



Tallinna Tehnikakõrgkooli toimetised nr. 27

2021



Tallinna Tehnikakõrgkooli toimetised nr. 27

Koostaja ja toimetaja: Erki Lember, PhD

Tehnilised toimetajad: Heleri Michalski, Mari-Leen Treimann ja Liisa Konsap

Väljaandja: Tallinna Tehnikakõrgkool

Pärnu mnt 62, 10135 Tallinn

ISSN 1406-7641

Sisukord

- 4 Saateks, õppeprorektor Martti Kiisa, PhD
4 Foreword, Martti Kiisa, PhD, Vice-Rector for Academic Affairs
- Erki Lember, PhD, Tallinna Tehnikakõrgkooli professor
- 5 Reoveepuhastite energiatõhususe hindamine massibilansi abil
11 Assessment of Wastewater Treatment Plant Energy Efficiency Through Mass Balance Analysis
- Aivars Alt, MSc, Tallinna Tehnikakõrgkooli juhtivlektor
Lauri Peetrimägi, MSc, Tallinna Tehnikakõrgkooli juhtivlektor
- 13 Betooni printimistehnoloogia eksperimentaalsed uuringud Tallinna Tehnikakõrgkoolis
18 Experimental Studies in Concrete Printing Technology in TTK University of Applied Sciences
- Julija Šommet, PhD, Tallinna Tehnikakõrgkooli kaasprofessor
Ando Pärtel, Tallinna Tehnikakõrgkooli laboriinsener
- 19 Eksperimentaalsete teesegade koostamine ja katsetamine
26 Experimental Road Mixtures Compounding and Testing
- Martti Kiisa, PhD, Tallinna Tehnikakõrgkooli professor
Sander Sein, MSc, Tallinna Tehnikaülikooli lektor
Karin Lellep, MSc, Tallinna Tehnikakõrgkooli lektor
- 27 Leelise-räni reaktsioonist tingitud betoonkonstruktsioonide kahjustused
35 Concrete Damages Caused by the Alkali-Silica Reaction
- Ada Traumann, PhD, Tallinna Tehnikakõrgkooli professor
Evelin Vaab, MA, tehnikainstituudi direktor
- 37 Tööstus 4.0 rakendamine moetööstuse õppekava Minifactory labori kaudu
44 The Application of Industry 4.0 to the Curriculum of Fashion Engineering Using the Minifactory Laboratory
- Anne Uukkivi, PhD, Tallinna Tehnikakõrgkooli kaasprofessor
Vitali Retšnoi, PhD, Tallinna Tehnikakõrgkooli kaasprofessor
- 46 Distantõppes reaalainete õppimist mõjutanud tegurid
54 Factors Influencing Distance Learning of Sciences
- Ave Nukka, MSc, Tallinna Tehnikakõrgkooli lektor
Helle Noorväli, PhD, Tallinna Tehnikakõrgkooli professor
- 55 Hinnanguliste kohustiste kajastamine ning nende mõju finantseerimis- ja rentaablussuhtarvudele
64 Recording Estimated Liabilities and Their Impact on Financial and Profitability Ratios

Saateks

Hea lugeja!

On hea kogeda midagi püsivat ajal, mil maailm on muutuste keerises ja toimub pidev uue olukorraga kohanemine.

Tallinna Tehnikakõrgkooli Toimetised ilmusid esimest korda 2002. aastal ja oma uurimistulemuste tutvustamisest on kooliperele saanud meeldiv traditsioon.

Ilmunud on Tallinna Tehnikakõrgkooli Toimetised nr. 27, mis sisaldab seitset artiklit.

Kogumik annab lühiülevaate TTK viimase aasta teadus-, arendus- ja loometegevusest ning tutvustab valdkondi, millega uurimistöode rühmad ja instituudid/keskused tegelevad.

Seetõttu on artiklite ampluaa ja käsitletavate teemade valdkond lai ning loodetavasti leiab iga lugeja endale meelepärase kirjatöö.

Head lugemist!

Martti Kiisa, PhD
õppeprorektor

Foreword

Dear reader,

It is good to have something constant during a time when the world is in a whirlwind and we have to keep adapting to new situations.

The Proceedings of TTK University of Applied Sciences were first published in 2002 and presenting the results of our research activities has become a nice tradition of our university.

The current edition is the 27th and contains altogether 7 articles. The compilation gives a short overview of TTK UAS' research, development and creative activities in the last year and presents the research fields of our research groups, institutes and centres.

The scope of the articles and the topics addressed is broad and hopefully every reader find something of interest.

Enjoy your reading!

Professor Martti Kiisa
Vice-Rector for Academic Affairs



Reoveepuhastite energiatõhususe hindamine massibilansi abil

Autor:

Erki Lember, PhD, Tallinna Tehnikakõrgkooli professor

■ Sissejuhatus

Viimase 10 aasta jooksul on rekonstrueeritud pea kõik Eesti reoveepuhastid. Kasutusele võeti nii biokile- kui ka aktiivmudal põhinevaid puhastusprotsesse, millest teine on meie külmema kliimaga regiooniga sobilikum. Reoveepuhastite rajamisel on põhikriteeriumiks olnud väljavoolu nõuded ehk see, millise kontsentratsioonini peab vastav puhastusseade saastaineid vähendama. Põhiliselt eemaldatakse reoveepuhastusprotsessi käigus orgaaniline aine ehk biokeemiline hapnikutarve (BHT) ja keemiline hapnikutarve (KHT), mis veekeskkonnas hakkaks mikroorganismide abil lagunema ning tarbiks lahustunud hapnikku.

Suuremate reoveepuhastite puhul on oluline ka toitainete ehk fosfori (Püld) ja lämmastiku (Nüld) eemaldamine. [1]–[3] Fosforit (ja lämmastikku) tunatakse kui üht põhilist veekogude eutrofeerumise põhjustajat, kuid reovees olev lämmastik esineb põhiliselt ammooniumina (NH₄), mis veekeskkonnas samuti mikroorganismide abil oksüdeerub, vähendades veekogude lahustunud hapniku sisaldust. [4], [5]

Reoveepuhastus koosneb enamasti kolmest etapist: mehaaniline, bioloogiline, keemiline/füüsikaline puhastus.

Mehaanilise puhastuse käigus eemaldatakse suuremad võõrised ehk lahustumatud osakesed. Põhiliselt kasutatakse selleks võõrisid, mille vahede suurus on 0,6–1 cm.

Järgmiseks etapiks on bioloogiline puhastus, milleks Eestis on peamiselt aktiivmudaprotsess. Aktiivmudaks nimetatakse helbelisi mikroorganismide kogumikke, mis moodustuvad reoveepuhastisse iseenesest, kui bioreaktoris on olemas sobilikud tingimused, nagu piisav toitainete olemasolu (KHT, BHT, Nüld, Püld); lahustunud hapnik ja süsteem peaks olema hästi läbi segatud. [6]–[8] Bioloogilise puhastuse käigus kasutavad mikroorganismid teatud osa saastainetest kasvuks ja osa oksüdeeritakse energia saamise eesmärgil. Massibilansiliselt akumuleerub suur osa KHT-d, BHT-d, Nüldi, Püldi aktiivmudasse, mis eemaldatakse süsteemist liigmudana. Kui suur osa orgaanilisest

ainest ja lämmastikust oksüdeeritakse, oleneb juba protsessijuhtimisstrateegiast ja sissevoolus olevate toitainete omavahelisest suhtest.

Sellest oleneb ka bioreaktori aereerimiskulu, mis moodustab keskmiselt 60–70% kogu reoveepuhastusprotsessi elektrienergiavajadusest. [1], [2], [9]

Fosfor eemaldatakse bioloogiliselt, kus mikroorganismid kasutavad fosforit oma ainevahetuses, või keemiliselt, kus suuresti lahustunud kujul olev fosfaat sadestatakse välja mõne metallisoolaga. Protsessi käigus tekib lahustumatu ühend, mis eemaldatakse liigmudana. [1], [10]

Uuringu eesmärgiks oli analüüsida kaheksat Eesti reoveepuhasti bioloogilise puhastuse energiaefektiivsust massibilansside abil.

Massibilanss võimaldab hinnata, kui suur osa saastainetest tarbitakse uue biomassi kasvuks või oksüdeeritakse. Mida kõrgem on oksüdeeritavate saastainete osakaal, seda rohkem kulub puhastusprotsessis õhku ehk elektrienergiat. Samas väheneb kõrge oksüdeeritud saastainete taseme juures liigmudade teke, mis vajab samuti eraldi töötlemist.

■ Materjalid ja meetodika

Massibilansside koostamiseks kasutati põhiliselt DWA Regelwerk Arbeitsblatt DWA-A 131 „Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen“ modifitseeritud meetodikat.

Selleks koostati Microsoft Exceli töötabel, kus kasutati nii standardseid kui ka laborikatsete käigus leitud koefitsiente.

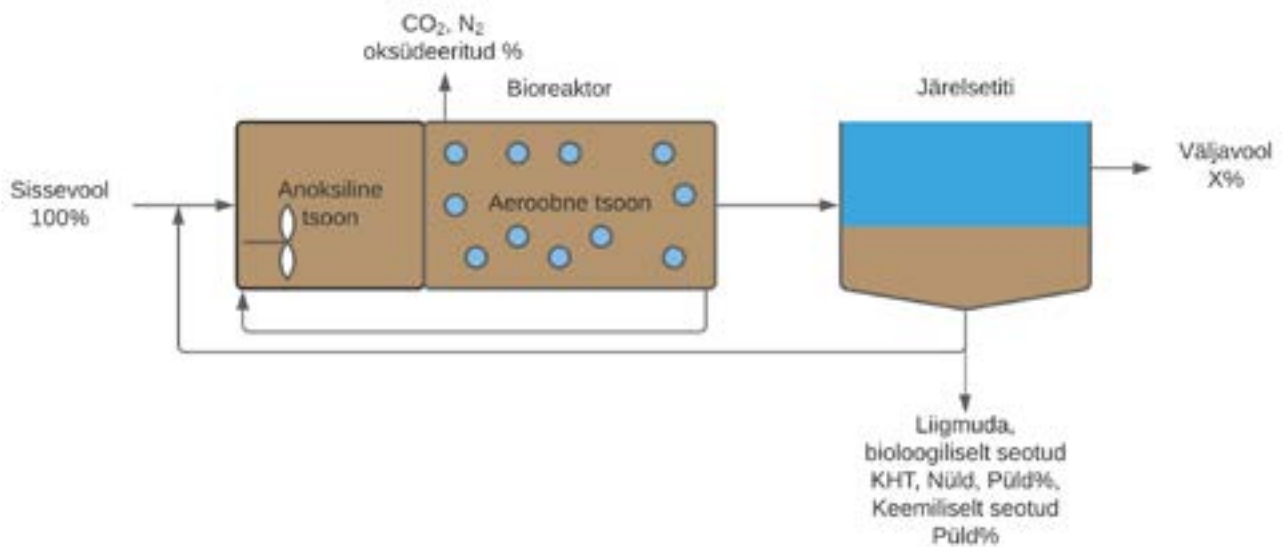
Kahe reoveepuhasti puhul tuli eraldi koostada matemaatiline mudel tarkvara Dynamita Sumo abil, mille abil hinnati liigmuda teket ja selle vastavust reaalsele tulemustele.

Analüüsiks vajalikud andmed saadi reoveepuhastite käitajatelt.

Puudulikud andmed, nagu lahustunud KHT, flokuleeritud KHT ja liigmuda orgaanilise aine sisaldus analüüsiti TTK laboris ja Eesti Keskkonnauuringute Keskuses.

Massibilansi koostamiseks kasutati järgmisi sisendandmeid.

- KHT, lahustunud KHT, flokuleeritud KHT, BHT7, Nüld, vooluhulk, liigmuda kogus, liigmuda kuivaine sisaldus, liigmuda orgaanilise aine sisaldus, Püld, kasutatud koagulandi kogus, reoveepuhasti elektrikulu, bioreaktori suurus, inimekvivalent (ie).
- Modifitseeritud parameetrid olid KHT sisaldus grammi orgaanilise kuivaine kohta, liigmuda teke grammi KHT kohta.
- Standardsed koefitsiendid olid lämmastiku- ja fosforisisaldus liigmudas (vastavalt DWA-A 131), mis olenevad kasutatavast aktiivmudaprotsessi konfiguratsioonist. [1], [7], [11]



▲ Joonis 1 | Massibilansi põhimõtteline skeem

Joonisel 1 on esitatud massibilansi lihtsustatud skeem, kus meil on sissevoolus saastainete KHT, Nüldi ja Püldi sisaldus n-ö 100%. Uuringu käigus leiti, kui suur osa saastainetest seoti liigmudasse, väljavoolu reaalsed andmed on kõikide reoveepuhastite kohta teada, seega jääk oksüdeeriti (KHT ja Nüldi puhul). Fosfori puhul oli võimalik leida, kui suure osa tarbisid mikroorganismid ja jääk eemaldati keemiliselt.

■ Tulemused ja arutelu

Massibilanss näitab väga täpselt reoveepuhasti konfidentsiaalseid sisend-väljund-voogusid, mistõttu tulemusi ei seota nimeliselt, vaid igale reoveepuhastile vastab üks täht.

Ühte reoveepuhastit uuriti ka varasemalt, mistõttu on tabelis näidatud sarnased koormused. Parema indikatsiooni saamiseks on tabelis 1 esitatud uuritud reoveepuhastite reostuskoormus inimekvivalentides (ie-des). Üks ie vastab ööpäevas ühe inimese põhjustatud tinglikule reostusele.

Uuritav reoveepuhasti	Reostuskoormus ie-des
A	58 419
B	20 427
C	18 567
D	4986
E	12 916
F	72
G	6540
H	4449

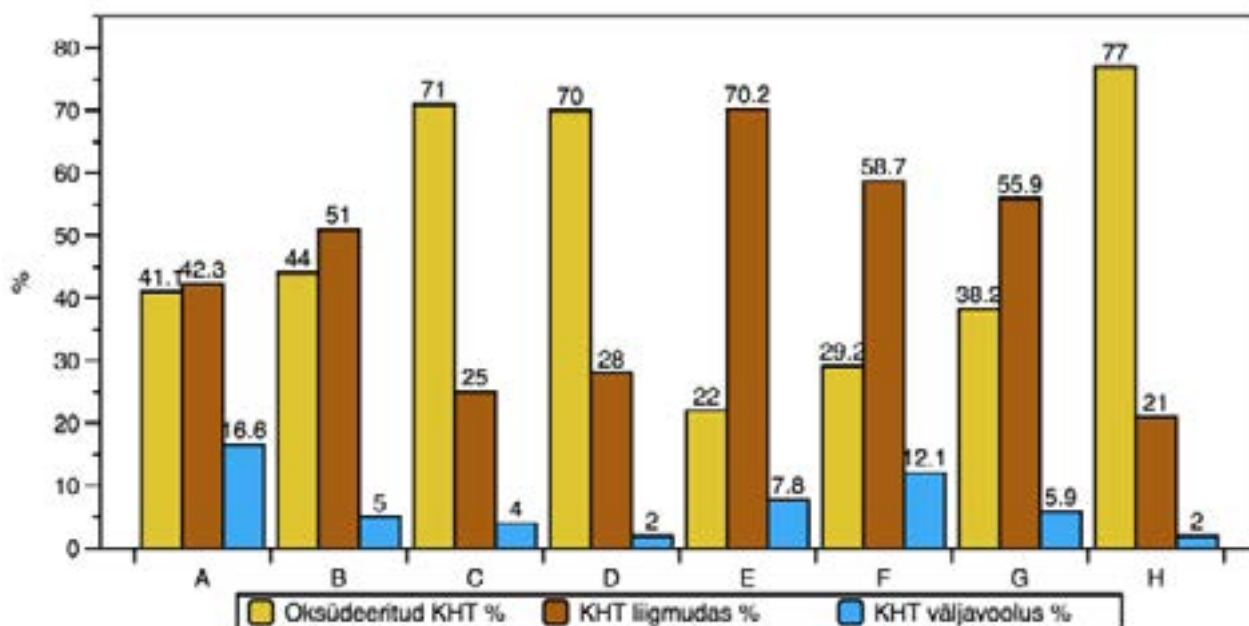
▲ Tabel 1 | Uuritud reoveepuhastite reostuskoormus ie-des

Tabelist 1 selgub, et analüüsitud reoveepuhastite hulgas oli nii suuri kui ka väikseid.

Keskmine reostuskoormus oli 15 797 ie-d.

Uuritavad reoveepuhastid on kõikides parameetrites hästi võrreldavad, ainus erand on Nüld, mille eemaldust viiakse põhiliselt läbi üle 10 000 ie reoveepuhastite puhul.

See mõjutab ainult oksüdeeritud Nüldi, sest mikroorganismide kasvuks vajalik toitainete bilanss on kõikide objektide puhul sarnane.



▲ Joonis 2 | Analüüsitud reoveepuhastite KHT bilanss

Joonisel 2 on esitatud KHT bilanss, kus näeme päris suuri erinevusi oksüdeeritud KHT % ja KHT liigmudas % vahel.

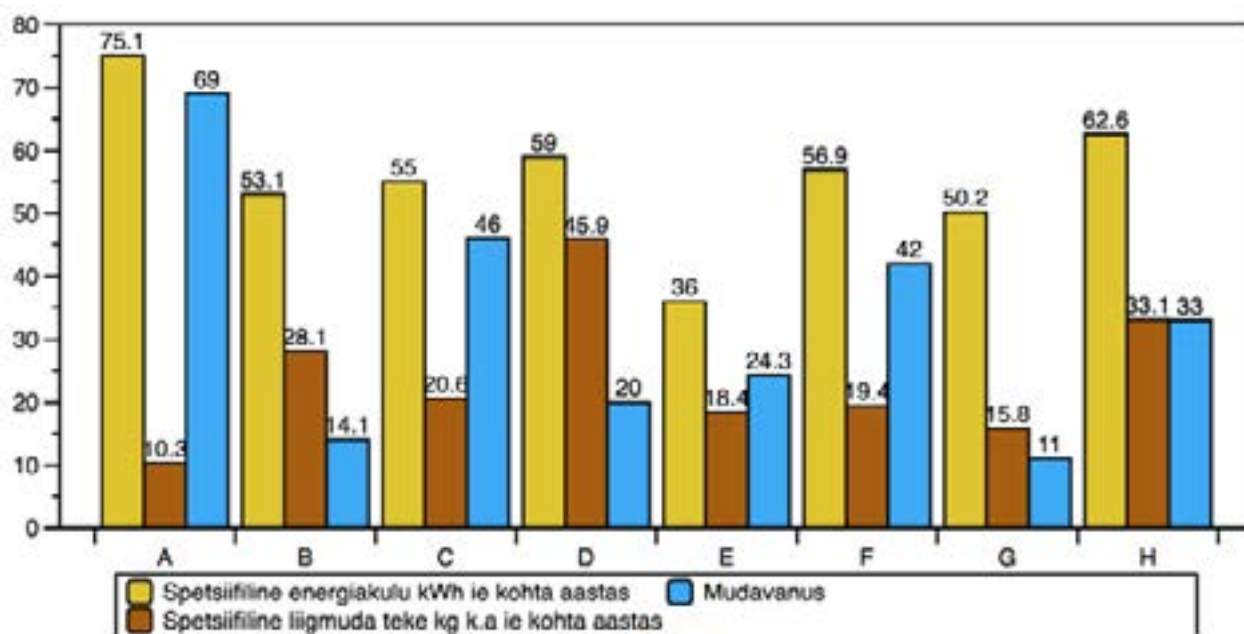
Nagu varasemalt kirjeldatud, siis energiakulu seisukohalt on oluline, et võimalikult suur osa KHT-st oleks liigmudas, mitte oksüdeeritud.

Keskmiselt oksüdeeriti 49% KHT-st, mis on suhteliselt hea tulemus. Energiaefektiivseks loetakse reoveepuhastit, kus vastav näit on alla 60%. [2], [7], [12] Joonisel 2 esitatud tulemuste puhul on seega võimalik öelda, et reoveepuhastid C, D ja H ei tööta

kõige efektiivsema puhastusprotsessi konfiguratsiooniga.

Põhiliselt on see tingitud kõrgest mudavanusest ehk aktiivmuda viibeajast puhastusprotsessis enne, kui see liigmudana eemaldatakse.

Mida rohkem on biomassi reaktoris, seda rohkem esineb mikroorganismide endogeenset hingamist ehk lihtsustatult – bakterid tarbivad hapnikku eluspüsimiseks, mitte saastainete lagundamiseks.



▲ Joonis 3 | Uuritud reoveepuhastite spetsiifiline energiakulu (kWh inimekvivalendi kohta aastas), spetsiifiline liigmuda teke (kg, k.a inimekvivalendi kohta aastas) ja mudavanus (d)

Joonisel 3 selgub, et analüüsitud roveepuhastite spetsiifiline energiakulu ehk energiavajadus inimekvivalendi kohta aastas on suurim objekti A puhul. See töötab puhastusprotsessi seisukohalt efektiivselt, kuid suurenenud energiakulu on tingitud vastava roveepuhasti spetsiifikast, milleks on tööstusreovee kõrge osakaal.

Samuti on kõrge C, D, F ja H roveepuhastite spetsiifiline energiakulu.

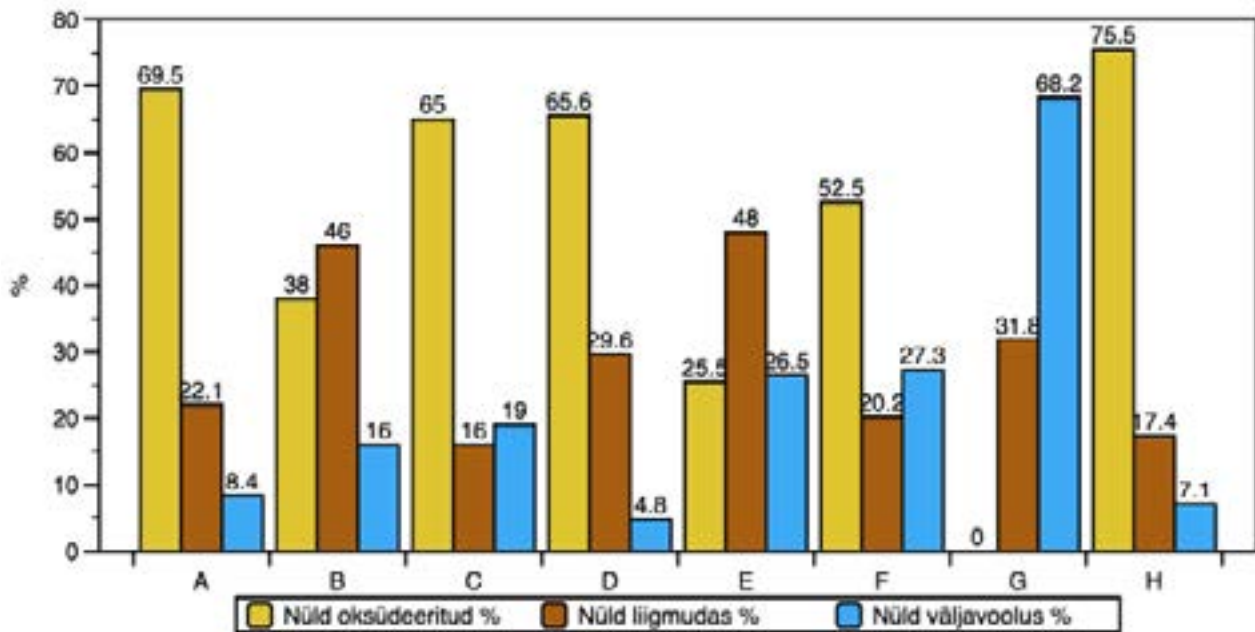
C, D ja H põhjuseid toodi välja juba joonise 2 juures, kus leiti oksüdeeritud KHT kõrge protsent. Võttes aluseks varasemad Euroopa Liidu rahastatud uurin-gute tulemused, siis keskmine Läänemere-äärsete riikide vastav näit on 30–50 kWh inimekvivalendi kohta aastas ning eesmärgiks on pakutud 23 kWh inimekvivalendi kohta aastas. Seega tähendaks see mõnedel objektidel elektrikulu pea kolmekordset vähendamist/optimeerimist. [13], [14]

Peaaegu kõik uuritud roveepuhastid töötavad kõrge süsteemi mudavanusega ehk kõrge biomassi sisaldusega, mis põhjustab suurenenud energiaku-lu, kuid vähendab mingil määral liigmuda teket ja parandab saastainete puhastusefektiivsust.

Eesti tingimustes on sobilik mudavanus keskmiselt 14–15 päeva ning see oleneb otseselt rovee tem-peratuurist ja puhastuseesmärgist. Eriti tempera-tuuritundlik on lämmastikuärastus. Normaalseks spetsiifiliseks liigmuda tekkeks loetakse Lääne-Euroopas 13–15 kg kuivainet inimekvivalen-di kohta aastas.

Uuritud roveepuhastitel oli see keskmiselt 24 kg. [1], [2], [14] See viitab sellele, et meie rovesi sisal-dab rohkem kanalisatsiooni visatud võõriseid, mis jõuavad seeläbi puhastusprotsessi. Põhjuseks võib olla ka Lääne-Euroopaga võrreldes rovee erinev saastainete sisaldus/omavaheline tasakaal.

Samuti kasutatakse Eestis intensiivsemalt keemilist fosforiärastust, mis tõstab märkimisväärselt liigmu-da teket. Projekti teises osas töötatakse välja Eesti tingimuste jaoks sobilikud optimeeritud opereeri-misrežiimid, et vähendada energiakulu ja tõsta ka saastainete eemaldusefektiivsust.

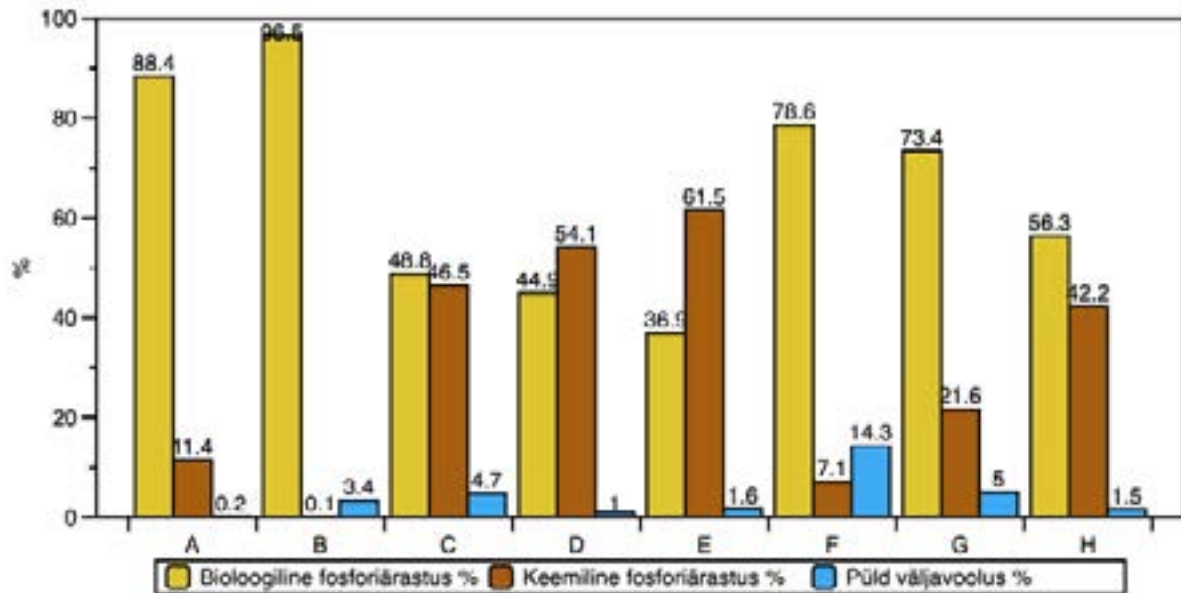


▲ Joonis 4 | Uuritud roveepuhastite lämmastiku massibilans

Joonisel 4 on esitatud projektis käsitletud objektide lämmastikubilansid.

Lämmastikubilans ei anna head indikatsiooni ener-giatõhususe kohta, kuna oksüdeeritud Nüld oleneb otseselt sissevoolus olevast KHT-st ja kasutusel ole-vast aktiivmudaprotsessi konfiguratsioonist. Mida kõrgem on KHT, seda rohkem Nüldi kasutatakse

uute mikroorganismide kasvuks. Näiteks ei vii väik-semad roveepuhastid läbi täielikku lämmastiku-ärastust ehk nitrifikatsiooni ja denitrifikatsiooni. Seetõttu on nende oksüdeeritud lämmastiku osa-kaal tihti väiksem. Tulemustest selgub, et u 49% Nüldist oksüdeeriti ja mikroorganismide kasvuks kulutati vaid 28,9% Nüldist.



▲ Joonis 5 | Uuritud reoveepuhastite fosfori massibilanss

Joonisel 5 on esitatud analüüsitud objektide fosfori massibilansid. Tulemustest on hästi näha need reoveepuhastid, kus meil on sissevoolus kõrge KHT või madal Püldi sisaldus, mis väljendub kõrge bioloogilise fosforiärastusena.

Näiteks A, B, kus pea 93% fosforist eemaldatakse bioloogiliselt.

Kuid reoveepuhastites C, D, E, H domineerib keemi-

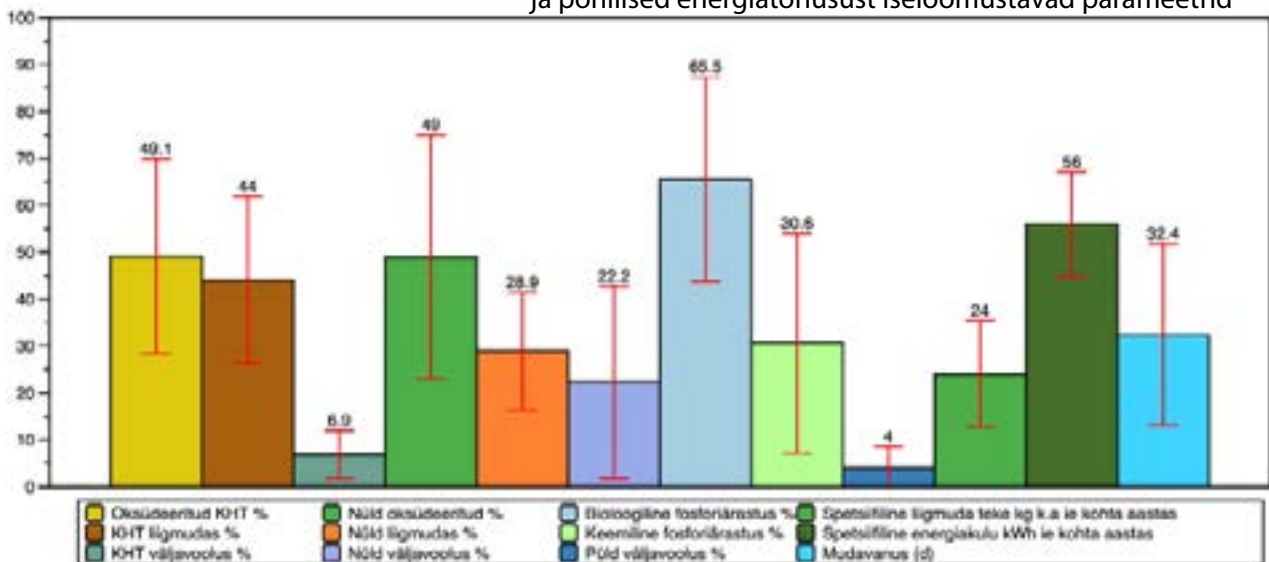
line fosforiärastus. See suurendab ka liigmuda teket, mis on suhteliselt hästi näha joonisel 3.

Kui keskmine spetsiifiline liigmuda teke oli 24 kg kuivainet inimekvivalendi kohta aastas, siis keemilise fosforiärastusega reoveepuhastites oli vastav näit keskmiselt 29,5 kg kuivainet inimekvivalendi kohta aastas.

Joonisel 6 on esitatud uuritud reoveepuhastite tulemuste kokkuvõtlik graafik, kus:

- KHT massibilanss, 1.–3. tulp;
- Nüldi massibilanss, 4.–6. tulp;
- Püldi massibilanss, 7.–9. tulp;
- protsessiparameetrid, 10.–12. tulp.

▼ Joonis 6 | Kaheksa uuritud reoveepuhasti massibilansid ja põhilised energiatõhusust iseloomustavad parameetrid



□ Kokkuvõte

Uuringus analüüsiti kaheksa reoveepuhasti energiatõhusust massibilansi abil. Selleks koostati KHT, Nüldi ja Püldi massibilansid ning leiti spetsiifiline energiakulu ja spetsiifiline liigmuda teke ie kohta aastas. Puhastusprotsessi energiatõhusust näitavad põhiliselt oksüdeeritud KHT osakaal, aastane elektrikulu ühe ie kohta.

Keskmine oksüdeeritud KHT osakaal oli 49%, mis iseloomustab suhteliselt energiatõhusalt opereeritud reoveepuhasteid.

Kolm reoveepuhastit ületasid väärtust ja nende puhul oli võimalik täheldada, et suurendatud energiatarve on tingitud ebatõhusatest opereerimisrežiimidest, nn kõrgest mudavanusest.

Uuritud reoveepuhastite keskmine spetsiifiline energiakulu oli 56 kWh ie kohta aastas.

Läänemere-äärsete riikide vastav näit jääb vahemikku 30–50 kWh aastas, kuid eesmärgiks on välja pakutud 23 kWh aastas.

Seega lisaks opereerimisega mõjutatavatele energiatõhususe meetmetele on eesmärgi saavutamiseks vaja täiendavalt analüüsida kasutatavaid seadmeid ja vajadusel vahetada need efektiivsema vastu.

Toitainete, nagu lämmastiku ja fosfori massibilansi puhul oli näha, et lämmastikust keskmiselt 49% oksüdeeriti ning mikroorganismide kasvuks kasutati u 28,9%.

Fosfori aga kasutasid suures osas (65,5%) kasvuks ära just mikroorganismid ja keemiliselt eemaldati 30,6%. Lääne-Euroopaga võrreldes on suurema liigmuda tekke (normaalseks loetakse 13–15 kg kuivainet ie kohta aastas) üks olulisemaid faktoreid intensiivsem keemilise fosforiärastustehnoloogia kasutamine, mis kasvatab uuritud reoveepuhastite spetsiifilist liigmuda teket, olles keskmiselt 24 kg kuivainet ie kohta aastas.

Projekti teises osas leitakse Eesti tingimuste jaoks parimad võimalikud bioloogilise puhastuse opereerimisrežiimid, nagu mudavanus, aktiivmudakontsentratsioon. Need vähendaksid bioloogilise puhastuse energiakulu ja suurendaks samas saastainete puhastusefektiivsust.

□ Summary

Assessment of wastewater treatment plant energy efficiency through mass balance analysis

This study aimed to investigate the mass balances of 8 municipal wastewater treatment plants, which gives valuable input about their energy efficiency. For that mass balances for COD, BOD, N_{tot} and P_{tot} were done and additionally the yearly specific energy consumption and sludge production per person equivalent was calculated.

It was found that the average oxidized amount of COD was 49%, which indicates that the wastewater treatment plants work in an optimized regime. But in 3 cases, the oxidized part of the COD was higher, which was also confirmed through the higher specific energy consumption.

In all cases, the higher energy consumption resulted from wrong process configuration, where a very high sludge concentration was maintained in the activated sludge process, consuming more air for the aeration than is needed for the treatment of the wastewater in an optimized system. The average yearly specific energy consumption was 56 kWh per person equivalent. In the Baltic Sea region it is according to other projects between 30-50 kWh per person equivalent.

The mass balances of nitrogen and phosphorus are not so much connected with the energy consumption, but for example the used phosphorus removal technology can affect wasted sludge production. And sludge treatment needs a lot of energy. It was found that in analysed wastewater treatment plants the average yearly specific sludge production was 24 kg per person equivalent. In Western Europe it is normally between 13-15 kg.

The differences come mostly from used technologies. For example in Estonia chemical coagulation is used, to reach very strict phosphorus effluent criteria, but in western countries post-treatment is the preferred method.

In the second part of this project the most energy efficient activated sludge operating regimes for Estonian conditions will be worked out. This would reduce energy consumption, sludge production and to increase removal efficiency of COD, BOD, N_{tot} , P_{tot} etc.

▣ Viidatud allikad

- [1] Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen-Arbeitsblatt DWA-A 131. (2016). Hennef: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- [2] Weimar, B-U. (2014). Abwasserbehandlung Gewässerbelastung, Bemessungsgrundlagen, Mechanische Verfahren und Biologische Verfahren, Reststoffe aus der Abwasserbehandlung, Kleinkläranlagen. VDG Weimar.
- [3] Nelson, M. D. (2008). Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants (3-Volume Set): Water Environment Federation: 9780071543675: Amazon.com: Books. WEF press.
- [4] Sperling, M. (2007). Basic Principles of Wastewater Treatment. London: IWA.
- [5] Davis, M. L. (2010). Water and Wastewater Engineering. Design Principles and Practice.
- [6] Straub, A., Bulle, H., Röske, I. (2011). "Verfahrenstechnisch-biologische Aspekte bei der Auswahl und beim Betrieb von Kleinkläranlagen," KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall, vol. 58, no. 1, pp. 50–55.
- [7] Chen, G., Ekama, G. A., Loosdrecht, M. C. M. V., Brdjanovic, D. (2020). Biological Wastewater Treatment: Principles, Modeling and Design. IWA Publishing.
- [8] Haandel, A. V., Lubbe, J. V. D. (2012). Handbook of Biological Wastewater Treatment. IWA Publishing.
- [9] Qasim, S. R., Zhu, G. (2017). Wastewater treatment and reuse: Theory and design examples: Volume 1: Principles and basic treatment.
- [10] DWA-Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen- Arbeitsblatt DWA-A 216. (2015). Hennef: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- [11] Metcalf & Eddy et al. (2013). Wastewater engineering: treatment and resource recovery.
- [12] Qasim, S. R., Zhu, G. (2018). Wastewater Treatment and Reuse, Theory and Design Examples, Volume 1: Post-Treatment, Reuse and Disposal.
- [13] Rettig, S., Schulz, K., Barjenbruch, M., Al-Zreiqat, I. (2019). Smart energy management audit concept: combined audit report.

[14] Bischof, W. (1998). Abwassertechnik: mit zahlreichen Beispielen. Teubner.

▣ Tänuavaldus

Uuring on koostatud Eesti Keskkonnainvesteeringute Keskuse rahastatud projektis nr 16974 „Energiaefektiivne aktiivmudaprotsessi juhtimine ja optimeerimine“.



Betooni printimistehnoloogia eksperimentaalsed uuringud Tallinna Tehnikakõrgkoolis

Autorid:

Aivars Alt, MSc, Tallinna Tehnikakõrgkooli juhtivlektor

Lauri Peetrimägi, MSc, Tallinna Tehnikakõrgkooli juhtivlektor

Sissejuhatus

Betooni printimistehnoloogia ajalukku vaadates võib öelda, et juba 20. sajandi 30. aastatel võeti maailmas patente masinatele, mida võib pidada betooniprinteri kaugeks eellaseks. Näiteks oli William E. Urscheli leiutatud masin sisuliselt ümber keskpunkti pöörlev raketisekomplekt, mille liigutamise ja betoonisegu täitmise abil sai „printida“ ringjat seinafragmenti (1).

Tänapäeva mõistes betooniprinteri arendustegevus sai alguse arvutitehnoloogia arenguga, mis võimaldas luua printimiseks vajaliku arvutigraafika. 1990. aastatel loodi maailmas esimesed betooniprinterid, mis olid tarkvaral juhitud ja kasutasid 3D-mudelit.

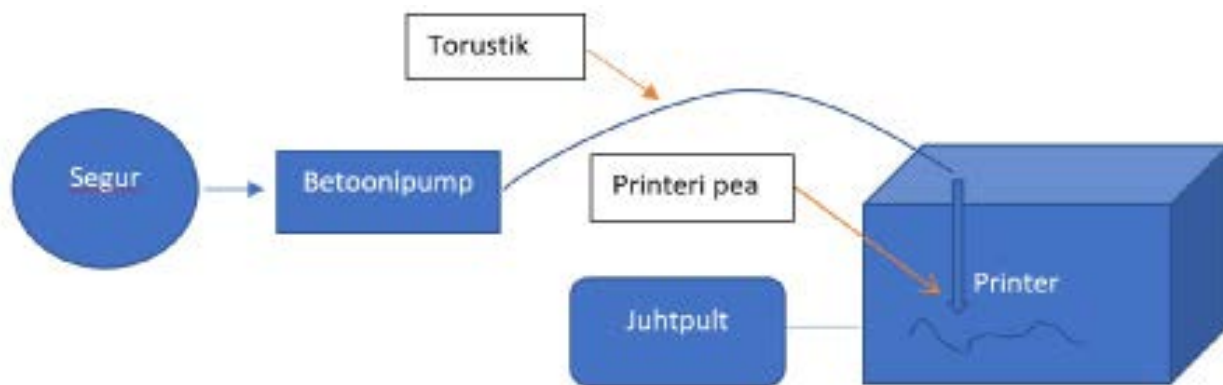
Praeguseks on üle maailma uurimisrühmade töö tulemusena printitud väga eriilmelisi objekte. Nii koostati 2020. aastal Hollandis Nijmegenis betoonist printitud elementidest maailma pikim, 29 m sild (2).

Madagaskaril valmis samal aastal printimistehnoloogia abil koolihoone, mille ehitustööd võtsid

aega kolm nädalat ja mille käigus välditi traditsioonilise betoonitehnoloogia puhul vajalike raketiste ja tellingute transporti pika vahemaa taha (3). Saksamaal Beckumis printitud 160 m² üldpinnaga väikeelamu looja ettevõtte PERI esindaja L. Braig'i sõnul näitab tulemus vaatamata tehnoloogia edasiarendamise vajadusele selle suurt potentsiaali juba praegu (4).

Betooniprintimise tehnoloogia

Betooniprintereid on kahte tüüpi. Sildprinter (ingl k *gantry-type*) kujutab endast kolmemõõtmelist karkassi, mille kõigi telgede suunas on võimalik printeri peal liikuda. Robotkäe-tüüpi (ingl k *robotic arm*) printeri põhimõtteks on printeri pea kinnitamine robotkäe külge ja selle kolmemõõtmeliste liigutuste juhtimine samamoodi nagu laialt levinud tööstusrobotitel.



▲ Joonis 1 | Betooniprinteri põhimõtteline skeem

Mõlemal põhitüübil on tugevused ja nõrkused, millest olulisemad oleksid järgmised.

Sildprinterite tugevusteks on stabiilsus, suhteliselt lihtne ülesehitus ja juhtimistarkvara. Nõrkuseks on see, et suuremate detailide või hoonete printimiseks tuleb ehitada väga massiivseid printereid, mis on kallid, samuti on sildprinter üldjuhul paikne. Robotkäe-tüüpi printer on seevastu suhteliselt kergesti teisaldatavaks muudetav ja teoreetiliselt on võimalik kasutada tööstuses juba laialt levinud robotitehnoloogiat. Puuduseks võib tuua juhtimistarkvara keerukuse ja vajaduse printeri stabiilsusele erilist tähelepanu pöörata.

Praegu on maailmas hoonete printimisel järjest enam kasutusel robotkäe-tüüpi printereid, kuid jätkuvalt rakendatakse palju (eriti just laborikatsete läbiviimisel) ka sildprintereid.



▲ Foto 1 | Sildprinter Tallinna Tehnikakõrgkoolis

Lisaks printerile on olulisteks seadmeteks printimisel ka segur ja pump. Printimisel kasutatakse betoonisegusid, mille maksimaalne terasuurus on vahemikus 1...4 mm.

Kogu süsteemi lihtsustatud tööskeem on järgmine: seguris segatakse betoonisegu, mis suunatakse pumpa. Pumpast surutakse segu torustiku kaudu printeri peasse, mille liikumist juhitakse kolmemõõtmeliselt vastava tarkvara abil.

Segu väljub printeri peast ühtlase joana ja liigutades pead nii horisontaalselt kui ka vertikaalselt, saab moodustada üksteise peal asuvate segukihtide abil kolmemõõtmelisi kujundeid. Sõltuvalt printeri pea kujust võib segujuga olla muu hulgas ristküliku-, ovaali- või silindrikujuline.

Betoniprintimise tehnoloogia tugevused ja nõrkused saab tuua välja kõrvutades seda traditsioonilise betoonitööde tehnoloogiaga. Samas tuleb silmas pidada, et praegu ei ole need kaks tehnoloogiat omavahel kõigis aspektides võrreldavad, sest paljudel juhtudel ei ole mõlema meetodiga võimalik tehnoloogiliselt sama tulemust saavutada.

Printimise tugevustena võib välja tuua järgmist:

- võimalik on printida väga erineva kuju ja struktuuriga kujundeid, sh eri värvi segusid kasutades;
- raketise ehitamise vajadus puudub;
- omab ehituse tootlikkuse tõstmise potentsiaali;
- võimaldab vähendada betoonitööde keskkonnajälge.

Puudustena aga järgmist:

- nõuab kõrgelt kvalifitseeritud tööjõudu nii printi ettevalmistamisel (printimisfaili loomine) kui ka printimisel;
- paljud traditsioonilise betoonitehnoloogiaga loodavad elemendid on printituna praegu liiga kallid või neid ei ole võimalik teha (nt enamik suurt kandevõimet nõudvad raudbetoonidetailid);
- vajalik on suhteliselt suur alginvesteering printerisse ja sobiliku töökeskkonna loomisesse.

■ Betooni printimistehnoloogia eksperimentaalsed uuringud Tallinna Tehnikakõrgkoolis

Uuringuid on läbi viidud koos partneritega HaraGrupp OÜ ja Tallinna Tehnikaülikool (TalTech) ning põhieesmärgiks on olnud printimistehnoloogia arendamine. Eksperimentaalsete katsete käigus on püütud leida optimaalset seadmete ja betoonisegu parameetrite ning töökorralduse kombinatsiooni, mis võimaldab printida erineva kuju, suuruse ja eesmärgiga katsedetaile. Kuna printimise kvaliteet sõltub väga mitmetest teguritest, siis vaatleme neid eraldi uuringu potentsiaalsete alamsuundadena.

- **Printer.**

Printeri arendamisel on uuritud eelkõige lisaks TTKs töötavale sildprinterile (vt foto 1) ka mobiilse printeri eeliseid ja puuduseid ning koostatud mobiilse printeri hankimiseks lähteülesanne. 2021. aasta kevadsemestril koostab TTK ehitusinstituudis üliõpilane M-E. Lill ka samateemalist lõputööd. Uuringuid on läbi viidud ka lõpptulemusele olulist mõju avaldavatele parameetritele nagu printimise kiirus ja printeri pea tõusu suurus printimisel. Optimaalseks on osutunud printeri pea maksimaalne liikumiskiirus 10 000 mm/minutis ja kihtide vaheline tõus 15...20 mm.

- **Tarkvara.**

Seadme juhtimine toimub Arduino platvormil. Seadme juhtimise programmi ettevalmistuse töövoog on praegu ajamahukas ja vajab täiendavat arendust. Kuidas juhtida seadet võimalikult optimaalse töövooga, on üheks võtmeküsimuseks.

- **Segur ja pump.**

Segu ettevalmistamine on printimise lõpptulemusele määrava tähtsusega. Uuringute raames on katsetatud pumba erineva tootlikkuse ja segule lisatava vee kogusega printimist.

Eesmärgiks on olnud võimalikult kõrge kujundi printimine enne varisemisohu teket ja printitava kujundi defektide (praod, lõhed, segujoa ebaühtlus) puudumine. Eksperimentaalsete katsete tulemusena on kujunenud teadmised ning oskused seguri ja pumba abil segu ette valmistada nii, et sellega oleks võimalik kvaliteetselt printida. Optimaalseks on osutunud printimisel pumba tootlikkuse hoidmine vahemikus u 30–50% maksimaalsest (13...15 kg/min).

- **Betoonisegu.**

Katsete fookus on olnud hinnata kuivsegude löikes printitavate kujundite abil segu optimaalset veevajadust, kujupüsivust, pragude teket printimisel ja kivinemisel; tekstuuri, kihtide omavahelist nakkumist; printitava segu tihedust, õhusisaldust. Samuti on tehtud arvukalt proovikehi, et hinnata segude tugevusomadusi – proovikehi on võetud nii pumbast kui ka printeri peast väljununa. Lisaks on katsetatud mitmete TalTechis valmistatud eksperimentaalsetega (sh aluminaattsementi ja klaasigraanuleid sisaldavad), millest on 2021. aastal valmimas magistritöö TalTechis.

Printimise kvaliteeti määrab äärmiselt suurel määral kuivsegule lisatav veekogus, mille muutmisel optimaalsest kogusest erinevaks juba u 5–10% võrra võib tuua kaasa printimise täieliku ebaõnnestumise.

Lisaks muudele teguritele on liigkuiva segu puhul oht lõhede ja pragude tekkeks segu väljumisel printeri peast ning kihtide omavahelise nakke halvenemine. Liigvedel betoonisegu ei ole printeri peast väljudes piisavalt kujupüsiv või sellega ei ole võimalik printida ettenähtud kihtide arvu (kujund variseb, vt foto 2).



▲ Foto 2 | Varisenud kujund

Traditsioonilises betoonitehnoloogias on kasutusel mitmed standardid, mille järgi on võimalik määrata betoonisegu põhiomadusi. Printimisel ei ole aga kõige olulisem näiteks betooni survetugevus või mahukaal, vaid lõpptulemus ehk printimise kvaliteet. Samas on eksperimentaalsete katsete käigus kasutatud standardseid katseid värse betoonisegu ja katsekehade (40 x 40 x 160 mm) omaduste kindlakstegemiseks. Nii näiteks on mõõdetud vastava standardi (5) järgi betoonisegu õhusisaldust, katsekehade tihedust

(6), katsekehade survetugevust (7) ja värse betoonisegu laialivalguvust raputuslaual. Välja on töötatud eri segudega printimise lõpptulemuse hindamiseks ruudukujulise kujundi printimise katse, kus ruutu küljepikkusega 420 mm printitakse kiht kihi haaval kuni varisemiseni ja hinnatakse nii printitud kihtide arvu kui ka kujundi visuaalset kvaliteeti enne varisemist (vt foto 3). Samuti on mõõdetud vastava koonusega värse segu penetratsiooni, hindamaks selle sobivust printimiseks.



▲ Foto 3 | Küljepikkusega 420 mm ruudu printimine

- Muud tehnoloogilised uuringud. Katsete käigus on prinditud kujundeid, mida on armeeritud ja katsetatud nende purunemist. Samuti on uuritud vee temperatuuri mõju segu pumbatavusele, segu käitumist korduvprintimisel ning prinditud ja kivinenud detailile järgmiste kihtide printimist.

- Töö korralduse optimeerimine. Betooni printimistehnoloogia eksperimentaalsed katsed nõuavad üsna suure meeskonna koordineeritud tööd. Katsete ettevalmistamine (nt kuivsegu ja vajaliku veekoguse kaalumise, pumba ja torustiku niisutamine jms) ning lõpetavad tegevused (nt kogu süsteemi ja tööriistade puhastamine ja pesemine) võtavad kokku kuni poolteist tundi ning koos betoonisegu omaduste määramisega on meeskonna koosseisus vajalik seitsme-kaheksa inimese osavõtt. Katsete käigus on proovitud tööülesannete jaotust ja saadud väärtuslikku infot tulevikus suuremama huliste printimiste puhul brigaadi vajaliku koosseisu ja tööjaotuse kohta.



▲ Foto 4 | Prinditud sõrestikukujulise detaili koormuskatse

Ekspimentaalse uuringute vahetulemuste ja info põhjal betooniprintimise uurimisrühmade tööst maailmas võib betooniprintimise perspektiivsete uurimissuundadena välja tuua järgmist.

- Mobiilse printeri tehnoloogia. Vajadus printida suuremõõtmelisi detaile nii laboris kui ka ehitusplatsil suureneb tehnoloogia täiustumisega järsult. Vaatamata mitmetele tõsistele probleemidele (nt ilmastiku mõju, logistika jm) on iseliikuval printeril suured eelised.
- Printimiseks sobiva ja majanduslikult vastuvõetava segu arendamine. Printimiseks sobilikke segusid leidub juba praegu ehitussegude tootjate nomenklatuurist, kuid suuremama hulise printimise faasis saab oluliseks ka nt segu hind ja prinditavate omaduste muutus ajalisel plaanis.

- Arhitektuursete ja konstruktiivsete lahenduste väljapakkumine printimistehnoloogiale. Traditsioonilise betoonitehnoloogia tehnilised lahendused ei sobi reeglina üksühele betooniprintimisel kasutamiseks. Näiteks tarindi armeerimine, töövuukide ja avade asukohad on ainult mõned märksõnad lahendamist vajavatest küsimustest.

- Juhtimisprogrammi väljatöötamine. Projekteeritud lahenduse masinjuhtimiseks sobiva formaadi väljatöötamine nõuab mitut konverteerimist ja andmete käsitsi sisestamist. Tulevikuperspektiiv on rakenduse väljatöötamine, kus projekteeritud element liigub otse printerisse ja masinloetavus tagatakse automaatse konverteerimisega.

■ Kokkuvõte

Ekspimentaalsete uuringute põhilised vahetulemused võib võtta kokku järgmiselt. Katsed praegu turul olevate n-ö laiatarbe kuivsegudega näitavad, et lihtsamad kujundid on laboris kasutusel oleva tehnoloogiaga prinditavad.

Printimise kvaliteeti mõjutab lisaks segu koostisele ka kuivsegule lisatav veekogus, mille optimaalse koguse muutmine juba u 5–10% võrra võib tuua kaasa printimise täieliku ebaõnnestumise.

Lisaks muudele teguritele on liigkuiva segu puhul oht lõhede ja pragude tekkeks segu väljumisel printeri peast ja kihtide omavahelise nakke halvenemine. Liigvedel betoonisegu ei ole printeri peast väljudes piisavalt kujupüsiv või sellega ei ole võimalik printida ettenähtud kihtide arvu (kujund variseb).

Spetsiaalselt 3D-printimiseks mõeldud segudega printimisel on kujundid üldjuhul visuaalselt ühtlasema struktuuriga, prinditavad kihid kujupüsivamad. Kiiresti kivevate segude printimisel on suur oht pumba ja torustiku ummistumiseks ning lõhede ja pragude tekkeks segu väljumisel printeri peast.

Kvaliteedile avaldab suurt mõju ka pumba tootlikkus, printimise kiirus, printeripea tõus, mille kompleksmõju on vaid eksperimentaalsete katsetega kindlaks tehtav.

Perspektiivsete uurimissuundadena võib välja tuua mobiilse printeri tehnoloogiat, printimiseks sobiva ja majanduslikult vastuvõetava segu arendamist ning arhitektuursete ja konstruktiivsete lahenduste väljapakkumist printimistehnoloogiale.

■ Summary

Experimental Studies in Concrete Printing Technology in TTK University of Applied Sciences

In today's terms, the development of a concrete printer began as a result of the development of computer technology, which made it possible to create computer graphics needed for printing.

In the 1990s, the world's first concrete printers were software-controlled and used a 3D model.

In the course of experimental tests, an attempt has been made to find the optimal combination of equipment, concrete mix parameters and work organization, which allows printing test pieces of different shapes, sizes and purposes.

The main intermediate results of the experimental studies performed at TTK University of Applied Sciences can be summarized as follows.

Experiments with the concrete mixtures currently on the market show that simpler shapes can be printed with the technology used in the laboratory. In addition to the composition of the mixture, the quality of printing is also affected to a great extent by the amount of water added to the dry mixture, the change of the optimal amount of which by about 5-10% can lead to complete printing failure. Among other factors, there is a risk of cracks and fissures when the mixture exits the printer head and the adhesion between the layers deteriorates. The concrete mixture on excess water is not sufficiently shape-stable when it leaves the printer head, or it is not possible to print the prescribed number of layers (the image collapses).

When printing with mixtures specially designed for 3D printing, the images are generally more visually uniform in structure, and the printed layers are more shape-stable. When printing fast-setting mixtures, there is a high risk of clogging of the pump and piping, and cracks and fissures as the mixture exits the printer head.

Quality is also greatly affected by the productivity of the pump, the speed of printing, the rise of the print head, the complex effect of which can only be determined by experimental tests.

Prospective research areas are mobile printer technology, the development of a printable and economically acceptable concrete mixture, and the provision of architectural and constructive solutions for printing technology.

▣ Viidatud allikad

[1] Wolfs, R. (2019). Experimental characterization and numerical modelling of 3D printed concrete. Eindhoven University of Technology, pp. 14-15.

[2] Sher, D. (31.03.2021). Longest 3D printed concrete pedestrian bridge begins to take form. <https://www.3dprintingmedia.network/longest-3d-printed-concrete-pedestrian-bridge-begins-to-take-form-in-nijmegen/>. [Kasutatud: 05.04.2021].

[3] Marchant, N. (19.02.2021). The world's first 3D-printed school is taking shape in Madagascar. <https://www.weforum.org/agenda/2021/02/the-world-s-first-3d-printed-school-is-taking-shape-in-madagascar/>. [Kasutatud: 05.04.2021].

[4] Hanaphy, P. (30.09.2020). PERI constructing Germany's first "market-ready" 3D printed residential building. <https://3dprintingindustry.com/news/peri-constructing-germanys-first-market-ready-3d-printed-residential-building-176638/>. [Kasutatud: 05.04.2021].

[5] EN 1015-7 Methods of test for mortar for masonry. Determination of air content of fresh mortar.

[6] EN 1015-10:1999/A1:2006 Methods of test for mortar for masonry - Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar.

[7] EVS-EN 196-1:2016 Tsemendi katsetamine. Osa 1: Tugevuse määramine.

□ Eksperimentaalsete teesegude koostamine ja katsetamine

Autorid:

Julija Šommet, PhD, Tallinna Tehnikakõrgkooli kaasprofessor
Ando Pärtel, Tallinna Tehnikakõrgkooli laboriinsener

□ Sissejuhatus

Uuring viidi läbi mitmete Eesti ettevõtete koostöös Eesti Energia tellitud uurimustööna. Uuringu eesmärgiks oli koostada eksperimentaalseid teesegusid, mis oleksid külmakindlad ja sobiksid nii Eesti kliimatingimustesse kui ka naaberriikidesse. Selleks koostas tellija segudele retsepte ja laboris valmistati lisanditega katsekehad. Põhiliseks komponendiks kõikides segudes oli lubjakivikillustik, mida toodi laborisse kahest maardlast – Tondi-Väo ja Estonia kaevandustest. Sideainetena kasutati kahte tsementi – TAS 32,5 ja CEM I 42,5 N, Stabilroad'i lisandit ja keevkihtkatla- ehk põlevkivituhka. Katsete abil uuriti ja jälgiti valmistatud katsekehade omaduste muutumist teatud perioodi jooksul.

Tellijal üks eesmärkidest on põlevkivi kaevandamise kõrvaltoodete (tuhk ja aheraine) taaskasutamine võimalikult suures ulatuses. Põhiline ülesanne oli selgitada välja, kas põlevkivituhk ja aheraine killustik töötavad koos tehniliste lisanditega. Uuring oli edukas ja näitas, et nende lisandite abil saab koostada külmakindlaid teesegusid, kasutades uusi tellija väljatöötatud innovaatilisi retsepte, sest põlevkivituhk ja killustik töötavad hästi koos tehniliste lisanditega. Kõikide retseptide autoriks ja tellija konsultandiks oli TTK ehitusinstituudi lektor Sven Sillamäe.

□ Ettevalmistustööd

Katsetatava täitematerjali ja sideainete kogused olid arvatud vastavalt retseptidele ning katsete plaanile. Kõik materjalid olid toimetatud laborisse suuremate portsjonite kaupa, kus neid markeeriti ja hoiustati vastavalt nõuetele. Kokku toimetati laborisse üle 100 kg lisandeid ja üle 1400 kg lubjakivikillustikku.

□ Tööplaan

TTK tee-ehitusmaterjalide laborisse toodud

materjalidega viidi läbi katsed täitematerjalide omaduste kontrolliks, peale mida valmistati kokku kuus segu, segades põlevkivituhka lubjakivikillustikuga ja tsementide ning sideainetega. Segudest valmistati kokku 108 silindrilist katsekeha modifitseeritud Proctori seadmetega. Komponentide sisaldust igas üksikkatseproovis arvutati vastavalt tellija konsultandi valemitele.

Üksikkatseproov toimus järjekorras:

- kuivalt segati kokku kasutatav sideaine lisandiga (nt tuhk ja Stabilroad või tuhk ja tsement);
- killustik segati kokku kuiva sideainega koos lisanditega;
- lisati vajaminev vesi segusse.

Kahele lubjakivikillustikule määrati modifitseeritud Proctor teimiga maksimaalne tihendatavus vastavalt standardile EVS-EN 13286-2. Saadud optimaalse veesisalduse tulemusi kasutati edaspidi katsekehade valmistamiseks.

□ Täitematerjalide ja lisandite omadused

TTK laborisse toimetatud killustiku täitematerjali proovid valmistati katsetamiseks kvarteerimise teel, et saavutada ühtlasem terakoostis ja vältida transportimise käigus tekkinud segregeerumist. Kvarteeritud täitematerjali üksikkatseproovid kuivatati 105 °C juures kuivatusahjudes, et väljutada kogu looduslik niiskus kõikidest katsetatavatest proovidest (foto 1).



▲ Foto 1 | Täitematerjali proovide kuivatamine

Samaaegselt käisid tööd ka täitematerjali omaduste määramiseks. Laboris tehti ja protokolliti järgmised katsed:

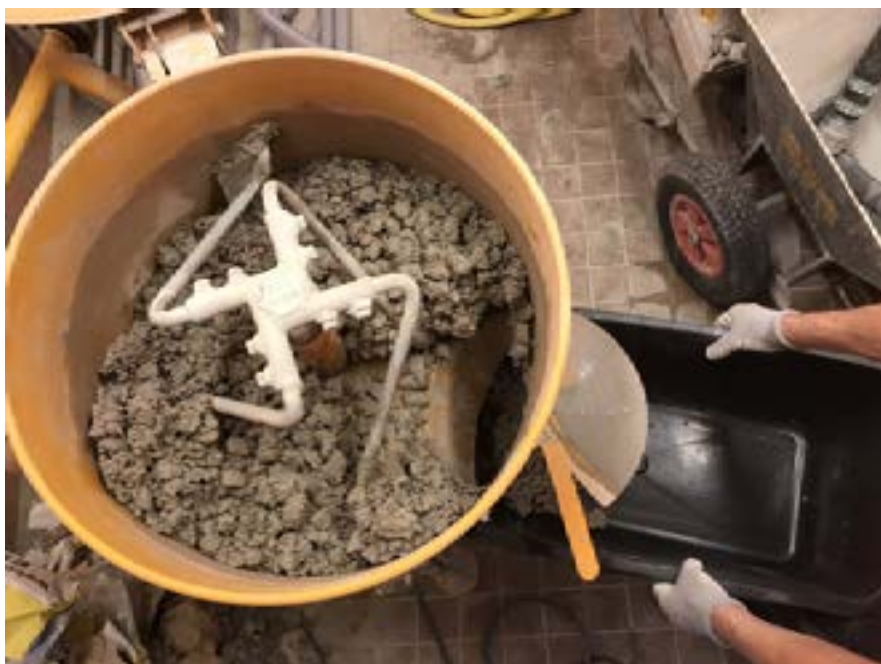
- täitematerjalide maksimaalne tihendatavus ja optimaalne veesisaldus vastavalt standardile EVS-EN 13286-2;
- täitematerjalide söelanalüüs ja fraktsioonide puhtus EVS-EN 933-1;
- täitematerjalide terade tihedus ja veeimavus EVS-EN 1097-6;
- täitematerjalide purunemiskindlus Los Angelese meetodiga EVS-EN 1097-2;
- täitematerjalide külmakindlus destilleeritud vees EVS-EN 1367-1;
- täitematerjalide plaatsustegur EVS-EN 933-3;
- peentäitematerjali orgaanikasisaldus EVS-EN 1997-2 (kuumutuskadumeetodiga).

Põlevkivituha mineraalset ja keemilist koostist määrati röntgendifraktsiooni (XRD) ja röntgenfluoresentsi (XRF) meetoditel Tartu Ülikooli laboris.

XRF-analüüsi tehti Li-tetraboraadi sulandpreparaatidest. Kuumutuskadu (L.O.I. – *loss on ignition*) määrati 950 °C juures ja tulemused olid normide piires.

■ Katsekehade valmistamine

Katsekehade valmistamiseks koostati kuus eri sideaine kogustega seguretsepti, mille igast partiist tuli valmistada Proctori seadmega 18 silindrilist katsekeha, kokku 108 keha. Segu retsepti koostisosad määras uuringu tellija. Kogu valmistamise protsess toimus etapiviisiliselt. Vajalik lubjakivi täitematerjali kogus valati segamispõusse, seejärel lisati vajalikud tsemendi- ja tuhakogused ning segati hoolikalt läbi (foto 2). Segamise käigus lisati kõigepealt sideaine ja alles siis vesi ning segati, kuni tekkis ühtlase konsistentsiga segumass. Valmisseguga kaeti pealt killega, et vältida niiskuse kadu katsekehade edaspidise vormimise käigus.



▲ Foto 2 | Segu valmistamine

Katsekehade valmistamiseks kasutati spetsiaal-seid Proctori vorme, mis täideti ja tihendati viies ühtlases kihis [1]. Valminud katsekeha pealispind viimistleti, vabastati vormist, markeeriti ja hoiustati tihedalt suletud niiskes keskkonnas. Kuna igast segupartiist valmistati 18 katsekeha, optimeeriti töö selliselt, et iga järgneva katsekeha tihendamise ajal viimistleti eelmist. Sellega kasutati ära kõik töö tehnoloogiast tulenevad vaheajad, et vältida segu niiskuse kadu.

Kõikide kehade orienteeruvad mõõdud olid 120 mm (kõrgus) ja 150 mm (laius). Kehade tihedused varieerusid vahemikus 1,9...2,4 t/m³. [2]

■ Katsekehade tugevusomaduste katsetamine

Kõikidele katsekehadele tehti vajalikud kontroll-mõõtmised, kus määrati mahud, tihedused ja niiskuse sisaldused eri etappidel.

Lisaks katsetati survetugevust standardi EVS-EN 12386-41, kaudset tõmbetugevust standardi EVS-EN 12386-42 ja külmakindlust Soome PANK-4305 kihtstabiliseeritud täitematerjalide külmakindluse määramise standardi kohaselt.

Kõikide segude puhul tehti järgmised katsed:

- 7 päeva vanustele katsekehadele survetugevus;
- 7 päeva vanustele katsekehadele tõmbetugevus;

- 28 päeva vanustele katsekehadele survetugevus;
- 28 päeva vanustele katsekehadele tõmbetugevus;
- 56 + 21 päeva vanustele katsekehadele hoiustamine niiskes keskkonnas omaduste võrdlemiseks;
- 56 päeva vanustele katsekehadele PANKi külmakindlus.

Survetugevuse (7 p) katse tulemused varieerusid 5,6 MPa kuni 6,5 MPa. 28 p katsekehade survekatse tulemused olid vahemikus 7,7 MPa kuni 10,4 MPa. Katsekehade aurumine ei ületanud 0,5% esialgsest massist. Survekehade purunemise skeem oli standardiga vastavuses, mis näitab, et kõik katsed õnnestusid. [2]

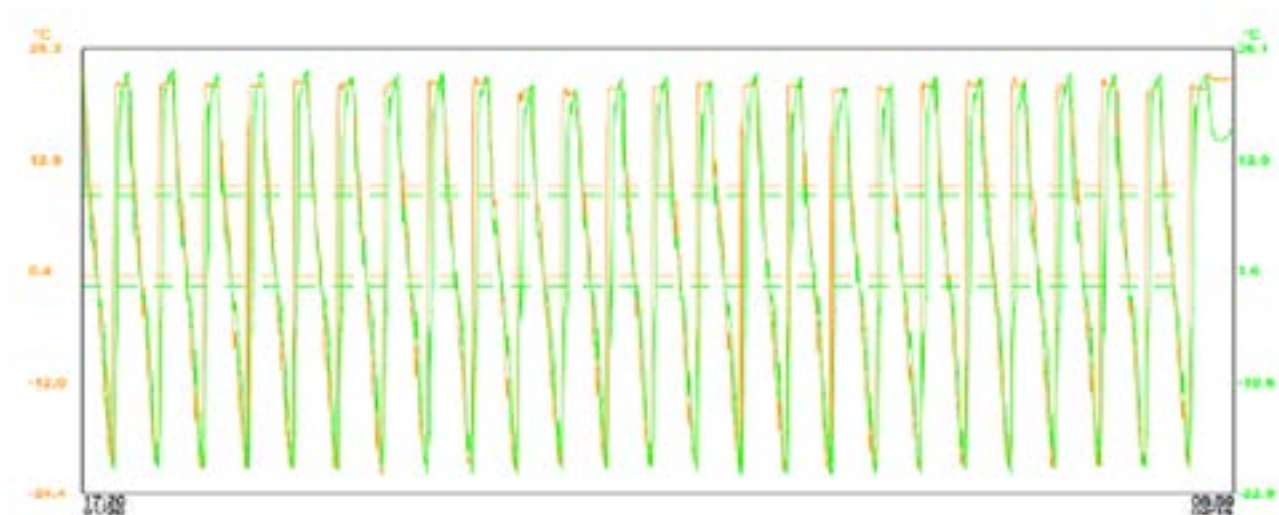
Kaudse tõmbetugevuse (7 p) tulemused olid 0,12...0,36 MPa. 28 p katsekehade tulemused olid vahemikus 0,4 kuni 0,6 MPa. Katsekehade aurumine ei ületanud 0,5% esialgsest massist. Katsekehade tugevuse näitajad olid head. Veesisaldused pärast katsete sooritamist olid 5,9...9,7%. [2]

■ Katsekehade külmakindlus

Katsekehade külmakindlust katsetati PANK-4305 katsemeetodi järgi, mis on välja töötatud just stabiliseeritud materjalide külmutusomaduste katsetamiseks [3].

TTK laboris tehti sellist katset esmakordselt. Protseduur nägi ette ühe külmutus- ja ühe sulatustsükli ööpäevas, seega öösel katsekehi külmutati ja päeval sulatati. Katsekehasid külmutati kliimakapis etteantud temperatuuridel vastavalt standardis esitatud tsüklitele ja sulatati käsitsi ringleva veega anumates, et vältida nõutud jahutusvee temperatuuri langust.

Katsekehad asetati külmikusse 56 päeva vanuselt ja nendega läbiti 20 külmutus- ja sulatustsüklit. Katse koosnes kuue katsekeha omaduste võrdlemisest, seega igast segupartiist võeti katsetamiseks kolm katsekeha külmutamiseks ja võrreldi sama partii teise kolme katsekehaga, mida hoiustati niisketes tingimustes vastavalt standardi meetodikale. Katse ajal salvestati temperatuurid pideva mõõtmisena nii katsekeha sees (foto 3) kui ka ümbritsevas keskkonnas ehk kliimakambris (vt joonis 1). Tähtis oli, et temperatuur katse käigus tsükliliselt muutuks ega langeks alla -21°C . Sulatusvanni temperatuur ei tohiks tõusta üle $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ [3]. Jooniselt 1 on näha, et katse tsüklid õnnestusid.



▲ Joonis 1 | Temperatuuride graafik

Külmutamisel ja sulatamisel tekkisid proovidele kohati hallituselaadsed ja pruunikad laigud (foto 3), kuid katsekehade külmakindluse tulemused olid üllatavalt head. Enamik segudest olid eriti suure külmakindlusega ja nende tugevuse kadu oli minimaalne.

Kõikide segude summaarsed tulemused on näidatud tabelis 1, kus on külmakindluse katse läbinud kehade survetugevusi ja võrdluskatsekehade survetugevusi. PANKi standardi järgi arvutatakse külmakindlust nende suhtena.

Kõige külmakindlama segu tulemus oli $F = 94,44\%$ ja minimaalne külmakindlus $F = 86,21\%$ (tabel 1).



▲ Foto 3 | Markeeritud katsekehad ja temperatuuriandur



▲ Foto 4 | Markeeritud katsekehad ja temperatuuriandur

	PANK külmaskindlus katsega testitud	Võrdlusproovi andmed	Külmaskindlus
	Survetugevus, Rc N/mm²	Survetugevus, Rc N/mm²	F, %
segu 1	10,1	10,7	94,44
segu 2	9,5	10,7	88,95
segu 3	8,8	10,0	87,68
segu 4	7,7	8,4	91,69
segu 5	8,3	9,4	88,23
segu 6	8,4	9,8	86,21

▲ Tabel 1 | Katsete tulemused [2]

Uuringu kokkuvõte

Uuringut võib pidada õnnestunuks, kuna saadud tulemused ületasid ootusi. Eri retseptide ja komponentide kasutamisel on võimalik saada praktiliselt külmakindlaid ning koormustele vastupidavaid teesegusid.

Koostöö ettevõtete, uuringu konsultandi ja TTK laboriga sujus vaatamata väga kiirele töötempole hästi. Edaspidi võiks selliseid mahukamaid töid planeerida pikemale perioodile.

Enamik katseid viidi läbi TTK tee-ehitusmaterjalide laboris, mis on selliste katsete jaoks hästi komplekteeritud. PANKi külmakindluse katse läbiviimist võiks pidada väljakutseks, kuna teistes Eesti laborites selline kogemus puudub. Katse teostamine nõuab suurt täpsust, korrektset katseplaani väljatöötamist ja selle järgimist.

Summary

Experimental Road Mixtures Compounding and Testing

This study was commissioned by energy company Eesti Energia and carried out in cooperation with several Estonian companies. The aim of the study was to compile various experimental road mixtures that would be frost-resistant and suitable for the climatic conditions in Estonia and its neighbouring countries.

For this purpose, recipes for various mixtures were worked out and test specimens were prepared in TTK UAS' laboratory. The main component in all the mixtures was limestone macadam from two different deposits: Tondi-Väo and Estonia mine. Two types of cement were used as binders - TAS 32.5 and CEM I 42.5 N, Stabilroad admixture and oil shale combustion ash. Different laboratory tests were held during a specified period to study and monitor changes in the properties of the prepared test pieces.

One of the main goals of this study was to reuse the by-products of oil shale mining (ash and tailings) as much as possible.

The main task was to find out whether oil shale ash and tailings work together as perfect technical admixtures. The study was successful and showed that these admixtures can be used to prepare frost-resistant road mixtures, using new innovative recipes. The author of all the recipes and consultant to the client was Sven Sillamäe, a lecturer of TTK UAS' Institute of Engineering.

The study can be considered very successful as the results surpassed expectations. By using different recipes as well as different components, it is possible to obtain practically frost-resistant and load-resistant road mixtures. Most of the tests were held at TTK UAS' road-laboratory. The implementation of the PANK-4305 frost resistance test could be considered a challenge, as other laboratories in Estonia do not have such experience. Carrying out this test requires great accuracy, correct development of the test plan and its observance.

▣ Viidatud allikad

[1] EVS-EN 13286-2:2010/AC:2012 „Sidumata ja hüdrauliliselt seotud segud - Osa 2: Kuivtiheduse ja veesisalduse laboratoorse määramise katsemeetodid - Proctor-teim” <https://www.evs.ee/et/evs-en-13286-2-2010>.

[2] Šommet, J.; Pärtel, A. 2021. Aruanne „Ekspriimentaalsete teesegude (põlevkivituhk+lisandid) koostamine, omaduste määramine, katsekehade valmistamine ja katsetamine”.

[3] PANK-4305 katsemeetodi standard „kerrosstabiilintimassan jäädytys-sulatuskestävyys”. https://www.pank.fi/wp-content/uploads/2020/12/387_pank_4305_2008.pdf.



Leelise-räni reaktsioonist tingitud betoonkonstruktsioonide kahjustused

Autorid:

Martti Kiisa, PhD, Tallinna Tehnikakõrgkooli professor

Sander Sein, MSc, Tallinna Tehnikaülikooli lektor

Karin Lellep, MSc, Tallinna Tehnikakõrgkooli lektor

■ Sissejuhatus

Teaduslikul tasandil on betooni kestvusega seonduvat temaatikat põhjalikult uuritud juba enam kui paarkümmend aastat. Selle tulemusena on välja töötatud mitmeid juhendmaterjale. Kuigi betoonkonstruktsioone käsitlevates standardites on kohati käsitletud ka kasutusiga 100 aastat ja üle selle, siis praktikas kasutatavate nõuete kirjeldamisel on piirdutud üldjuhul 50 aastaga.

100-aastane kasutusiga tuleneb standardis EN 1990:2002 [1] esitatud näitlikust kasutusea liigitusest, milles 5. kategooriat on kirjeldatud sellise kasutuseaga.

Täpsemate juhiste puudumisel määratakse just see arv projekteeritud kasutuseaks. Projekteeritud kasutusiga on seotud kestvusega, mis tähendab, et konstruktsiooni seisundi halvenemine ei kahjustaks konstruktsiooni käitumist rohkem kui eeldatud, arvestades keskkonda ja ettenähtud hooldustaset. Kui kasutusiga väljendatakse ühe konkreetse numbriga, mis on määratletud majandusliku otstarbekusega ja mida saab vajadusel korrigeerida, siis kestvuse näol on tegemist kasutusiga hõlmava laiema mõistega, mida saab vajadusel matemaatiliselt kirjeldada.

Kestvus on põhimõtteliselt määratletud piirväärtuste kehtestamisega (nt maksimaalne vesitsementtegur, õhusisaldus ja minimaalne tsemendisaldus), piiritledes lubatud koostisosi või kehtestades täiendavaid toimivusnõudeid nagu minimaalse betooni survetugevuse lubamine.

Enamik Euroopa riike on betooni spetsifitseerimiseks ning toimivuse, tootmise ja vastavuse kirjeldamiseks võtnud aluseks standardi EN

206:2013+A2:2021 [3].

Paraku käsitleb see standard maksimaalse kasutuseana ainult 50 aastat, mistõttu on selle rakendamine osaliselt piiratud.

Eestis on Maanteeamet võtnud selge suuna projekteerida tähtsamad rajatised (eelkõige sillad ja viaduktid) kasutuseaga vähemalt 100 aastat. See on käivitanud siseriikliku arendustöö vastavate nõuete väljatöötamiseks. 2020. a tellis Maanteeamet Tallinna Tehnikakõrgkoolilt rakendusuuringu „Teede-ehituslik betoon kasutuseaga 100 aastat ja rohkem“, mis valmib 2021. a keskspaigaks.

Selle rakendusuuringu põhieesmärgiks on välja töötada nõuded, mis tagaksid betoonkonstruktsioonidele kasutuseaks vähemalt 100 aastat. 2021. a jaanuaris valmis uuringu vahearuanne, mille eesmärgiks oli koguda kokku võimalikult palju temaatikaga seonduvat informatsiooni.

Selleks töötati läbi riikide nõuded, otsiti üles standardid ja teised juhendmaterjalid ning kaardistati teadusuuringuid. Selgelt joonistusid välja valdkonnad, mida peab täiendavalt uurima. Üheks selliseks osutus betoonis aset leidev

leelise-täitematerjali reaktsioon ja sellest tingitud kahjustused, mida Eestis on uuritud minimaalselt. Kuigi reaktsioon avastati umbes 80 aastat tagasi, ei ole sellele ka maailmas tervikuna väga suurt tähelepanu pööratud. Seetõttu otsustati probleemi lahendamisele kaasa aidata, et olukorda paremini teadvustada ning astuda samme vastavate nõuete kehtestamiseks ka Eestis. Käesolev artikkel sisaldab lühiülevaadet leelise-täitematerjali reaktsioonist, sellega seonduvatest kahjustustest ja võimalikest katsemeetoditest.

▲ | 1 Eesti standardiks ülevõetuna: EVS-EN 1990:2002+NA:2002 [2].

2 Eesti standardiks ülevõetuna: EVS-EN 206:2014+A2:2021 [4].

1. Mõjuritest üldiselt

Betoonkonstruktsioonide kahjustuste protsess on keerukas ja tugevalt kahjustunud konstruktsioonide remont töömahukas ning kallis. Seetõttu on eriti tähtis pöörata tähelepanu kahjustuste õigeaegsele ennetamisele. Kui need on juba tekkinud, on õige ravi eelduseks korrektne diagnoos.

Kahjuks ei taga ka see alati edu, sest õiged parandustööd võivad olla ebakorrektselt teostatud või vaatamata sellele, et probleemi põhjus on teada, kasutatakse vale parendusmeetet.

Tähtsamad betoonkonstruktsioonide kahjustuste põhjused on seotud ebapiisavate hooldetöödega, ettenägemata tingimustes kasutamise ja valmistamise/ehitamise praagiga. Küllalt sageli arvatakse, et betoonkonstruktsioonid tuleb projekteerida ja ehitada normide/standardite järgi, kuid kasutusperioodil konstruktsioonid enam tähelepanu ei vaja. Kahjustuste üks levinumaid põhjusi on just ebapiisavad hooldetööd. Kui auto ostmisel omanik enamasti teadvustab endale, et lisaks sõiduki soetamisele on vaja teha nii regulaarseid kui ka ebaregulaarseid hooldetöid, siis ehitiste korral kipume selle tõsiasja sageli unustama. Ja kui mõistlik remondi- või hooldeperiood on ületatud, siis tuleb konstruktsiooni ennistamiseks teha ebamõistlikult suured väljaminekud või see lausa lammutada.

Betoonkonstruktsioonid on ehitise kasutamisel koormatud keemiliste, füüsikaliste, mehaaniliste, bioloogiliste ja elektrokeemiliste mõjuritega. Kõik need jagunevad omakorda välisteks (nt karboniseerumine, koormused jne) ning sisemisteks (nt ebapuhtad sideained). Mõjurid võivad kahjustada ainult betooni, ainult terassarrust või ka mõlemat korraga. Pragunemist ei tule lugeda eraldi mõjuriks, sest tegemist on kahjustuste tagajärgega.

Üheks arvestatavaks keemiliseks mõjuriks on leelise-täitematerjali reaktsioonid, mida on suhteliselt vähe uuritud ja standardites kajastatud minimaalselt. Kuna mitmetes riikides korraldatud uurinud näitavad selle protsessi olulist rolli kahjustuste tekkimisel, on artiklis keskendutud just sellele.

▲ | 3 Mõiste „betoonkonstruktsioon“ korral lähtutakse ingliskeelsest terminist *concrete structure*, mis on üldine mõiste ja hõlmab nii sarrustamata (armeerimata) kui ka sarrustatud betoonkonstruktsioone.

2. Leelise-täitematerjali reaktsioon

Kuigi leelise-täitematerjali reaktsioon (*alkali-aggregate reaction* ehk AAR) ja sellest tingitud kahjustused avastati umbes 80 aastat tagasi, ei ole sellele väga suurt tähelepanu pööratud. Enim on seda uuritud Ameerika Ühendriikides, kuid paljud (sh arenenud) riigid ei ole seda probleemi täielikult veel teadvustanud või teinud seda suhteliselt hiljuti. On teada, et probleem on üsna ulatuslik, sest AARiga seotud kahjustusi on tuvastatud vähemalt poolesajast riigis üle maailma. Seetõttu on viimasel paarikümnel aastal järsult kasvanud teaduspublikatsioonide arv, kus probleemikat käsitletakse. Üldise arusaama kohaselt ei ole probleemiks mitte niivõrd sellealane vähene teadustöö maht, vaid pigem probleemi puudulik teadvustamine. [10]

Praeguseks on tuvastatud kaks peamist leelise-täitematerjali reaktsiooni tüüpi, mida nimetatakse leelise-räni ja leelise-karbonaadi reaktsioonideks [18]. Siiski ei saa neid reaktsioone esinemise sageduse alusel päris võrdväärteteks lugeda.

Leelise-räni reaktsiooni (*alkali-silica reaction* ehk ASR) korral reageerib leelisega amorfne ränidioksiid SiO₂. ASR avastati eelmise sajandi 30. aastatel Ameerika Ühendriikides, kui uuriti mitmete tamme lagunemise põhjuseid [5]. Peatselt seostati ASRiga juba paljude betoonkonstruktsioonide lagunemisi üle terve maailma (sh Taanis ja Austraalias). Selguse huvides tuleb mainida, et mõnede allikate kohaselt (nt [10]) on reaktsioonil ka alaliigid, mida eristab eelkõige see, kas reaktsioonis osaleb vaba ränidioksiid või on see üks räni sisalduva kivimi (nt graniit) koostisos. Teisel juhul on protsessi nimetatud ka leelise-silikaadi reaktsiooniks (*alkali-silicate reaction*) või aeglaseks leelise-räni reaktsiooniks.

Leelise-karbonaadi reaktsioon (*alkali-carbonate reaction* ehk ACR) avastati 1957. aastal Kanadas ja puudutab teatud tüüpi dolomiitkivimeid CaMg(CO)₃ [18]. Kuigi ka seda reaktsiooni on tuvastatud kogu maailmas, on selle levik võrreldes ASRiga oluliselt väiksem ja suuremad probleemid esinevad vaid väikestel aladel peamiselt Kanadas ja Hiinas [10].

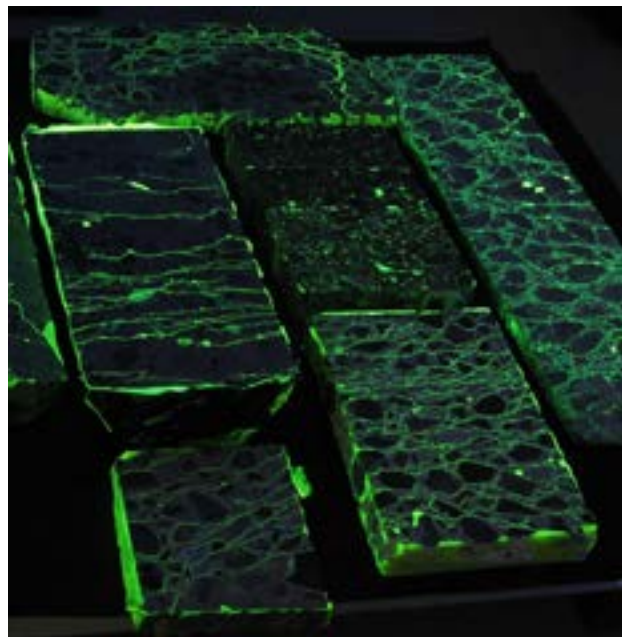
Kuna leelise-räni reaktsioonist tingitud kahjustusi esineb oluliselt sagedamini ja seda on maailmas uuritud seetõttu rohkem, on artiklis keskendutud just sellele.

Tihti sisaldavad nii peen- kui ka jämetäitematerjalid amorfset ränidioksiidi SiO_2 , mis on võimeline reageerima tsemendileelsetega.

Reaktsiooni tulemusena tekib geel (foto 1), mis seob vett ja mis omakorda võib paisudes viia sisepingete tekkimise ning betooni lagunemiseni, mis avaldub peamiselt ulatusliku pragunemisenähtena (foto 2). Geel on petrograafilise analüüsi abil lihtsasti tuvastatav.



▲ Foto 1 | ASR-i geel betooni pooris [6]



▲ Foto 2 | ASR-i kahjustuste määramine vaakumimpregneeritud vedeliku abil (foto: M. Kiisa)

Leelise-täitematerjali reaktsioonidest tingitud kahjustused on regiooniti väga erinevad, sest palju sõltub kasutatud täitematerjali eripärast.

Tagantjärele on tuvastatud palju juhtumeid, kus teadmatusel on segi aetud leelise-täitematerjali reaktsioonist ja nn klassikalisest külmumisest tingitud kahjustusi.

Betooni spetsifitseerimist, toimivust, tootmist ja vastavust käsitleb Euroopa standard EN 206:2013+A2:2021, kuid selles standardis esineb nüansse (nt kulumiskindlus, külmakindlus jne), mida on käsitletud minimaalselt.

Nende hulka kuulub ka leelise-räni reaktsiooniga seonduv. Seetõttu on paljudes Euroopa riikides välja töötatud ka täiendavad rahvuslikud standardid, et täpsustada piirkondlikest eripäradest tulenevaid nõudeid. Ainult vähesed neist sisaldavad ka juhiseid ASR-ist tingitud kahjustuste vältimiseks.

▲ | 4 Kasutatakse ka terminit „leeliskorrosioon“.

ASR-i riski vähendamiseks

betoonkonstruktsioonides on välja antud juhised CEN/TR 16349:2012 [7], mille eesmärgiks on anda soovitusi täitematerjali ja tsemendi nõuetele ning julgustada Euroopa riike nõudeid järgima. Nõuded peaks iga riik koostama ise, kuid juhises on välja toodud parameetrid, mida tuleks täpsustada. Selleks, et ASR-i betoonis vältida, on vaja [7]

- täpsustada ümbritsev keskkond (keskkonnakategooria) vastavalt niiskustasemele, leeliselisusele ja muudele raskendavatele faktoritele;
- välja töötada soovitusi ennetamiseks vastavalt betooni liigile ja keskkonnaklassile. Keskkonnakategooriate loomisel on soovitatud klassifitseerimist kolme klassi vastavalt tabelile 1.

Keskkonna-kategooria	Keskkonna kirjeldus	Tingimused
E1	Kuiv, kaitstud kõrvalise niiskuse eest	<ul style="list-style-type: none"> Sisetingimused kuivades (alla 75% õhuniiskusega) oludes
E2	Kõrvalise niiskuse eest kaitsmata või kuivades oludes, kuid pidevalt niiske betoon	<ul style="list-style-type: none"> Sisetingimused kõrgendatud õhuniiskusega oludes (nt ujulad) Välistingimused, kokkupuude mitteagressiivsete pinnaste või veega, alaline kokkupuude mereveega (ASRi oht väike)
E3	Kõrvalise niiskuse eest kaitsmata koos raskendavate asjaoludega	<ul style="list-style-type: none"> Sooladele avatud Mereveele avatud niiskusmuutusega (märja ja kuiva keskkonna vaheldumine) või kokkupuude soola pritsmetega Külmumis-sulamistsüklite esinemine niisketes oludes Pikemaajaline kõrgendatud temperatuuri esinemine niisketes oludes Muutuvate koormuste esinemine (betooniteed)

▲ Tabel 1 | Soovituslikud keskkonnakategooriad [7]

Tabelist on näha, et teebetonid kuuluvad peaaegu alati kõige kriitilisemasse ehk E3-keskkonnakategooriasse, seega on ASRi risk tulenevalt keskkonnast kõrgem.

Keskkonnakategooriatele lisaks on juhises esitatud ennetavad protseduurid. Kõrgendatud riski tõttu tuleks teebetonide puhul kaaluda mittereaktiivsete täitematerjalide, madala leeliselisusega tsementide (üldiselt CEM I puhul piiritletud Na₂O 0,60%), täiendavate sideainete (tuhk, lendtuhk jms putsolaanid, mis on standarditele vastavad, loetakse sobilikuks) kasutamist, leelise hulga piiramist numbriliselt ja/või katsetoodikate välja töötamist.

Neid riike, kus on teadvustatud ASRiga kaasnevaid ohte ja selle vastu ka konkreetseid samme astunud, on vähe.

Olgu siin näidetena esitatud Läti ja Ühendkuningriigid. Lätis on selle tarbeks välja töötatud betooni nõudeid käsitlev standard LVS 156-1:2017 [8], kus

on lisaks muudele nõuetele seatud täiendavad piirangud ka tsemendi koostisele (tabel 2).

Ühendkuningriik on sarnaselt CEN/TR 16349:2012 soovitudele klassifitseerinud täitematerjalid vastavalt leelise-räni reaktiivsusele (tabel 3). Tabelist on näha, et materjalid on lahterdatud tüübi järgi ehk erinevalt Läti lähenemisest puudub numbriline piirväärtus ja sobiliku materjali leidmiseks piisab õige täitematerjali nimetusest.

Tsemendi tüüp vastavalt LVS EN 197-1	Nõue madala leeliselise tsemendi koostise järele (ASR)	Katsemetoodika
CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V	EN 197-1 tabel 1 ja Na ₂ O ekvivalent $\leq 0,6\%$ massist	EN 196-2
CEM II/B-S	EN 197-1 tabel 1 ja Na ₂ O ekvivalent $\leq 0,7\%$ massist	
CEM III/A	EN 197-1 tabel 1 ja Na ₂ O ekvivalent $\leq 0,7\%$ massist, kui sarnaste komponentide sisaldus jääb alla 49% kogumassist või Na ₂ O ekvivalent $\leq 1\%$ massist, kui sarnaste komponentide sisaldus on üle 50% kogumassist	
CEM III/B, CEM III/C	EN 197-1 tabel 1 ja Na ₂ O ekvivalent $\leq 2\%$ massist	

▲ Tabel 2 | Näide Läti täiendavatest nõuetest tsemendile [8]

Madal reaktiivsus	Normaalne reaktiivsus	Kõrge reaktiivsus	Kriitiline reaktiivsus
Andesiit, basalt, dioriit, doleriit, dolomiit, kergkruus, gabro, gneiss, graniit, õhkjahutusega kõrgahjuräbu, lubjakivi, marmor, mikrograniidi kilt, paagutatud lendtuhk, kiltkivi, süeniit, trahhüüt, tuff	Kõik täitematerjalid, mida pole teistes veergudes	Purustatud kõvad liivakivid; purustatud kõva liivakivi laadsed kivimid (nt aleuroliidid ja savikivimid); purustatud betoon, mis sisaldab lahtis kirjeldatud materjale; pudeli- ja aknaklaas; taaskasutatavad täitematerjalid	Borosilikaatklaas, opaal, opaliinränidioksiid, kaltsineeritud ränikivi

▲ Tabel 3 | Ühendkuningriigi klassifikatsioon [9]

Eestis puuduvad standardid, mis käsitleksid piisava põhjalikkusega leelise-räni reaktsioonist tingitud ohte ja selle kahjustuste vältimise meetmeid.

3. Kaitsemetoodikad täitematerjalide leelise-räni reaktsiooni tuvastamiseks

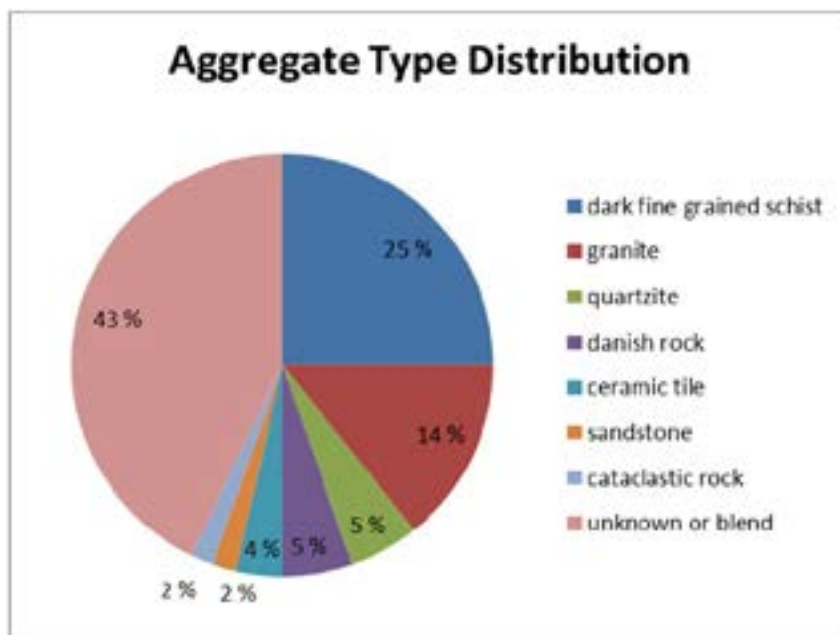
Kuigi loodusressursid on riigiti erinevad ning ASR on otseselt seotud materjalide nõuetega, siis katsemetoodikate uurimisel on keskendunud ainult naaberriikidele ja nende uuringutele.

Lätis on standardi LVS 156-1:2017 alusel piiratud täitematerjalide nõudeid vastavalt tehnilise komitee RILEM TC 219-ACS välja töötatud AAR-1, AAR-2 või AAR-3 katsemetoodikatele [8].

Soomes uuriti betooni lähtematerjalide mõju ASRile esimest korda laiemalt 2011. aastal [10], sest vaatamata suhtumisele „meil seda probleemi pole“

avastas Soome Transpordiamet konstruktsioonidel tõsised probleemid just ASRiga.

Uuringu tulemusena leiti üle 50 objekti (nendest 41% sillad), kus vaatamata eelarvamusele oli probleeme just täitematerjalist tuleneva leelise-räni kõrgest sisaldusest tingitud reaktsiooniga (joonis 1). Soome uuringu tulemuste põhjal soovitati samuti hakata rakendama RILEMi katsemetoodikaid AAR-1, AAR-2 ja AAR-3.



▲ Joonis 1 | 2011. aastal tehtud Soome uuringu kokkuvõtte probleemsetest täitematerjalidest [10]

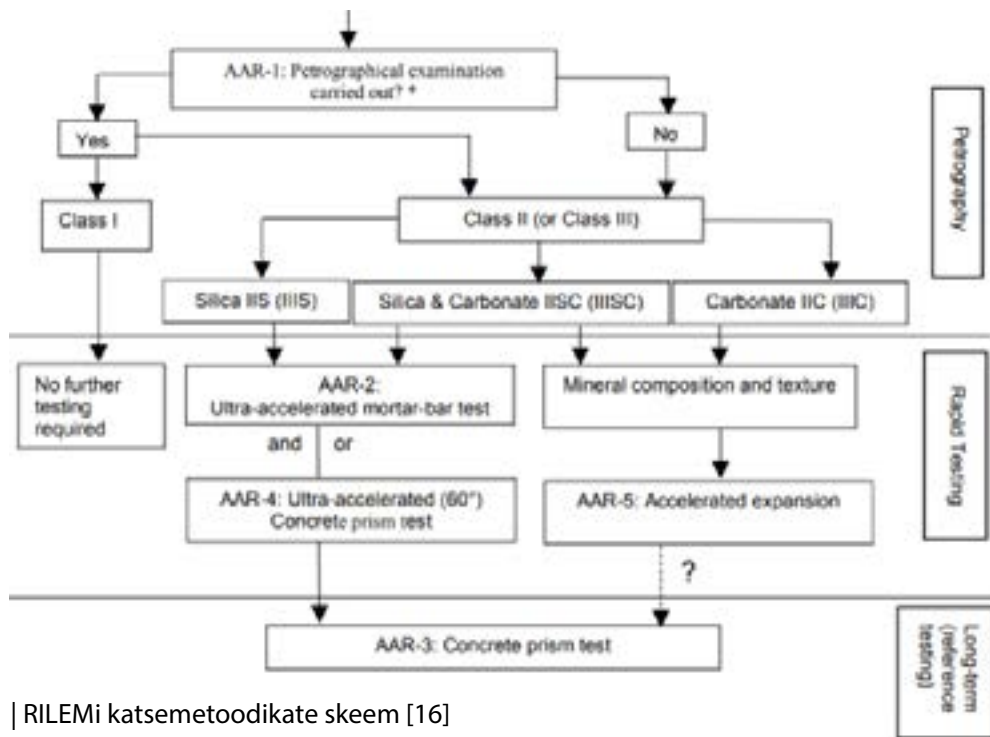
Peamised katsemetoodikad, mis on seotud ASRi tuvastamisega (joonis 2):

- ASTM C295 [11] või RILEM AAR-1 [12] – juhis betooni täitematerjalide petrograafiliseks analüüsiks, kus kivimid lahterdatakse vastavalt reaktiivsusele;
- ASTM C1260 [13] või AASHTO T303 [14] või RILEM AAR-2 [12] – selle tsementpulga pikenemise katsemetoodika alusel on võimalik tuvastada täitematerjalide ASRi ohtu olukorras, kus täitematerjali reaktsioon on aeglane ja paisumine toimub hilisemas faasis.

Kahjuks ei ole selle meetoodika põhjal võimalik hinnata täitematerjali ja tsemendi omavahelist reaktsiooni. Katse kestvus on 14 päeva ja kui pikenemine on üle 0,20%, peetakse täitematerjali reaktiivseks;

- ASTM C1293 [15] või RILEM AAR-3 [12] – betoonist katsekeha pikkuse muutuse meetoodika alusel on võimalik samuti tuvastada täitematerjalide ASRi ohtu. Seda eelistatakse juhul, kui objektilt on võimalik proovikehi võtta. Katse kestvus on üks aasta täitematerjalide hindamiseks ja kaks aastat betoonisegu hindamiseks;

- RILEM AAR4 [12] – betoonist katsekehade pikenemine 60 kraadi juures katsetades.



▲ Joonis 2 | RILEMi katsete meetodite skeem [16]

Viimastel aastatel on aktiivselt tegeletud ka ASRi tuvastamisega keemilise analüüsi abil. Siinkohal tasub ühe näitena esitada Ameerika Ühendriikides välja töötatud meetodikat, mis on suhteliselt odav, kiire, lihtne ja ohutu [17]. Meetodika baseerub kahel vedelal kemikaalil (foto 3), millest üks värvub kollaseks, kui betoonis on ASRi protsess alanud ja teine roosaks, kui protsess on suhteliselt kaugemale arenenud (foto 4). Peale väikest ettevalmistustööd tuleb kemikaalid pritsida betoonpinnale ja tulemus on paari minuti jooksul näha. Meetodika lihtsus ei

võimalda analüüsida, kui kaugemale on ASRi protsess täpselt arenenud ja kui suured on sellest tingitud kahjustused. Vaatamata sellele sobib meetodika suurepäraselt kasutamiseks indikaatorina, et tuvastada ASRi protsessi esinemise sagedus ja orienteeruv ulatus kivistunud betoonis. Eesti oludele vastavate leelise-räni reaktsiooni piiravate täpsemate meetmete väljatöötamist oleks mõistlik alustada peale seda, kui vastavad eeluuringud on tehtud ja võimaliku probleemi ulatus tuvastatud.



▲ Foto 3 | Kemikaalid ASRi protsessi tuvastamiseks (foto: M. Kiisa)



▲ Foto 4 | ASRi protsessi tuvastamine kivistunud betoonis [17]

☐ Kokkuvõte

Vaatamata sellele, et leelise-räni reaktsiooni (*alkali-silica reaction* ehk ASR) tuntakse juba suhteliselt pikka aega, ei ole sellele paljudes riikides veel tõsiselt tähelepanu pööranud. Reaktsiooni käigus reageerib amorfne ränidioksiid tsemendileelistega, mille käigus tekib vett siduv ja betoonis sisepingeid tekitav geel. Reaktsioonist tingitud kahjustused on regiooniti väga erinevad, sest palju sõltub kasutatud betooni täitematerjali eripärast.

Kahjuks ei kirjelda betooni spetsifitseerimist, toimivust, tootmist ja vastavust käsitlev Euroopa standard EN 206:2013+A2:2021 põhjalikumalt leelise-räni reaktsioonist tingitud ohte.

Seetõttu on osad Euroopa riigid hakanud vastavaid nõudeid kajastama siseriiklikes standardites, kuid Eesti nende hulka ei kuulu. Võimalus selleks oleks, sest aluseks võetavaid juhendmaterjale on viimasel kümnendil ilmunud mitmeid.

Enne ASRiga seotud meetmete rakendamist oleks vaja katseliselt uurida selle ulatust Eestis ehitatud betoonkonstruktsioonides. Erilise tähelepanu alla tuleks võtta ehitised, mille puhul on oodatav kasutusiga 100 aastat ja rohkem.

Vastavad katsetoodikad on juba välja töötatud ja võimaldavad ka ulatuslikku masstestimist. Katsetamine eeldab süsteemset lähenemist, mille õigetalalustel rakendamine võimaldaks saada tervikpildi ASR-i kahjustuste ulatusest Eestis.

☐ Summary

Concrete Damages Caused by the Alkali-Silica Reaction

Although the alkali-silica reaction (ASR) has been known for a rather long time, it has not been given due consideration in many countries.

In the reaction process, amorphous silica reacts with cement alkali and the result is a gel that binds water and causes internal stress in the concrete. The damages caused by the reaction are very different depending on the region because it is largely dependent on the specificity of the aggregate.

Unfortunately, the European standard EN 206:2013+A2:2021 that deals with the specification, performance, production, and conformity of concrete, does not deal in more detail with the risks caused by the alkali-silica reaction. For this reason, some European countries have started to indicate corresponding requirements in national standards, but Estonia is not one of them. However, there is a possibility to do so, because over the last decade there is enough guidance material to base this on.

Before implementing any measures regarding ASR, it would be necessary to experimentally study its extent in concrete structures built in Estonia. Special attention should be paid to structures with an expected service life of 100 years or more. The appropriate test methodologies have already been developed and allow extensive mass testing. This testing requires a systematic approach and, when applied on a correct basis, would give a possibility to get a complete picture of the extent of ASR damages in Estonia.

■ Viidatud allikad

- [1] EN 1990:2002 Eurocode - Basis of structural design (2002).
- [2] EVS-EN 1990:2002+NA:2002 Eurokoodeks. Ehituskonstruktsioonide projekteerimise alused (2002).
- [3] EN 206:2013+A2:2021 Concrete - Specification, performance, production and conformity (2021).
- [4] EVS-EN 206:2014+A2:2021 Betoon. Spetsifitseerimine, toimivus, tootmine ja vastavus (2021).
- [5] Expansion of Concrete through Reaction between Cement and Aggregate (T.E. Stanton; 1940).
- [6] AKR Erscheinungsbilder (2021).
- [7] CEN/TR 16349:2012 Framework for a specification on the avoidance of a damaging Alkali-Silica Reaction (ASR) in concrete (2012).
- [8] LVS 156-1:2017 Concrete - Latvian National Annex to European standard EN 206:2013 „Concrete - Specification, performance, production and conformity“ (2017).
- [9] CEN/TR 15868:2018 Survey on provisions valid in the place of use used in conjunction with the European concrete standard and developing practice (2018).
- [10] An Initial Survey on the Occurrence of Alkali Aggregate Reaction in Finland (H. Pyy, E. Holt, M. Ferreira; 2012).
- [11] ASTM C295 / C295M - 19 Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete (2019).
- [12] RILEM Recommendations for the Prevention of Damage by Alkali-Aggregate Reactions in New Concrete Structures (2016).
- [13] ASTM C1260 - 14 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method) (2014).
- [14] AASHTO T 303 Standard Method of Test for Accelerated Detection of Potentially Deleterious Expansion of Mortar Bars Due to Alkali-Silica Reaction (2000).
- [15] ASTM C1293 - 20a Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction (2020).
- [16] RILEM Recommended Test Method AAR-0: Detection of Alkali-Reactivity Potential in Concrete – Outline guide to the use of RILEM methods in assessments of aggregates for potential alkali-reactivity (I. Sims, P. Nixon; 2003).
- [17] A simple colored dye field test to detect Alkali Silica Reaction (2021).
- [18] Alkali-aggregate reactivity (AAR) facts book (M.D.A. Thomas, B. Fournier, K.J. Folliard; 2013).



Tööstus 4.0 rakendamine moetööstuse õppekava Minifactory labori kaudu

Autorid:

Ada Traumann, PhD, Tallinna Tehnikakõrgkooli professor

Evelin Vaab, MA, tehnikainstituudi direktor

■ Sissejuhatus

Rõiva- ja tekstiilitootmine otsib aktiivselt võimalusi tootmise automatiseerimiseks, mis soodustaks tööjõu ja tootmispinna ressursside ümberhindamist. Personaliseeritud masstootmise (*mass customization*) kontseptsiooni rakendamine rõiva- ja tekstiilitööstuses baseerub suuresti digitaalsetel töövoogudel.

Uute IKT-tehnoloogiate kasutuselevõtt aitab parandada ettevõtete tootmisvõimet ja toodete eristamist. Digitaaltehnikad, nagu digitaalne lõikamine, printimine ja viimistlemine (funktsionaliseerimine) on paradigma peamised tööriistad. Digiteerimisel ja 3D-tehnoloogial on moetööstuses suur potentsiaal. See ei seisne mitte ainult tootmisprotsessi kiirendamises, vaid ka tootearenduse ja toodete valmistamise protsessi digiteerimises ning seeläbi jätkusuutlikumaks muutmises.

See on tähtis samm muutmaks suuruselt teist keskkonda kahjustavat majandusharu roheliseks.

Digitaalne tootearendus võimaldab tootearendust ja tootmisprotsessi tõhustada ning seeläbi säästvamaks muuta. Väheneb proovide tegemise füüsiline vajadus, mis aitab vältida materjali liigset kulu ja vähendada selle majandusharu süsinikujalajälge.

Seoses nii innovaatilise tootmisprotsessi planeerimisega kui ka õpiobjekti põhimõtete juurutamisega tuleb tutvustada ka selliseid mõisteid nagu süsteemne mõtlemine ja disainmõtlemine. Süsteemne mõtlemine (*systems thinking*) on kogemuslik-tunnetuslik mitteformaalne meetod, „hea praktika“ süsteemide käsitlemisel, disainimisel, ehitamisel, haldamisel ja muudel süsteemidega seotud tegevustel. Süsteemset mõtlemist kasutatakse sageli komplekssete projektide planeerimisel ja keerukamate ülesannete lahendamisel ning see on

tõlgendus integratsioonist, mis põhineb veendumusel, et süsteemi komponendid toimivad süsteemi keskkonnast või muudest osadest eraldatuna erinevalt. [1]

Disainmõtlemise (*design thinking*) algne mõiste tuleneb sellistest ettevõtlaste ja tootedisaini valdkondadest, kus uuenduslikud tooted on loodud inimeste vajaduste rahuldamiseks ja mille kaudu on võimalik mõista, kuidas innovatsiooniprotsesse hõlbustada [2].

Disainmõtlemine on formaalne meetod probleemide praktiliseks ja loominguks lahendamiseks parema tulemuse saavutamiseks tulevikus, mille levinumad etapid on empaatia (uurimine), määratlemine, idee kujundamine, prototüübi loomine ning testimine. Nendes etappides on võimalik asjakohaste küsimuste esitamisega teadvustada ja tõlgendada probleeme, luua rohkem ideid ja valida nende hulgast parimad.

Etapid ei esine tingimata lineaarsel kujul, need võivad toimuda üheaegselt ja neid saab korrata. [3]

Süsteemse mõtlemise ja selle meetodite integreerimisel disainmõtlemisega siseneb nii toote planeerimis- kui ka kavandamisprotsess mitme osapoolega süsteemidesse. Protsess toetub disaini- ja süsteempädevustele ning nendega seotud vahenditele: vormi ja protsessi põhjendatusele, sotsiaalsetele ja generatiivsetele uurimismeetoditele ning visandamise ja visualiseerimise tavadele.

Sellega tekib võimalus kirjeldada teenuseid ja süsteeme, kaardistada operatsioone ning luua ruum võimalikeks ettepanekuteks ja ümberhäälestusteks [4].

Süsteemne mõtlemine on ka üheks peamiseks nõutavaks oskuseks toote elukaare hindamisel (*LCA – Life Cycle Assessment*).

LCA on analüüsimeetod, mis töötab põhimõttel „hällist hauani/hällist hällini“ hindamiseks toote kõigi eluetappidega seotud keskkonnamõjusid, alates tooraine kaevandamisest, kuni materjalide töötlemise, valmistamise, levitamise ja kasutamiseni [5].

Hindamise fookuses ei ole ainult analüüsiv füüsiline toode kui selline, vaid pigem toote toimivus teda ümbritsevas süsteemis, seda tavaliselt kogu toote elutsükli jooksul ja alati süsteemi täpselt määratletud piirides.

Kui üksikute elementide asemel optimeerida tervete süsteemide tulemuslikkust, on tootmise keskkonناسäästlikkuse ja jätkusuutlikkuse tõhusdamisel võimalik paremaid tulemusi saavutada. Toote elukaare hindamise meetodit peetakse toote või teenuse süsteemi kujundamisel võimekaks tööriistaks eelkõige sel põhjusel, et see võimaldab hinnata tooteid, teenuseid ja nende kombinatsioone.

LCA edendab süsteemset mõtlemist ja tegevuste optimeerimist tavapärastest ja traditsioonilistest ökodisaini lähenemisviisidest kõrgematel süsteemitasemetel. [6]

Minifactory on innovatsiooniliste lahenduste ja interaktiivse õppe ruum ning samaaegselt protsessiarenduse inkubaator ja valdkonna demokeskus.

Minifactory kontseptsioon koosneb neljast harust, millest igaüks on võimeline töötama iseseisva tootmisprotsessina:

3D-modelleerimine, materjalide digiteerimine, materjalide digitaalne trükkimine ja õmblusprotsessi digiteerimine.

Minifactory võimaldab reaalse näite läbiviimist uue ajastu tootmisprotsessist, mille tulemusel valdkonna ettevõtja saab kasutada õppelaborit tehniliste lahenduste ja meetodite katsetuskohana.

Ruumi sisustamisel kasutame kõige uuemaid IKT-tehnoloogiaid, mis võimaldavad kasutajatele mitmekülgseid tootmisprotsesside läbikatsetamisi. Seda nii rühmatööna moetoöstuse õppeainetes kui ka rakendusuuringute tegemisel TTK valdkondade uurimistöodes, nagu ehitus, arhitektuur, tootmine ja tootmiskorraldus, tööstus 4.0.

Artikkel annab ülevaate Minifactory labori võimalustest, püüdes luua süsteemset disaini. Süsteemne disainimõtlemine võimaldab välja töötada meetodika ja lähenemisviisid, mis aitavad

integreerida süsteemse disaini jätkusuutlikumaks muutumist lähtudes keskkonna, sotsiaalsest ja majanduslikust tasandist, tagades vastavuse tööstusrevolutsiooni 4.0 põhimõttega.

□ Minifactory kontseptsioon – digitaalne mõõtmine, tootearendus, tootmisprotsess

Digitaalne töövoog moetoöstuse protsessides võimaldab rõivaste kujundamise uusi viise, mis omakorda tähendab uusi kontseptsioonide ja ideede esitamise viise.

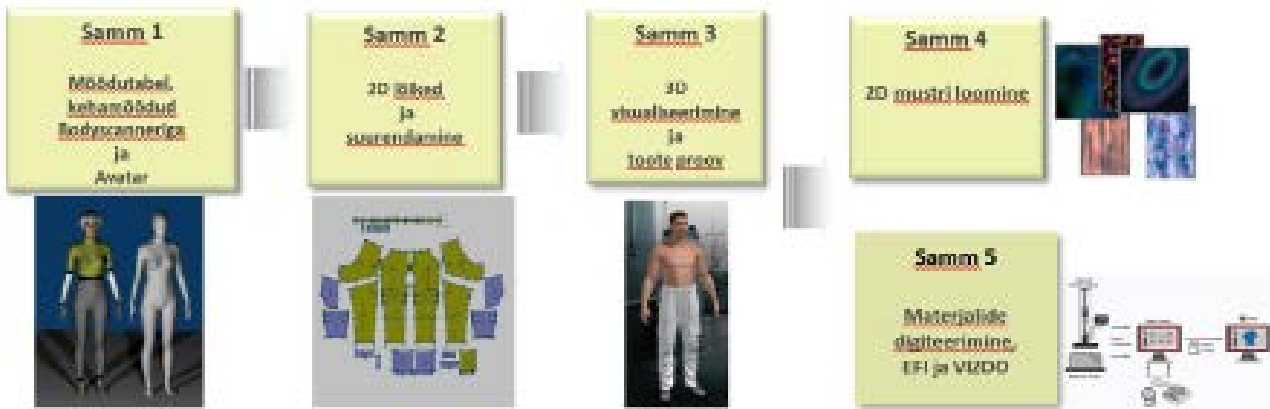
Näiteks digitaalne tootearendus vähendab füüsiliste tootenäidiste vajadust, mille tulemusel vähendame kulusid kangaste ja muude abimaterjalide ostmiseks, samuti tootenäidiste transpordile edasi-tagasi tootmise ja disaineri vahel.

Digitaalne tootearendus annab uue võimalusena luua näiteks virtuaalse näidiste saali, kus ostjad saavad tellida tooted, ilma et ühtegi füüsilist toodet oleks veel valmistatud.

Minifactory digitaalne töövoog hõlmab 12 sammu, mis võimaldab süsteemse disainiprotsessi olemust, aga ka pidevat kontrollimist ja jätkusuutlikumaks muutmist (joonis 1).

Moetoöstuse personaliseeritud masstootmise ehk *mass customization*i üheks oluliseks punktiks on toote valmistamine lähtuvalt tarbija või tellija mõõtudest.

Juba ligi kümme aastat on TTK moetoöstuse õppekava laboris võimalik läbi viia antropomeetriasi mõõtmisi firma Human Solution 3D-kehaskanneriga.



▲ Joonis 1 | Minifactory digitaalne töövoog, sammud 1–5

Digitaalsed mõõtmismeetodid on kiiremad ja täpsemad ning andmed erinevalt traditsioonilise füüsilise mõõtmise ehk mõõdulindiga mõõtmise käigus saadud tulemustest reprodutseeritavad [1]. Skaneeritud salvestatud kujutis võimaldab täiendavate mõõtmiste tegemist ja andmete analüüsi mistahes ajal.

Võrreldes ühemõõtmeliste mõõtmistega on rõivaste sobivuse probleemide kvalitatiivseks ja kvantitatiivseks hindamiseks saadav näitajate kogum palju informatiivsem. [8]

Kehaskanneriga (Vitus Smart XXL) on võimalik visualiseerida 3D-skaneeringuid, kasutades kaheksat andurit, optilist triangulatsiooniprotsessi ja spetsiaalset tarkvara Anthroscan 2016 (3.4.0). Skanner võimaldab mõõta ligi 150 kehaparametrit täpsusega 1 mm 10–12 sekundi jooksul. Andmeid saab eksportida BSF-, BTR-, OBJ-, ASCII-, DXF-, STL- (ASCII-), STL- (Binary), JPG-, PNG- või AVI-formaadis. [9]

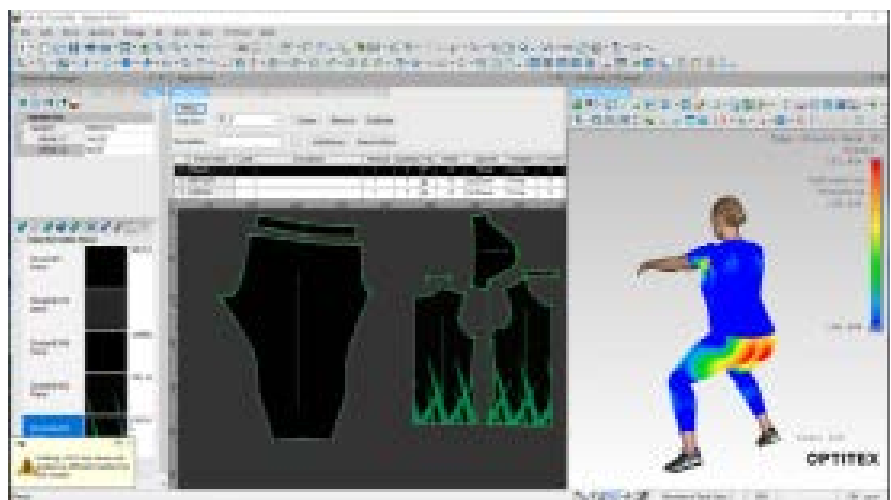
Mõõtmistulemused imporditakse Human Solutions XFit programmi, kus neid töötleb spetsialist, kes tunneb antropomeetria ja rõivaste tehnilist disaini.

Mõõtmistulemuste alusel konstrueeritakse 2D-lõiked, kasutades üht levinumat moetööstuse lõike- ja modelleerimistarkvara Optitex PDS-19 Education versiooni (samm 2 ja 3 joonisel 1). Optitexi programm võimaldab 2D-lõigete suurendamist-vähendamist ehk tehnilist paljundamist, mis vähendab tunduvalt rohkem konstruktori ajakulu kui suuruste käsitsi paljundamine. Minifactory laboris uuendati Optitexi lõike- ja modelleerimise tarkvara 26 litsentsi koos eLearning võimalusega parema õppetöö eesmärgil.

Sammu 3 juures toimub juba rõiva tasapinnaliste lõigete üleviimine 3D-vaatesse, mis võimaldab toote virtuaalset proovimist Avatari seljas arvutiekraanil. Avatari saab arvutiekraanil liigutusi tegema panna konstrueeritud tootega, näidates liikuvat pildil eri värvidega toote avaruslisisid (joonis 2).

Sinine värv näitab seda, et toote avaruslisa on piisav, aga punane tähistab, et avaruslisa on minimaalne ehk rõivaese võib selles piirkonnas kandjale kitsaks jääda.

▶ Joonis 2 | Optitexi 2D-/3D-modelleerimine sammus 3



Rõivaste konstrueerimisel ja modelleerimisel on suur tähtsus materjalidel ehk kangastel. Rolli määravad kanga tüüp, sidus, kiuline koostis, muster. Oluline on määrata ka kangaste mehaanilis-füüsikalised omadused, millest olulisemad on kangaste hõörde- ja pillingukindlus, tõmbe- ja rebimistugevus, õhu läbilaskvus, veehulgavus.

Moetööstuse õppekava materjalide testimise laboris on võimalik katsetada veel palju muudki peale kirjeldatu. Teenuste loetelu ja hinnakirja leiab TTK kodulehelt rubriigi „Teenused ettevõtetele“ alt [10]. Lisaks kangaste testimistele on võimalik määrata ka kiu joontihedust ja säbarust ning silikoonõli sisaldust.

Nutikas spetsialiseerumine tekstiilkangaste tootmisel on toonud turule uued IT-lahendused, kus muster trükitakse materjalile digiprinteriga. See võimaldab operatiivselt luua iseloomulikke ja turunõudlustele vastavaid kangamustreid ning trükkida kangaid kiiresti ja vastavalt tellitud kogusele.

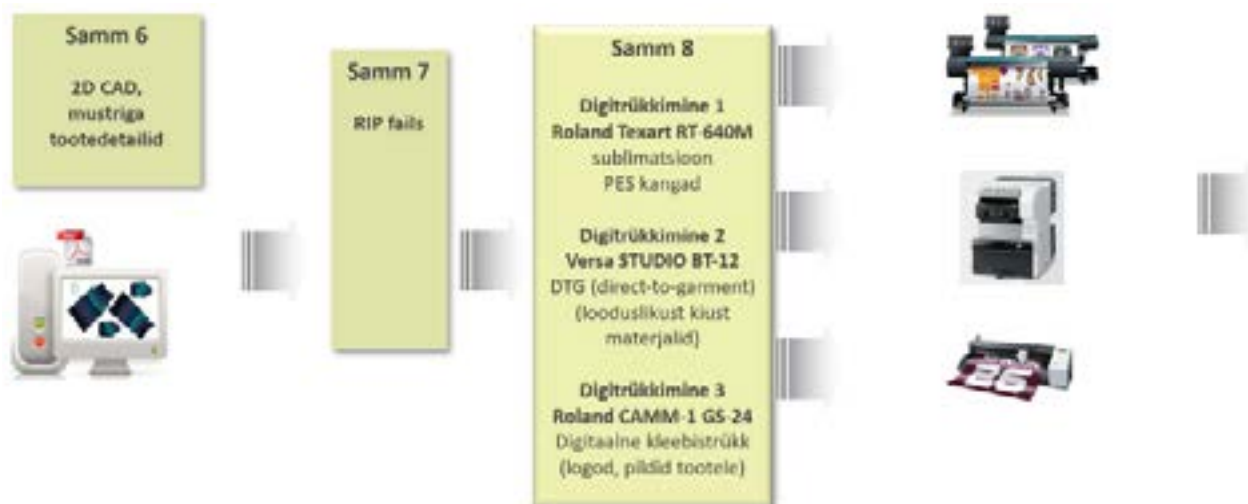
Sammu 4 all on näidatud 2D-mustri loomist, mida tehakse peamiselt Adobe Illustratori ja Photoshopi programmide abil. Olulisemat eesmärki digitaalses tootearenduses täidab samm 5.

Minifactory laborisse soetati seadmed EFI ja Vizoo, mis võimaldavad materjalide digiteerimist.

Digitaalsete materjalinäidistega saab Avatari seljas Optitexi programmis CAD-/CAM-i abil visualiseerida maksimaalselt tõetruu tooteproovi.

Materjalide digiteerimisel sammus 5 toimub kõigepealt kangaste füüsikaliste parameetrite määramine EFI Optitex 3D abil, VIZOO Xtex Bundle EDU tark- ja riistvara abil toimub kangaste 3D-digiteerimine.

Sammud 6–8 on juba otseselt seotud digitaalse trükkimisprotsessiga (joonis 3). Üheks levinumaks digitrükkimeetodiks spordi- ja vabaajarõivastele on sublimatsioon. Selle tehnoloogia eripäraks on paberile trükitud kujutise kandmine otse tekstiilmaterjalile või substraadile. Samm 6 näitab, et trükitud kujutise kandmine vastavale sublimatsioonipaberile võib olla vaid lõigete suuruse ulatuses. Ehk siis ei tarvitse meil materjali täislaiuses trükkida, vaid saame seda teha lähtuvalt toote detaili kujust. Trükitakse vaid soovitud mustriga tootedetailid.



▲ Joonis 3 | Minifactory digitaalne töövoog, sammud 6–8

Digitaalse trükkimise tarkvara hõlmab endas värvisüsteemi RIP (*raster imaging processor*), printerit ja CAD-tarkvara [11]. RIP-tarkvara mängib olulist rolli digiprinteri kõrval, luues justkui silla disainiprotsessi ja printeri vahel.

Minifactory laborisse soetati kõik kolm printerit kaubamärgi Roland omad, milles kasutatakse Ergosofti programmi. Ergosoft on RIP-tarkvara üks uuemaid arendusi, mis võimaldab mustri printida ainult materjali selles kohas, kus see vajalik on, säästes tindikulu ja olles reaalseks näiteks digitaalsele töövoole lõpptoote saavutamisel etappidena: simuleeri-trüki-lõika.

RIP-tarkvara võimaldab pakkuda muudki, nagu näiteks trükihinna kalkuleerimine, andmete vahetus e-poe ja tellimuste vahel, kontuuride ja lõikejoonte lisamine ning palju muud.

Sublimatsiooniprinter Roland Texart RT-640M võimaldab trükkida otse kangale ja ka sublimatsioonipaberile.

Sublimatsioonipaber on spetsiaalne paber, mis ei ima tinti endasse, vaid jätab tindi paberi pinnale, mistõttu kandub see temperatuuri ja surve abil üle substraadile ehk soovitud materjalile.

Paberile trükitakse kujutis peegelpildis. Esmalt jäävad värvid paberil hoopis teist tooni kui peale pressimist. [12]

Trükkimiseks sobivad PES-koostisega kangad, kus polüestri kiuline sisaldus on vähemalt 70%.

Substraadiks võib olla ka plast, paber, keraamika jm materjal. Kui soovida parimat trükitulemust, peab trükitava materjali kiuline koostis olema 100% polüester. Sublimeerida saab ainult heledaid ja valgeid kangaid.

Looduslikust kiust materjalide trükkimiseks saab kasutada DTG- (*direct-to-garment*) printerit, mida kasutatakse valmistoote või detaili printimiseks, kuna printitava ala suurus saab maksimaalselt olla A4-suurune. Minifactory laborisse soetati mobiilne Rolandi printer Versa Studio BT-12.

Digitaalse DTG-trüki seadmeks on spetsiaalne tindiprinter, mis printib tekstiilile nagu printerid paberile.

Printida saab kõrgekvaliteedilisi täisvärvilisi detailseid kujutisi otse kangale suurema ettevalmistuseta. Vajalik on hea kvaliteediga pildifail.

See tehnoloogia sobib ka üksikeksplaride ja väikeste kogustega partiide valmistamiseks, sest vajalik ei ole trükiraamide ettevalmistus nagu siiditrükis, mis teeks väikese koguse valmistamise oluliselt kallimaks. [13]



▲ Joonis 4 | Minifactory digitaalne töövoog, sammud 9–12

Digikleebis (*digital transfer*) on siidetrükitehnoloogia, mis sobib keerukamate kujutiste, nagu fotode, varjundite ja väikeste detailidega kujutiste tekstiilile kandmiseks.

Digiprinteriga trükitakse kujutis spetsiaalsele alusmaterjalile ehk PVC-vinüülile. Kujutis lõigatakse välja mööda lõikejoont ja pressitakse kuumpressi abil soovitud tootele.

Trükki on võimalik teha peaaegu kõikidele tekstiilmaterjalidele, samuti paberile ja plastile. Võimaliku trükitava kujutise suurus oleneb kasutatavast digiprinterist ja kuumpressi trükiala suurusest. [14]

Digitrüki kõik kolm kirjeldatud tehnoloogiat nõuavad trükitud mustri või kujutise kinnitamist kuumpressiga.

Kui värv ei ole korrektselt kinnitatud, võivad värvid pesemisel või hõõrdumisel laiali minna.

Sublimatsioonitrüki puhul saavutavad värvid oma lõpliku erksuse just kuumutamisel. Samm 9 all on näidatud kuumpressid, mis soetati Minifactory laborisse (joonis 4).

Kuumpress Transmatic TM-150 võimaldab sublimatsioonitrukil tindi aurustumiseks temperatuuri 190–200 °C.

Samuti mängib rolli pressimise surve, kasutatakse 3–4 kg/cm².

Pressimise aeg on olenevalt substraadist 30–90 sek. Väikepress Siser TS-one võimaldab mobiilse ning kiirema töövoogu DTG- ja digikleebistrüki puhul. Kui värv on kinnitatud, on toode kasutamiseks valmis, nagu näha ka jooniselt 4.

Sublimatsioonitrüki tehnoloogiaga trükitud kangaste puhul tuleb lõpliku toote valmimiseks läbida sammud 10–12 (joonis 4).

Otsides aktiivselt võimalusi, mis soodustaks rõiva- ja tekstiilivaldkonnas ressursside ümberhindamist tööjõus ja tootmispinnas, peab järk-järgult kaasama tööstusrevolutsiooni 4.0 lahendusi. Tootmise automatiseerimine kõikvõimalikes etappides tagab andmete säilitamise ja kiire muutmise tööprotsessis, mis omakorda võimaldab agiilse töövoogu ja tellija nõudmistele vastava tootmisprotsessi kohendamise.

Juurdelõikusprotsess tehakse laboris käsitsi.

Minifactory labori loomisel võeti õmblusprotsessi planeerimiseks kasutusele Saksa firma Vetron Typical GmbH spetsiaalne tarkvara V_ision, Smart Interoperating Network. Programm võimaldab kirjeldada toodete jagumatud operatsioonid koos

kõikide detailide loeteluga, jälgida reaalajas tootmisprotsessi ja teha jooksvaid muudatusi, kasutada õmbleja töökohtades digiekraane (*Gateway*), elimineerida toodete tehnoloogilised kaardid paberikandjal, kasutada kvaliteeditööriistu igas tootmisetapis ja KPI- (*key performance indicator*) andmete esitust kogu ettevõtte tootmisprotsessidest.

Seda ka eraldiseisvatest – asetsegu need ühes linnas või riikides üle maailma, kuna programm töötab internetis. Programm V_ision võimaldab digitaalse tootmisahela loomist algusest lõpuni, saades siduda seda ERP- (*enterprise resource planning*) süsteemiga ehk ettevõtte ressursside planeerimise tarkvaraga [15].

Intelligentsete tööstusseadmete soetamine tootmisse annab uued tehnoloogilised võimalused lähtuvalt materjalitehnoloogia arengust.

Minifactory laborisse soetati ultraheliga keevisühendusõmblusmasin Vetron 5064 [16].

Elektroonilisel sonotroodiga tekitatava kõrgsagedusega töötaval õmblusmasinal on süstiku asemel alasiratas diameetriga 25 mm, mida saab valida eri mustriiga lähtuvalt sellest, kas õmbluse veekindlus on vajalik või mitte.

Tingimuseks on materjali võimalikult kõrge sünteetilise kiu sisaldus, peamiselt polüester või polüamiid, mis tagab materjalikihtide kokkusulamise alasiratta abil. Masin osteti serva lõikamise lisafunktsiooniga, mis lähtuvalt soetatud alasiratta tüüpidest võimaldab avade sisselõikamist tootele nagu näiteks nõõpaugud ja paelakanali avaused rõival.

■ Kokkuvõte

Praeguseks on rõiva ja tekstiili instituut liitunud TTK üheks suurimaks – tehnoloogia ja ringmajanduse instituudiks.

Moetööstuse õppekava arendatakse jätkuvalt, et innustada koostööprojekte ettevõtete, TTK instituutide ning teiste EV ja ELi kõrgkoolide vahel.

Õppetööd viiakse läbi järgmistes ainetes: digiprintimise tehnoloogiad, materjaliõpetus, õmblustehnoloogia, integreeritud tehnoloogiad ja rõivakollektsioonide loomine; osaliselt ka projektitöodes, nagu seadmed, kerged rõivad, korsetilised ja pesu, üle- ning meeste rõivad.

Majandusolukord nõuab toodete eluea kontrollimist selleks, et tagada võimalikult säästlik eluring nii tootmisprotsessis kui ka toote jõudmiseks tarbijani.

Planeeritava või arendatava toote elukaare hindamise (LCA) rakendamine juhtimisvahendina nõuab omakorda süsteemse mõtlemise ja disainimõtlemise pädevusi ning aitab kaasa toote ja tootmise keskkonna ja sotsiaalse mõju kontrollimisele. Keskkonnamõju määratleb keskkonna kõik positiivsed ja negatiivsed, kvantitatiivsed, kvalitatiivsed ja funktsionaalsed modifikatsioonid, millega tootmisprotsess või toode kokku puutub, alates kavandamisest, kuni eluea lõpuni.

Lähtuvalt loetletud keskkonnamõju hindamise ulatusest on selge, et digitaalse töövoota ja tööstusrevolutsiooni 4.0 rakendusteta ei suudeta seda igapäevatootmises optimaalselt kontrollida.

Seepärast on Minifactory-tüüpi lahendused olulised ka valdkonna ettevõtetele ja neile, kellele pakutakse labori külastamist demokeskusena.

Minifactory labori täiendamine jätkub, sest puudu on näiteks otselink ja automaatne edastus 3D-möötmistulemuste ja

Optitex PDS-19 Education tarkvara vahel.

Juurdelõikusprotsessi digitaalse näitena saab üliõpilastele anda õpiülesandeid

olemasolevate lõike- ja modelleerimise tarkvara lahenduste kaudu, kasutades Optitexi või Lectrat.

Tootmise ja tootmiskorralduse õppekava huvides on plaanitud Minifactory labor siduda ERP-süsteemiga, et oleks võimalik mistahes tootmisprotsessi *end-to-end* digitaalse töövoo ülesehitus.

Minifactory labori sidusus moetööstuse õppekavaga on ennast tehnoloogia ja ringmajanduse

instituudi õppetöös kevadsemestril 2021 juba tõestanud.

Loodetavasti saab Minifactory lähitulevikus olema innovatsiooniliste lahenduste ja interaktiivse õppe ruum ning samaaegselt protsessiarenduse inkubaator ja valdkonna demokeskus.

■ Summary

The Application of Industry 4.0 to the Curriculum of Fashion Engineering Using the Minifactory Laboratory

Today, after merging in August 2020, the Institute of Clothing and Textiles has become part of one of the largest institutes of TTK UAS - the Institute of Engineering and the Circular Economy.

Studies are carried out in subjects such as digital printing technology, materials science, sewing technology, creation of apparel collections, integrated technologies and different field projects in laboratories.

Today's economic situation requires control of the life cycle of products to ensure the most economical life cycle possible, both in the production process and in reaching the consumer. Implementing Life Cycle Assessment (LCA) as a management tool when planning or developing a product requires competencies of systemic thinking and design thinking and contributes to controlling the environmental and social impact of the product and the production.

Environmental impact defines all the positive and negative; quantitative, qualitative and functional modifications that a production process or product is exposed to from its design to the end of its life. Given the referred scope of the environmental impact assessment, it is evident that it cannot be optimally controlled in everyday production without digital workflow and application of the industrial revolution 4.0.

Therefore, Minifactory type solutions are also important for companies in the field and to those who are offered to visit the laboratory as a demo centre.

The Minifactory laboratory is continuously upgraded, for instance, there is currently no direct link and automatic transmission between the 3D measurement results and the Optitex PDS-19 Education software.

As an example of the digital cutting process, students can be given learning assignments through existing cutting and modelling software solutions using either Optitex or Lectra programmes.

In the interest of the Production and Production Management curriculum, there are plans to link

the Minifactory laboratory to the ERP system, so that it would be possible to build an end-to-end digital workflow for any production process.

The Minifactory Laboratory has already proven itself consistent with teaching Fashion Engineering in the Institute of Technology and Circular Economy in the spring semester of 2021.

Hopefully, the Minifactory will be a space for innovative solutions and interactive learning.

■ Viidatud allikad

[1] Systems thinking. Learning for Sustainability 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://learningforsustainability.net/systems-thinking/>. [Kasutatud 4. mai, 2021].

[2] Design thinking and co-design. Learning for Sustainability 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://learningforsustainability.net/design-thinking/>. [Kasutatud 4. mai, 2021].

[3] Reuven, C., Design thinking: a unified framework for innovation, 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.forbes.com/sites/reuvencohen/2014/03/31/design-thinking-a-unified-framework-for-innovation/#1dfa52dd8c11>. [Kasutatud 4. mai, 2021].

[4] Systemic design. Learning for Sustainability 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://learningforsustainability.net/systemic-design/>. [Kasutatud 4. mai, 2021].

[5] Muralikrishna, I. V., Manickam, V. (2017) Life Cycle Assessment. Environmental Management: Science and Engineering for Industry. Elsevier Inc. 2017.

[6] Bey, N., McAloone, T. C. (2006) From LCA to PSS – Making leaps towards sustainability by applying product/service-system thinking in product development. DTU. Proceedings of LCE 2006.

[7] Apeageyi, P. R. (2010). Application of 3D body scanning technology to human measurement for clothing Fit, International Journal of Digital Content Technology and its Applications Volume 4, Number 7.

[8] Loker, S., Ashdown, S., Schoenfelder, K. (2005). Size-specific Analysis of Body Scan Data to Improve Apparel Fit, Journal of Textile and Apparel, Technology and Management, Vol.4, Issue 4.

[9] Traumann, A., Peets, T., Kuusk, M., Kivistik, J. (2018). Eesti kaitseväe vormipükste suuruste analüüs 3D kehaskanneriga mõõdetud tulemuste baasil.

[10] TTK koduleht, Ettevõtjale, Tehnoloogia ja ringmajanduse instituudi teenused. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ttkk.ee/ettevotjale/tehnoloogia-ja-ringmajanduse-instituudi-teenused>. [Kasutatud 2. mai, 2021].

[11] Parys M. V., The textile industry has taken a big leap in the digital printing sector, part 2. (2021). Ajakiri Unitex, maart no 1/2021.

[12] Kangatrüki tehnoloogia, "Dispersioonvärvid ja siirdetrükk," [Võrgumaterjal]. Available: <http://kangatrükitehnoloogia.weebly.com/dispersioonvaumlrvid-ja-siirdetruumlkk.html>. [Kasutatud 3. mai, 2021]

[13] Kruze Disain OÜ, "Digitaalne trükk," [Võrgumaterjal]. Available: <https://kruze.ee/et/digitaalne-truk-k/?lang=et/>. [Kasutatud 3. mai, 2021]

[14] Kiisküla K., "Digitaalsete trükitehnoloogiate kaardistamine AS Fifaa näitel", 2019, lõputöö Rõiva ja tekstiili instituudis, Tallinna Tehnikakõrgkool

[15] VETRON [V_ SION] Digital Production Management. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=ljQiRHoiDDI&t=6s>. [Kasutatud 3. mai, 2021]

[16] VETRON 5064 Ultrasonic welding machine for medical mask protective suits. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=OZRZUJ-YOyo>. [Kasutatud 3. mai, 2021]

■ Tunnustus

Autorid on tänulikud

ASTRA projektile 26.36-2/1168-14 TTK LEAN

Tallinna Tehnikakõrgkooli strateegilise võimekuse

ja ressursikasutuse tõhustamine, mille vahendite

abil sai võimalikuks Minifactory labori seadmete ja

vajamineva tarkvara ostmine.

□ Distantõppes reaalainete õppimist mõjutanud tegurid

Autorid:

Anne Uukkivi, PhD, Tallinna Tehnikakõrgkooli kaasprofessor

Vitali Retšnoi, PhD, Tallinna Tehnikakõrgkooli kaasprofessor

□ Sissejuhatus

Distantõppe on uus ja keeruline pedagoogiline väljakutse ning seetõttu on oluline uurida, kuidas õppijaid selles paremini toetada.

Artikli eesmärk on analüüsida õppijate hinnangut reaalainetes distantõppe tingimustes läbi viidud õppetöö protsessile ja välja selgitada õppimist mõjutanud tegurid.

Artikkel vastab kahele peamisele uurimisküsimusele:

1. Kuidas õppijad reaalainete õppimist distantõppes tajusid?
2. Millised tegurid mõjutasid õppimist kõige rohkem?

Andmekogumise meetodina kasutati veebiküsitlust, mille esimeses osas selgitati välja, kuidas õppijad reaalainete õppimist distantõppes tajusid.

Teises osas uuriti, millised tegurid mõjutasid õppimist kõige rohkem ja kuidas õppijate arvates õppetööd kõige efektiivsemalt läbi viia.

Artikli metoodikas on välja toodud uuringu läbiviimiseks ja tulemuste analüüsiks kasutatud meetodid ning ülevaade küsitlusele vastajatest. Tulemuste osa avab uuringu tulemused uurimisküsimuste alusel.

□ 1. Metoodika

Uurimisküsimustele vastamiseks viidi läbi 12 küsimusest koosnev veebiküsitlus, mis koosnes nii kinnistest kui ka avatud küsimustest.

Kinniste ette antud valikvastustega või skaalaküsimustega paluti hinnata panustamist õppetöösse, õppimise efektiivsust, rahulolu õppetöö läbiviimisega, abivajadust ja seda, kui meelsasti edaspidi distantõppes õpitaks. Avatud küsimustega selgitati välja, millised tegurid

õppimist mõjutasid.

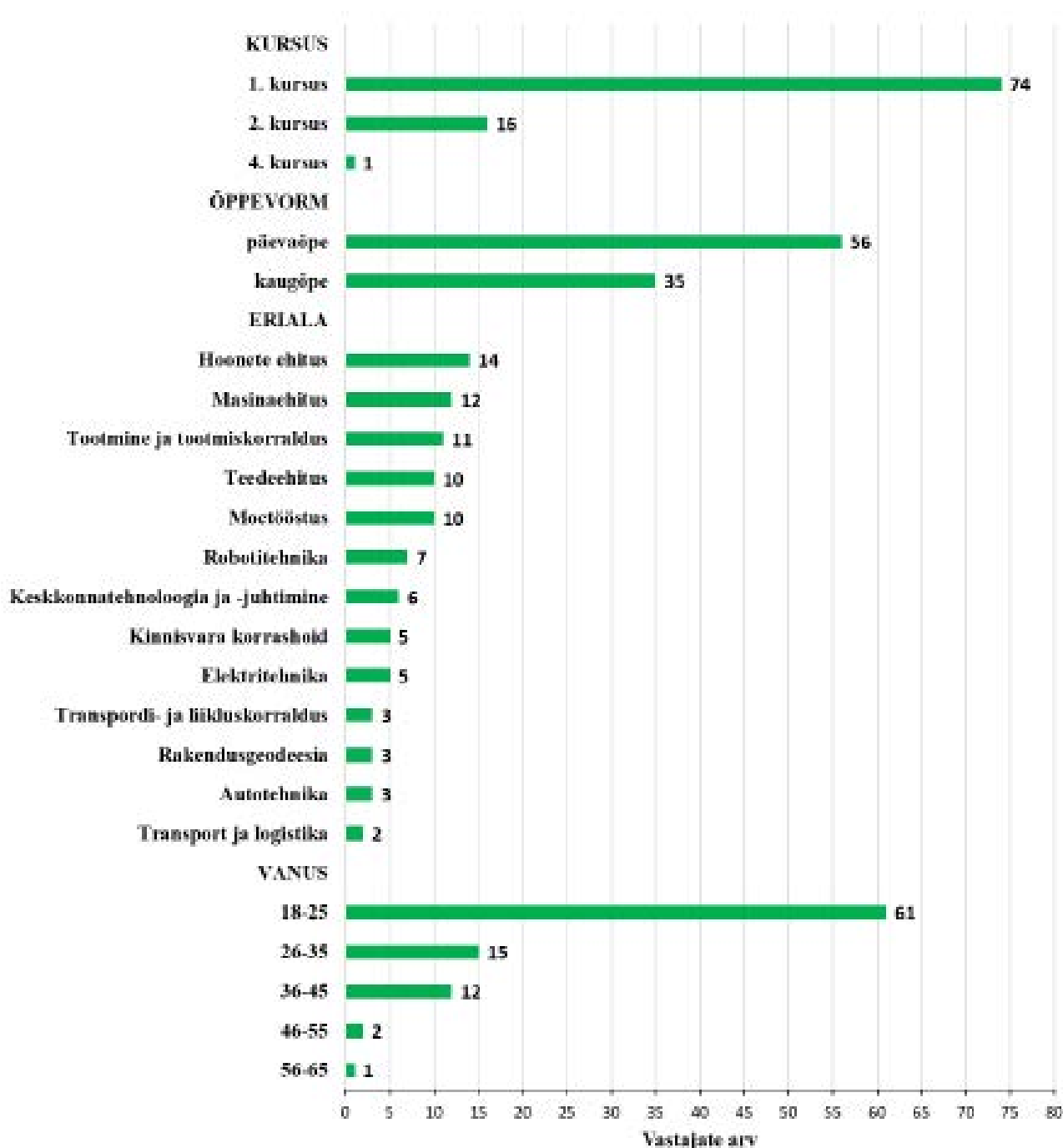
Küsitlus koostati Google Forms vahendiga ja viidi läbi 2020. aasta juunikuul jooksul. Küsitlus edastati 2019/2020. õa kevadsemestril reaalainete keskuse õppeaineid kuulanud õppijatele. 314 õppijast vastas 91 üliõpilast, vastamisaktiivsus üldkogumis oli 28,98%. Joonisel 1 on esitatud küsitlusele vastajate struktuur.

Kinniste küsimuste analüüsiks kasutati kvantitatiivset statistilist analüüsi, küsitlustulemuste ülevaade esitati teksti, joonise ja tabelitena. Järjestatavate tunnuste kõikvõimalike paaride vahelisi korrelatsioone uuriti Kendall's τ (tau) ja Spearmani ρ (rho) seosekordajate abil [1]. Küsitluse põhjal sõnastati statistilisi hüpoteese ja kontrolliti nende kehtivust p-teststatistiku abil.

Kvantitatiivne analüüs tehti statistiliste andmetöötlusprogrammidega MS Excel ja R. Kui mõnes grupis (nt päeva-/kaugõppe) statistiliselt olulist erinevust ei ilmnenud, siis seda gruppi analüüsis eraldi ei käsitletud.

Avatud küsimuste vastuste analüüsiks kasutati temaatilise analüüsi põhimõtteid [2]. Analüüsi käigus rühmitati vastused peamiste temaatiliste kategooriate lõikes. Selleks läbiti järgmised etapid. Esiteks loeti materjal läbi ning tuvastati distantõppe aspekte kirjeldavad tekstiosad ja tähistati need koodidega. Seejärel jagati koodid teema- ja alamkategooriateks. Viimaseks kujundati teema- ja alamkategooriate lõplik sisu ning valiti välja neid illustreerivad tsitaadid.

▼ Joonis 1 | Vastajate struktuur, n = 91



2. Tulemused

Järgmiseks on esitatud küsitluse tulemused uurimisküsimuste alusel.

2.1. Reaalainete õppimine distantsõppes

Küsitlus algas väljaselgitamisega, kuidas õppijad reaalainete õppimist distantsõppes tajusid.

1. Panustamine õppetöösse distantsõppe perioodil (skaala: 1 – üldse ei pidanud pingutama...5 – palju rohkem pidi pingutama). Vastajate keskmine hinnang: 3,43.

2. Õppimise efektiivsus distantsõppes võrreldes auditooriumis õppimisega (0 – ei oska öelda, 1 – ei olnud efektiivne...5 – palju efektiivsem). Vastajate keskmine hinnang: 2,56.

3. Rahulolu õppetöö läbiviimisega distantsõppes (1 – üldse ei ole rahul...5 – olen väga rahul). Vastajate keskmine hinnang: 3,46.

4. Meelsus edaspidi reaalainete distantsõppes õppimise suhtes (1 – üldse mitte meelsasti...5 – väga meelsasti).

Vastajate keskmine hinnang: 3,18.

5. Teiste (v.a õppejõu) abi kasutamise määr mitte-hindeliste ja hindeliste tööde sooritamisel distantsõppes (intervallskaala: 0–10%, 11–25%, 26–50%, 51–75%, 76–90%, 91–100%).

Vastajate ligikaudne keskmine määr: 30% +\– 6,5%.

Tabelis 1 on esitatud kõikvõimalike paaride vahelisi korrelatsioone järgmiste tunnuste vahel: panustamine õppetöösse, õppimise efektiivsus, rahulolu õppetöö läbiviimisega ja meelsus edaspidi distantsõppes õppimise suhtes.

	Panustamine õppetöösse	Õppimise efektiivsus	Rahulolu õppetöö korraldusega	Meelsus edaspidi distantsõppes õppimise suhtes
Panustamine õppetöösse	1			
Õppimise efektiivsus	-0,32***	1		
Rahulolu õppetöö korraldusega	-0,25***	0,47***	1	
Meelsus edaspidi distantsõppes õppimise suhtes	-0,22**	0,52***	0,43***	1

* $p < 0,1$

** $p < 0,05$

*** $p < 0,01$

▲ Tabel 1 | Paarikaupa arvatud Kendalli korrelatsioonikordajad koos olulisustõenäosustega p

Tabelist 1 nähtub, et kõikvõimalike tunnuste paaride vahel esinesid statistiliselt olulised keskmise tugevusega seosed.

Uuritud tunnuste paaride positiivsed seosed näitavad, et mida efektiivsemaks üliõpilased reaalainete õppimist distantsõppes võrreldes auditooriumis õppimisega pidasid, seda enam olid nad rahul õppetöö korraldusega ja seda enam olid nad meelestatud ka edaspidi õppima reaalainete distantsõppe vormis ja vastupidi. Samuti selgus, et mida kõrgem oli üliõpilaste rahulolu õppetöö korraldusega distantsõppes, seda positiivsemalt olid nad meelestatud ka edaspidi reaalainete distantsõppe vormis õppimise suhtes ja vastupidi.

Tabelis 1 uuritud tunnuste paaride negatiivsed seosed näitavad, et mida rohkem pidid üliõpilased võrreldes auditooriumis õppimisega reaalainete distantsõppes õppides pingutama, seda madalamalt hindasid nad distantsõppes õppimise efektiivsust võrreldes auditooriumis õppimisega; seda vähem olid nad rahul õppetöö korraldusega ja seda negatiivsemalt meelestatud edaspidi reaalainete distantsõppe vormis õppimise suhtes. Statistiliselt olulised on ka vastupidised seosed.

Küsitluse käigus paluti üliõpilastel hinnata, kui suurel määral kasutasid nad teiste (v.a õppejõu) abi distantsõppes.

Tabelis 2 on esitatud ligikaudsete keskmiste määrade (%) usaldusvahemikud hindeliste ja mittehindeliste tööde puhul sõltuvalt õppevormist. Usaldusnivoo valiti 95%.

	Päevaõpe, %	Kaugõpe, %	Kõik vastajad, %
Hindelised tööd	30,24+/-8,69	23,57+/-9,63	30,14+/-6,48
Mittehindelised tööd	32,81+/-8,49	27,21+/-10,22	30,37+/-6,44

▲ Tabel 2 | Vastajate teiste abi kasutamise ligikaudsete keskmiste määrade usaldusvahemikud usaldusnivool 95%

Kaugõppes teiste abi kasutamise ligikaudne keskmine määr (%) oli päevaõppe omast madalam, kuid usaldusvahemikkude suure kattuvuse korral ei saa väita, et see erinevus oleks statistiliselt oluline. Hindeliste ja mittehindeliste tööde puhul teiste abi kasutamise määrad olid ühetaolised.

	Panustamine õppetöösse	Õppimise efektiivsus	Rahulolu õppetöö korraldusega	Meelsus edaspidi distantsõppes õppimiseks
Teiste abi kasutamise määr hindeliste tööde puhul	0,24**	-0,25**	-0,21**	-0,18*
Teiste abi kasutamise määr mittehindeliste tööde puhul	0,18*	-0,11	-0,17	-0,11

* $p < 0,1$

** $p < 0,05$

*** $p < 0,01$

▲ Tabel 3 | Paarikaupa arvutatud Spearmani korrelatsioonikordajad koos tõenäosustega p

Tabelist 3 on näha, et mida rohkem pidid üliõpilased reaalseid distantsõppes õppides võrreldes auditooriumis õppimisega pingutama, seda enam kasutasid nad hindeliste ja mittehindeliste tööde puhul teiste abi.

Samuti selgus, et mida rohkem kasutasid üliõpilased hindeliste tööde puhul teiste abi, seda madalamalt hindasid nad distantsõppes õppimise efektiivsust võrreldes auditooriumis õppimisega ja seda vähem olid nad rahul õppetöö korraldusega

ning seda negatiivsemalt meelestatud edaspidi reaalinete distantsõppe vormis õppimise suhtes. Kehtivad ka vastupidised väited.

2.2. Õppimist mõjutanud tegurid

Teisena uuriti, millised tegurid mõjutasid õppimist kõige rohkem ja kuidas õppijate arvates õppetööd kõige efektiivsemalt läbi viia. Õppijate vastustest tõusid esile järgmised teemakategooriad:

- loengute läbiviimine (veebiloengud, loengusalvestised, tunniplaani järgimine);
- kommunikatsioon ja juhendamine (alati ja kiire vastuse saamine, veebikonsultatsioonid, informeeritus, tagasiside);
- e-õppekeskkond ja õpitegevused (samade keskkondade kasutamine, kvaliteetsete materjalide olemasolu, paindlik hindamine);
- õppija ja õppejõud (õppejõu isiksuseomadused, vajalikud õppimis- ja õpetamis- oskused, õppetöös osalemise võimalused).

Järgnevalt on teemakategooriad koos alamkategoriatega avatud lähemalt.

2.2.1. Loengute läbiviimine

Õppijad tõstsid esile veebiloengute läbiviimise olulisust, mitte õppijate iseseisvalt õppima suunamist. Iseseisvalt uute teemade omandamine tähendas õppijatele suuremat õppemahtu, sest kohati tunnistati iseseisva õppimise oskuse puudulikkust.

Veebiloenguid hinnati ka seetõttu, et siis oli lihtsam teemade vahel seost mõista. Samuti oli lihtsam küsimusi sõnastada ja neid oli võimalik esitada mõistmiseni. Õppijad hindasid lisaloengute läbiviimist.

Mõned õpetajad ei teinud videotunde live-formaadis ja see tekitas suuri raskusi, kui midagi arusaamatuks jäi, sest küsida meili või foorumi teel on väga ebamugav (18).

Õppijad hindasid tunde, kus õppejõud lahendas õppijatega koos ülesandeid. Sobiv tempo ja pikemalt selgitamine aitas kõigil teema selgeks saada. Eelistati läbimõeldud esitlusi, mitte failide vahel hüplemist. Toetavaks peeti ka eelmise tunni teemade meeldetuletamist. Osale õppijatest meeldis, kui õppejõud suhtles tunnis olijatega, küsides küsimusi või lastes lahendada

ülesandeid, aga osadele see ei sobinud.

Õppejõud lahendas koos meiega ülesanded läbi ... ja enne edasi teemaga ei läinud, kui kõigil oli selle kohani selge, kus paus tehti (3).

Õppijad hindasid loengute salvestamise või õppejõu üles laetud loengusalvestiste kasutamise võimalust.

Õppijate sõnade kohaselt on veebiloengu salvestist uuesti vaadates lihtsam õppeainet omandada.

Palju oli abi sellest, et veebiloengutes sai tundi lüüa ja see oli abiks koduste ülesannete lahendamisel. Auditoorses tunnis seletab õpetaja vaid korra ja liigub teemadega kiiresti edasi ning keeruline on ülesandeid lahendada (7).

Loengute läbiviimisel rõhutati vajadust järgida tunniplaani, et loengud ei kattuks ja loengupaaride vahele jääks puhkepaus.

Seetõttu ei meeldinud õppijatele ka üle aja kestvad loengud. Pikemates kui kaks akadeemilist tundi kestvates loengutes tekkis väsimus. See näitab loenguaja hoolikalt planeerimise ja puhkepauside tegemise vajalikkust.

Õppejõud ei suutnud omavahel kokku leppida loengute aegade suhtes, mille tõttu toimusid korduvalt kaks loengut samal ajal (84).

Kokkuvõtteks võib öelda, et õppijaid toetasid veebiloengud, see aitas õppijatel aega kokku hoida ja vahetu suhtluse käigus oli lihtsam oma küsimusi sõnastada. Loengute Moodle'i kursusele üleslaetud loengusalvestised aitasid õppijatel oma küsimustele vastused leida. Veebiloengute läbiviimine tunniplaani alusel võimaldas osaleda kõikides loengutes ja nende vaheajal puhata.

2.2.2. Kommunikatsioon ja juhendamine

Distantsõppe perioodil kasutasid õppejõud õppijatega suhtlemiseks eri vahendeid, nagu telefon, privaatne ja kõrgkooli postkast, õpikeskkonnas olevad foorumid, sõnumid ja *chat*, ÕISi sõnumid ning veebikonsultatsioonide läbiviimiseks kasutatud platvormid.

Õppijad hindasid, kui õppejõud vastas alati ja võimalikult kiiresti. Kui õppejõud ei vastanud, tekitas see ebakindlust ja muret.

Kiire vastuse saamine aitas ülesannete lahendamise paremini edasi jõuda. Kui vastus viibis, siis uuesti ülesannet lahendama hakates oli osa õpitust ununenud ja seda tuli hakata taas meelde tule-tama. Samas mõistsid õppijad, et neid on palju ja õppejõud ei jõua seetõttu väga kiiresti vastata. Osa õppijatest tõi välja, et õppejõud süvenesid õppijate probleemidesse rohkem, samas teiste kogemused olid vastupidised.

Õppejõududel oli küll palju suhelda, seda küll e-maili teel või onlineis... kuid nad olid minu jaoks alati olemas (70).

Õppijatele meeldisid veebikonsultatsioonid, sest need olid kõige sarnasemad näost näkku kokkusaamistele.

Veebikohtumistel oli õppijatel lihtsam oma probleeme kirjeldada. Samuti toetas see, et konsultatsioonid toimusid regulaarselt kindlatel aegadel. Positiivset äramärkimist leidsid ka lisakonsultatsioonid.

Kõige rohkem toetas reaalne suhtlus, kus sai küsimusi suuliselt esitada. Mitte enne tehtud video, vaid reaalne suhtlemine (18).

Distantsõppes pidasid õppijad oluliseks pidevalt ja igakülgse informeeritud olemist. Õppijaid toetas, kui infot jagati selgelt ja varakult, mitte viimasel hetkel. Vajaliku infona nimetati hindeliste tööde üleslaadimist, tähtaegu, hindamissüsteemi, konsultatsiooni- ja loenguaegu, linke loengukeskkonnale ning vajalikke tehnikavahendeid.

Samuti meeldis õppijatele aegsasti teada saada, kuidas hakkab õppetöö toimuma õppejõu haigestumise või uue viirusepuhangu saabumise korral.

Olenes õppejõust, kindlasti aitas palju kaasa, kui õppejõud oli perioodi alguses selgitanud, kuidas edaspidi õppimine välja hakkab nägema (82).

Õppijad eelistasid individuaalset, kiiret, pidevat ja õppijale arusaadavat tagasisidet. Rõhutati, et tööse vigase koha allajoonimine ei ole vea mõistmiseks alati piisav. Õppijatele meeldis, kui õppejõud selgitas vigu põhjalikumalt.

[Õppejõud] vastas küsimustele informatiivselt ja suunas, kui midagi oli valesti tehtud ning andis tagasisidet (62).

Kokkuvõtteks saab välja tuua, et alati ja kiirelt vastuse saamine tekitas turvatunnet ning aitas paremini edasi jõuda.

Veebikonsultatsioonid lihtsustasid küsimuste esitamist ja küsimusi sai küsida kuni arusaamiseni. Ebakindlust vähendas igakülgse info varakult jagamine, see aitas õppijatel aega paremini planeerida. Põhjalik tagasiside aitas õppijatel oma vigu mõista.

2.2.3. E-õppekeskkond ja õpitegevused

E-õppekeskkonnast ja õpitegevustest kirjutades nimetasid õppijad tähtsana samade keskkondade kasutamist distantsõppe tingimustes. Selgus, et õppejõud kasutasid nii videoplatvorme, e-õppekeskkondi kui ka suhtlusvahendeid. Keskkondade iseseisvat tundmaõppimist peeti keeruliseks ja segadusse ajavaks – see nõudis suurt kohanemisvõimet. Ka hinnati keskkondadesse sisse- ja väljalogimist aeganõudvaks. Uutes keskkondades võis olla keeruline heli ja videot toimima saada.

Õppijad märkisid, et õppejõud peaksid ühise platvormi omavahel kokku leppima või küsima õppijate eelistust ja kasutama loengute läbiviimiseks sama aadressi. Õppekeskkonda soovitati enne kasutamist ka tutvustada.

See peaks vist olema rohkem kooli poolt koordineeritud, et tunnid toimuksid samas keskkonnas, hoiaks ära arusaamatusi (15).

Ka info jagamisel eelistasid õppijad saada infot ühest kohast, mitte iga kord erinevast. See raskendas info saamist õppejõult otse.

Kui Zoomi tunnid toimuvad igal nädalal samal lingil, siis mainida ka seda ÕISI teates. Mõnel päeval näiteks ei saanud osa võtta ning järgmisel nädalal näiteks ei teadnudki, kas tund toimub ja kus; kursakaaslased aitasid välja (39).

E-õppekeskkondades hinnati kvaliteetseid ja mitmekülgseid materjale. Õppematerjalidest nimetati nii teoreetilisi materjale, ülesannete lahenduskäike kui ka näidistöid. Veebimaterjalid peaksid olema lihtsa sõnastusega, põhjalikud, näidetega, ja graafikud peaksid sisaldama selgitusi. Mõned õppijad töid välja, et õppejõud saatsid lisamaterjale ja see aitas neil õppetööga paremini toime tulla. Samuti arvasid mõned õppijad, et efektiivsemalt omandati need ained, kus materjali oli rohkem.

... õppevideod harjutustest, mida sai uuesti ja uuesti vaadata niikaua kui lõpuks selgeks sai (63).

Õppijad eelistasid slaididele videomaterjale. Õppevideod võimaldasid aega paindlikult planeerida, samuti oli neid võimalik üle vaadata kuni arusaamiseni.

Õppeteemad võiksidki olla videotena saadaval, et küsimuste korral saaks abi video seletustest (7).

Õppijaid toetasid hästi lahti seletatud ülesanded. Samas ei meeldinud õppijatele ülesannete suur maht (suurem kui kontaktõppe ajal) ja eriti see, kui need oli vaja sooritada kindlaks tähtjaks. Liiga paljude ülesannete korruga lahendada andmine vähendas õppijate motivatsiooni. Eriti kaugõppijatel oli ülesandeid lühikese tähtjaga keeruline valmis saada.

Liiga palju ülesandeid 100% iseseisvaks lahendamiseks ilma igasuguse juhendamise või materjalideta (16).

Õppijate vastused selgitasid ka hindamisega seonduvaid aspekte. Õppijad eelistasid distantsõppe ajal paindlikku hindamist. Siinkohal räägiti nii paindlikust suhtumisest tähtaegadesse ja järeltööde tegemisse, kontrolltööde kodus sooritamise võimalikkusest kui ka boonuspunktide andmisest.

Õppijatele meeldis, kui hindeliste tööde tegemiseks anti piisavalt aega. Põhjalikud õppijad olid rahul, et said õppida omas tempos.

... eriti paindlikud olid õppejõud just kuupäevade osas. See aitas väga palju kaasa tööde põhjalikumaks ülevaatamiseks. Ei olnud enam kiirustades kuupäevaks esitamist, vael kuupäeval esitamine mõjutas varasemalt oluliselt hinnet (52).

Samas ei meeldinud õppijatele keeruline hindamissüsteem ja muudatused, näiteks kui lühendati testi sooritamise aega või muudeti ülesanded kohustuslikuks.

Ka eelistasid nad hajutatult toimuvaid eksameid, mitte teha mitu eksamit samal või järjestikustel päevadel.

Vabatahtlike ülesannete muutmise kohustuslikuks Moodles (73).

Kokkuvõttena võib öelda, et õppijad eelistaksid kasutada vaid ühte videoplatvormi, e-õppekeskkonda ja suhtlusvahendit info saamiseks, kuna see lihtsustab meelespidamist ja aitab säästa aega keskkondade vahel liikumise arvelt.

E-kursusel hinnati iseseisvat õppimist toetavaid õppematerjale ja selge sõnastusega ülesandeid. Paindlik hindamine aitas õppijaid end kindlamini tunda, hindamissüsteemi muudatused tekitasid meelepaha.

2.2.4. Õppija ja õppejõud

Eelnevatest vähesemal määral tõusis õppijate vastustest esile õppijate ja õppejõu teema. Õppijate vastustest ilmnas, et distantsõpe pani õppijaid mõtlema nii enda kui ka õppejõu õppimist toetavate isiksuseomaduste, oskuste ja võimaluste peale.

Nii nimetati õppejõudude oluliste isiksuseomadustena mõistmist, kannatlikkust, positiivsust, abivalmidust ja vastutulelikkust.

Olgugi, et tegemist oli kõigi jaoks ootamatu ja mõnevõrra ebameeldiva olukorraga, suutsid õppejõud sellest hoolimata säilitada kannatlikkuse ja olid igati nõus vastu tulema tekkinud küsimuste korral (68).

Õppijad rõhutasid õppimis- ja õpetamisoskuste tähtsust. Arusaadavalt nimetati nii õppijate kui ka õppejõudude arvutikasutusoskuse olulisust. Arvati, et õppejõud peaks regulaarselt oma arvutikasutusoskusi parendama ja kasutama õppetöö ettevalmistamisel ning läbiviimisel kvaliteetset veebikaamerat ja mikrofoni. Õppijad kirjeldasid raskusi uute keskkondade kasutamisel ja tehnoloogiavahendite ühendamisel. Vajalike oskustena nimetasid õppijad veel iseõppimise ja ajaplaneerimise oskust ning keskendumisvõime vajalikkust. Välja toodi ka enesemotivatsiooni ja õppijate motiveerimise olulisus.

Probleemid [Google] Classroom keskkonnaga olid tingitud minu oskamatuses seda kasutada (56).

Õppetöös osalemise võimalused erinesid. Valdaval enamikul probleeme polnud, vaid vähesed nimetasid raskust osaleda õppetöös aeglase või ebastabiilse internetiühenduse tõttu. Probleemidest nimetati veel video- ja heliprobleeme. Keskendumist võis takistada õppijate kodune keskkond, milles oli tähelepanu rohkem hajutatud kui klassiruumis.

Kodused ülesanded tuli maha pildistada ja üles laadida ja see protsess võttis üllatavalt palju aega. Interneti kiiruse ja stabiilsuse probleem maapiirkonnas (57).

Kokkuvõtteks: õppijatele meeldisid õppejõud, kes olid positiivsed ja lahked. Toimetulekut toetasid arvutikasutusoskus, õpi- ja ajaplaneerimisoskus. Mitte kõigil õppijatel polnud tagatud stabiilne ja kiire internetiühendus, kvaliteetne tehnika ja õppimist toetavad kodused tingimused.

■ Kokkuvõte

Küsitluse vastuste analüüsimine näitas, et õppetöö korralduse olulisus distantsõppes võimendub. Üliõpilased on rahul õppetöö korraldusega juhul, kui:

- õppejõud korraldab regulaarselt kontaktõpet veebis;
- kontaktõpet veebis toimub kindla tunniplaani järgi;
- on võimaldatud *online*-loengute järelvaatamine;
- õppejõud informeerib õigeaegselt ja annab tagasisidet;
- õppejõul on piisaval tasemel arvutikasutusoskus ja toetavad isiksuseomadused;
- kasutusel on võimalikult vähe keskkondi, mille link on ühest kohast leitav;
- õppematerjalid on mitmekülgsed ja kvaliteetsed;
- hindamisel on paindlikud kriteeriumid ja tähtsajad;
- õppijal ja õppejõul on olemas vajalikud tehnilised vahendid.

Vastuste korrelatsioonanalüüs näitas, et mida kõrgem oli üliõpilaste rahulolu õppetöö korraldusega distantsõppe perioodil, seda efektiivsemaks pidasid nad reaalainete õppimist distantsõppes võrreldes auditooriumis õppimisega ja seda positiivsemalt olid nad meelestatud ka edaspidi reaalaineid distantsõppe vormis õppima.

Samuti selgus, et mida rohkem üliõpilased võrreldes auditooriumis õppimisega reaalaineid distantsõppes õppides pingutama pidid, seda enam kasutasid nad teiste abi hindeliste tööde sooritamisel, seda madalamalt hindasid nad õppimise efektiivsust ja olid seda vähem rahul õppetöö korraldusega. Statistiliselt olulised on ka vastupidised seosed.

Uuringu tulemused aitavad mõista õppijate vaadet distantsõppele ning kavandada ja läbi viia tulevast õppetööd õppijat toetaval viisil. Tulemused näitavad, et vaja on kokkuleppeid keskuse või koguni õppeasutuse piires, et piiritleda kasutatavate keskkondade arvu.

Samuti on vaja pakkuda õppejõududele võimalust digipädevuste arendamiseks ja vahendeid distantsõppe läbiviimiseks.

■ Summary

Factors Influencing Distance Learning of Sciences

The aim of this paper is to analyse university students' view on the remote teaching process in the field of science and to find out the factors that influenced learning the most.

The survey was conducted at the end of the spring semester of 2020. The target group of the survey were the students of the Centre for Sciences of TTK UAS.

The analysis of the answers showed that the organization of studies plays a very important role in distance learning. It turns out that students are satisfied with the organization of studies if:

- real-time online lessons are conducted regularly,
- online lessons take place according to a fixed schedule,
- there is access to recorded online lectures,
- the lecturer shares information and gives feedback in a short time,
- the lecturer has a sufficient level of computer skills and good personality traits,
- as few as possible different e-learning environments are used and all are available in one place,
- the study materials are versatile and of high quality,
- there are flexible criteria and deadlines for evaluation,
- the learner and the lecturer have necessary technical support.

The correlation analysis showed that the higher student satisfaction with the organization of studies was, the more effective was the learning of sciences in distance learning compared to classroom studies, leading to a more positive attitude towards learning of sciences in the form of distance learning in the future. It was also found that if the students had to study harder in distance learning compared to classroom studies, the more they relied on other's help in assessment tests, the lower they valued the effectiveness of distance learning, and the less they were satisfied with the organization of studies. The opposite statements are also statistically significant.

The results of the study help to understand the learners' view on distance learning and to plan and conduct future teaching in a student supportive way.

▣ Viidatud allikad

[1] Kendall, M., Gibbons, J. D. (1990). Rank correlation methods (5th ed.). New York: Oxford University Press.

[2] Creswell, J.-W. (2012). Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research (4th ed.). Boston: Pearson.

▣ Tunnustus

Autorid on tänulikud reaalainete keskuse kolleegidele, kes aitasid koostada distantsõppe küsimustiku ja edastasid küsimused sihtrühmale.



Hinnanguliste kohustiste kajastamine ning nende mõju finantseerimis- ja rentablussuhtarvudele

Autorid:

Ave Nukka, MSc, Tallinna Tehnikakõrgkooli lektor

Helle Noorväli, PhD, Tallinna Tehnikakõrgkooli kaasprofessor

■ Sissejuhatus

Ettevõtte tegevusest majandusaasta jooksul annab ülevaate majandusaasta aruanne. Õigel ajal ja nõuetekohaselt esitatud aruanded tõstavad ettevõtte usaldusvärsust. Majandusaasta aruanne avalikustatakse äriregistris ja see on kättesaadav koostööpartneritele, laenuandjatele, investoritele, aga ka konkurentidele. Seega on neil kõigil võimalik ettevõtte finantsmajanduslikku olukorda, tegevuse jätkusuutlikkust, kasumi teenimist, rentablust ja maksevõimet hinnata.

Kasumlik ettevõtte suudab kasutada oma varasid efektiivselt ja teenida sellega omanikele nõutavat tulusust.

Lisaks omanike paigutatud kapitalile kaasavad ettevõtted ka võörkapitali ja selle tulemusel kohustised suurenevad. Kui tavapäraselt on välise võörkapitalina kaasatud kohustiste summa ja realiseerumise aeg täpselt teada, siis eraldised on hinnangulised kohustised, mille realiseerumine on tõenäoline, kuid kohustise summa suurus hinnanguline.

Eraldised liigituvad küll võörkapitali ehk kohustiste alla, kuid tegemist ei ole välise võörkapitali kaasamise, vaid kohustisega, mis on moodustatud juhtkonna hinnangul ettevõtte omavahendite arvelt. Eraldiste kajastamisel suurenevad kohustised ja kulud, mille tulemusel muutub kapitali struktuur ja kasum ning mõju avaldub ka finantseerimis- ja rentablussuhtarvudes.

Artikli aluseks oleva uuringu probleemina käsitletakse olukorda, kus käesoleva majanduslanguse taustal võivad ettevõtted kasumi näilise suurenemise huvides jätta eraldised kajastamata ning sellega saavutada väiksema võörkapitali osakaalu ja paremad rentablusnäitajad.

Kapitali struktuur on muutunud uskumatult oluliseks ning intrigeerivaks teoreetilise ja

praktilise rahanduse valdkonnaks.

Empiirilised uurimused on näidanud, et majandusbuumi ajal on kasumil suhteliselt väiksem mõju ettevõtte väärtusele ja see mõju kasvab oluliselt majanduslanguste või -seisakute perioodidel (Hellström, 2006, lk 330). Kasum on üks indikaator, mille alusel ettevõtte edukust ja tasuvust hinnata.

Kuna Eesti ettevõtete aruanded on avalikud, võib eraldiste kajastamata jätmise olla üks võimalus näiliselt suuremat kasumit esitada, soovitud kapitali struktuuri kujundada ja kokkuvõttes avalikkusele paremat finantsolukorda kuvada.

Artikli eesmärk on analüüsida hinnanguliste kohustiste kajastamist ning selle mõju finantseerimis- ja rentablussuhtarvudele Eesti edukate ettevõtete näitel.

Eestis on autorid uurinud kapitali struktuuri kujunemist ja hinnanud ettevõtete finantsolukorda, kuid vajaliku tähelepanuta on jäänud eraldiste kajastamise mõju analüüs finantsnäitajatele.

Artikkel püüab teemat lähemalt avada.

Uuringu tulemusena selgub, milliseid eraldisi on Eesti edukad ettevõtted aruannetes kajastanud ja kui oluline on nende mõju kapitali kaudu struktuurimuutuse finantseerimis- ja rentablussuhtarvudele.

■ Andmete kogumine

Eraldiste kajastamist aruannetes ja nende mõju kapitali struktuurile ning finantssuhtarvudele uuriti Eesti käibe ja kasvu TOP 100 ettevõtte 2018. a majandusaasta aruannetes esitatud informatsiooni põhjal.

Eesmärgi saavutamiseks analüüsiti Eesti ärimedia turuliidri Äripäev koostatud 2018. a edukate ettevõtete TOP 100 ettevõtte majandusaasta aruandeid. Edukate ettevõtete TOP 100 edetabelis osalevad käibelt 500 suuremat Eesti ettevõtet.

Edetabel on koostatud kuue majandusnäitaja alusel – käive, kasum ja käibe kasv aastal 2018 (võrreldes aastaga 2017), ärikasumi kasv aastal 2018 (võrreldes aastaga 2017), käiberentaablus ja varade tootlikkus.

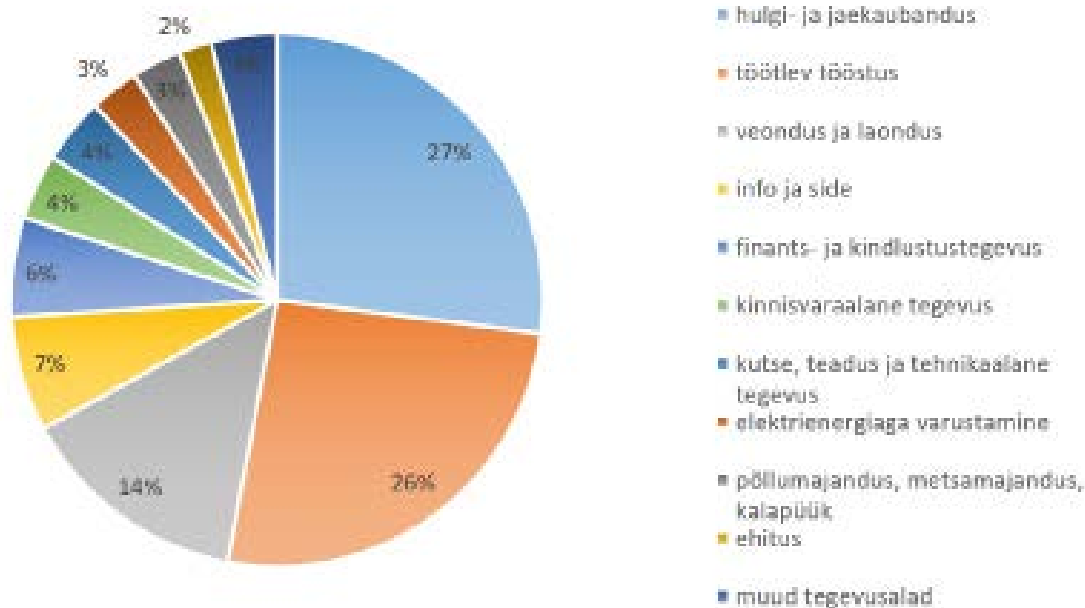
Iseloomustamiseks uuringus osalenud ettevõtteid tegevusala järgi, on kasutatud Eesti Majanduse Tegevusalade Klassifikaatori liigitust, mis on rahvusvaheliselt ühtlustatud klassifikaatori NACE

Eesti rahvuslik versioon.

Tegevusalade lõikes oli uuritavate ettevõtete seas enim hulgi- ja jaekaubanduse (27%) ning töötleva tööstuse (26%) ettevõtteid (joonis 1).

Kõige vähem kuulus 2018. a TOP 100 ettevõtte hulka järgmistel tegevusaladel tegutsevaid äriühinguid:

haldus ja abitegevused, kunst, meelelahutus ja vaba aeg, tervishoid ja hoolekanne ning veevarustus.



▲ Joonis 1 | Uuritud ettevõtete jaotus tegevusala järgi

Finantssuhtarvude analüüsiks grupeeriti ettevõtted kaheks – need, kelle aruannetes olid eraldised kajastatud, ning need, kes eraldi kajastanud ei olnud. Uuringutulemustes esitatakse võrdluseks ka kõigi ettevõtete andmetel põhinev vastav statistiline keskmine näitaja. Uuringu käigus arvutatud finantssuhtarvude tulemusi võrreldakse Euroopa Liidu statistikaameti Eurostat esitatud vastavate keskmiste koondnäitajatega.

Eesti ettevõtted on kohustatud arvestust pidama ja aruandlust korraldama rahvusvaheliste finantsaruandluse standardite (IFRS) või Eesti finantsaruandluse standardi (EFS) alusel. Andmete kogumisel selgus, et uuringus osalenud ettevõtted rakendasid arvestuse pidamisel ja aruandluse korraldamisel nii Eesti ettevõtetele kehtivat EFSi kui ka rahvusvahelisi IFRS-standardeid. Eesti edukate ettevõtete TOP 100st 77% koostas aruanded lähtuvalt EFSist ning 23% lähtuvalt IFRSist. Advokaadibüroo PricewaterhouseCoopers Legal Baltics viis läbi põhjaliku võrdluse IFRSi ja

EFSi vahel ning tõdes, et eraldiste kajastamisel puuduvad olulised erisused EFSi ja IFRSi põhimõtetega. Sellele tuginevalt on edasised uuringuandmed võrreldavad olenemata ettevõtte rakendatud arvestuspõhimõtetest.

■ Hinnanguliste kohustiste kajastamine aruandes

Raamatupidamise seaduse kohaselt on ettevõtte juhtkond kohustatud aruandes avaldama kogu olulise informatsiooni, mis mõjutab raamatupidamiskohustuslase finantsseisundit, -tulemust ja rahavoogusid.

Oluline on selline aruandinformatsioon, mille avaldamata jätmine võib mõjutada aruande kasutajate aruande põhjal tehtavaid majandusotsuseid.

Üks kohustuslik ja olulisem raamatupidamise aastaaruande osa on bilanss, mis kajastab finantsseisundit ning annab ülevaate varade, kohustiste ja omakapitali seisust.

Bilansis kajastatud kohustis on raamatupidamiskohustuslase eksisteeriv kohustus, mis tuleneb mineviku sündmustest ja millest vabanemine eeldatavalt vähendab majanduslikult kasulikke ressursse. Kõige üldisemalt võib kohustisi liigitada lähtuvalt Raamatupidamise Toimkonna Juhendist nr 8 järgmiselt (RTJ 8):

- tegelikud kohustised, mis kajastuvad lühi- ja pikaajaliste kohustistena bilansis;
- eraldised, mis kajastuvad lühi- ja pikaajaliste kohustistena bilansis ning nende realiseerumise tõenäosus on üle 50%;
- tingimuslikud kohustised, mida ei kajastata bilansis, vaid raamatupidamise aastaaruande lisades, sest nende realiseerumise tõenäosus on alla 50%.

Tegelike kohustiste kajastamisel aluseks võetaksumma on fikseeritud üldjuhul arvel, lepingus või mõnel muul algdokumendil, seega kulude tekkimisega kaasnevate kohustiste realiseerimise aeg ja summa on täpselt teada.

Kuid majandustegevuses esineb ka olukordi, kui tulevikukohustise tekkimine on tõenäoline, kuid selle realiseerimise aeg või summa ei ole kindlad. Selliste tulevikus tõenäoliselt tekkivate kohustiste katteks tuleb juhatuse otsusega moodustada eraldis, et tulevaste kulude tasumiseks oleks vajalikud vahendid olemas.

Eraldise kajastamata jätmine võib halvemal juhul viia pankrotini, nagu juhtus 1982. a üleilmselt tuntud ettevõttega Mainville Corporation. Kuna tegemist oli kaevandamisega tegeleva ettevõttega, olid töötajad 1982. aastaks algatanud üle 50 000 kohtuasja tervisekahjustuste ning kaitseriietuse ja -vahendite puudumise kohta.

Vaid aasta varem, 1981. a näitasid ettevõtte finantsaruanded, et firma on kasumis ja maksejõuline (Delaney, 1992). Seega oli oluline informatsioon, mis mõjutab kasumit ja kasumlikku tegevust jätetud kajastamata.

Eraldise mõõtmine tugineb hinnangutel, mis ei pruugi alati täpseiks osutada. Eraldise kajastamisel bilansis lähtutakse juhtkonna või teiste ekspertide hinnangust eraldise täitmiseks tõenäoliselt

vajamineva summa ning eraldise realiseerumise aja kohta.

Hinnangute andmisel tuleb lähtuda konservatiivsuse printsiibist, et mitte mõjutada ettevõtte finantspositsiooni soovitud suunas.

Seega on oluline eraldise kajastamine ja avalikustamine aruannetes muudest kohustistest eraldi. Kuni 31.12.2015 kehtinud Eesti raamatupidamise seaduses oli bilansiskeemis esitatud eraldised jaotatud ajalisest aspektist: lühi- ja pikaajalised eraldised. Alates 01.01.2016 kehtima hakanud seadusemuudatusega on eraldise ajalisele liigitusele lisandunud bilansiskeemi ka sisust lähtuv liigitus:

- garantiieraldis,
- maksueraldis,
- muud eraldised.

Muude eraldise all kajastatakse eraldise spetsiifilistes valdkondades, näiteks eraldised kohtuvaidluste, kahjuliku lepingu, keskkonnakahjustuste suhtes; restruktureerimiseraldised, töösuhte lõpetamise hüvitiste, pensioni või muude töösuhte järgsete hüvitiste eraldised.

Lisaks on Eesti finantsaruandluse standardis välja toodud ka edasilükkunud tulumaksu ja dividendide tulumaksu kajastamine kohustisena. Kuna Eestis praegu kehtivate maksuseaduste järgi ei maksustata ettevõtte kasumit, vaid väljamakstavaid dividende, ei teki Eestis registreeritud ettevõtetel edasilükkunud tulumaksu kohustust.

Üldiselt oli uuritavate ettevõtete aruannetes eraldise osakaal kohustistes väga väike. Uuringu andmetest selgub, et sajast ettevõttest 32% oli kajastanud eraldise bilansis.

Neist ettevõtetest, kes eraldise kajastasid, oli ainult lühiajalise eraldise kajastanud 41% (13 ettevõtet) ja ainult pikaajalise eraldise 12% (neli ettevõtet). Mõlemaid, nii pika- kui ka lühiajalise eraldise oli kajastanud 47% (15 ettevõtet).

Eesti raamatupidamise seaduses esitatud eraldise liigitust uuritud aruannetes üheselt ei kajastu. Näiteks garantiieraldise oli kajastatud 10% aruannetes.

Valdavalt olid eraldised moodustatud tegevusspetsiifilisest eripärast lähtuvalt. Bilansis olid eraldise summad kajastatud kirjetel lühi- või pikaajalise eraldise ja raamatupidamise aastaaruande lisa esitati eraldise täpsustatud liigitused.

Näiteks olid ettevõtted moodustanud keskkonkaitselise, mäetööde lõpetamise, klientide boonuste, loterii võidufondi, müügiriskide, tühistatavate tehingute, USA tollimaksu nõude katmise, metsa taastamiskohustuse, jäätmekäitluse, puuduvate CO₂-kvootide eraldise.

Lisaks olid üksikud ettevõtted moodustanud garantiieraldise, töötajatega seotud (koondamistasude, lepingute lõppemisteks), kohtukulude ja kahjunõuete eraldise.

Esinemissageduselt domineerisid keskkonnakaitse ja kahjumlike lepingutega seotud eraldised.

Eraldiste osakaal kogu kohustiste mahust oli väga väike, keskmiselt 5%. Oluliselt suuremas mahus oli kohustistes eraldisi kajastanud kolm ettevõtet: haruldaste muldmetallide tootmisega tegelev ettevõte (34% kohustistest); riigiettevõte, kes tegeleb loteriide korraldamisega (30%) ning pealinna monopoolne vee-ettevõte (13%).

Ettevõtte juhtkonna kohustus on hinnata kohustiste realiseerumise tõenäosust. Kui kohustise realiseerumise tõenäosus on üle 50%, tuleb eraldis bilansis kajastada.

Kui tuleviku kohustise realiseerumise tõenäosus on alla 50%, on tegemist tingimusliku kohustisega, mille asjaolud ja hinnanguline summa tuleb esitada aruande lisades.

Uuritud ettevõtetest oli tingimuslike kohustistena aruande lisades võimaliku dividendisumma esitanud 58% ja kaasneva tulumaksu kohustuse summa 56%.

Arvestades asjaoluga, et uuritud ettevõtted olid 2018. a dividende valdavalt välja kuulutanud (72%), siis tingimusliku kohustisena kajastatud dividendivõlad ja tulumaksukulu oli neil tegelikkuses tõenäoliselt tulevikus realiseeruvad kohustised, mis aga bilansis ei kajastunud. Seetõttu võib kohustiste tase kapitali struktuuris olla osaliselt alahinnatud.

■ Eraldiste mõju finantseerimis- ja rentablussuhtarvudele

Käesolev globaalne tervishoiukriis on paljudes riikides kaasa toonud majanduslanguse. Eesti Pank on rahapoliitika ja majanduse ülevaates prognoosinud, et praeguse majanduskriisi tingimustes tuleb paljudel ettevõtetel vähemalt lühiajaliselt leppida väiksema kasumlikkusega.

Kuna eraldiste moodustamine on hinnanguline, võib neil otsustel olla oluline mõju kasumi ning kapitali kaudu struktuuri finantseerimis- ja rentablussuhtarvudele.

Tuvastamaks eraldiste mõju kapitali struktuurile ja tegevuse tulemuslikkusele, on uuringuandmete analüüsiks valitud finantsuhtarvud, milles kasutatakse finantsnäitajaid bilansist ja kasumiaruandest. Kapitali struktuuri iseloomustab kõige paremini finantsvõimendus, mis näitab, kui palju kasutab ettevõtte tegevuse käigus võörkapitali ja kui kindlalt tuleb toime laenukohustuste tasumisega. Eelnevates uurimustes ja artiklites on kasutatud kapitali struktuuri mõjutavate tegurite ja finantsvõimenduse seoste uurimiseks bilansilise finantsvõimenduse suhtarvuna võlakordajat (Rajan, Zingales, 1995; Lopez-Gracia, Sogorb-Mira, 2007; Robinson *et al* – 2015):

$$\text{võlakordaja} = (\text{kohustised/varade maksumus}) \times 100.$$

Võlakordaja tõlgendamiseks kasutatakse võrdlemist asjakohase võrdlusgrupiga või ettevõtte enda varasemate näitajatega ja ka „rusikareegleid“. See, millist suhtarvude taset peetakse parasjagu heaks, sõltub ka krediiditsükli faasist majanduses – kas pangad annavad laenu meelsasti või on ettevaatlikud.

Rusikareeglite järgi võiks võlakordaja jääda vahemikku 40–60% ja kindlasti mitte ületada 70–80%. Tegelikult võib optimaalne tase olenevalt ettevõtte eripäradest olla ka suurem või väiksem. Võlakordaja parim tase on selline, mille puhul ettevõtte kapitali struktuur on optimaalne, st kapitali kaalutud keskmine hind on kõige väiksem (Zirnask, 2020).

Kuna võlakordaja pidev kohandamine on kulukas, lubavad ettevõtted oma võlakordajatel teatud vahemikes liikuda ja reageerivad selle korrigeerimiseks alles siis, kui võlakordaja on saavutanud soovitud vahemiku ülemise või alumise piiri. Võörkapitali puhul tuleb ettevõttel võla finantseerimisest tuleneva kasulikkuse ja kulude vahel saavutada mõistlik tasakaal.

Kõrge finantsvõimenduse tase suurendab finantsriske ja -kulusid ning võib vähendada maksevõimet.

Uuritavate ettevõtete finantsvõimenduse iseloomustamiseks on arvutatud võlakordaja esitatud tabelis 1.

Eeldatavalt peaksid ettevõtetel, kes on eraldisi kajastanud, olema suuremad kohustised ja sellest tulenevalt suurem võlakordaja. See aga tähendab nende ettevõtete puhul suuremat finantsriski ja vähenenud maksevõimet.

	TOP 100 ettevõtted kokku	Ettevõtted, kellel on eraldised	Ettevõtted, kellel eraldised puuduvad
Suurim võlakordaja	96	86	96
Madalaim võlakordaja	6	17	6
Keskmine võlakordaja	44	44	43

▲ Tabel 1 | Finantsvõimendus ehk võlakordaja, protsentides

Uuringust selgus, et eraldiste kajastamine Eesti edukate ettevõtete võlakordajale olulist mõju ei avalda. Ettevõtetel, kes kajastasid eraldisi, oli keskmine võlakordaja ainult ühe protsendipunkti võrra suurem kui neil, kes eraldisi ei kajastanud. Tunduvalt suurem oli erinevus madalaima võlakordaja võrdluses (erinevus 11 protsendipunkti). Kuna uuritud ettevõtete aruannetes oli eraldiste osakaal suhteliselt väike, siis seetõttu on ka eraldiste kajastamise mõju võlakordaja keskmisele tulemusel minimaalne.

Kui ettevõtted, kes maksavad dividende, oleks sellega seoses tekkivad kohustised kajastanud eraldistena, suureneks nii kohustiste osakaal kui ka võlakordaja. Võrdluseks – ELi liikmesriikide keskmine võlakordaja oli 2018. a 44,3%, Eestis 38,3% (Eurostat 2020).

Üldine soovituslik võlakordaja võiks jääda vahemikku 40–60% – selles uuringus ja ELis keskmiselt see sellesse vahemikku ka jääb. Tulemustest järeldub, et keskmiselt kasutavad nii Eesti kui ka ELi liikmesriikide ettevõtted suuremas osas oma- ja väiksemas võõrkapitali.

Kapitali struktuuril on oluline mõju ka ettevõtte tasuvusnäitajatele ehk rentaablussuhtarvudele. Kõrge võlatase mõjutab tasuvusnäitajaid seejuures negatiivselt (Norvaisiene, 2012).

Eraldiste kajastamine suurendab kulusid ja avaldab seeläbi mõju puhaskasumile, mis omakorda avaldab mõju puhaskasumiga seotud rentaablussuhtarvudele.

Uuringus keskenduti varade puhasrentaabluse (ROA) ja omakapitali puhasrentaabluse (ROE) näitajatele, sest need finantssuhtarvud on seotud kapitali struktuuri kujunemise ja puhaskasumi suurusega.

Koguvara kasutamise iseloomustamiseks kõige levinum suhtarv on ROA, mis näitab, kui efektiivselt on ettevõtte oma varasid kasumi teenimisel kasutanud ehk kui palju puhaskasumit teeniti ettevõttesse paigutatud igalt rahaühikult. ROA võtab arvesse ettevõtte puhaskasumi ja koguvara:

$$ROA = (\text{puhaskasum} / \text{keskmine koguvara}) \times 100.$$

Puhaskasumi korral tuleks eelistada tulumaksueelset kasumit, sest dividendide maksimine ei ole ettevõtte põhitegevusega seotud, kuid uuringuandmete parema võrreldavuse tagamiseks kasutatakse analüüsiks maksudejärgset puhaskasumit.

Uuringutulemustele tuginevalt näitavad ROA tulemused keskmiselt kõrgemat rentaablust nii ettevõtetes, kes on eraldisi kajastanud kui ka neis, kes eraldisi kajastanud ei ole. Tabelis 2 on kajastatud TOP 100 ettevõtete ROA protsentides, arvestades eraldiste kajastamist bilansis.

	TOP 100 ettevõtted kokku	Ettevõtted, kellel on eraldised	Ettevõtted, kellel eraldised puuduvad
Suurim ROA	84	45	84
Madalaim ROA	2	3	2
Keskmine ROA	17	15	18

▲ Tabel 2 | Koguvara puhasrentaablus (ROA), protsentides

Üldine järeldus on, et eraldiste kajastamine kasumi vähenemise kaudu avaldab mõju ROA väärtusele. Eraldiste kajastamine on vähendanud ROAd keskmiselt kolme protsendipunkti võrra. Suhteliselt suurt erinevust suurima ROA väärtuse puhul (39 protsendipunkti) võib põhjendada sellega, et suur osa uuritavatest ettevõtetest tegelesid teenuste osutamise või vahendustegevusega, kus kasumi teenimisse annab suurima panuse tööjõud, mitte varad.

Ettevõtted, kes pole eraldisi kajastanud, saavad näidata suuremat puhaskasumit ja seetõttu on neil ka koguvara rentaablus kõrgem. Eurostati järgi oli 2018. a ELi keskmine ROA 11,51%, Eestis 9,33% (Eurostat 2020). Käibe ja kasumi TOP 100 ettevõtete ROA on oluliselt kõrgem kui ELi või Eesti keskmise.

Lisaks koguvara tasuvusele on omanike seisukohalt oluline hinnata omanike paigutatud kapitali tasuvust, mida mõõdab ROE:

$$\text{ROE} = (\text{puhaskasum/keskmine omakapital}) \times 100.$$

Tavaliselt arvutatakse ROE lihtaktsionäride omakapitali puhasrentaablusena, kuna see on kasum, mis jääb pärast intresside tasumist ja tulumaksustamist aktsionäride käsutusse. Omakapitali puhasrentaablus näitab puhaskasumit omakapitali ühe rahaühiku kohta.

Omanike vaadatuna iseloomustab ROE ettevõtte efektiivsust aktsionäride rikkuse suurendamisel.

ROE sünteesib kasumlikkuse (müügikäibe puhasrentaablus), vara kasutamise efektiivsuse (vara käibekordaja) ja kapitali struktuuri (Alver, J., Alver, L., 2011, lk 141). Ehk ROEd saab vaadelda sõltuvana ROAst ja finantsvõimendusest ehk võlakordajast. ROAd mõjutab eelkõige puhaskasum ja ROEd lisaks omakapitali osatähtsus kogukapitalis.

Tulenevalt ROE arvutamise valemist võlakordaja suurenedes omakapitali tasuvus suureneb ja võlakordaja vähenedes omakapitali tasuvus väheneb.

Tabel 3 kajastab Eesti TOP 100 ettevõtete ROE 2018. a liigitatuna lähtuvalt eraldiste kajastamisest.

	TOP 100 ettevõtted kokku	Ettevõtted, kellel on eraldised	Ettevõtted, kellel eraldised puuduvad
Suurim ROE	119	63	119
Madalaim ROE	2	5	2
Keskmine ROE	34	29	36

▲ Tabel 3 | Omakapitali puhasrentaablus (ROE), protsentides

Ettevõtetal, kes kajastasi eraldisi, oli ROE keskmiselt seitsme protsendipunkti võrra madalam kui neil, kellel eraldised puudusid. Samuti näitavad tulemused suurima ROE väärtuses, et ettevõtteid, kellel puuduvad eraldised, teenivad kuni 1 euro ja 19 senti iga omanike paigutatud euro kohta.

Samal ajal aga ettevõtteid, kes on eraldisi kajastanud, teenivad vaid kuni 63 senti iga omanike paigutatud euro kohta.

Tulemustest järeldub, et eraldiste kajastamisest tulenev puhaskasumi vähenemine mõjutab ROEd rohkem kui omakapitali vähenemine ehk lisaks võlakordajale avaldavad omakapitali rentaablusele mõju ka teised tegurid. Sama tulemuseni jõudis Eesti börsiettevõtetes tehtud uuringus näiteks ka Palusalu (2016).

ELi liikmesriikide 2018. a keskmine ROE oli 20,65%, Eestis 15,12% (Eurostat 2020). Eurostati andmeid selle uuringu tulemustega võrreldes selgub, et TOP 100 ettevõtete omakapitali tulusus oli üldiselt kõrgem kui ELi liikmesriikidel keskmiselt ja oluliselt kõrgem kui Eesti ettevõtetal keskmiselt.

Uuringutulemuste peamiseks põhjenduseks on, et vaatamata omakapitali suuremale osakaalule on uuringus osalenud ettevõtteid eranditult kõik kasumis ja lisaks ka kasumit kasvatanud ettevõtteid. Kui analüütikute arvates võiks ROE olla vähemalt 2ROA või 15–20%, siis Eesti TOP 100 ettevõtte puhul see nii ka on.

Varasemates uuringutes on tuvastatud, et finantsvõimendus on omakapitali tulususega seotud positiivselt, kui finantsvõimendus on alla 0,7. See seos muutub negatiivseks, kui finantsvõimenduse väärtus tõuseb üle 0,7 (Cheng *et al* – 2010).

Võrreldes eraldisi kajastanud ja mitte kajastanud ettevõtteid, siis mõlemal rühmal oli finantsvõimendus madalam kui 0,7.

Finantsvõimenduse tase, kapitali struktuur ja puhaskasum mõjutavad ka ettevõtte pikaajalist maksejõulisust, mis on oluline näitaja nii võla-usaldajatele kui ka omanikele, sest see väljendab ettevõtte jätkusuutlikku tegevust. Maksejõulisuse kordaja arvutamiseks kasutatakse järgmist valemit:

$$\text{maksejõulisuse kordaja} = (\text{puhaskasum/kohustised kokku}) \times 100.$$

Maksejõulisuse kordaja sõltub otseselt kapitali struktuurist ja kasumist, seetõttu on eraldiste kajastamine või kajastamata jätmise mõju suhtarvule väga oluline.

Eraldise moodustamisel suurenevad kohustised ja kulud. Maksejõulisuse kordajale avaldavad negatiivset mõju nii kohustiste suurenemine kui ka kulude suurenemise tagajärjel puhaskasumi vähenemine.

Maksejõulisuse suhtarv seostab puhaskasumi kohustistega ning eraldiste kajastamisega väheneb kasum ja suurenevad kohustised, mille tulemusena on suhtarvu väärtus madalam.

Maksejõulisuse kordaja arväärtus on tegevusvaldkonniti erinev, kuid USA finantsanalüütikute arvates on ettevõtte finantsseisund hea, kui näitaja on üle 20% (Alver, J., Alver, L., 2011).

Maksejõulisuse kordaja langustrend viitab makseraskuste tekkimisele, mis võib tähendada pankrotiohtu. Kõige selgem eraldiste kajastamise mõju tuli välja maksejõulisuse suhtarvu analüüsis. Tabelis 4 on esitatud uuritavate ettevõtete maksejõulisuse kordaja väljendatuna protsentides.

	TOP 100 ettevõtteid kokku	Ettevõtteid, kellel on eraldised	Ettevõtteid, kellel eraldised puuduvad
Suurim maksejõulisuse kordaja	197	96	197
Madalaim maksejõulisuse kordaja	3	5	3
Keskmine maksejõulisuse kordaja	45	33	48

▲ Tabel 4 | Maksejõulisuse kordaja, protsentides

Tabelist 4 on näha, et ettevõtetel, kel eraldised puuduvad, on maksejõulisuse keskmine tase tunduvalt parem (15 protsendipunkti võrra). Oluline erinevus eraldiste kajastamises avaldub suurima maksejõulisuse kordajas nende ettevõtete kasuks, kes pole eraldisi kajastanud, seega saavad näidata suuremat puhaskasumit ja väiksemaid kohustisi. Kokkuvõtvalt võib väita, et eraldiste kajastamine vähendab ettevõtete pikaajalist maksejõulisust.

ELi liikmesriikide keskmine maksejõulisuse kordaja oli 2018. a 26,0%, Eestis 24,4% (Eurostat 2020). Uuringutulemustest selgub, et vaatamata eraldiste kajastamise negatiivsele mõjule maksejõulisuse kordajale, võib eraldisi kajastanud ettevõtete finantsseisundit hinnata siiski heaks. Oluliselt kõrgemaid uuringutulemusi võrreldes ELi ja kogu Eesti keskmisega võib põhjendada sellega, et uuringus osalenud ettevõtetes oli eraldiste osakaal suhteliselt väike ning tegemist on Eesti TOP 100 kasumit kasvatanud ettevõtetega.

■ Kokkuvõte

Uuringutulemuste mõistmisel tuleb meeles pidada kahte asjaolu.

Esiteks, uuringuandmeid koguti käibelt 500 suurema Eesti ettevõtte TOP 100 ettevõtte aruannetest, kes kõik olid viimasel aastal kasumit kasvatanud. See põhjendab kõigi analüüsitud finantssuhtarvude keskmisest kõrgemaid tulemusi ka eraldisi kajastanud ettevõtetes.

Teiseks selgus andmete analüüsil, et TOP 100 ettevõtted on eraldisi kajastanud suhteliselt väikeses mahus. See põhjendab suhteliselt väikeseid erinevusi eraldisi kajastanud ja mitte kajastanud ettevõtete võrdluses.

Peamised järeldused valitud finantssuhtarvude analüüsist on:

- eraldiste kajastamine suurendab finantsvõimendust (võlakordajat), kuid uuritud ettevõtete aruannetes oli eraldiste osakaal suhteliselt väike ja seetõttu oli ka eraldiste kajastamise mõju võlakordaja keskmisele tulemusele minimaalne;
- eraldiste kajastamine vähendab ROA väärtust, kuid eraldiste kajastamisega kaasnev kulu oli minimaalne ega avaldanud kasumile ega ROA keskmisele väärtusele olulist mõju;
- eraldiste kajastamine vähendab ROE väärtust ROA-ga võrreldes enam. Uuritud ettevõtete omakapitali rentabluse häid tulemusi põhjustas kõrge kasum;
- eraldiste kajastamine vähendab pikaajalist maksejõulisust – siin ilmnisid kõige selgemalt erinevused eraldisi kajastanud ja mitte kajastanud ettevõtete vahel. Oluliselt madalam oli maksejõulisuse näitaja ettevõtetel, kes olid eraldisi kajastanud.

Kokkuvõttes saab järeldada, et majanduskasvu ajal, aastal 2018 on Eesti TOP 100 ettevõtted suhteliselt väikeses mahus eraldisi kajastanud ja kui ka majanduslanguse ajal jätavad ettevõtted eraldised kasumi näilise suurendamise huvides osaliselt kajastamata, ei avalda see kapitali struktuurile, finantsvõimenduse- ning rentablusnäitajatele olulist mõju.

Eraldiste kajastamise ja selle mõju kohta lõplike järelduste tegemiseks tuleks edasiarendusena analüüsida samade ettevõtete 2020. a finantsnäitajaid ning võrrelda hinnanguliste kohustiste kajastamist ja selle mõju finantseerimis- ja tasuvusnäitajatele majanduslanguse ajal.

■ Summary

Recording Estimated Liabilities and Their Impact on Financial and Profitability Ratios

While assessing the sustainability of an entity the main indicators are its profit and solvency. A profitable entity can use its assets effectively and earn an expected return for the owners.

In addition to the capital contributed by the owners, entities also raise borrowed capital, as a result of which the liabilities will increase.

As a rule, the number of liabilities and their due dates are known.

However, provisions are estimated liabilities, where the outflow of resources is probable, but the amount has to be estimated. When provisions are recognised, both liabilities and expenses will increase, thus it will affect the capital structure and profit. An increase in expenses will have an impact on the profit and profitability ratios.

A survey on the impact of recognising provisions was performed based on the annual reports of the Top 100 successful companies in Estonia in 2018, which revealed that provisions account for a very small proportion of liabilities. Usually, entities have recognised both short-term and long-term provisions, which have been created in relation to environmental protection and onerous contracts based on the industry specifics. As provisions account for an average of 5% of liabilities, the impact of capitalising provisions on the capital structure and gearing was minimum. The decrease in profit caused by recognising provisions does not have a significant impact on the return on assets. However, the average return on equity was lower for those companies that had capitalised provisions. Thus, capitalisation of provisions has decreased the solvency of these companies that did capitalise them.

In conclusion, recognising provisions has an impact on different profitability ratios through changes in the capital structure. Therefore, considering the impact of provisions is important while assessing an entity's sustainability.

■ Viidatud allikad

- [1] Alver, J., Alver, L. (2011). Majandusarvestus ja rahandus. Leksikon. Tallinna Raamatutrükikoda.
- [2] Cheng, Y-S., Liu, Y-P., Chen, C-Y. (2010). Capital structure and firm value in China: A panel threshold regression analysis. African Journal of Business Management, 2010, Vol. 4, No 12, pp. 2500-2507.
- [3] Delaney, K. (1992). Strategic Bankruptcy: How Corporations and Creditors Use Chapter 11 to Their Advantage.
- [4] Hellström, K. (2006). The Value Relevance of Financial Accounting Information in a Transition Economy: The Case of the Czech Republic. – European Accounting Review, 2006, Vol. 15, No. 3, pp. 325-349.
- [5] Financial balance sheets of non-financial corporations. (2020). <https://ec.europa.eu/eurostat/web/sector-accounts/data/database>
- [6] Lopez-Gracia, J., Sogorb-Mira, F. Testing trade-off and pecking order theories financing SME-s. Small Business Economics, 2008, No 31 pp 117-136.
- [7] Net return on equity, after taxes, of non-financial corporations. (2020). Eurostat. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/page/TEC00103>
- [8] Norvaisiene, R. (2012). The Impact of Capital Structure on the Performance Efficiency of Baltic Listed Companies. - Engineering Economics, vol. 23, no. 5, pp. 505-516.
- [9] Palusalu, M. (2016). Finantsvõimenduse mõju omakapitali tasuvusele Tallinna börsil noteeritud ettevõtete näitel. Magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool.
- [10] RTJ 8. (09. 01. 2020. a.). Kasutamise kuupäev: 16. 04. 2021. a, allikas <https://www.riigiteataja.ee/aktiisa/3100/1201/2005/RTJ%208.pdf>
- [11] Rajan, R. G., Zingales, L. What Do We Know about Capital Structure? Some Evidence from International Data. The Journal of Finance, 1995, Vol L, No 5, pp 1421-1460.
- [12] Robinson, T. R., Henry, E., Pirie, W. L., Broihahn, M. A. (2015). International financial statement analysis. Workbook. Third Edition. CFA Institute.
- [13] Zirnask, V. (2008). Finantsjuhtimise käsiraamat. (Teabevara) (2001-). Tallinn: Äripäeva Kirjastus. <https://teabevara.ee/et/app/finantsjuhtimine/vola-koormuse-suhtarvud-0>