsi water treatment plant. As a result, the amount of removed iron (Fe^{2+}), manganese (Mn^{4+}), and ammonium (NH_4^+) from the water was obtained.

In the thesis, an overview of the importance of removing iron, manganese, and ammonium from the drinking water was given. It was also studied what concentrations of these compounds are hazardous to people, and what the consequences could be. Research shows that low concentrations of these compounds are beneficial, but higher concentrations may be harmful. This fact proves the importance of drinking water filtration.

All the filter materials are suitable for water purification because they remove iron, manganese and ammonium from the drinking water in sufficient quantity. However, the most effective filters were the ones that used silica sand (finer and coarser) in combination with anthracite. In practice, the coarser silica sand is more suitable.

Some test results indicated that the filtered water had lower quality than untreated water. This may be considered as measurement error: either the treated or untreated water was measured incorrectly, the containers were contaminated, etc., or the filters were contaminated and added contaminants to the water. That is why there are negative results on the effectiveness graph. The source of contamination has to be tracked in order to provide the high quality of drinking water and guarantee the reliability of future measurements.

The most important consideration in water treatment is decent and properly optimized filter washing and proper aeration.

▣ Viidatud allikad

1. Tartu Veevärk AS, „Huvitavaid fakte elust,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tartuvesi.ee/huvitavaid-fakte-veest>. [Kasutatud 17. aprill, 2017].
2. Keskkonnaministeerium, „Põhjavesi,“ Tartu, 2000, p. 23. [Kasutatud 27. veebruar, 2017].
3. Põhjaveekomisjon, Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse, Tallinn, 2004, p. 80.
4. E. Tšeban, Eesti NSV põhjavesi ja selle kasutamine, Tallinn, 1975, p. 166.
5. Veeseadus, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/VeeS>. [Kasutatud 28. veebruar, 2017].
6. Terviseamet, „Joogivesi tarbijale,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.terviseamet.ee/keskkonnatervis/vesi.html>. [Kasutatud 29. veebruar, 2017].
7. Joogivee kvaliteedi- ja kontrollnõuded ning analüüsimeetodid, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/12782324>. [Kasutatud 22. jaanuar, 2017].
8. World Health Organization, „Iron in Drinking-water,“ 2003. [Võrgumaterjal].
9. J. Karu, Veevärk, Tallinn: Tallinna Tehnika-ülikool, 2016, p. 199. Available: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/iron.pdf. [Kasutatud 22. jaanuar, 2017].
10. Põhjavesi, „Raud, mangaan, vesiniksulfiid,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://pohjavesi.ee/raud-mangaan-vesiniksulfiid/>. [Kasutatud 17. aprill, 2017].
11. Eesti Vesi, „Liigne raud joogiveses,“ 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <http://eestivesi.ee/liigne-raud-joogiveses/>. [Kasutatud 05. aprill, 2017].

12. K. Künis-Beres, „Miks joogivesi on roostevärvi ja haiseb?“, Kose Teataja, p. 8-9, november, 2016.
13. World Health Organization, „Manganese in Drinking-water“, 2011. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/manganese.pdf. [Kasutatud 26. jaanuar, 2017].
14. E. Sepp, Imeline vesi - elu häll, 2012, pp. 239
15. Eesti Vesi, „Mangaan“, [Võrgumaterjal]. Available: <http://eestivesi.ee/kasulik-teada/tervist-kahjustavad-ained-vees/mangaan/>. [Kasutatud 17. aprill, 2017].
16. A. Saava, E. Indermitte, „Kas meie joogivesi võib tervist ohustada“, Loodusajakiri, nr 4, 2005.
17. World Health Organization, „Ammonia in Drinking-water“, 2001. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/ammonia.pdf. [Kasutatud 08. veebruar, 2017].
18. Viimsi Vesi, „Ettevõttest“, [Võrgumaterjal]. Available: <http://viimsivesi.ee/index.php?page=156&>. [Kasutatud 27. veebruar, 2017].
19. R. Munter, „Joogivee saamise probleeme Eesti põhveest“, Keskkonnatehnika Ajakiri
20. Wassertec – Ozone Generators, „Venturi Aeration“, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.wassertec.co.za/venturi-aeration/>. [Kasutatud 17. aprill, 2017].
21. Westech, „Gravity Filter“, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.westech-inc.com/en-usa/products/gravity-filter>. [Kasutatud 6. mai, 2017].
22. World Health Organization, „Guidelines for Drinking-water Quality“, 2008. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf. [Kasutatud 16. aprill, 2017].
23. GE Power and Water, „Chapter Four - Aeration“, [Võrgumaterjal]. Available: https://www.gewater.com/handbook/ext_treatment/ch_4_aeration.jsp. [Kasutatud 17. aprill, 2017].
24. Bioclere Technology, „HUFO modern filter media for trickling filters“, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.bioclere.co.uk/hufo.php>. [Kasutatud 18. aprill, 2017].

□ Tallinna koolide kättesaadavus ühistranspordiga põhikooliõpilaste kodu–kooli liikumissuundadel

Autor: Kristiina Abel

Juhendajad: logistikainstituudi lektor Rauno Raju

□ Sissejuhatus

Kättesaadavus (ingl k *accessibility*) transpordiplaneerimises on enamasti seotud füüsilise juurdepääsuga kaupadele, teenustele ja sihtpunktidele [1, p. 2]. Kättesaadavuse tagamist võib seega pidada linna transpordisüsteemi üheks peamiseks eesmärgiks [2], [3]. Sihtkohtade kättesaadavus ühistranspordiga on oluline kahel põhjusel: (1) et soodustada muutuseid modaalses jaotuses ja vähendada sõltuvust autost, (2) samuti on see oluline autot mitteomavate leibkondade heaolu tagamise seisukohalt [4].

Üks sihtgrupp, kelle praegused transporditsused võivad tulevikus kujuneda juba harjumuspäraseks käitumiseks, on kooliõpilased. Seetõttu on uurimuse keskmes õpilaste kooli liikumise võimalused ühistranspordiga. Koolide kättesaadavuse analüüs võimaldab tuvastada probleeme ühistransporditeenuse pakkumises kodu ja kooli vaheliste liikumiste tagamisel.

Sellest tulenevalt on uurimistöö eesmärk kaardistada Tallinna põhikooliõpilaste kooli kättesaadavus ühistranspordiga ning teha kindlaks piirkonnad, kus kättesaadavus on halb (liikumisele kuluv aeg → 30 min) ega vasta õpilaste tegelikule kooli liikumise vajadusele.

Töö üheks fundamentaalseks lähtekohaks on, et ühistranspordi liinivõrgu, aga ka sõiduplaanide planeerimisel on esmatähtis tagada just regulaarsete liikumiste teostamise võimalus ühistranspordiga, sest need liikumised mõjutavad kõige enam liiklust ning seeläbi keskkonda ja liiklusohutust. Olemasoleva liinivõrgu muutmise peamiseks aluseks peab seejuures olema mitte hetkekasutus, vaid inimeste liikumisvajadused ja -soovid.

□ Kättesaadavuse uurimine

Kättesaadavuse uurimiseks kasutatakse kättesaadavuse analüüsi. Kuna kättesaadavuse analüüs on olemuselt ruumiline, siis sobitub see väga hästi geograafilise infosüsteemi (edaspidi GIS) keskkonda [2]. GISi kasutamine ühistranspordisüsteemi hindamiseks ja ruumilise kättesaadavuse mõõtmiseks on mitmel põhjusel mõistlik, sest meetod hõlmab selleks analüüsiks vajalikke võtmekomponente, sh andmehaldus- ja manipuleerimisvõimalusi, võtmeanalüüsi algoritme, programmeerimiskeskonnasid ning kaardistamise tööriistu [5]. Kuigi kättesaadavuse mõõdiku osas puudub üksmeel [3], [6], [7], siis eri autorid on leidnud, et kõige lähedasem mõõdik inimeste kogetule on liikumisele kuluv aeg [3], [7].

Avalike teenuste kättesaadavuse sihttasemete määramine on Euroopa Liidu liikmesriikide pädevuses [8]. Põhikooli kättesaadavuse kriteerium on Eestis määratletud põhikooli- ja gümnaasiumiseadusega (edaspidi PGS) (vt [9]). Haridusteenuste kättesaadavuskriteeriumite ettepanek on tehtud ka 2015. a Tartu Ülikooli sotsiaalteaduslike rakendusuuringute keskuses (edaspidi RAKE) valminud uuringus (vt [8]). PGS § 7 lg 3 sätestab, et vähemalt 80 protsendil õpilastest, kelle jaoks põhikool on elukohajärgne kool, ei tohi kooli jõudmiseks kuluda rohkem kui 60 minutit. RAKE uuringus on põhikooli kui kohaliku põhiteenuse hea kättesaadavuse kriteeriumiks määratud 30 minutit.

Uurimuses mõõdeti kättesaadavust kooli jõudmise ajakuluna ühistransporti kasutades. Põhikooliõpilaste kooli kättesaadavuse taseme hindamise aluseks on võetud RAKE uuringus välja pakutud ajaline kriteerium kohalike põhiteenuste kättesaadavuse osas. Seda just eelkõige tulenevalt

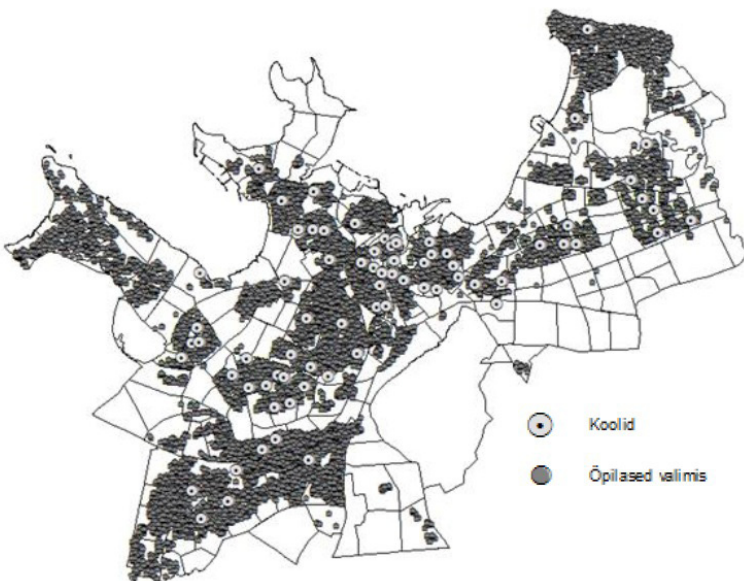
PGSis sätestatud oluliselt leebema kättesaadavuskriteeriumi tõttu, mis Tallinna kontekstis ei ole asjakohane. Vaadeldud ja hinnatud on kriteeriumist tulenevalt kõiki kodu–kooli liikumisi, olenevata sellest, kas õpilane õpib kodule lähimas koolis, sest linnatranspordi planeerimise seisukohalt on oluline tagada kõikide õpilaste võimalikult mugav ja kiire kooli jõudmine.

▣ Valim ja uuringu metoodika

Andmed ja valim

Uurimistöe alusandmeteks kodu ja kooli vahelise liikumissuundade määramisel olid isikustamata andmed kõikide Tallinnas elavate ja Tallinnas põhikooli klassides (1.–9. klass) õppivate õpilaste elukoha ja koolide asukohtade kohta (seisuga 4. november 2016. a).

Valimist jäeti välja täiskasvanute gümnaasiumite õpilased. Selle tulemusena kujunes lõplikuks valimiks 34 490 Tallinnas elavat põhikooli klasside õpilast 78 Tallinna koolist (joonis 1).



▲ **Joonis 1** | Uuringu valimi, koolide ja õpilaste ruumiline paiknemine [autori koostatud].

Kuna andmeanalüüsi aluseks olid õpilaste elukohtade registripõhised andmed, mis baseeruvad sissekirjutusepõhisel aadressil, siis tuleb arvestada, et need ei pruugi alati kokku langeda tegeliku elukohaga.

Geoanalüüsi teostamise alusandmetena kasutati töös Maa-ameti veebikaarditeenuste (WMS) kaardikihte [10]. Ühistranspordi liinide ja peatuste kaardikihtide loomiseks kasutati Maanteeameti ühistranspordi infosüsteemi [11], kus on kaasajastatud andmed kõikide Eesti ühistranspordiliinide ja -peatuste kohta. Tallinna asumite (kokku 84) geoandmed saadi Tallinna linna kodulehelt [12]. Lähte- ja sihtkoha ühistranspordipeatuste vahelise aja kindlakstegemiseks kasutati modelleerimistarkvara PTV VISUM abil loodud Tallinna ühistranspordi mudeli andmeid.

Metoodika

Andmeanalüüs teostati GISi programmi ArcGIS 10.3.1 for Desktop ja Microsoft Office Exceli programmi abil. Andmeanalüüsi eesmärgiks oli tuvastada iga valimisse kuuluva õpilase kodu ja kooli vahelise liikumise aeg ühistranspordiga ning seejärel analüüsida tulemusi õpilaste elukoha asumite tasandil.

Kuigi kooli liikumiseks on võimalik kasutada ka linna läbivaid rongi- ja koolibussiliine, on hinnatud koolide kättesaadavust üksnes Tallinna avalikke autobussiliine, trammiliine ja trolliliine kasutades. Töö tulemused kajastavad Tallinnas ühistransporditeenusega tagatud kättesaadavust seisuga aprill 2017. a. Kuna kõiki valimisse kuulunud õpilasi ei olnud otstarbekas käsitleda perspektiivsete ühistranspordikasutajatena, siis jalgsi kooli liikujatena määratleti töös kõik õpilased, kelle elukoht asus 1 km raadiuses koolist.

Kooli liikumise aja leidmiseks rakendati lihtsus- tult eeldust, et õpilane kasutab ühistranspordiga liikumiseks kodust ja koolist maksimaalselt 500 m raadiusesse jäävaid peatuseid. Vaid 430 õpilase puhul tuli seda väärtust suurendada, kuna 500 m raadiusesse ei jäänud ühtegi perspektiivset kooli liikumise lähtepeatust.

Kuna ühistranspordi kasutusega kaasneb peatusesse ja peatusest jalgsi liikumise ajakulu, siis selle leidmiseks võeti jalgsi liikumise kiiruseks 5 km/h. Ühissõidukis kuluv aeg lähte- ja sihtpeatuse vahel määrati Tallinna ühistranspordi mudeli andmetele tuginedes iga 500 m raadiu-

sesse jääva lähte- ja sihtkoha peatuste kombinatsiooni jaoks. Iga õpilase puhul võeti arvesse vaid vähima summaarse ajakuluga marsruut kooli ja kodu vahel liikumiseks. Mudelipõhiseid andmeid valideeriti Maanteeameti üleriigilise ühistranspordi infosüsteemi reisiplaneerija alusel, määratledes marsruudiotsingu parameetrid samad uuringu ülesehitusega.

Uurimuses, nagu ka RAKE töös, jäeti ühistranspordiga kooli liikumise aja määramisel arvestamata lähtepeatuses ühissõiduki ootamisega kaasnev ajakulu, kuna selle väärtus võib varieeruda, olenevalt isiklikest, aga ka teenuse sagedusest tulenevatest teguritest.

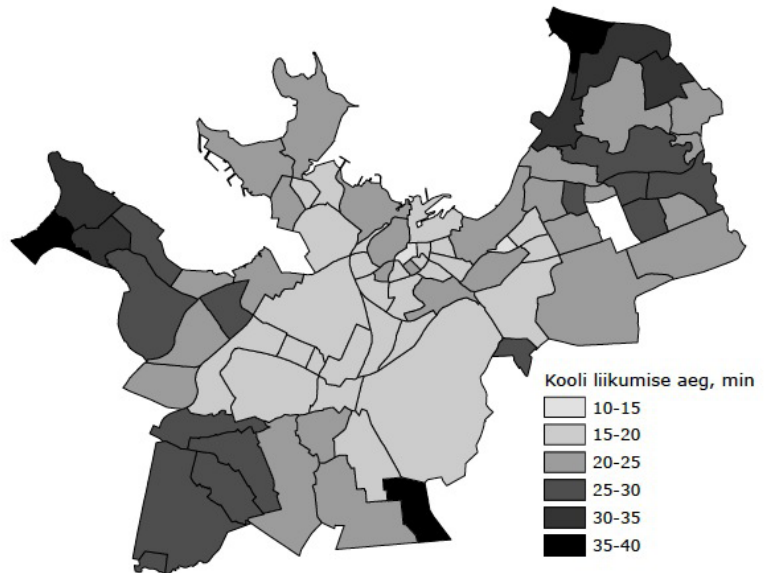
□ Tulemused, arutelu ja ettepanekud

Tulemused

Rohkem kui pooled (66,9%) valimisse kuulunud õpilased käisid koolis oma elukohalinnaosas ja 44,9% elas koolist 1 km raadiuses. Vastavalt uuringu metoodikale käsitleti neid kui jalgsi kooli liikujaid. Kõige kõrgem oli jalgsi kooli liikujate osakaal Lasnamäel, Mustamäel ja Kesklinnas elavate õpilaste seas. Vaid 13% Pirita linnaosas ja 31% Nõmme linnaosas elavatest õpilastest määratleti jalgsi liikujatena. Perspektiivsete ühistranspordiga kooli liikujate (18 996 õpilast) keskmine ajakulu oli 23 minutit, 75% vaadeldud õpilastest jõuaksid Tallinnas ühistranspordiga kooli kiiremini kui 29,7 minutiga. Liikumisajad olid lühemad, kui õpilane elas kooliga samas linnaosas või selle lähilinnosa asumites.

Kõikide perspektiivsete ühistranspordikasutajate kooli liikumise aja alusel saab järeldada, et kõige lühem liikumise aeg oli Kesklinna linnaosas ja selle lähiasumites ning Mustamäe linnaosa asumites elavatel õpilastel (joonis 2).

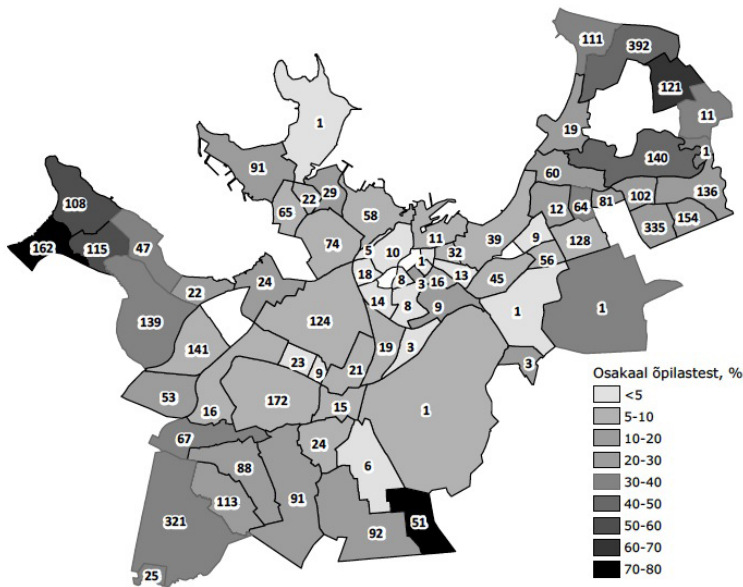
Keskmiselt kõige rohkem aega kuluks ühistranspordiga Pirita linnaosa koolidesse liikumiseks. Ka Pirita linnaosa asumites elavate laste jaoks olid teistes linnaosades, v.a Lasnamäel



▲ Joonis 2 | Tallinna koolide põhikooliõpilaste ühistranspordiga kooli liikumise keskmine ajakulu elukoha asumite lõikes [autori koostatud].

asuvad koolid ühistranspordiga liikudes keskmiselt kodust kaugemal kui 30 min. Nagu ka jooniselt näha, olid keskmised kooli liikumise ajad linna äärealade asumites elavate õpilaste puhul üldiselt pikemad.

Kättesaadavuse ruumilise varieeruvuse uurimisel keskenduti probleemsete piirkondade väljaselgitamiseks õpilastele, kelle kooli liikumise aeg ühistranspordiga kujuneks keskmisest suuremaks. Ühtekokku ületas 4647 põhikooliõpilase kooli liikumise aeg 30 min piiri, see on 24,5% kõigist uuringus perspektiivsete ühistranspordikasutajatena vaadeldud õpilastest. Seejuures ruumiliselt ei ole pikem kooli liikumise aeg ühtlaselt jaotunud ning kõige halvem kooli kättesaadavus oli Tiskre asumis Haabersti linnaosas ja Raudalu asumis Nõmme linnaosas elavatel õpilastel (joonis 3). Ka Haabersti linnaosa Kakumäe ja Vismeistri ning Pirita linnaosa Lepiku asumis elavatest põhikooliõpilastest enamik peaksid ühistransporti kasutades kooli liikumisel arvestama rohkem kui 30-minutilise ajakuluga. Ligi poolte Pirita linnaosas Kose ja Mähe asumites elavate õpilaste kooli liikumise aeg ühistranspordiga ületaks samuti 30 minutit. Seega kooli kättesaadavus ühistranspordiga on halvem eelkõige kesklinnast kaugemates äärelinna piirkondades ning konkreetselt kolmes linnaosas: Pirita, Haabersti ja Nõmme.



▲ **Joonis 3** | Üle 30-minutilise kooli liikumise ajakuluga põhikooli õpilaste osakaal elukoha asumis ja absoluutarv [autori koostatud].

Võib eeldada, et suuresti on erisused liikumisaegades selgitatavad kooli liikumise vahemaa pikkusega. Selle oletuse kontrollimiseks teostati täiendavalt regressioonanalüüs, kus sõltuvaks muutujaks (Y) oli liikumisaeg kooli (min) ja sõltumatuks muutujaks (X) kooli ja kodu vaheline vahemaa (km). Seejuures vahemaa oli määratud kahe asukohapunkti vahelise sirgjoonega. Regressioonanalüüsi tulemused on esitatud tabelis 1.

▼ **Tabel 1** | Liikumisaja sõltuvus vahemaast: regressioonanalüüsi tulemuste kokkuvõte [autori koostatud].

Sõltumatu muutuja	Parameetri hinnang	Olulisuse tõenäosus p	Mudeli R ²	F
Vabaliige X	10,57 3,22	p < 0,00001 p < 0,00001	0,745	55390,9

Regressioonanalüüsi tulemusena saadud mudel kirjeldab ära 74% Y varieeruvusest. Mudel tervikuna on statistiliselt oluline olulisuse nivool 0,01; ka mudeli mõlema parameetri hinnangud on statistiliselt olulised (p < 0,01). Parameetri X hinnangut saab tõlgendada nii, et kui vahemaa suureneb 1 km võrra, siis liikumisaeg kooli pikeneb keskmiselt 3,2 min võrra.

Arutelu

Uurimistöö tulemuste põhjal võib järeldada, et praegu pakutav Tallinna ühistransporditeenus,

liinivõrk ja väljumiste sagedus tagavad hommikul tiptunnil hea koolide kättesaadavuse enamikule linnas elavatele põhikooliõpilastele. Seda järeldust toetab kaks argumenti. Esiteks, enam kui 75% põhikooliõpilastest jõuaksid ühistransporti kasutades kooli vähem kui 30 minutiga. Teiseks, erisused liikumisaegades olid rohkem kui 74% ulatuses selgitatavad kooli ja kodu vahelise vahemaaga. See tähendab, et üldiselt on pikemate liikumisaegade põhjuseks eelkõige vahemaa ja mitte kooli liikumiseks ebasobivast liinivõrgust tulenevad probleemid. Samas ei olnud vahemaa ja liikumisaja seos ühene, mis viitab keskmisest suurematele või madalamatele ühenduskiirustele.

Tallinna koolide kättesaadavuse puhul mõjutasid head kättesaadavust erinevad tegurid. Kõige olulisem oli kindlasti liinivõrgu tihedus lähte- ja sihtkoha läheduses, ühendussuundade mitmekesisus ning ühenduste sagedus. Lisaks Kesklinnale tagab praegune liinivõrgu struktuur hea kättesaadavuse trammi- ja ekspressbusside liinide lähetele jäävate lähte- ja sihtpunktide vahel, aga ka neile õpilastele, kes saavad linnaosade vahelisi (v.a Kesklinnaga seotud) liikumisi teostada Kesklinna läbimata. Iseenesest ei saa ümberistumist pidada negatiivseks ning mudeli tulemuste valideerimisel olid paljud kooli ja kodu vahelised ühendused ümberistumisi kasutades väiksema ajakuluga kui lähte- ja sihtpeatust ühendav otseliin. Pigem on probleemiks see, et ümberistumise tingimused ei ole reisijatele mugavad ja seetõttu eelistatakse ümberistumisi vältida.

Keskmisest madalamate ühenduskiiruste selgitamiseks saab välja tuua kolm võimalikku selgitust: 1) asukohapunktide vaheline vahemaa erines oluliselt reaalsest vahemaast; 2) halvema kättesaadavusega piirkondade ühistransporditeenuse korraldus ei võimaldagi kiiremaid ühendusi; 3) uuringu meetodika võimalik mõju.

Üheks regressioonanalüüsi tulemuste mõjutajaks võisid olla piirkonnad, kus reaalne tänavavõrgupõhine vahemaa lähte- ja sihtpunkti vahel pikenes oluliselt looduslike või inimtekkeliste (nt raudtee) takistuste tõttu. Kui reaalne vahemaa on oluliselt pikem, siis sellest tulenevalt pikeneb ka tegelik liikumisaeg.

Teiseks, analüüsidest uuringus kirjeldatud halve kättesaadavusega piirkondi, võib järeldada, et Tallinna liinivõrk ja pakutav teenus ongi praegu korraldatud selliselt, et teatud piirkondadest on ühistranspordiga kooli liikumine, eriti kui kool paikneb teises linnaosas, ajakulukam. Valdavalt oli tegemist madalhoonestusega eramajade rajoonidega, kus ühissõidukipeatused paiknesid elukohtadest kaugemal ja ühendused teiste linnaosadega olid tagatud pigem Kesklinna kaudu.

Liikumisaegade ruumiliste erisuste põhjuste analüüsil tuleb kriitiliselt analüüsida ka kättesaadavusuuringu meetodikat. Nagu kõikides mahu-kaid andmehulkasid hõlmavates GISi rakendavates uuringutes, on tehtud mitu lihtsustust, mis võivad tulemusi mõjutada. Näiteks lähte- ja sihtpeatuste selekteerimine, samuti tulemuste valideerimiseks kasutatud keskkond ning rakendatud parameetrid.

Siiski saab järeldada, et saadud tulemused peegeldavad olukorda, kus hommikul tipp-tunnil on õpilasel praeguses liinivõrgus tagatud sujuv, tõrgeteta ja pikemate viivitusteta lähte- ja sihtpunktivaheline liikumine. Töö tulemusena selgunud parema või ka keskmisest halve kättesaadavusega ühendused on juhuvalimi alusel teostatud järelkontrollile tuginedes adekvaatselt kaardistatud.

Ettepanekud

Üks oluline süsteemi kiiruse mõjutaja on ühissõidukite liikumisteede eraldatuse määr ülejäänud liiklusest. Seega tuleks jätkata ühissõidukiradade rajamist, kuid vaid juhul, kui on tagatud ka reaalne võit sõiduaegades. Pikemas perspektiivis tuleb jätkata Tallinna trammiteede arenguplaanide realiseerimisega, et kujundada suurema asustusega linnaosi ühendav kiire ja ülejäänud liiklusest eraldatud põhiliinide võrk.

Liinivõrgu struktuuri planeerimisel tuleb võrdset tähelepanu pöörata nii ümberistumiste lihtsusele, liinide konfiguratsioonile kui ka peatuste paiknemisele, et tagada võimalikult paljude sihtpunktide kättesaadavus, aga ka kiire ja mugav kohalejõudmine.

Samuti tuleks kõikide olulisemate koolivõrgus kavandatavate muudatuste puhul lisaks muude aspektide arvestamisele teostada ka analoogne kättesaadavusanalüüs olemasoleva ja tulevikuolukorra võrdlemiseks. See oleks põhjendatud aluseks liinivõrgus vajalike muudatuste väljaselgitamisele ja elluviimisele.

□ Kokkuvõte

Ühistranspordi liinivõrgu planeerimine tulevalt maakasutusest ja nõudlusest on üks meede, kuidas vähendada transpordi negatiivset mõju ja suurendada sihtkohtade kättesaadavust. Seega on hästi korraldatud ühistranspordi liinivõrk kaasaja transpordisüsteemide oluline ja lahutamatu osa. Hinnang süsteemi headusele peab otseselt lähtuma sellest, kui võrd suudetakse rahuldada kas praegu või tulevikus prognoositavat transpordinõudlust. Kuigi Tallinna ühistranspordisüsteem vastab üldjoontes põhikooliõpilaste kooli liikumise vajadustele, on siiski ka halvemini ühendatud piirkondi, kus võimalik rakendada erinevaid meetmeid kättesaadavuse parandamiseks.

Kuna uuring oli kvantitatiivne ja kaardistas ühistranspordisüsteemi tagatud liikumisvõimalused, siis järgmise sammuna tuleks analüüsida, kuidas neid võimalusi realiseeritakse ja milliseks kujunevad õpilaste tegelikud kooli liikumise ajad. Kuidas ruumiliselt erineb kooli liikumise viisi valik ja mis tegurid seda mõjutavad? Mis takistusi õpilased ise ühistranspordikasutuses kogevad? Koolivõrgu reformide taustal on jätkuvalt aktuaalne ka teeninduspiirkonna suuruse ja kooli liikumise aja, aga ka üldise liikumiskäitumise vaheliste seoste uurimine. Koolide liitumisi planeerides on väga oluline arvestada sellega kaasnevat laiemaid mõjusid õpilaste transpordiliigi valikutele, aga ka sooritusvõimele ja sotsiaalsusele.

□ Summary | Accessibility of Schools in Tallinn by Public Transport on Primary School Students' Home to School Routes

In Tallinn, the capital of Estonia, public transport network was designed in 1980's. Since then several changes have been made to react to passengers'

feedback but no analysis of the overall network has been conducted. This paper aims to map accessibility of schools in Tallinn by public transport for primary school students and determine districts with the lower accessibility levels (travel time by public transport →30 min). Analysing the accessibility disparities of different city districts can provide a useful indication of the gaps in the current public transport provision. Thus, accessibility of schools in Tallinn was evaluated based on the door-to-door travel time between home and school by public transport. Only primary school students registered in Tallinn were considered (except students of the Adult Schools) and impacts of the inner-city connections by train or school bus services were excluded from the data analysis.

Altogether 34,490 students from 78 schools formed the sample of the study. The results indicated that only 25% of students in the sample faced a public transport journey of more than 30 min to their school. For the better understanding of the spatial differences, public transport travel times to school for each primary school student were aggregated based on their place of residence and then mapped. The further spatial analysis was conducted of the students whose travel times to school exceeded 30 min.

Considering the results, it was concluded that current public transport line network corresponds well to the travel needs of primary school students in Tallinn. Nevertheless, the results revealed that there are spatial disparities in some parts of the city with higher or lower accessibility levels to schools. The most important is to provide high separation levels for public transport and continue with priority schemes especially in case of bottlenecks that cause delays. In the long run realization of rail transportation development plan will contribute to a significant reduction in public transport travel times. In line network planning, an equal amount of attention has to be paid to the convenience of interchange, line network configuration and strategical location of the stops especially considering pedestrians access.

▣ Viidatud allikad

1. K. Button, H. Vega and P. Nijkamp, A Dictionary of Transport Analysis, Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2010, p. 540.
2. S. Liu and X. Zhu, "An Integrated GIS Approach to Accessibility Analysis," Transactions in GIS, vol. 8, no. 1, pp. 45-62, 2004.
3. T. L. Lei and R. L. Church, "Mapping transit-based access: integrating GIS, routes and schedules," International Journal of Geographical Information Science, vol. 24, no. 2, pp. 283-304, 2010.
4. S. Mavoa, K. Witten, T. McCreanor and D. O'Sullivan, "GIS based destination accessibility via public transit and walking in Auckland, New Zealand," Journal of Transport Geography, vol. 20, no. 1, pp. 15-22, 2012.
5. M. Black, S. Ebener, P. Najera Aguilar, M. Vidaurre ja Z. El Morjani, „Using GIS to Measure Physical Accessibility to Health Care,” 2004. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Patricia_Najera/publication/228728167_Using_GIS_to_measure_physical_accessibility_to_health_care/links/5411d3930cf2fa878ad38fe3.pdf. [Kasutatud 5. märts, 2017].
6. C. P. Tribby and P. A. Zandbergen, "High-resolution spatio-temporal modeling of public transit accessibility," Applied Geography, vol. 34, pp. 345-355, 2012.
7. A. Lovett, R. Haynes, G. Sünnerberg and S. Gale, "Car travel time and accessibility by bus to general practitioner services: a study using patient registers and GIS," Social Science & Medicine, vol. 55, no. 1, pp. 97-111, 2002.
8. V. Sepp, T. Kivi, T. Puolokainen, T. Tali, E. Themas ja Ü. Valgma, „Uuring era- ja avalike teenuste ruumilise paiknemise ja kättesaadavuse tagamisest ja teenuste käsitlemisest maakonnaplaneeringutes,” 2015. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.siseministeerium.ee/sites/default/files/dokumentid/Uuringud/Ruumiline_planeerimine/2015_teenuskeskuste_uuringu_lopparuanne.pdf. [Kasutatud 19. veebruar, 2017].
9. „Põhikooli- ja gümnaasiumiseadus,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/116062016008>. [Kasutatud 22. veebruar, 2017].

□ MITTE-LINN – tulevikumaastikud Põhja-Tallinnas

Autor: Maili Tannenberg

Juhendajad: arhitektuuriinstituudi lektor **Elo Kiivet**, arhitektuuriinstituudi dotsent **Tomomi Hayashi**.

□ Sissejuhatus

Linn on mitmekihiline kooslus, kus kohtuvad erinevad inimesed, kiirus ja aeglus, säravad tuled ja tumedad nurgatagused, kõrged ja madalad, uued ja vanad hooned. Linnad on läbi ajaloo muutunud, kasvanud ja kahanenud nii vertikaalis kui ka horisontaalis ja need protsessid jätkuvad. Areng pole alati lineaarne ega ühtlane ning uute hoonete kerkimise ja piirkondade tihendamise kõrval tekivad ka augud, tühjaks jäävad kohad, kust vana on kadunud, aga kuhu uus pole veel jõudnud. Lõputöö tegelebki just selliste vahepealsete ruumide mõtestamisega erinevate arengutsenaariumite kaudu.

Linna iseloomustavad vastandid: avalik ruum – privaatne ruum, liikumiskiirused 70 km/h (auto) – 5 km/h (jalakäija), korrastatud tänavaruum – tühermaad, suur skaala – väike skaala. Lääne maailma linnades levib tendents võtta taas kasutusele ja elavdada tühjaksjäänud tööstusalasid, mis on linna kasvades jäänud linna sisse. Ka Tallinnas on palju selliseid näiteid: Telliskivi Loomelinnak, Sossi mägi, Volta kvartal, Noblessneri sadamaala, Ülemiste linnak. Mõned on juba muutumisprotsessi käima lükanud, teised ootavad veel oma aega. On alasid, mis pole veel lõplikult oma tähtsust minetanud, kuid võib eeldada, et need vajavad ümberhindamist lähimas tulevikus, näiteks õhuliinide asendamine maakaablitega või garaažide „linnakud“ mitmel pool Tallinnas. Kui praegu kasutatakse garaaže nii panipaiga kui ka autoremonditöökojana, siis tulevikus pole ehk selliseid funktsioone vaja, kui linnas liiguvad ise sõitvad autod või on leitud mõni muu efektiivne ja soodus liikumisviis. Selline funktsioonide muutmine lähtuvalt ühiskonna arengust toob kaasa muutuse linnaruumis, kus üks või teine piirkond tähtsust kasvatab, või vastupidi, kaotab ja unustusse vajub. Paratamatu ja ka omamoodi väärtuslik on selle juures tühermaade tekkimine. Väärtus seisneb uue võimaluse loomises, tühjaks jäänud

kohale saab pakkuda paremat ja mõtestatumat ruumi järgmises arengufaasis kulgevale ühiskonnale, ajalukku kinnijäämise asemel vaadata tulevikku.

Eesmärgiga tuua fookusesse linnaruumi mahajäetud, unustusse jäänud ala ning eristada seda viimistletud, n-ö valmis, „päris“ linnaruumist, on käesolevas töös kasutusele võetud mõiste „mitte-linn“.

□ „Mitte-linn“: definitsioon

Mis on „mitte-linn“? Lühidalt on tegemist alaga, mis erinevatel põhjustel pole praegu täisväärtuslik linn oma ühenduste, elavuse ja olemusega. „Mitte-linn“ ei toimi olemasoleva linnakoega täiel määral koos, pole loogilise ühendusena jätkatud tänavate, hoonete ega ruumikasutuse mõttes. Tegu on tavamõistes tühermaaga, just kui tükike selgelt defineeritud linnast äralõigatu, olemuselt veidi anarhiline paik, kus loodus võtab üle unarusse jäänud hooned ja rajatised ning kus inimesed tallavad omatahtsi sisse vajalikke mitteametlikke radasid ja otseteid.

„Mitte-linna“ kui mõiste inspireeris Marc Augé „mittekoht“. Augé on nimetanud anonüümseid, identiteedita, üksildasi kohti „mittekohaks“ (non-place), nt lennujaam, kiirtee, supermarket. „Mittekohta“ vastand on suhetepõhine, ajaloo ja identiteediga paik. [1] Linnas leidub kohti, mis ühele inimesele on „mittekoht“ ja teisele tähendusega paik, seega pole selline jaotus kuidagi lõplikult kinnistatud konkreetse geograafilise asukohaga, vaid seotud pigem inimese subjektiivse tajuga. Võime vaadelda mahajäetud tööstuspiirkondi, linnas paiknevaid piirialasid üldises avaliku ruumi mõttes „mittekohtadena“, kuni toimub muutmine ja uue tähenduse loomine. Kuna sellistel tühermaastunud linnaruumilistel olukordadel on ise-loomulik minevik ja tugev potentsiaal tulevikuks, pole Augé „mittekoht“ nende kirjeldamiseks piisav. Mõiste „mitte-linn“ hõlmab ka paiga

identiteeti ja iseloomu, andes mittetoimivale linnaruumile laiemat nimetust.

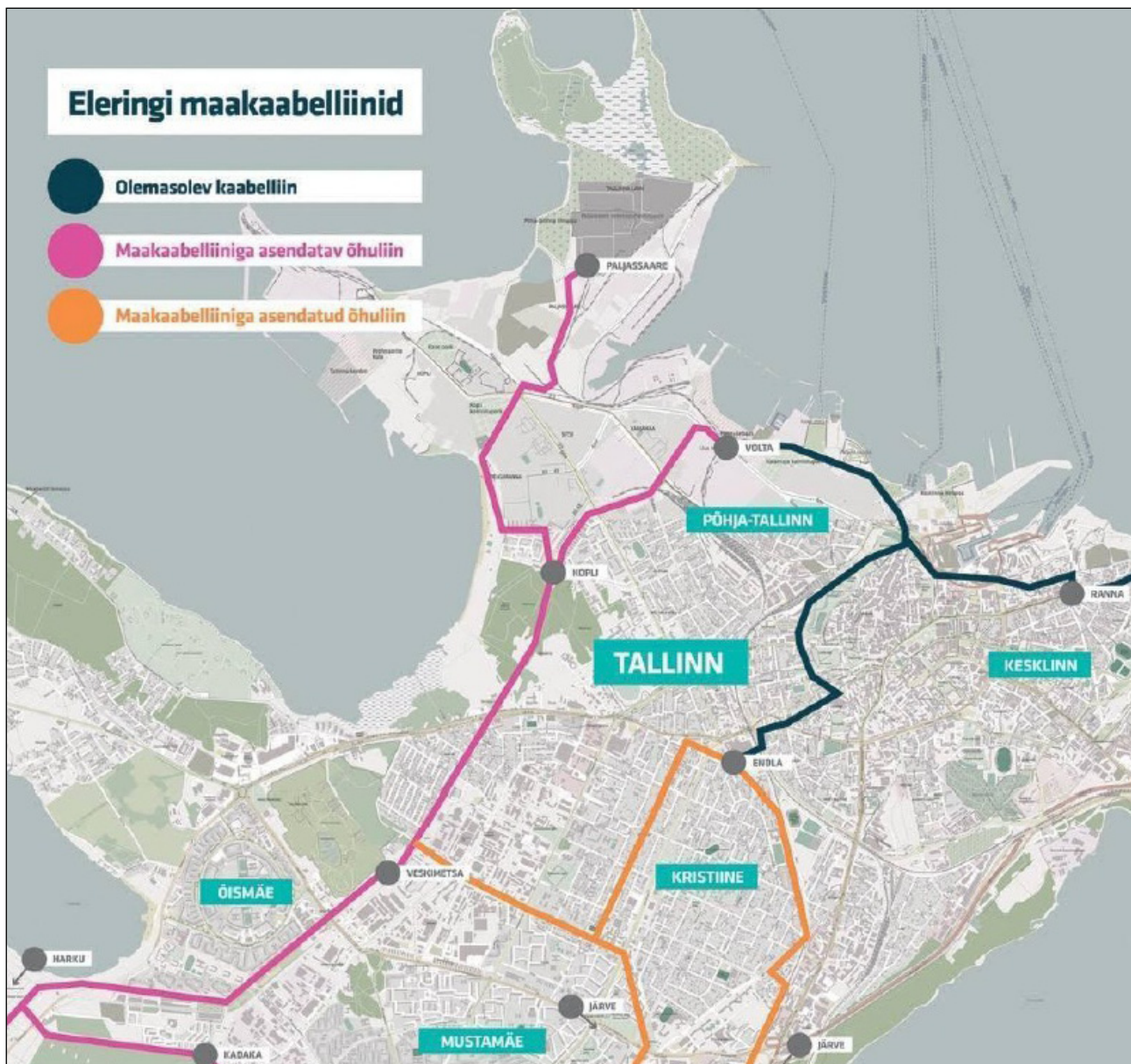
Mis on „mitte-linna“ tunnused? Seal on palju tõkestusi ja piirdeid, mis ei lase ala mugavalt läbida. Need takistused võivad püüda eemale hoida mõnest „mitte-linnaga“ piirnevast alast, kuid toimivad samal ajal ka tõkkena mitte-linna pääsul. „Mitte-linnas“ pole ametlikke kõvakatendiga hooldatavaid jalg- või sõiduteesid, on vaid auklik kõnnumaa, isetekkeline jalgrada, suvel kõrgeks kasvav hein ja unustusse jäetud sillal kasvupinnase leidnud pisikesed puud ja põõsad. Puudub valgustus ja leidub prügi. Siin ja seal on märgata erineva väärtusega tänavakunsti. Tegemist on omamoodi vendade Strugatskite ulmeromaani „Väljasõit rohelisse“ või Tarkovski filmi „Stalker“ tsooniga.

Mahajäetud, veidi kõhedust tekitav, ent täiesti kasutatav ala, selgete viidetega industriaalsele minevikule.

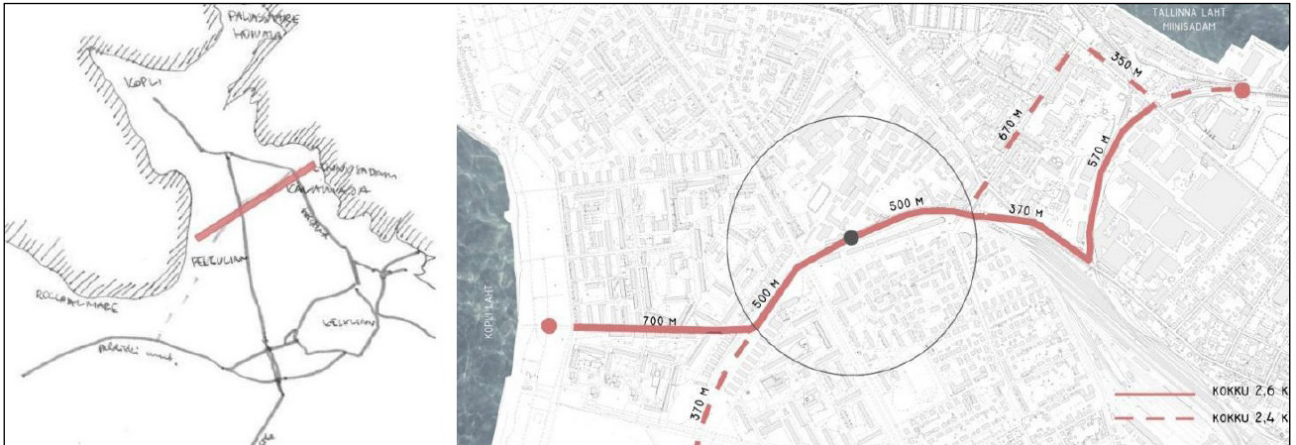
Lõputöös vaadeldav „mitte-linn“ asub ca 2,6-kilomeetrise lõigul Põhja-Tallinnas ning ulatub Stroomi rannast Kalaranna tänava alguseni, ühendab poolsaare merekalda ja kulgeb peamiselt mööda ASi Elering peagi kaduvate kõrgepingeliinide koridori (joonis 1 ja 2).

Kuna Elering plaanib elektrivõrku kaasajastada, visuaalset mastide reostust linnas vähendada ning viia õhuliinid maa alla kaablitesse, avaneb uus võimalus senist tühelt seisnud ehituskeeluga kaitsevööndi koridori paremini kasutada, panna linnaelanike jaoks tõhusamalt funktsioneerima ja ühendada olemasolevasse linnaruumi.

▼ Joonis 1 | ASi Elering Tallinna elektriliinide kaart [2]



▼ **Joonis 2** | Ala üldine asukoht ja pikkus 2,6 km.



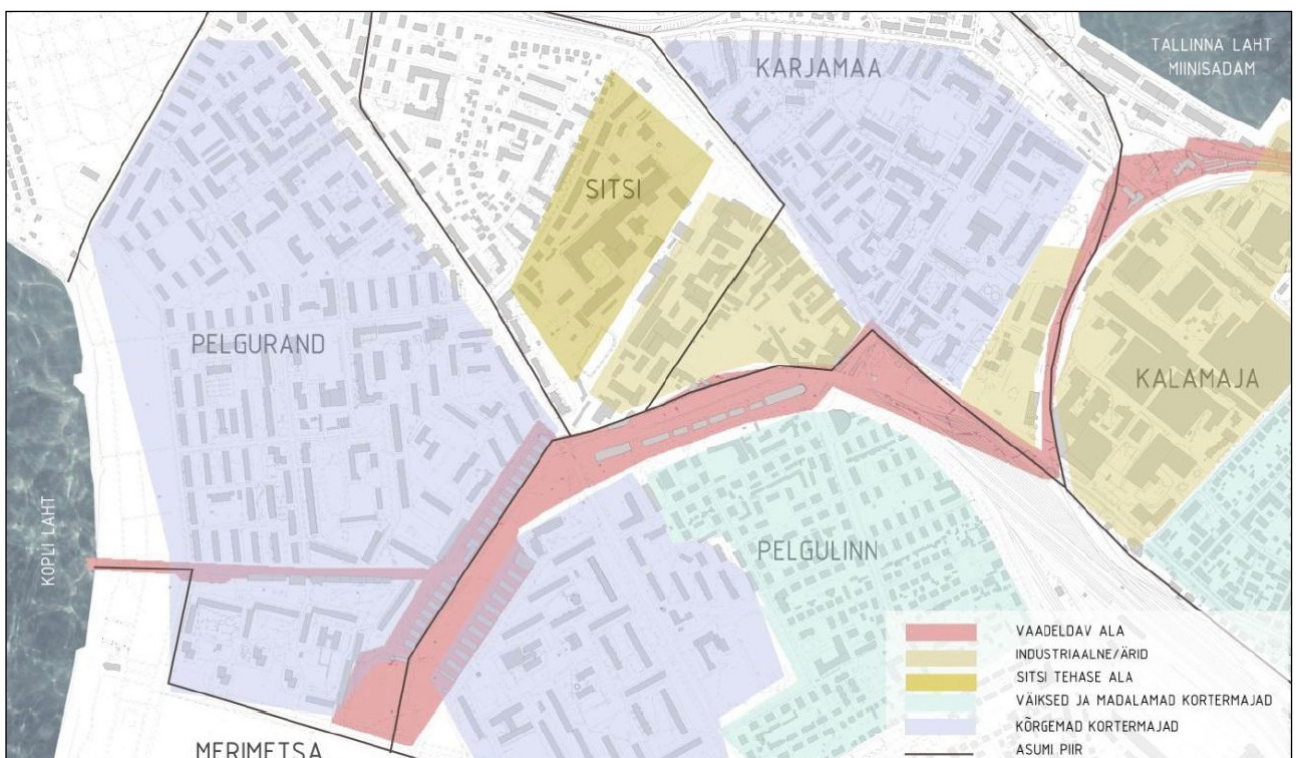
□ „Mitte-linn”: iseloomustus

Milline on Põhja-Tallinnas asuv „mitte-linn” praegu ja millises suunas on sel alal potentsiaali areneda? Projekt ei järgi täielikult elektriliinide ala, vaid kaldub sellest veidi kõrvale, tulenevalt huvipakkuvast keskkonnast ning loogilisest ühendusest kahe mereääre vahel – Stroomi rand ja Noblessneri sadama ala. Lisaks on „mitte-linna” lülitatud lõik Kopli kaubajaama servast, mida enam peaaegu ei kasutata, et siduda ala tugevaks tervikuks.

Piirkonna suurus on kokku umbes 20 ha ning koridor 30–70 ja kohati kuni 110 m lai. Selle läbimine ühest mererannast teise võtab kiirel sammul aega

umbes 45 minutit kuni tund ja pakub äärmiselt mitmekesiseid vaateid ümbritsevale linnale. Siin kohtuvad kuue asumipiirid: Kalamaja, Pelgulinn, Merimetsa, Pelgurand, Sitsi ja Karjamaa. Teekond kulgeb läbi industriaalse, linnametsa ja tänavaruumilise piirkonna (joonis 3). Siit leiab veel toimiva raudteekoridori kaitsevööndi, mis piirneb mõlemalt poolt müüridega; palju garaažibokse ning garaažiühistuid; kasutuseta jäänud raudteetammi ja silla, mis on aiaga piiratud ning vähehaaval looduse poolt üle võetud. On alasid, mida inimesed kasutavad igapäevaselt – otseteena poodi, garaaži juurde pääsemiseks või koeraga jalutamiseks (nt Sõle tänavast Stroomi ranna poole jääv osa) ja on alasid, mida kaitsevad kõrged aiad, kuigi mingit tegevust seal ei toimu.

▼ **Joonis 3** | Vaadeldava piirkonna asumid ja iseloomulik maakasutus.



▼ Foto 1 | Vaated vanalinnale ja elektrimasti torn.



Kalaranna tänava algust iseloomustavad mitmed tööstuslikud korstnad, Stroomi randa jõudev lõik lõpeb ootamatult suure sademeveetoruga meres liivavallide vahel (foto 2).

▼ Foto 2 | Vasakul Stroomi rand ja paremal Miinisadama korstnad Kalamajas.

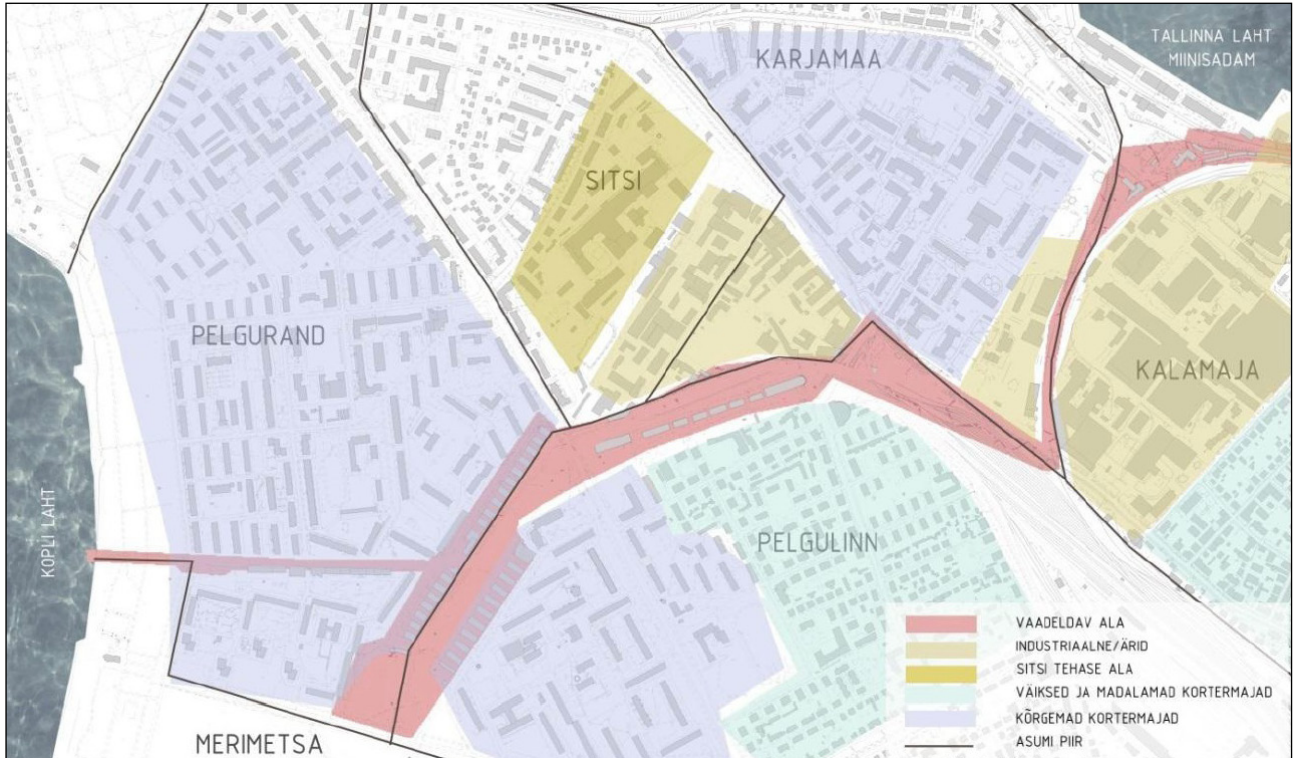


■ Lähiumbruse tänavad ja hooned

Alaga ristuvad mitmed teed, mis on märgitud joonisel 4. Suurim neist on Sõle tänav, mida kasutavad ühistransport (Puhangu, Ristiku, Kopli ja Tööstuse tänavatel) ja raskeveokid. Ka Kopli tänavat kasutavad mõned raskemad veokid. Ristiku tänava kohal asub raudteesild, mida enam otstarbekohaselt ei kasutata ning mis oma asukoha poolest sobiks

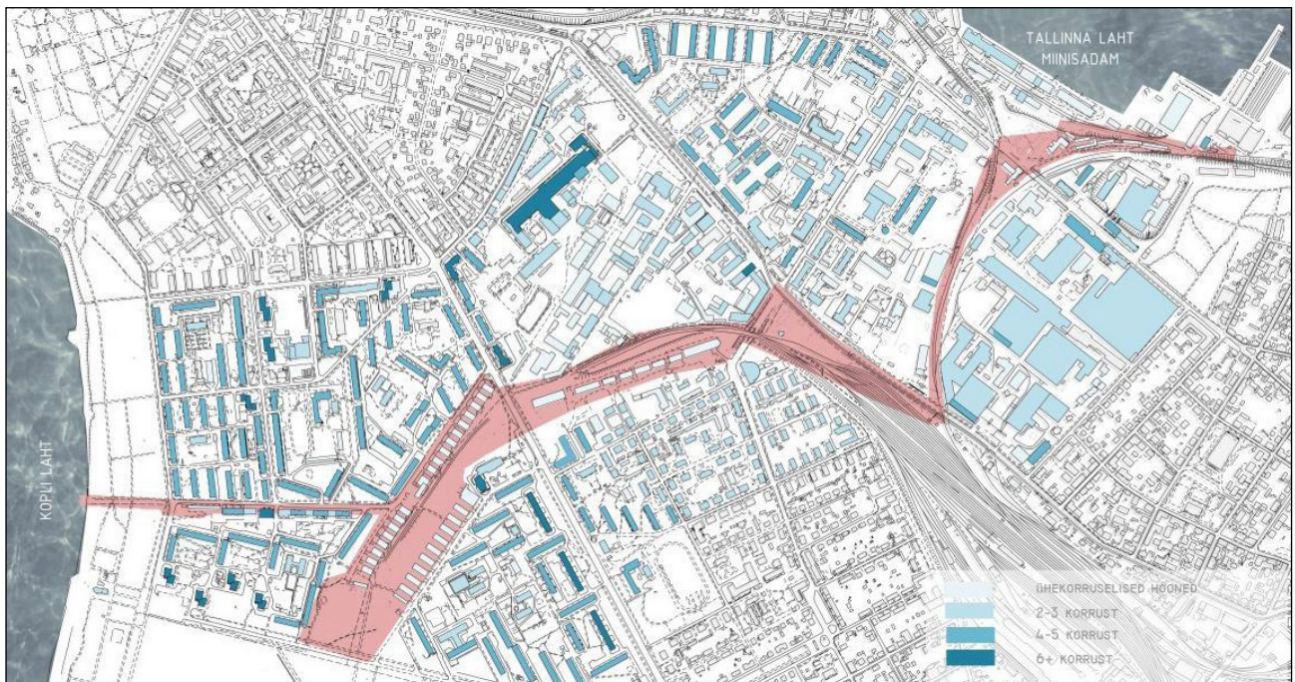
hästi kergliikluseks. Stroomi ranna poolses osas piirab ala Kolde puiestee ja Pelguranna tänav. Ainsa tänavana on ala sees Puhangu tänav. Ülejäänud vaadeldaval alal pole ametliku hooldusega kõvapindset teekatendit või tähistatud kergliiklusteed. Olemasolevate kergliiklusteede vahel Kolde puiesteel ja Kalaranna tänaval puudub otsene ühendus.

▼ Joonis 4 | Ülevaade liikumisviisidest.



Vaadeldaval alal asuvad peamiselt madalad garaažid. Ümbruskonnas paiknevad hooned, mille kõrgus jääb 4–5 korruse vahele, v.a üks 16-korruselise tornmaja otse garaažide kõrval enne Sõle tänavat. Lähiumbruses on ka 9- ja 14-korruselisi kortermaju. Olemasolevad tööstushooned jäävad 2–3 korruse kõrgusele. (Joonis 5)

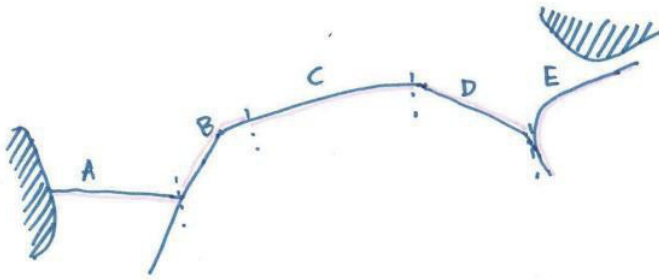
▼ Joonis 5 | Lähiumbruse korruselisus.



□ Planeeringu ettepanek

Kuna vaadeldav lõik on 2,6 km pikk, on see jaotatud väiksemateks alalõikudeks (joonis 6), et selgemini eristada nende olukorda ja arengut tulevikus. Jaotuse aluseks on peamiselt lõikude ristumine suurema teega, aga ka mõttelise terviku, ühtse iseloomuga ruumi moodustamine.

▼ Joonis 6 | L Joonis 6. Alalõikudeks jagunemise skeem



Linnaruumi mitmekülgsemaks muutmise ja aktiveerimise lahendusettepanek toimib kahes etapis. Esimese etapi võib kokku võtta märksõnaga lineaarne park, mis defineerib piirkonna iseloomu, avab ala läbipääsuks ja võtab avaliku ruumi väikeseskaalaliste sekkumistega (paviljonid, linnamööbel, valgustid, installatsioonid, linna-aiad) tõhusamalt kasutusse.

Teise etapi rõhk on „mitte-linna” ruumi tihendamisel, mis järgneb pargi etapile. Ajutistele paviljonidele lisandub alalise kasutusega hoonestus elu-, äri- ja avaliku funktsiooniga. Toimub linna, inimese ja looduse kooseksisteerimine ning areng. Allolev maatriks (joonis 7) kirjeldab olemasoleva olukorra igas lõigus (A, B, C, D, E) ja näitab ülevahtlikult, milline on areng läbi kahe etapi.

► Joonis 7 Arengut kirjeldav maatriks

	A	B	C	D	E
OLEMASOLEV OLUKORD: piirangud	<p>TÖKKED JALAKÄIJATELE TEEDE RISTUMISTEL</p>	<p>GARAAŽIDEVAHEL LÄBIKÄIKU PIIRAVAD AIAD GARAAŽID ASETSEVAD KÜLJEGA</p>	<p>RAUDTEETAMM AIAGA PIIRATUD, GARAAŽID AVANEVAD MÖLEMALE POOLE</p>	<p>ALA TÄIELIKULT AIAGA PIIRATUD</p>	<p>MÜÜRID MÖLEMAL POOL</p>
ETAPP 1: park	<p>VALGUSTID RINGS</p>	<p>KERGLIKLUSTEE KESKEL PÄÄS GARAAŽI PEALE LINNA-AEDA</p>	<p>LIGIPÄÄS RAUDTEETAMMILE KA NÕLVALT TREPIDEST, GARAAŽID AVATUD: KOHVIK, TÖÖKODA, JMS</p>	<p>VAATETORN SILLA KÕRVAL, SILLAL RAAMITUD VAATED, KERGLIKLUS ÜLE SILLA</p>	<p>KERGLIKLUSTEE KESKEL PINGID, PAVILJONID</p>
ETAPP 2: tihendatud ruum	<p>GARAAŽI ASEMELE KORTERMAJA JA TAIMEDE AED</p>	<p>GARAAŽI KOHAL JALGADEL KORTERMAJAD PAVILJONID, ARHITEKTOONID RISTKASUTUSEGA</p>	<p>RAUDTEETAMM JÄÄB PARGIKS, GARAAŽIDE ASEMELE AKTIIVSE TÄNAVAFRONDIGA KORTERMAJAD</p>	<p>VAATETORN JÄÄB, TREPISTIK TURUHOONE KATUSELE - "TÕSTETUD PARK", INSTALLATSIOONIDE VÄLJAK</p>	<p>HÜDROPOONSED TAIMETORNID, PAVILJONID</p>

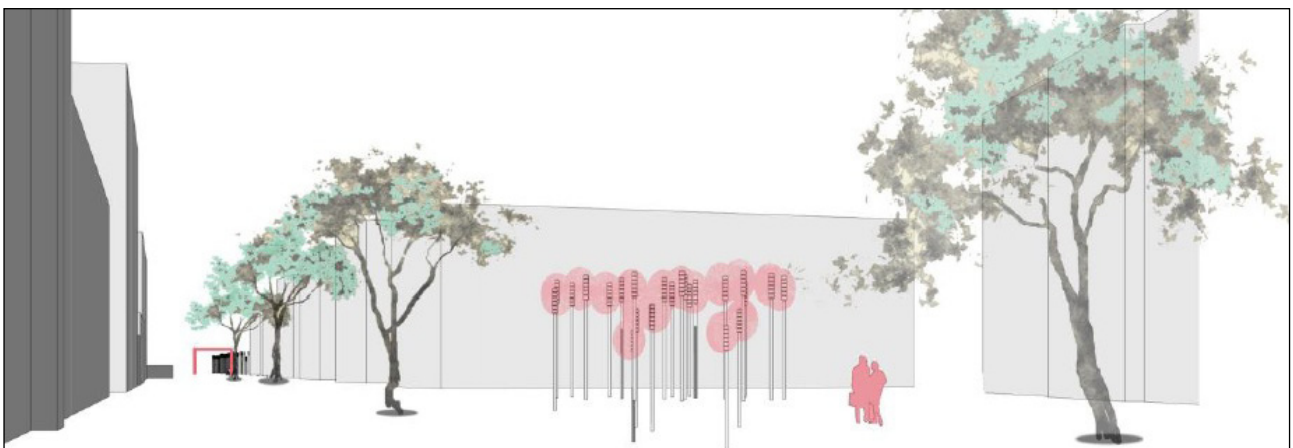
Kahe etapi ruumilisi muudatusi ja ulatust näeb järgmiselt kaardilt (joonis 8).



▲ Joonis 8 | Esimese etapi (rohelisega) ja teise etapi (punasega) kaardid võrdluses.

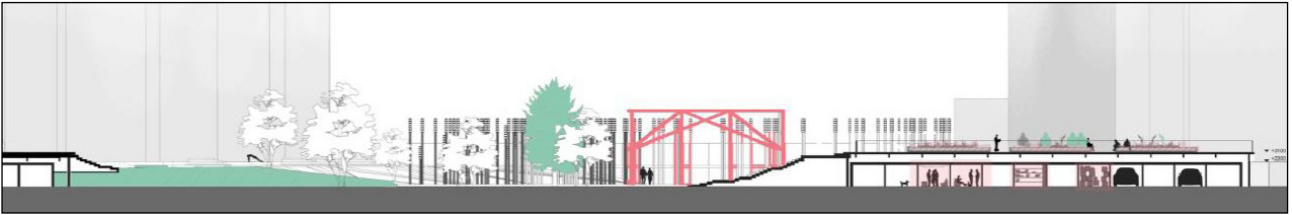
□ Etapp 1: park

Lahendus näeb ette ala heakorrastamise, prügist puhastamise, valgustuse lisamise, teekatendite korrastamise ning lisamise, et muuta ala mugavalt läbitavaks ja turvaliseks. Lisanduvad väikevormid – pingid, paviljonid, vaatetorn ja installatsioonid, mis toetavad olemasolevaid vaateid ja seovad mineviku olevikuga. Valgustid on kogu alale kavandatud ühtsed ning toimivad siduva ja tähistava elemendina, märkides elektrilist minevikku ning toimides orientiiridena kogu mitte-linnas (joonis 9).



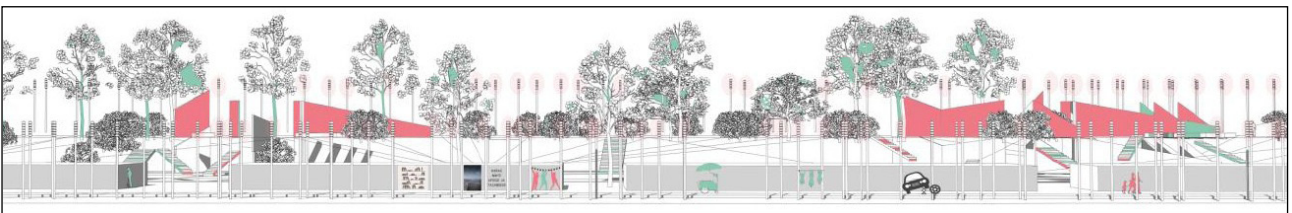
▲ Joonis 9 | Valgustid lõigus A.

See etapp avab mitte-linna seni rakendamata potentsiaali, annab võimaluse avastada seni kasutamata paiku ja vaateid Põhja-Tallinna piirkonnas, ühendades omavahel Kalamaja, Karjamaa, Pelgulinna, Sitsi ja Pelguranna linnaosad. Võib eeldada, et juba ala korrastamise ja valgustamisega kaasneb inimeste suurem huvi ja soov ala kasutada, mis omakorda tõstab turvalisust ning võib anda tõuke tegevusteks, mille jaoks saab kasutada ajutisi paviljone või olemasolevaid tühjalt seisvaid garaaže (joonis 10).



▲ Joonis 10 | Avatud garaažid lõigus B, paviljon ja valgustid.

Lisaks kergliiklusühendusele Kalamaja ja Kesklinnaga, Stroomi ranna või Merimetsaga, saab alal jalutada, nautida linnavaateid või toimetada garaažide kohale rajatud linna-aedades. Kokku kogutud suured elektrimastid on keevitatud vaateorniks silla kõrval (joonis 12), praeguse suure elektrimasti asukohas.



▲ Joonis 11 | Park raudteetammil.

Erinevad katendid – puidumultš, sõelmed, betoonkivid, energiat tootev teekatend – läbivad lineaarset „mitte-linna“ parki ning moodustavad ühtse terviku.

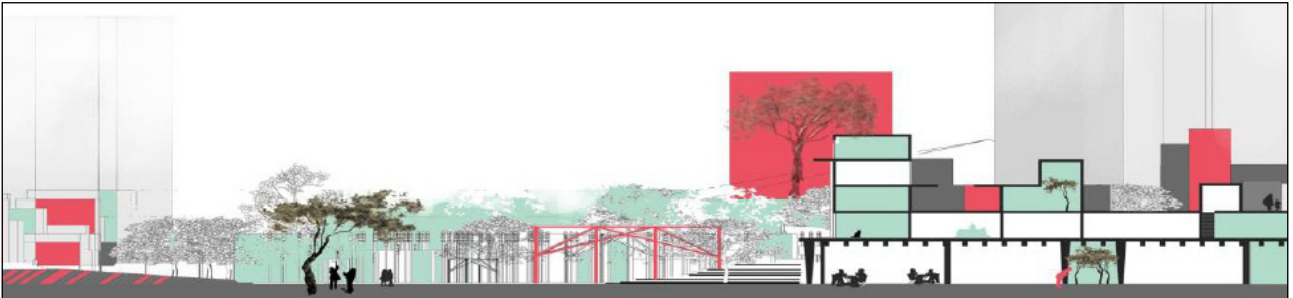


▲ Joonis 12 | Raudteesild, vaateorn, linnapark.

Käesolev arengujärk väärtustab olemasolevat, annab ruumi kujutlusteks, mõtisklusteks, tekitades kontakte ümbritseva keskkonnaga, nii linna kui ka loodusega – see vaatab edasi ja mäletab minevikku. Uue kihistuse tulemusena avaneb võimalus jalutada Kalarannast Stroomi randa ning nautida teekonna mitmekesisust ja muutumist.

Etapp 2: tihendatud ruum

Teise etapi rõhk on mitte-linna ruumi tihendamisel, mis järgneb pargi etapile. Ajutistele paviljonidele lisandub alalise kasutusega hoonestus. Tekivad uued segafunktsionaalsed, väikesemõõdulistest ühikutest kortermajad, mille alumised korrused moodustavad aktiivse äri ja avaliku kasutusega frondi. Lisanduvad väikeärid, pop-up töötamise kohad, kohvikud, töötoad, mõned avalikud hooned, turg. Toimub linna, inimese ja looduse kooseksisteerimine ning areng.



▲ Joonis 13 | Garaažid on asendatud segafunktsioonilise hoonestusega.

Maastikumäng pargis liigub edasi hoonestuse tasandile. Lisanduvad nii avalikud hooned kui ka väikesemõõdulised elufunktsiooniga hooned, mis võtavad üle senised garaažid ja kasvavad nende kohale jalgadele. Kortermaja jalgadele tõstetud alusplaat moodustab suure taimekasvatuse terrassi. Garaaži kui auto hoidmise ja parandamise või panipaigana kasutamise otstarve on end ammendanud ning nende asemele laieneb aktiivne tänavakorrus koos läbikäikudega sisehoovidesse või annavad garaažid teed uuele läbipääsule mitte-linna ja lammutatakse.



▲ Joonis 14 | Lõigus C lisandunud hoonestus.



▲ Joonis 15 | Majade vaheline ruum lõigus B.

Erinevad lõigud (A, B, C, D, E) on peamiselt segakasutuses hoonestusega, et alad saaksid olla aktiivses kasutuses kella- või aastaajast sõltumatult. Raamatukogu, turg, suur avalik talveaed, suvine treeningisaal, ujula, töökoda, ajutine töökoht suvel/talvel, suvila asendaja laisale linnaelanikule või lihtsalt linnasuvitajale on mõned näited (joonis 16). Inimesed ja loodus toimivad sümbioosis. Korterimajade juurde kuuluvad enda tarbeks taimekasvatustalvad ja talveaiad, et hoida loodust lähedal ja vajadusel sealt jõudu ja rahu ammutada. Süsteem toimib säästlikul ja energiatõhusal viisil, vihmavett filtreerides ning soojusenergiat taaskasutades, olles tehnoloogiliselt eesrindlik ja keskkondlikult jätkusuutlik (sh isemajandav).



▲ Joonis 16 | Vaatetorn, turg, näituseväljak lõigus D.

□ Etapp 3

Kuhu tulevik võiks välja viia? Kas piirkond tõmbab ligi rohkem elanikke ja areneb vertikaalselt, et ruumi jääks ka loodusele? Või jääb see väikeseks kogukonnaks ja moodustab omaette säästliku eluviisiga linnaasumi? Võib ka juhtuda, et inimesed kaotavad huvi ning liiguvad edasi ja „mitte-linn“ jääb tühjaks ja mahajäetuks. Kuna areng on tulevikuprotsess, siis jätab käesolev töö kolmanda, kõige kaugemasse tulevikku jääva etapi osa lahtiseks – utopia, düstopia või hoopis midagi kolmandat.

□ Kokkuvõte

Linn muutub, areneb pidevalt ning linnamaastikud tekivad ja kaovad/kasvavad või hajuvad. Unustusse jäänud aladega tegelemine linnas on hea võimalus muuta elukeskkonda sõbralikumaks, säästlikumaks ja elanikke õnnelikumaks, nii et linn ei valgu kõrvalolevatele (looduslikele) aladele, vaid tiheneb ja muutub oma piirides.

Põhja-Tallinna õhuelektriliinide asendamine maakaablitega annab võimaluse uurida pika lineaarse koridori potentsiaali kesklinnalähedases piirkonnas, mis on praeguse seisukorra ja kasutuse põhjal nimetatud „mitte-linnaks“, kuna see ei toimi olemasoleva linnakeskkonna defineeritud osana, on unaruses ja osaliselt prügisse uppumas. Pärast olemasoleva olukorra kaardistamist püüab käesolev töö kahe etapi abil ette näha, kuhu ja kuidas „mitte-linn“ saab areneda, et pakkuda linnaelanikele midagi enam, luua võimalusi uueks arenguks.

□ Summary | “Non-City” – Future Scapes of Northern Tallinn

Cities are in a constant change and the city landscapes keep evolving. There are places in the city that may fall into disrepair and neglect and then are discovered again. Investigating such places can open up chances and ways of improving the city scape for the better, increase the quality

of public space and make its inhabitants generally happier.

The plan of AS Elering to replace the old airborne electrical wiring with cables in the ground provides an opportunity to study the potential of a long linear corridor located in Põhja-Tallinn district, not far from Tallinn city center. The area can be described as a non-city, meaning that it is a non-functional space, forgotten and deteriorating, nature taking over the remains, but with a potential to offer much more.

After investigating the site and its surroundings, two main phases are presented for the non-city to start developing.

First phase puts emphasis on cleaning and defining the site with small-scale interventions, making it available for the citizens to access and interact with the nature, enjoy the views and environment. It is a park phase that opens up the possibilities of development, encouraging city-gardening and social interactions between people and providing the link to two seashores – Kopli and Tallinn bay areas.

Second stage is looking for ways of turning the site into functional and convenient living area with public spaces, businesses and greenery co-existing in symbiosis. The area is densified with buildings that mostly remain small-scale in their measurements as to not to waste resources and leave space for nature as well.

Further development of the area is left up to debate. Will the future scapes be bright utopian or gloomy dystopian?

In conclusion, the development of this non-city area will create new landscapes, city scapes and open up possibilities for improving the existing urban fabric and creating space for people to dwell.

■ Viidatud allikad

1. M. Augé, Non-places. Introduction to an Anthropology of Supermodernity, London: Verso, 1995, p. 99.

2. AS Elering, „Elering asendab Tallinnas vanad õhuliinid maakaablitega,“ 21. mai 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <http://elering.ee/elering-asendab-tallinnas-vanad-ohuliinid-maakaablitega/>. [Kasutatud 23. aprill, 2017].

□ Kas on võimalik leida optimaalseim lahendus eestis tegutsevatele ümarpuiduettevõtetele puidu väljaveoks?

Autor: Carolyn Engso

Juhendaja: logistikainstituudi lektor Kati Nõuakas.

□ Sissejuhatus

Idee uurida ümarpuidu väljavedu sai alguse vestlusest RMKga, kelle jaoks puiduveoga raha kokku hoidmine on äärmiselt aktuaalne teema. Viimasel ajal palju poleemikat tekitanud ümarpuit ongi kuulsust kogunud just suurte raiemahtude tõttu Eesti pinnal. Enamik sellest saadetakse aga riigist välja ning pea 20% kogu raiutud puidust viiakse välja täiesti töötlemata kujul.

Uurimistöö raames uuriti 11 Eesti sadamat, nende pakutavaid tingimusi ja hinnaraamistikke. Seda kõike tehti peamiselt RMK lepingute näitel. Ka maapealsed veokulud arvatati RMK poolt allhangete teostajatele kehtestatud hinnaraamistike põhjal. Eesmärk oli leida optimaalseimad Eesti-sisesed logistilised lahendused eri paigus raiutud puidu väljaveoks. Selleks tuli luua töövahend, mis leiaks erinevate sadamate ja Eesti metsandike vahelised veokaugused, arvataks sellega kaasnevad kulud, ning kaasaksid ka sadamates laadimistöodele ja ladustamisele kehtestatud tariifid. Selline hõlpsasti kasutatav töövahend loodi Exceli keskkonda, kuid selleks, et pakkuda veel täpsemaid lahendusi ja hõlmata ka iga sadama kasutusega kaasnevaid eritingimusi, oleks vaja arendada spetsiifilisem IT-tehniline lahendus. Teema ja töö tulemus pakkus huvi nii autorile kui ka puiduettevõtetele, kes suuremal või vähemal määral uurimuse läbiviimisele kaasa aitasid.

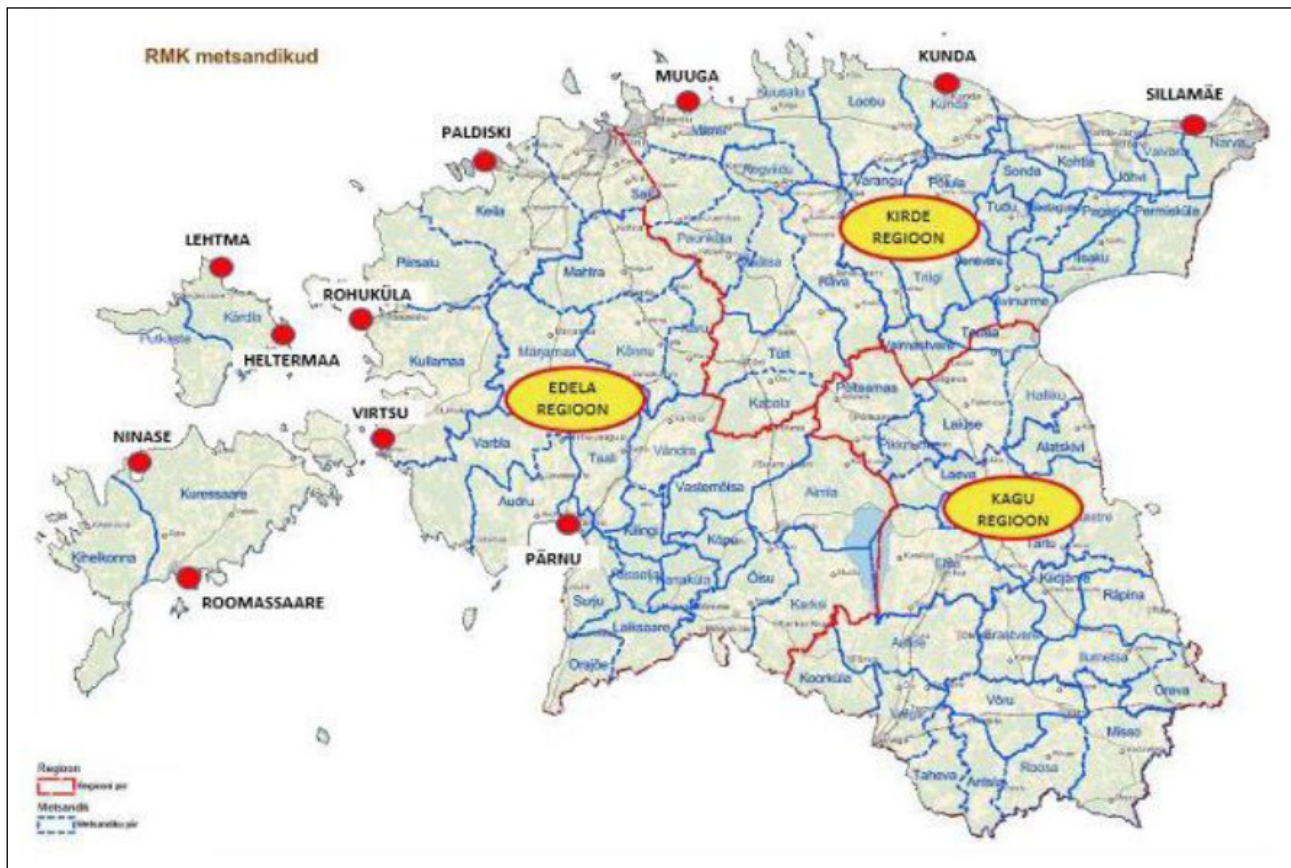
□ Intervjuud puidutranspordi valdkonna spetsialistidega

Selleks, et kirjutada uurimistöö empiirilist osa, on vaja kõigepealt oma ala spetsialistide kaudu end uuritava valdkonnaga kurssi viia. Läbi viidi mitmeid intervjuusid RMK puiduturustusosakonna juhatajaga ning Kirde- ja Edela-Eesti tarnejuhtidega. Samuti käidi kohal Sillamäel, et uurida Eesti uusima konteinersadama ja süvasadama igapäevatööd ja võimekust ümarpuitu transportida.

Nähtavasti on tänapäeval kasvav trend vedada vähem väärtuslikku puitu konteineritega Hiina. Kas pole mitte hea lahendus konteinerite tagastamiseks, mis on samuti üheks murekohaks meretranspordis? Lisaks sellele võimaldab see müüa puitu, millest põhjamaades suuremat lugu ei peeta. Mis puutub aga suurematesse kogustesse puidu transpordil, siis enamikul Eesti sadamatel puudub üldse võimekus suuri koguseid korruga transportida. RMK transporditud kogused vähempopulaarsete sadamate kaudu on küllaltki väikesed ning suuremad puidumahud veetakse Pärnu, Kunda, Muuga ja Sillamäe sadamate kaudu.

Joonisel 1 on näidatud kõik uurimuses võrreldud Eesti sadamad, mille kaudu suuremal või vähemal määral ümarpuitu riigist välja veetakse.

▼ Joonis 13 | Uuringusse kaasatud sadamate valim [autori koostatud].



□ Hinnapäringute läbiviimine

Suur osa infost, mis puudutab sadamate pakutavaid teenuseid ja hinnaraamistikke, oli võimalik saada RMK andmebaaside kaudu. Ülejäänud oli vaja hankida otse sadamate kaudu. Tänapäeval on aga kõik väga läbiräägitav ja suhteline. Lõplik tariif kujundatakse sadama ja puiduveo ettevõtte vahel mitte ainult puidukoguse põhjal, vaid ka igasuguseid emotsionaalseid aspekte arvesse võttes. Oleme ju kõik siiski inimesed ja inimsuhted on ka sellistes kokkulepetes keerukad. Kes parema jutuga ja meeldivam on, see saab ka parema hinnapakumise. Et aga saadud tariifid oleksid võrreldavad, olid ka päringutes märgitud nõuded ja puidukogused samad. Samuti ei tehtud imetrikke selleks, et odavamaid tariife välja kaubelda.

Tabel 1 iseloomustab väljavõtet sadamate pakutud tariifide kohta puiduveoga seonduvatele tegevustele, nagu laoplasilt puidu vedu sadamakaile, kraanatõste kaitl laevale ja ladustamiskulu sadama territooriumil.

Kululiik	Heltermaa	Kunda	Paldiski	Pärnu	Rohuküla	Roomassaare	Virtsu
Ladustamis-kulu (€/m ³)	0,03	0,00	0,30	0,45	0,11	1,03	0,24
Veokulu ladu-kai (€/m ³)	1,71	2,59	0,75	2,09	2,05	2,05	1,65
Lastimiskulu (€/m ³)	2,26	2,30	2,20	2,40	2,26	2,40	2,25
Ladu-laev kokku (€/m ³)	4,00	4,89	3,25	4,94	4,42	5,48	4,14

▲ Tabel 1 | Sadamate tariifid [autori koostatud].

□ Veokulude arvutamine

Veokulud erinevatest Eesti paikadest sadamateni otsib Exceli keskkonnas kokku pandud töövahend ise. Seda teeb ta RMK ja Regio OÜ koostööl loodud maatriksi abil, mis sisaldab iga metsandiku ja sadama vahelist kaugust kilomeetrites. Tabelis 2 on näha väljavõtet veokulude kohta eri sadamatesse Kohtla metsandikust. Kusjuures nii metsandiku, tarnetingimuse kui ka puidukoguse saab töövahendi kasutaja ise valida.

Kululiik	Heltermaa	Kunda	Paldiski	Pärnu	Rohuküla	Roomassaare	Virtsu
Veokaugus (km)	293	54	211	243	269	383	296
Veokulu (€/m ³)	21,97	5,35	16,24	18,38	20,16	24,13	22,33

▲ Tabel 2 | Veokulud sadamatesse [autori koostatud].

□ Simulatsioonid ja tulemused

Selleks, et testida töövahendi otstarbekust ja tuvas-tada, kas „loogiline” logistiline lahendus polegi ehk vahel kõige soodsam, loodi viis simulatsiooni, mis peegeldasid realistlikke olukordi. Seejärel teostati kalibreerimine ja täiustati mudelit, kuhu lisati ka ladustamisele kuuluva aja määramise võimalus.

Simulatsioonide läbiviimise käigus ja töövahendit testides ilmnes tihti olukordi, kus lõpptulemus oli üllatav. Võib eeldada, et lähimat sadamat kasutades on ka kulud kõige madalamad, kuid see ei pruugi alati nii olla. Just sellistes olukordades, kus lähimad sadamad polnudki kõige soodsamad lahendused, tõestas töövahend end kasulik olevat. Esmase sadama valiku kujundamisel kaalub ettevõtte tänu töövahendile ka neid variante, mis muidu võib-olla loogilised ei tunduks.

Kokkuvõtvalt oli uurimus silmi avardav ja lõi selgema pildi sellest, kuidas Eestis ümarpuidu vedu üldse välja näeb. Taolist töövahendit pole seni ettevõtte kasutusele võtnud ning arendades seda edasi mõne IT-tehnilise lahendusega ja lisades kõik eritingimused, nagu talvel jääga ligipääsetavus, sügavus, teenindatavate laevade mõõdud ja mahud jne, on võimalik luua vägagi hea abimees kõikidele puitu vedavatele ettevõtetele. Milline kasumile

orienteeritud ettevõtte siis ei tahaks raha, aega ja energiat säästa, saades kõikide sadamate võrdluse vaid mõne klikiga ning keskenduda lahendustele, mis tegelikult ka kõige soodsamad on?

□ Summary | Is it possible to find the optimal solution for roundwood companies operating in Estonia for the export of timber?

Today, timber management e.g. logging is becoming more and more topical subject in Estonia. It is known that roundwood transportation is not cheap, and since the volumes go up, every penny saved from each cubic meter of timber carried makes an increasingly bigger difference for exporters. The aim of this paper was to find the possible optimal logistical solution within Estonia, that the roundwood exporters can take into consideration in making operational choices, especially when it comes to choosing the appropriate port of dispatch.

Due to the fact that the vast majority of Estonian border consists of a coastline along the Baltic sea, there are around 200 ports all over the country, 27 of which can be used for freight. In this paper, the 11 largest and most popular ports suitable for roundwood transportation were compared to offer the optimal logistic solution for roundwood exporters. After the variables are fixed, the tool

calculates total costs for all 11 ports. These costs: road transport from the cutting area to the storage area located close to the port; the storage of roundwood for a specified period of time; reloading the wood onto a truck and carrying it to the wharf alongside a freighter; loading the wood from the truck to the freighter.

In order to make sure the tool provides the value expected, five simulations were conducted, creating different realistic situations. The tool shows itself to be a great resource of all the information needed if making a decision about which port to use for roundwood export. It gives the exporter a wider view of the biggest ports in Estonia and makes it easier to make assumptions on which one to use.

▣ Viidatud allikad

1. Eesti Metsa- ja Puidutööstuse Liidu koduleht, Puidubilanss. [Võrgumaterjal] <http://empl.ee/statistika/puidubilanss/> [Kasutatud 22. aprill 2017]
2. RMK koduleht, Metsamajanduse Põhiprotsessid. [Võrgumaterjal] <http://rmk.ee/metsamajandamine/metsamajandus/metsamajandamise-pohiprotsessid>
3. Extension, „Cost Factors in Harvesting and Transporting Woody Biomass“, 17. veebruar 2014. [Võrgumaterjal]. <http://articles.extension.org/pages/70339/cost-factors-inharvesting-and-transporting-woody-biomass>[Kasutatud 22. aprill 2017]
4. Stora Enso Eesti AS koduleht, Korduma kippuvad küsimused. [Võrgumaterjal]. <http://storaensomets.ee/teenused/korduma-kippuvad-kuesimused/> [Kasutatud 14. märts 2017]
5. Erametsaliit, „PEFC Tarneahel“, Geneva: PEFC Nõukogu 2011 [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.erametsaliit.ee/documents/2014/01/pefc-tarneahela-susteem.pdf> [Kasutatud 20. detsember 2016]

□ Töödeldud taimse biomassi tehnoloogilised omadused ning rakendusvõimalused

Autor: Tanel Uibokand, Kaur Vahtrik

Juhendaja: tehnikainstituudi professor Toomas Pihl

Lõputöö eesmärk oli leida Eestis rakendusvõimalusi kiiresti taastuvatele looduslikele ressursidele, mis aitavad edendada säästvat arengut ja ressursitõhusat ringmajandust ning säästa looduses pikalt taastuvaid või taastumatuid ressursse. Töös selgitati välja põhu tehnoloogilised ning mehaanilised omadused ja rakendusvõimalused.

Lõputöö idee sai alguse artiklist, mis rääkis sellest, kuidas Saksamaal kasutatakse puulehti ühekordselt kasutatavate nõude valmistamiseks, nende miinuseks oli toormaterjali importimine ehk kasutatakse Aasias ja Lõuna-Ameerikas kasvavaid suuri viinapuulehti.

Erinevalt sakslastest oli lõputöö autorite eesmärk kasutada Eestis leiduvat toorainet ja just nimelt sellist ressursi, mis tihtipeale kasutust ei leia. Analüüsi võimalusi, kuidas on võimalik Eestis tekkivat biomassi kasulikumalt rakendada. Tekkinud arutelu ja põhjalike mõttevahetuste kaudu oma ala professionaalidega, jõuti viimaks potentsiaalse lahenduseni.



▲ Sele 1 | Pallitatud põhk

Materjali valikul lähtuti eesmärgist leida alternatiiv looduses pikalt taastuvatele või taastumatele ressursidele nagu näiteks puit või nafta. Seega saab olulisteks aspektideks tooraine valiku iseloomustamisel pidada ressursitõhusust, jätkusuutlikkust ja keskkonnasõbralikkust. Tänapäevases raiskamise maailmas peame edendada säästvat arengut ja pöörama suuremat tähelepanu ressursside ratsionaalsele kasutamisele.

Praegu ei rakendata Eestis põhku ressursitõhusalt ega täispotentsiaalis. Eestis tekib aastas keskmiselt 700 000 tonni põhku, millest oleks võimalik ära kasutada ligi 300 000 tonni nii, et ei kahjustata viljapõldude jätkusuutlikkust.

Mitmetes riikides maailmas on leitud põllul seisvale põhule rakendust nii energia-, ehitus- kui ka paberitööstuses. Põhu tõhus kasutamine loob ka põllumeestele lisatuluallika ja aitab maksimeerida nende viljakasvatuse tulusust.

Täpsemaks väljundiks uurimistöös oli nimelt uurida konkreetse niiskussisaldusega eelnevalt töödeldud ehk purustatud ja külmalt kokku pressitud põhu eri fraktsioonide osakaalu mõju survetugevusele, põletusnäitajatele ning termovormitavusele. Põhk purustati desintegraatoris, kasutades pörkejahvatusmeetodit, proovidest võeti sõelanalüüsid. Põhust katsekehade pressimiseks valmistati erinevad pressvormid ehk templid ja matriitsid, millega suruti pressi all purustatud põhk vormi. Põhust pressitud katsekehadel määrati füüsikalised ja tehnoloogilised omadused surveteimil, põletustehnilisi näitajaid analüüsi süttimistemperatuuri ja põlemise kaudu [1]. Hindamiseks põhu fraktsioonide osakaalu mõju ja selle tendentsi tehnoloogilistele näitajatele,

oli vaja see eelnevalt purustada eri suurustega osakesteks ehk proovideks [2]. Proovidele teostati sõelanalüüs, mis tõi välja fraktsioonide jaotumise osakaalud ja seejärel määrati nende puistetihedused [1].

Purustatud põhuproovide tehnoloogiliste näitajate väljaselgitamiseks valmistati katsekehad pressimise teel [1]. Katsekehade pressimiseks töötati välja pressvormid, mis peaksid vastu kõrgele survele. Kõigist proovidest pressiti erinevatel survelet katsekehad, mille tehnoloogilised omadused selgitati välja testide ja katsetega.

Toorainena kasutati 2015. a suvel koristatud teraviljapõhku. Põhu ruloonid on seisnud hoidlas kuivana ja nende niiskussisaldus peaks olema hinnanguliselt alla 20%.

Tooraine esmase töötlemise ehk purustamise võimalustest konsulteeriti TTÜ materjalide taaskasutuse laboratooriumi juhataja ja teaduri Dmitri Goljandiniga, kes aktiivselt tegeleb desintegraatorjahvatussüsteemi ja materjalitehnoloogia arendusteadusega.



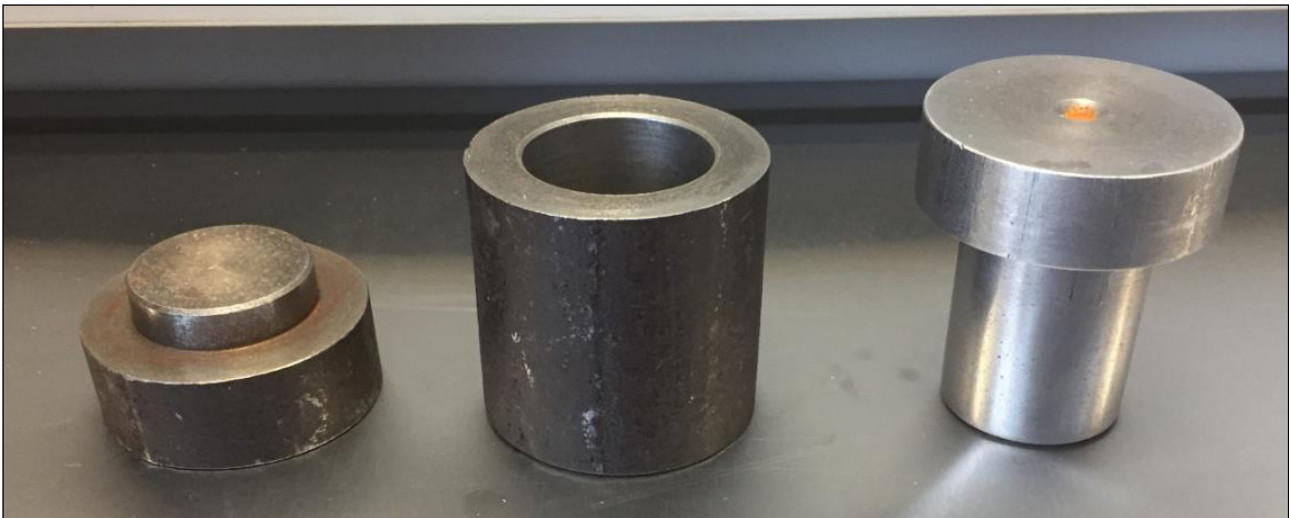
▲ Sele 2 | Purustatud ja jahvatatud proovid nr 1–7.

Esmaste katsete eesmärgiks oli saada ülevaade materjalist eri tingimustes. Kuna temaatika on Eestis innovaatiline, puudus teave, kuidas tooraine katsetel üldse käitub. Läbi mitmete eksimuste ning kaasates esimestesse katsetesse sarnase valdkonnaga tegelevate ekspertide kogemust ja hinnanguid, saadi esmaste proovide kaudu hea ülevaade, kuidas ja millises suunas edasi minna.



▲ Sele 3 | Esimene käsitsi vormitud keha.

Purustatud põhu tehnoloogiliste omaduste ja põletusnäitajate uurimiseks töötati välja standardsete mõõtmetega katsekehad ehk tabletid [3]. Katsekehade valmistamiseks kasutati survetöötlemist, mille jaoks töötati välja pressvormi templid ja matriitsid.



▲ **Sele 4 | T2 katsekehade pressvormi matriits ja tempel.**

Põletustehniliste näitajate katsetuste eesmärgiks on iseloomustada purustatud põhu süttivus- ja põlemisomadusi [2]. Katsed viidi läbi Tallinna Tehnikakõrgkooli pindamislaboris, kus oli võimalik ohutult kasutada gaasleegiga põletamise meetodikat.



▲ **Sele 5 | Katse läbiviimise meetod**

omadusi [1]. Põhu segamine tärklise kui sideainega annab põhule hea vormitavuse ning laseb soovijatel vormida eri kujundeid ja vorme.

Koostöös ettevõttega Eesti Vanapaber OÜ teostati tootmiskatsed purustatud põhuga, kasutades termovormimise ja kuumpressimise tehnoloogiat. Ettevõtte tegeleb Eestis pabermassist keskkonnasõbralike toodete valmistamisega. Katsetuste eesmärgiks oli valideerida purustatud põhu kasutamise võimalust sobiva materjalina ühekordsete biolagunevate toodete valmistamiseks.

Kõige tähtsamaks töös välja selgitatud näitajaks võib lugeda survetugevust, mis vastavalt fraktsioonile ja pressitud jõule jääb vahemikku 55–107 N/mm² ning mis on kohati ligikaudu kaks korda kõrgem näitaja kui puidu survetugevus pikikiudu.

Uurimistöö selgitas välja, kui palju energiat kulub ühe tonni põhu jahvatamiseks soovitud osakeste suuruse saavutamiseks, mis on kindlasti tähtis näitaja tootmiskulude ning toote-arendusprotsesside prognoosimiseks ja eelarvestamiseks [2].

Purustatud ja jahvatatud põhuproovidele teostatud sõelanalüüs esitas erinevate fraktsioonide jaotumise osakaalud, millest sõltub katsekehade survetugevus [1]. Lisaks selgitati välja purustatud põhu proovide puistetihedused ja põletustehnilised näitajad, mis ka iseloomustavad materjali tehnoloogilisi



▲ Sele 6 | Tootmisliini termovormimise reservuaar.

Töö autorid valmistasid reaalse toote „PõhuNõu”, mis on ühekordselt tarbitav söögianum. Keskkonnasäästlike materjalide ja tehnoloogiate kasutuselevõtt on kasvav trend ning aktuaalne teema üleilmselt. Lisaks loodi töö käigus reaalse toode, mida suudeti turustada esmatarbijatele ja võita esikoht nii energia- ja ressursisäästukonkursil „Negavatt 2017” kui ka roheenergia konkursil „Climate Launchpad Estonia 2017”, lisaks pälvis lõputöö aasta rakendusliku teadustöö 2017 tiitli.

□ Kokkuvõte

Lõputöö eesmärgiks oli leida kiiresti taastuv looduslik ressurss, mille rakendamine alternatiivina pikalt taastuvate ja taastumatute loodus-

like ressursside asemel 70 vähendaks nende ülemäärast tarbimist. Eestis tekib aastas keskmiselt 700 000 tonni põhku, millest oleks võimalik ära kasutada ligi 300 000 tonni nii, et ei kahjustata viljapõldude jätkusuutlikkust.

Purustatud ja jahvatatud põhuproovidele teostatud sõelanalüüs esitas fraktsioonide jaotumise osakaalud, millest sõltub katsekehade surveugevus. Lisaks selgitati välja purustatud põhu proovide puistetihedused ja põletustehnilised näitajad, mis ka iseloomustavad materjali tehnoloogilisi omadusi.

Vastavalt väljaselgitatud töödeldud põhu omadustele esitati kasutusvaldkondi tööstussektorisse

ning paberi- ja tselluloositööstusele arendati välja reaalne toode koos prototüübi, turundusstrateegia ja omahinna arvutustega.

Uurimistöö autorite hinnangul on põhu näol tegemist kahtlemata suurt potentsiaali omava ressursiga, mis põllul kasutuna seistes väärtust kaotab. Sellele kiiresti taastuvale ressursile on võimalik anda oluliselt suurem lisandväärtus, leides põhule rakendusvõimalusi ja kasutades seda tõhusalt.



▲ **Sele 7** | „PõhuNõu” esimene valmis toode.

□ **Summary** | Technological properties and areas of application of processed biomass.

The aim of current thesis was to find a natural resource which is rapidly renewable, by the implementation of an alternative, reduction of excessive consumption of long-renewable and non-renewable natural resources will be potentially possible. Approximately 700 000 tons of straw per year is generated in Estonia, from which almost 300 000 tons can be used without jeopardizing the sustainability of the cornfields.

The research determined how much energy is needed per tonne of straw milling to achieve desired fraction size, which is certainly an important indicator for prognostication and budgeting the cost of production and the development processes. Sieve analysis were

carried out to fractured and milled wheat samples, which revealed the distribution of the various fractions. Results of further testings showed that compressive strength of wheat samples depends on the size of fractions.

According to the identified properties of processed straw, different areas of application were suggested from which paper and pulp industry applications proved to be most potentially useable for testing. A real product prototype from processed wheat straw was developed with collaboration of the company Eesti Vanapaber OÜ. Initial marketing strategy and cost calculations were composed for the product.

To summarize the authors of current thesis consider straw as a resource with great potential, which unfortunately loses its value when lying unused. It is possible to give this rapidly renewable resource a much higher added value through opportunities of implementation and utilization. Last but not least the implementation of straw as an alternative material will offer possibilities to promote sustainable development and resource-efficient economy.

□ **Viidatud allikad**

1. P. Kulu, J. Kübarsepp, A. Laansoo, R. Veinthal. Materjalitehnika, TTÜ Kirjastus, Tallinn 2015.
2. William D. Callister, Jr. Materials Science and Engineering an Introduction, John Wiley & Sons Inc. Seventh Edition, USA.
3. P. Kulu, E. Hendre. Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn, TTÜ Kirjastus 2012.