



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus-ja maaehitusinstituut

**Kadri Alatalo**

**KETASFILTRI TÖÖPARAMEETRITE UURIMINE TARTU  
REOVEEPUHASTI NÄITEL**

ANALYSIS OF DISC FILTER OPERATING VARIABLES ON  
THE EXAMPLE OF THE TARTU WASTEWATER  
TREATMENT PLANT

Magistritöö

Vesiehituse ja veekaitse õppekava

Juhendajad: professor Mait Kriipsalu PhD

Pille Kängsepp PhD

Tartu 2018

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Kadri Alatalo		Õppekava: Vesiehitus ja veekaitse	
Pealkiri: Ketasfiltri tööparameetrite uurimine Tartu reoveepuhasti näitel			
Lehekülgi: 85	Jooniseid: 51	Tabeleid: 7	Lisaid: 1
Osakond: Metsandus- ja maachitusinstituut Uurimisvaldkond (ja mag. töö puhul valdkonna kood): T220 Juhendaja(d): professor Mait Kriipsalu PhD, Pille Kängsepp PhD Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2018			
<p>Käesolev uurimistöö on tehtud Tartu reoveepuhasti ketasfiltrite kohta. Eesmärk on välja selgitada ketasfiltri tööparameetrid ning hinnata nende efektiivsust heitvee järelpuhastamisel. Töös uuriti filtrisegmentide veeläbilaskvuse muutumist ajas, läbipesu ja keemiapesu tõhusust, filtermaterjali avasuuruse mõju heljumi vähendamisele nii omaette kui kombinatsioonis flokulatsiooni-koagulatsioonietapi lisamisega ning kemikaalide doose. Selgitati välja reoveepuhasti pika aja vooluhulgad ja heljumisisaldus ketasfiltritele juhitavas heitvees ning seostati see filtrite ummistumisega. Mõõtmistulemuste põhjal tehakse ettepanekuid ja osutatakse võimalustele reoveepuhasti töö optimeerimiseks nii, et oleks jälgitud kuluefektiivsust ja saavutatud energiatõhusus.</p>			
Märksõnad: reovesi, heitvesi, mikroöelumine, koagulant, flokulant, polümeer, hägusus, heljum, vooluhulk, fosfor, filter kangas, süvapuhasus, keemiline sadestamine, keemiline eeltötlus			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Kadri Alatalo		Speciality: Hydraulic Engineering and Water Pollution Control	
Title: Analysis of disc filter operating variables on the example of the Tartu wastewater treatment plant			
Pages: 85	Figures: 51	Tables: 7	Appendixes: 1
Department: Institute of Forestry and Rural Engineering Field of research (and for Master's Thesis add research field code): T220 Supervisors: professor Mait Kriipsalu PhD, Pille Kängsepp PhD Place and date: Tartu 2018			
<p>This research has been carried out on disc filter of Tartu wastewater treatment plant. The objective was to find the operating parameters of the disk filter and to evaluate their efficiency in waste water after-treatment. The following sub-objectives were studied: changes in the permeability of the filter segments over time, the efficiency of backwashing and the chemical washing of filters, the effect of the filter material pore size on the reduction of suspended solids, both on its own and in combination with the flocculation-coagulation step, and the doses of chemicals. The actual flow rates of the sewage treatment plant and the amount of suspended solids in the effluent were linked to filter clogging. Based on the results of the measurements, possibilities for optimizing the wastewater treatment plant were proposed, in order to achieve the cost-effectiveness and energy efficiency.</p>			
Keywords: wastewater, effluent, microscreening, coagulant, flocculant, polymer, turbidity, suspended solids, flow, phosphorus, filter cloth, tertiary treatment, chemical precipitation, chemical addition			

## EESSÕNA

Magistritöö valmis tänu paljude inimeste koostöö. Eelkõige soovin tänada oma ülikooli poolset juhendajat professor Mait Kriipsalu õpetlike tähelepanekute, soovitude ja meeldiva koostöö eest. Aitäh, et leidsite alati aja lugeda minu uurimustööd ja vastata minu küsimustele.

Soovin tänada oma teist juhendajat ja Rootsipoolset *Veolia Water Technologies AB, Hydrotech* esindajat Pille Kängseppa, kes olenemata kaugest vahemaast oli kogu selle pooleteise aasta jooksul alati kättesaadav. Tänu temale jõudsid kõik katseseadmed Eestisse ning kelle juhendamisel said kõik katsed edukalt läbiviidud. Palju tänu, et jagasite väga õpetlikke ja asjakohaseid kommentaare.

Soovin tänada *Veolia Water Technologies AB, Hydrotech* meeskonda, kes sellele uurimustööle kaasa aitasid ja kelle abil sai Rootsis omandatud põhiteadmised ketasfiltrite ja nende katsete kohta. Soovin tänada järgmisi inimesi: Carles Pellicer-Nàcher, Janne Väänänen, Mikael Sjölin, Petter Olsson ja Nelson Llano.

Suur tänud AS Tartu Veevärk juhatajale Toomas Kapp, tootmisjuhile Indrek Hiimäe ja reoveepuhasti juhatajale Kaido Põhakole, et olite nõus tegema koostööd ja lubasite puhastil katsed läbi viia. Eriline tänu avaldus Kaido Põhakole, kelle õpetussõnad ja seletused olid suurepärased ning kelle abil viidi puhastil läbi mitmeid katseid. Avaldan tänu laborijuhatajale Aune Ahmanile ja klienditeenistusosakonna juhatajale Vaike Raagile, kelle abil oli võimalik kätte saada eelnevate aastate andmeid. Soovin tänada reoveepuhasti operaatorit Henri Oravat, kes täitis suurt rolli katsetuse käigus. Aitäh, et leidsid alati aega aidata mind ketasfiltrite juures ja vastama minu küsimustele.

Suured tänud Eesti Maaülikooli vanemteadurile Kaja Orupõld ja keemik-analüütikule Milvi Purgasele, kes juhendasid mind laboratoorsete katsete käigus.

Avaldan tänu Eesti Maaülikooli dotsent Toomas Tammele ja vanemlaborandile Morten Poolakesele, kes jagasid asjakohaseid juhiseid ja aitasid kaasa katsete läbiviimisel.

Suured tänud teile kannatlikkuse ja meeldiva koostöö eest!

SISSEJUHATUS	6
TEOREETILINE KÄSITLUS	8
1.1. Nõuded suublasse juhitava heitvee omadustele	8
1.2. Reoveepuhasti üldskeem ja põhietapid	9
1.3. Süva- ja järelpuhastus	10
1.4. Filtrimine reoveepuhastustehnoloogiana	13
1.5. Ketasfiltrid	16
1.5.1. Tööpõhimõte	16
1.5.2. Ketasfiltri töö kujundamine	19
1.5.3. Filtri hooldamine	19
1.6. AS Tartu Veevärk reoveepuhasti	20
1.6.1. Üldskeem	20
1.6.2. Ketasfiltrid Tartu reoveepuhastis	22
1.6.3. Ketasfiltrite keemiapesu Tartus	24
1.7. Ketasfiltrite katsetused mujal riikides	26
1.7.1. Ketasfiltrite tööparameetritega seotud katsed mujal riikides	26
1.7.2. Trollhätten Arvidstorp reoveepuhasti	27
KETASFILTRITE TÖÖPARAMEEETRITE UURIMINE	30
1.8. Tüüp katsed ketasfiltrite tööparameetrite uurimiseks	30
1.8.1. Tagasipesu protsendi leidmine	30
1.8.2. Heljumi määramine	31
1.8.3. <i>ET-test</i> katse ja seadme kirjeldus	32
1.8.4. <i>Test-tube</i> katse ja seadme kirjeldus	33
1.8.5. <i>Jar-test</i> katse ja seadme kirjeldus	35
1.9. Katsete eesmärk Tartu filtrite uurimisel	35
1.10. Katsete meetodiline kirjeldus	36
1.10.1. Hüdrauliline koormus	36
1.10.2. Hägusus	37
1.10.3. Tagasipesu	39
1.10.4. Heljum ja fosfor	39
1.10.5. <i>ET-test</i>	40
1.10.6. <i>Test-tube</i> ja <i>jar-test</i>	43
1.11. Tulemused ja arutelu	45
1.11.1. Tartu reoveepuhasti koormuse uurimine ja nende mõju filtritele	45
1.11.2. Energia-, hooldus- ja kemikaalikulu	52
1.11.3. Tartu puhasti ketasfiltrite vooluhulgad	54
1.11.4. <i>ET-test</i> tulemused	57
1.11.5. Hägusus ketasfiltri sisse- ja väljavoolu vees	59
1.11.6. <i>Tagasipesu tulemused</i>	64
1.11.7. <i>Jar-testi</i> ja <i>test-tube</i> katsete tulemused	65
1.12. Soovitused uurimuste jätkamiseks tulevikus	76
KOKKUVÕTE	78
KASUTATUD KIRJANDUS	81
LISAD	84

## SISSEJUHATUS

Olmereovesi on inimtegevusega reostatud vesi, sh. köökidest, pesuruumidest, vannitubadest, tualettidest ärajuhitud reovesi. Olmereoveetaoline reovesi ei ole küll pärit olmest, kuid on oma omaduste poolest olmereoveega sarnane (EVS-EN 16323:2014). Selline võib olla näiteks tööstustegevuses, käsitööstuses, või kaubanduses reostatud vesi. Tootmis- või tööstusreovesi tuleb tootmis- ja äriettevõtetest ning selle omadused võivad erineda olmereovee omadustest. Kanalisatsioonitorustikes reoveed segunevad. Reovees on mitmeid reoaineid, mis pärast suublasse juhtimist mõjutavad vee kvaliteeti olenevalt oma kontsentratsioonist ja vastuvõtva suubla vooluhulgast (suurusest) võivad nad kahjustada suubla keskkonda. Näiteks taimetoitained (lämmastik ja fosfor) võivad veekogusse sattudes põhjustada eutrofeerumise, mis tõttu on oluline reovesi enne suublasse juhtimist puhastada.

Reovesi puhastatakse mitmes etapis ning reoveepuhastid on pidevas arengus. Kui veel mõnda aega tagasi oli peamine eesmärk vähendada orgaanilisi süsinikuühendeid ning seejärel keskenduti lämmastiku ja fosfori eemaldamisele, siis portsesside kulukusele erilist tähelepanu ei pööratud. Viimasel ajal on reovee puhastamisel muutunud järjest olulisemaks jälgida kuluefektiivsust, energia kulu ja ökoloogilist jalajälge (Väänänen, 2017:1-2).

Heitvee omadusi mõõdetakse vees sisalduvate reoainete hulga alusel ning neid võrreldakse piirväärtustega. Piirväärtused on läbi aja karmistunud ning võib arvata, et see jätkub ka edaspidi. On selge, et uute normide saavutamiseks tuleb kasutusele võtta uusi tehnoloogiaid ja puhastusmeetodeid (Rossi 2014). Üheks viisiks, kuidas tõhustada heljumi- ja fosforiärastust, on arendada süvapuhastust-näiteks paigaldada reoveepuhasti väljavoolule mikrosõlurid (mikrofiltrid). Mikrosõlurid on oma olemuselt lihtsa tööpõhimõttega, kus heitvesi juhitakse läbi peenekoelise filtermaterjali. Mikrosõelurid on tavaliselt kas trummelfiltrid või ketasfiltrid. Filtrid on võimelised eemaldama veest heljumit ja fosforit. Eemaldamine muutub veelgi efektiivsemaks, kui filtrite ette lisada täiendav keemiline süvapuhastusetapp (Väänänen, 2017:1-2).

Mikrosõlurid on Eestis reoveepuhastite jaoks küllaltki uus tehnoloogia, mistõttu tehnoloogia opereerimise ja käsitlemise kohta on vähe kogemusi. Mikrofiltrimine/mikrosõelumine (inglisekeeles *microscreening*, *microsieving*) nõuab aga hästi läbimõeldud opereerimist, mille tagamine võib olla sellise tehnoloogia puhul kõige keerukam osa.

Käesolevas magistritöös on uuritud Tartu Veevärgi reoveepuhasti ketasfiltreid. Tartu reoveepuhastis töötavad ketasfiltrid aastast 2014. Ehkki tulemused on üldjoontes head, esineb nendega mõningaid probleeme. Kuna puhastil esineb aeg ajalt muda väljakannet on filtrite sissevool piiratud, sest muidu ummistuksid filtrid väga kiiresti ja võimalik, et mõned kangad võivad isegi puruneda.

Töös uuritakse, kuidas filtrid töötavad ning millised on nende tööd mõjutavad parameetrid. Kõige selle väljauurimiseks tuleb saada ülevaade puhastist kui tervikust, sest puhastis toimuv mõjutab otseselt filtrisse jõudva heitvee omadusi. Samuti tuleb teada puhasti koormuse kõikumiste eripära ning veepuhastamise iseärasusi. Filtrite töös tuleb jälgida konkreetseid näitajaid, milledeks on tavaliselt: hägusus, heljum, fosfor ja vooluhulk. Filtrite töö juures tuleb vaadelda ka, kui palju energiat filtrid tarbivad. Filtrite uurimiseks on nende tootja välja töötatud katsetoodika, mis aitab saada piisavalt hea ülevaate filtritest ja nende töö efektiivsusest. Katsete eesmärk on välja selgitada filtrite hüdrauliline vee läbilaskvusvõime. Kuna iga reoveepuhasti on isesugune, tuleb sobivaimad kemikaalid täiendavaks keemiliseks süvapuhasustuseks valida katseliselt.

Nende tulemuste põhjal vaadeldakse, kas filtrid tuleks paremini optimeerida ning kas nende töös tuleks teha mingeid muudatusi või ettepanekuid.

# TEOREETILINE KÄSITLUS

## 1.1. Nõuded suublasse juhitava heitvee omadustele

**Reostuskoormus** on mingis ajavahemikus puhastusseadmesse jõudva või keskkonda heidetava reoainehulk (EnDic, 2000). Reostusallika reostuskoormust väljendatakse inimekvivalentides (edaspidi ie) ja arvutatakse aasta kestel reostusallika suurima nädalakeskmise reoainehulga alusel (Reovee puhastamine..., 2018).

**Inimekvivalentiks** loetakse veereostuskoormust, mida üks inimene toodab keskmiselt ühe ööpäeva jooksul (Veeseadus..., 1994, § 2). Puhastid tuleb projekteerida nii, et need rahuldaksid seaduse poolt kehtestatud nõudeid. Reovee puhastamise ning heit- ja sadevee suublasse juhtimise nõuded võtavad Eestis arvesse reoveekogumisala suurust. **Reoveekogumisala** on piirkond, kus elanikkond või majanduslik tegevus on piisav asula reovee kogumiseks ja/või reoveepuhastamiseks või keskkonda juhtimiseks (Reovesi ja..., 2018). Tabelis 1 on toodud heitvee reostusnäitajate piirväärtused (Reovee puhastamine ..., 2018, lisa 1).

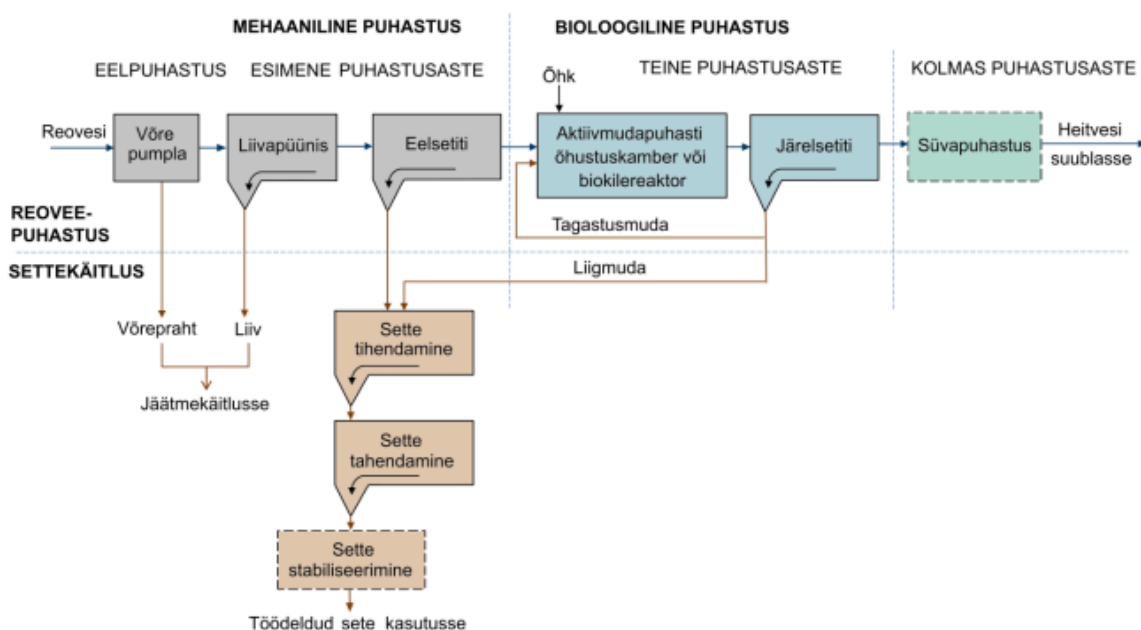
**Tabel 1.** Heitvee reostusnäitajate piirväärtused mg/l olenevalt reoveekogumisala suuruselt (Reovee puhastamine..., 2012)

Reostusnäitaja	Reoveekogumisala reostuskoormus				
	≤ 300 ie	300-1999 ie	2000-9999 ie	10 000-99 999 ie	100 000 ≤ ie
Biokeemiline hapnikutarve (BHT <sub>7</sub> ) (mg/l)	40	25	15	15	15
Keemiline hapnikutarve (KHT) (mg/l)	150	125	125	125	125
Üldfosfor (mg/l)	Ei kohaldata	2	1	0,5	0,5
Üldlämmastik (mg/l)	Ei kohaldata	60	45	15	10
Heljum (mg/l)	35	35	25	15	15

Reoainete piirväärtuste ületamisel tuleb puhastitel maksta saastetasu. Keskkonnatasude seaduse alusel rakendatakse **saastetasu**, kui saasteained heidetakse välisõhku, veekogusse, põhjavette või pinnasesse või kui kõrvaldatakse jäätmeid (Keskkonnatasude seadus, 2005, § 14). Saastetasu võidakse rakendada väga paljudele reoainetele. Põhilised maksustatavad näitajad Eestis on biokeemiline hapnikutarve (BHT<sub>7</sub>), keemiline hapnikutarve (KHT), üldfosfor (TotP), üldlämmastik (TotN) ja heljum (HA) (Reovee puhastamine ..., 2018, lisa 1).

## 1.2. Reoveepuhasti üldskeem ja põhietapid

Reovee puhastamine ei ole paigast paika ühetaoline. Puhastusprotsess sõltub kasutatavatest tehnoloogiatest ning reovee omadustest. Olgugi, et puhastusprotsessid võivad piirkonniti erineda jäävad põhilised kasutatavad reovee puhastuseetapid samaks (Hunter Water, 2018). Joonisel 1 on näidatud üldskeemi reoveepuhastuse põhietappidest.



Joonis 1. Reoveepuhastuse põhimõtteskeem (Kõrgmaa *et al* 2016).

Reovett, mis sisaldab suurel määral liiva, muda, rasva või õli, ei tohi otse ühiskanalisatsiooni juhtida. Sellist võõristerohket reovett tuleb tekkekohal eelpuhastada. **Eelpuhastamiseks** kasutatakse tavaliselt liiva-, õli-, muda ja rasvapüüniseid. Harilikult rajatakse püüniseid kohtadesse, kus reovesi võib häirida ja kahjustada kanalisatsioonitorustikke ja -rajatisi (Tartu linna ühisveevärgi... § 12 lg 6). Nendeks on tavaliselt (toiduaine)tööstused ja autode parkimisalad, suürköögid jms.

Reovee puhastamise esimest etappi nimetatakse **mehaaniliseks puhastuseks** (Kriipsalu *et al* 2001). Esimese etapi ülesanne on reoveest lahustumatute ainete (ujuvpraht, liiv, heljuvaine) eemaldamine füüsikaliste meetoditega. Suuremad võõrised eemaldatakse võredega. Tavaliselt

on puhastitel varb-, lamell-, trepp- ja kruvivõred. Mineraalsed ained püütakse veest välja liivapüüniste ja eelsetititega (Kriipsalu *et al* 2001).

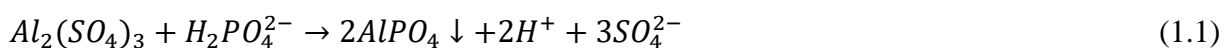
**Bioloogiline puhastus** on reovee puhastus protsessis teiseks etapiks. Bioloogilise puhastuse eemaldatakse mikroobide abil suurem osa reovees olevast orgaanilisest ainest ning taimetoitainetest. Protsessi, mille abil vähendatakse taimetoitainete sisaldust vees, nimetatakse bioloogiliseks fosfori- ja lämmastikuärastuseks. Aktiivmuda on mikroorganismidest moodustunud biomass, mis seob vees oleva kolloidse heljumi. Orgaanilise aine lagunemine saab toimuda aeroobses, anaeroobses ja ka anoksilises olustikus (Kriipsalu *et al*, 2001).

### 1.3. Süva- ja järelpuhastus

Kolmas etapp reoveepuhastuses on **süvapuuhastus** (Kuusik, 2017). Etapp on reovee puhastamise juures vajalik, kuna pärast bioloogilist puhastamist leidub vees endiselt reoaineid sellisel määral, et see ületab nõudeid suublasse juhitava heitvee kohta.

Kemikaalide kasutamine on võimalik fosfori ärastamiseks, heljumi sisalduse vähendamiseks ning orgaanilise aine (BHT) reostuskoormuse vähendamiseks (Davis, 2010). Keemilist sadestamist kasutatakse põhiliselt fosfori ärastamiseks- vette lisatakse metallisoolasid (koagulant). Keemiline fosfori ärastus toimub peamiselt bioloogilise puhastus etapi järelsetitis, kus mittelahustunud helbed sadestuvad ning eemaldatakse liigmudana. **Koagulant** on suspensiooni või emulsiooni destabiliseerimiseks lisatav kemikaal (EVS-EN 1085:2007 *s.v* koagulant). **Koagulatsioon** on lahustamata ja kolloidsete ainete destabiliseerimine tavaliselt koagulante lisades, et nad moodustaksid agregate (EVS-EN 1085:2007 *s.v* koagulatsioon). Olmereoveepuhul kasutatakse alumiiniumi või raua baasil valmistatud koagulante (nt. raud(II)sulfaat, alumiiniumsulfaat).

Erinevate metallisoolade puhul on reaktsioonivõrrandid järgmised (Davis, 2010):

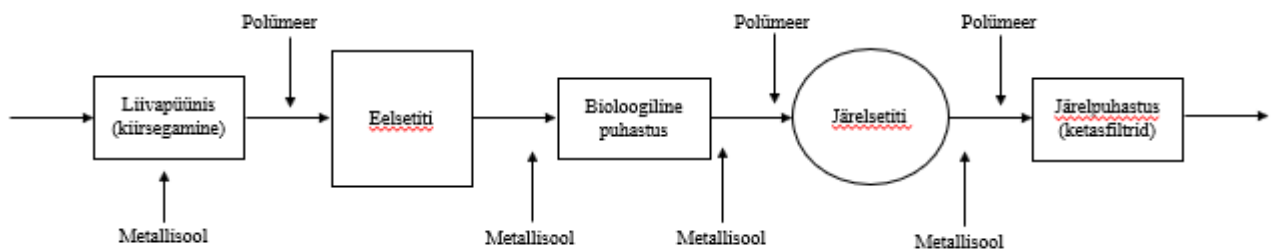


**Eelsadestumine** on fosfori keemiline sadestamine enne eelselitust ja sellele järgnevat biopuhastust (EnDic 2000 *s.v* eelsadestumine). Kui sadestuskemikaali manustatakse enne,

pärast või otse aerotanki, siis nimetatakse seda **simultaansadestamiseks** (EnDic 2000 *s.v* simultaansadestamine). **Aerotank** on mahuti, milles segatakse ja õhutatakse reovee ja aktiivmuda segu, et luua sobivad tingimused orgaanilist ainet lagundavatele mikroorganismidele (EnDic 2000 *s.v* aerotank). Simultaansadestamisel seotakse helvestesse ka tahked orgaanilised ja kolloidsed osakesed. Tulemuseks moodustuvad mikrohelvestest suuremad helbed, makrohelbed. Makrohelbeid on võimalik eraldada näiteks settimise, flotatsiooni või filtrimise teel (Tenno, 2014).

**Täiendav keemiline süvapuhas** (inglisekeeles *chemical precipitation*) on keemiline eeltöötus, mis käesolevas töös on nimetatud etappiks, kus lisaks tavapärasele puhastusprotsessile on juurde rajatud etapp, kus saab toimuda lisa flokulatsioon ja/või koagulatsioon (lisatakse metallisool ja/või polümeer). **Flokulant** on kemikaal, mida lisatakse heljumihelveste moodustamiseks, suurendamiseks või tugevdamiseks (EVS-EN 1085:2007 *s.v* flokulant). Flokulatsioon on aga protsess, kus sadestatavad helbed moodustuvad heljumiosakeste liitumise teel (EVS-EN 1085:2007 *s.v* flokulatsioon). Tavaliselt kasutatakse puhastitel flokulantidena polümeere. **Polümeer** on pikaahelaline molekul, mis koosneb väiksematest keemilistest ühenditest (monomeeridest). Polümeerid võivad olla katioonsed ehk positiivselt laetud, anioonsed ehk negatiivselt laetud ja mitteioonsed ehk neutraalsed. Polümeere turustatakse nii vedelike, emulsiooni kui ka pulbri kujul (Rossi. 2014).

Täiendavat süvapuhasust kasutatakse tavaliselt juhul, kui filtrite sissevoolu vesi on väga kõrge heljumi sisaldusega või kui heitveele, mida juhitakse suublasse, on kehtestatud väga madalad reoainete piirväärtused. Näiteks nõutakse heljumi sisaldust 5-10 mg/l või üldfosfori sisaldust, mis peab jääma alla 0,1 mg/l (Kängsepp, 2017, Väänänen, 2017). Selleks täiendatakse tavalist süvapuhasust koagulatsiooni ja/või flokulatsiooniga. Täiendavat keemilist süvapuhasust etappi võib puhastusprotsessi rajada mitmetesse kohtadesse. Joonisel 2 on näidatud asukohad, kuhu on võimalik täiendav keemiline süvapuhasus lisada.



**Joonis 2.** Võimalikud kohad koagulandi ja flokulandi doseerimiseks reoveepuhastis kohad (Rossi, 2014 järgi).

Koagulandi ja flokulandi doseerimis koht ja vajadus sõltub reovee ja -puhasti omadustest (Asano *et al.*, 2007). Sellises etapis soovitakse saavutada suuremad heljumi osakesed, mis sadestuksid veest kiiremini välja. Eestis kasutatakse täiendavad süvapuhasust eraldi seisva etapina vähe. Põhiliselt kasutatakse kemikaale ainult tavalises süvapuhasuses.

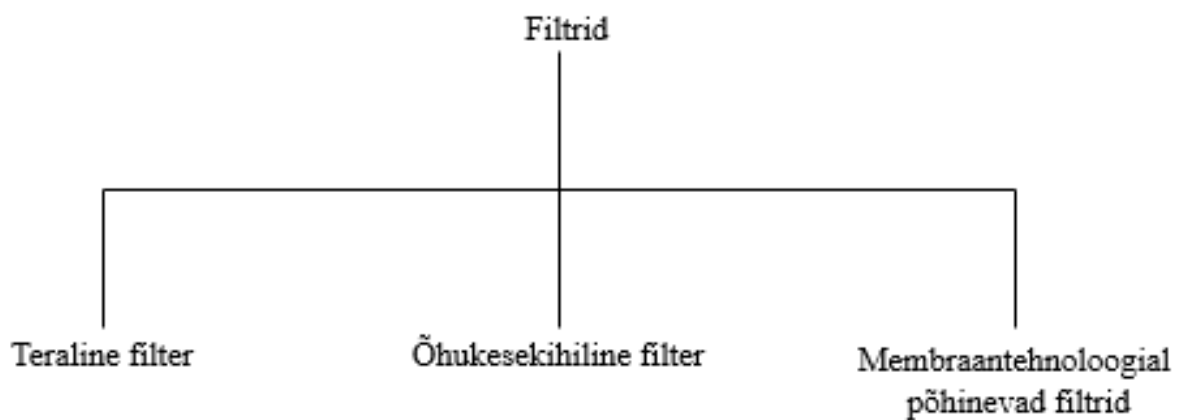
Keemilisele eeltötlusele järgneb harilikult mõni füüsikaline etapp. Tavaliselt on selleks setitamine või filtrimine.

**Järelepuhastust** loetakse reovee puhastuse neljandaks ning ühtlasi ka viimaseks etapiks (Kriipsalu *et al* 2001). Neljanda etapi eesmärk on reovesi puhastada enne suublasse laskmist nii, et see vastaks heitvee suublasse juhtimise nõuetele. Vajadust järelepuhastuse järele võib hinnata heitvee hägususe järgi. Hägusus on vee sogasuse näitaja, mida mõjutab vees olev heljum-, hõljum- või muu võõrisesisaldus (EnDic 2000 s.v hägusus). Kuna Eestis ei ole heitvee hägususele kehtestatud piirväärtusi, ei ole see ka kuigi sageli mõõdetav näitaja. Teisalt on hägusus seotud maksustava komponendiga vees heljumiga. Järelepuhastuse peamised meetodid on setitamine ja filtrimine. Setitamisel sadestuvad vees olevad heljumi osakesed raskusjõu mõjul (International,...,Sedimentation Processes, 2018). Sadestumise kiirust mõõdetakse Stokesi seaduse alusel. Osakese sadestumise kiirus sõltub tema raadiusest, osakese ja teda ümbritseva keskkonna tihedusest (vesi, õhk), raskuskiirendusest ja dünaamilisest viskoossusest. Mida suurem on osakese raadius seda kiiremini see sadestub. Mida väiksem on osakese raadius seda aeglasemalt see sadestub ning settimise teekond pikeneb. (Saveljev, 1978)

Filtrimisega soovitakse veest eraldada heljumit, mis raskusjõu mõjul veest välja ei sadestunud. Süvapuhasustuse ja täiendava keemilise süvapuhasustuse tõttu on sageli mittelahustuv fosfor seotud heljumiga. Seetõttu on järelpuhasustusega võimalik vees oleva fosfori sisaldust vähendada enne suublasse juhtimist (Ljunggren et al, 2005).

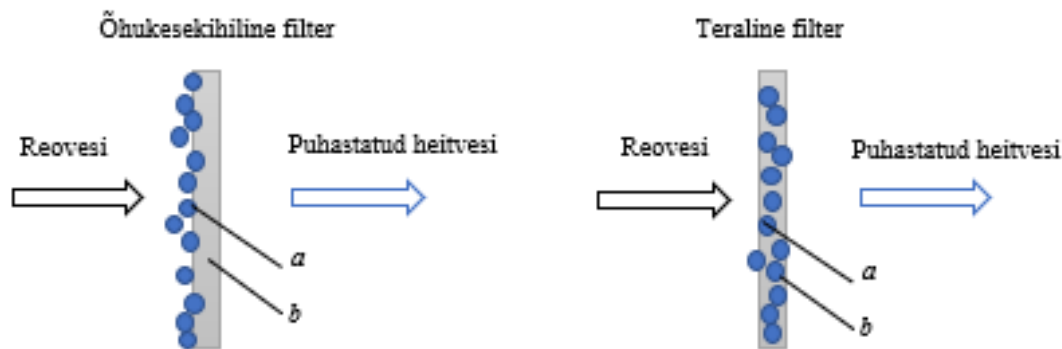
#### 1.4. Filtrimine reoveepuhastustehnoloogiana

Filtrimine ehk filtreerimine on heljumi kinnipidamine selle juhtimise teel läbi mingi keskkonna (EVS-EN 1085:2007 s.v filtrimine). Reeglina järgneb koagulatsioonile ja flokulatsioonile heljumi ärastus etapp. Heljumit saab eemaldada filtrimise teel. Filtreerimiseks on välja töötatud väga palju erinevaid meetodeid ja võimalusi (Makarov, 2018). Meetodid valitakse eelkõige selle järgi, millist lõpptulemust soovitakse saada. Joonisel 3 on kujutatud kolm põhilist filtri tüüpi: terasfiltrid, õhukesekihilised filtrid ja membraantehnoloogial põhinevad filtrid (Makarov, 2018).



Joonis 3. Filtrite liigitus.

Joonisel 4 on näidatud õhukesekihiliste filtrite ja teraliste filtrite põhimõtet.



**Joonis 4.** Õhukesekihilise filtri ja teralisefiltri tööpõhimõte (Factory direct...,2017 järgi): *a* heljumi osakesed, *b* filtermaterjal.

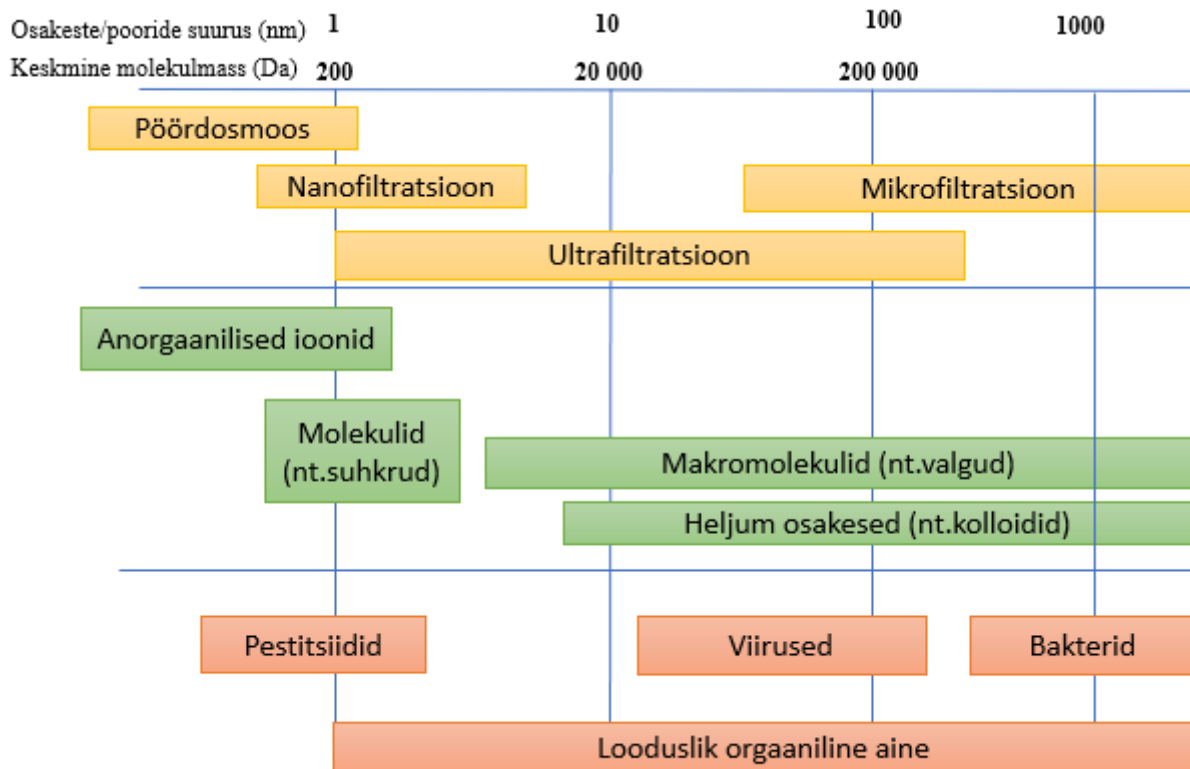
**Teralisi filtreid** võib jagada erinevate tunnuste alusel: rõhk filtrikihi peal, filtratsioonikiirus, filtrikihtide arv, materjali terajämedus, filtrimis suund, kandekihi või filterkihi regenereerimise viis (Karu, 2016). Filtreerivaks materjaliks kasutatakse tavaliselt liiva või kruusa. Heljum jääb liiva ja/või kruusa osakeste vahele kinni ning eemaldatakse sealt tagasipesu abil. Sellist filtreerimis viisi nimetatakse mahtfiltratsiooniks (Karu, 2016). Teralisi filtreid kasutatakse siis, kui vesi on väga heljumi rikas ning heljumi osakesed on suured. Väiksema poorsusega filtrid ei suuda vastu võtta väga heljumi rikast vett ning võivad kiirelt ummistuda (Shukla, 2008).

**Õhukesekihilistes filtrites** toimuvat filtratsioon nimetatakse kilefiltratsiooniks. Põhilised filter materjalideks on paber, kangas, kile, võrgud või poorsed plaadid (Karu, 2016). Õhukesekihiliste filtrite hulka kuuluvad mikrosõelurid ja laboratoorsed filterpaberid, mida kasutakse heljumi määramiseks (Makarov, 2018). Mikrosõelur (ehk mikrofilter) on veepuhastuses kasutatav väga peene sõelaga kaetud pöörlev trummel (EnDic 2000 *s.v* mikrofilter). Filtrid kujutavad oma tööpõhimõttelt sõelumist. Osakesed, mis oma suuruse tõttu ei ole suutelised läbima filtri materjali jäävad filtrikihi pinnale. Filtrite materjali poorsus tuleb valida selle järgi, kui suured on heljumi osakesed vees (Gunt Hamburg..., 2018). Heljumi osakesed, mis on suuremad kui filter kanga poorid jäävad selle pinnale ning osakesed, millede suurus on väiksem kui filtreeriva kihi pooride ava suurus läbivad selle kihi. Osakesed, mis jäävad filterkihi pinnale tekitavad seal heljumi kihi, mis tagasipesul eemaldatakse (Lim et al, 2003).

**Mikrosõelurid (mikrofiltrid)** ei ole oma olemuselt uus tehnoloogia. Filtreid on juba varasemalt kasutatud, kuid viimaste aastatega on nende populaarsus ja nõudlus tõusnud (Väänänen, 2017).

Mikrosõelureid on rakendatud reoveepuhastuses, joogiveepuhastuses, kuid ka toiduainetööstustes, liha-, piima- ja kalatööstuses (Abbas, 2004, Ljunggren, 2006). Mikrosõelurid jagunevad konstruktsiooni poolest trummel- ja ketasfiltriteks (Ljunggren, 2006, Väänänen, 2017, Rossi, 2014). Mõlemas on filtrimine pidev ning seda juhib gravitatsioon (Väänänen, 2017). Reoveepuhastuses võib ketasfiltreid eelkõige kohata kolmanda astme puhastuses, kuid trummelfiltreid on eelkõige rakendatud puhastitel eelsetititena (Behzadirad, 2010, Väänänen, 2017). Trummelfiltrid on kasutuses olnud juba 1970ndatest (Ljunggren, 2006) Mikrosõelurite eesmärk on eemaldada veest heljumi. Filtrid on võimelised saavutama madala reoainete (nt. väga madalad piirväärtused) kontsentratsiooniga heitvett, kui kombineerida sinna juurde keemiline eeltöötlus (Väänänen, 2017).

Väga peenete osakeste eemaldamiseks kasutatakse membraantehnoloogiat. **Membraantehnoloogia** jaguneb membraanide poorsuse alusel neljaks: mikro-, ultra- ja nanofiltratsioon ning pöördosmoos. Mikro- ja ultrafiltrereerimist kasutatakse siis, kui soovitakse veest eraldada mõnevõrra suuremaid osakesi. Nanofiltrereerimine ja pöördosmoos on meetodid, mis võimaldavad eraldada ka vees lahustunud soolad ning põhiliselt leiavad sellised meetodid aset joogivee tootmisel või kui heitvett on vaja väga puhtaks saada (kastmis-, niisutamisveed) (Lenntech, 2018). Joonisel 5 on toodud filtreerimis vahemikud erinevate membraanide puhul. Põhjalikumalt kirjeldab membraantehnoloogiat B. Tang (vt. kasutatud kirjandus Tang, 2016).



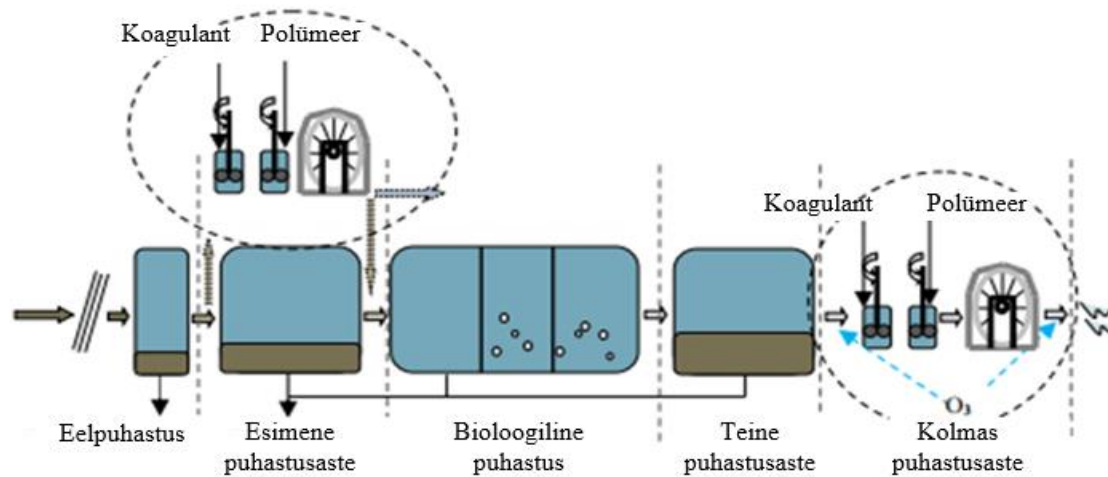
**Joonis 5.** Filtreerimis vahemikud nelja filtreerimis meetodi puhul (Mueller et al, 2012 järgi).

Käesolevas uurimustöös on vaatluse all õhukesekihilised mikrosõlurid.

## 1.5. Ketasfiltrid

### 1.5.1. Tööpõhimõte

**Ketasfilitreid** loetakse mikrosõluriteks ehk mikrofiltriteks (inglisekeeles *microscreen*). Oma tööpõhimõttelt on nad väga lihtsad-vesi läbib õhukesekihilise filtermaterjali raskusjõu abil. Filtrid on disainilt kompaktsed ning kergesti käsitletavad, seetõttu sobivad nad kohtadesse, kus puhastusele mõeldud ala napib (Abbas, 2004). Joonisel 6 on kujutatud aktiivmudapuhastit koos võimalike kohtadega, kuhu soovitatakse täiendavaks süvapuhastuseks paigaldada mikrosõlurid.



**Joonis 6.** Aktiivmuda puhasti üldskeem koos ketasfiltrite ja selle juurde kuuluva täiendava keemilise süvapuhasusega (Väänänen, 2017).

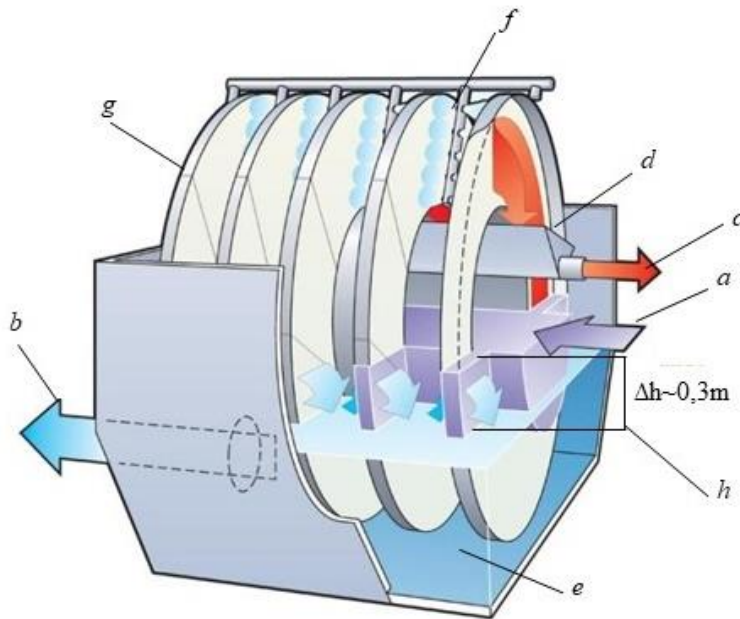
Üks suurimaid ketasfiltrite tootjaid on Veolia Water Technologies, mis on turustanud rohkem kui 8000 filtrit. Teiseks suureks filtreid tootvaks ettevõtteks on Aqua-Aerobis System (Väänänen, 2017).

Ketasfiltrite keskel asub võll, kuhu on kinnitatud filtri kettad. Filtri kettad koosnevad mitmest elemendist, mida kutsutakse segmentideks. Segment koosneb omakorda kahest filter paneelist. (Knapp *et al*, 2006)

Ketasfiltreid jagunevad veevoolu teekonna alusel kaheks. Eristatakse seestpoolt-välja ja väljastpoolt-sisse filtreerimis suunaga filtreid (Rossi, 2014).

**Seestpoolt-välja** filtreerimisega filtrit on kujutatud joonisel 7. Vesi siseneb filtrisse selle keskel oleva renni kaudu. Seal edasi läbib vesi raskusjõu mõjul filtri segmentidesse ja läbi filterkanga filtrist välja (seestpoolt-välja). Filtreeritud heitvesi kogutakse väljavoolu kambrisse ning suunatakse seal edasi suublasse. Vees olev heljum koguneb filterkanga sisepinnale. Tänu sellele tekib filtrite sisse- ning väljavoolule veetasemete vahe. Mida rohkem täitub filtreeriva filterkanga pind heljumiga, seda suuremaks läheb veetaseme vahe filtris. Veetasemete vahest annab märku filtrisse paigaldatud andur. Kui veetase on tõusnud andurini, alustab filter automaatselt tagasipesu ja filter hakkab pöörlema. Tagasipesu käigus pestakse filtreeriva kanga peale kogunenud heljum maha. Tagasipesus toimub survevee mõjul 3-8 bar-i juures. Tagasipesus kasutatakse filtrite väljavoolu vett (heitvesi). Vesi pihustatakse ketastele neile paigaldatud düüside abil. Maha pestav jääkmuda kogutakse trumli sees olevasse tagasipesu

renni ning suunatake filtrist välja muda käitlusesse. Filtrikettad on seega osaliselt vee all. (Knapp *et al*, 2006)



**Joonis 7.** Seestpoolt-välja filtreerimisega ketasfiltril põhimõtteline skeem (Hydrotech): *a* sissevool filtrisse, *b* väljavool filtrist, *c* jääkmuda väljavool, *d* tagasipesuvee renn, *e* sissevoolu kamber, *f* tagasipesu düüsid, *g* filter ketas, *h* sisse- ja väljavoolu veetaseme/nivoo kõrguste vahe (Veolia Water Technologies..., 2018).

**Väljastpoolt-sisse** filtreerimisega filtrite puhul siseneb reovesi filtri sissevoolu kambrisse ning läbib raskusjõu mõjul filtri kettaid. Sellise süsteemiga filtrit nimetatakse sukelfiltriks. Filtreeritud heitvesi kogutakse filtri keskel olevasse kogumistorusse ning juhitakse siis väljavoolu kambrisse ja edasi suublasse. Selles süsteemis alustab filter tagasipesuga, kui sissevoolu kambri veetaseme on tõusnud teatud tasemeni. Ketasest on mõlemale poole paigaldatud vaakum seade. Nii, kui ketas möödub vaakum seadest, imetakse filtri pinnal olev heljum vaakumi abil kollektorisse. Kollektorist suunatakse muda edasi muda käitlusesse. (Knapp *et al*, 2006)

Ketasfiltritel kasutatakse filtreerimiseks mitmesuguseid materjale. Materjalide poorsus jääb vahemiku 10-1000  $\mu\text{m}$  ja on valmistatud kangast või roostevaba terasest (Väänänen, 2017). Lähtuvalt materjali tüübist on hakatud ketasfiltreid, mille filtreerivaks materjaliks on kangas, kutsuma kangasfiltriteks. Materjali puhul on oluline, et see oleks piisavalt tugev. Materjali valiku juures tuleb leida sobiv poorsus. Reovee puhastitel kasutatakse järelpuhastuses põhiliselt 10 $\mu\text{m}$  poori suurusega kangast.

### 1.5.2. Ketasfiltrite töö kujundamine

Ketasfiltrite tööd mõjutavad paljud näitajad. Ketasfiltrite töö efektiivsuse uurimisel on oluline vaadata sissetuleva vee kontsentratsiooni (orgaanilise aine sisaldus) ning heljumi ja fosfori sisaldust suublasse juhivas vees. Fosfori ärastamiseks manustatakse kemikaale, et tekitada mittelahustuvad helbed. Ketasfiltrite eesmärgiks on vähendada vees olevat heljumit ning sellega koos on võimalik vähendada ka mittelahustunud fosfori kontsentratsiooni heitvees. Filtreid ei kasutata lahustunud fosfori eemaldamiseks. Enne filtreid teostatakse täiendav keemiline süvapuhasus juhul, kui filtrite sissevoolu vesi on väga kõrge heljumi kontsentratsiooniga või kui väljavoolu veele on kehtestatud väga karmid nõuded (peatükk 1.1) (Rossi, 2014). Koagulatsioon ja flokulatsioon on vajalikud, kui soovitatakse vähendada üldfosfori (ka lahustunud osa) ja heljumi kontsentratsiooni väljavoolu vees.

Koagulatsiooni ja flokulatsiooni toimumiseks on oluline tagada kemikaali kiire segunemine heitveega. Samas võib aga liiga kiire läbisegamine põhjustada olukorra, kus flokulatsiooni käigus tekkinud helbed purunevad. Lisaks segamisele on vaja jälgida, et flokulandi **viibeag** oleks piisavalt pikk, et reaktsioon saaks toimuda korralikult. Kui viibeag on liiga lühike, võib reaktsioon lõpuni kulgeda alles peale filtrit ning see väljendub helveste tekkimises suublasse juhivas vees. Soovitav viibeag koagulatsiooni toimumiseks on tavaliselt üks kuni kaks minutit. Flokulatsiooni toimumiseks vajalik viibeag on pikem. Tavaliselt jääb see vahemikku neli kuni viis minutit (Väänänen, 2017, Rossi, 2014). Viibeag saavutatakse flokulatsiooni ja koagulatsiooni mahutites (kambrites).

### 1.5.3. Filtri hooldamine

Ükski suur või väike reoveepuhasti ega ka erinevate puhastus etappide tehnoloogiad, ei tööta hästi ilma korrapärase hoolduseta ja tehnilise teenistuseta. Seadmete ja tehnoloogiate hooldamine, mis on puhastus etappides olnud juba aastakümneid või, millede suhtes on konkreetses puhastis olnud palju kogemusi, ei ole kindlasti nii keerukas, kui võib see olla mõne uue tehnoloogia kasutusele võtmise korral. Sellisel juhul on aga väga oluline pöörata erilist tähelepanu selle tehnoloogia töötamisele. Oluline on jälgida, milliseid tulemusi annab ja millist hooldamist vajab uus tehnoloogia. Tehnoloogia hooldamiseks ja opereerimiseks on hea teada,

kuidas toimitakse mujal. Paljudes naaberriikides on ketasfiltrid olnud kasutuses juba aastaid. Oluline on välja arendada hooldusprogramm, mis rahuldaks käesoleva puhasti vajadusi. Kasulik on järgida tootja poolt etteantud tingimusi, kuid kuna tehnoloogiate areng on jätkuv, peab ka tootja ja puhasti vaheline koostöö olema hea. Seda selleks, et olla kursis tehnoloogia muutuste ja arengutega.

Põhilised probleemid, mis kerkivad üles seoses ketasfiltritega, on eelkõige seotud täiendava süvapuhasusega ja filterkanga ummistumisega. Filterkanga ummistatus vähendab tema filtreerimis võimet. Põhilised nähtused, mis põhjustavad filtri töövõime langust on pooride ummistumine, biokile kasvamine kanga pooridesse ja heljumkihi ladestumine kangale. Ummistumise vältimiseks on lisaks survepesule vaja aeg ajalt filterkangaid pesta kemikaalidega (nn. keemiline pesu ehk keemiapesu). Kemikaalidel on võime lõhustada orgaaniline aine, mis on tekkinud filterkihile (Lim et al, 2003).

Keemilise pesu sagedus sõltub filtrite töö iseloomust ja reovee omadustest. Filtritele aeg ajalt tehtav profülaktiline keemiline pesu võimaldab saavutada väiksema energiakulu ning pikendada filterkanga eluiga. (Lim et al, 2003)

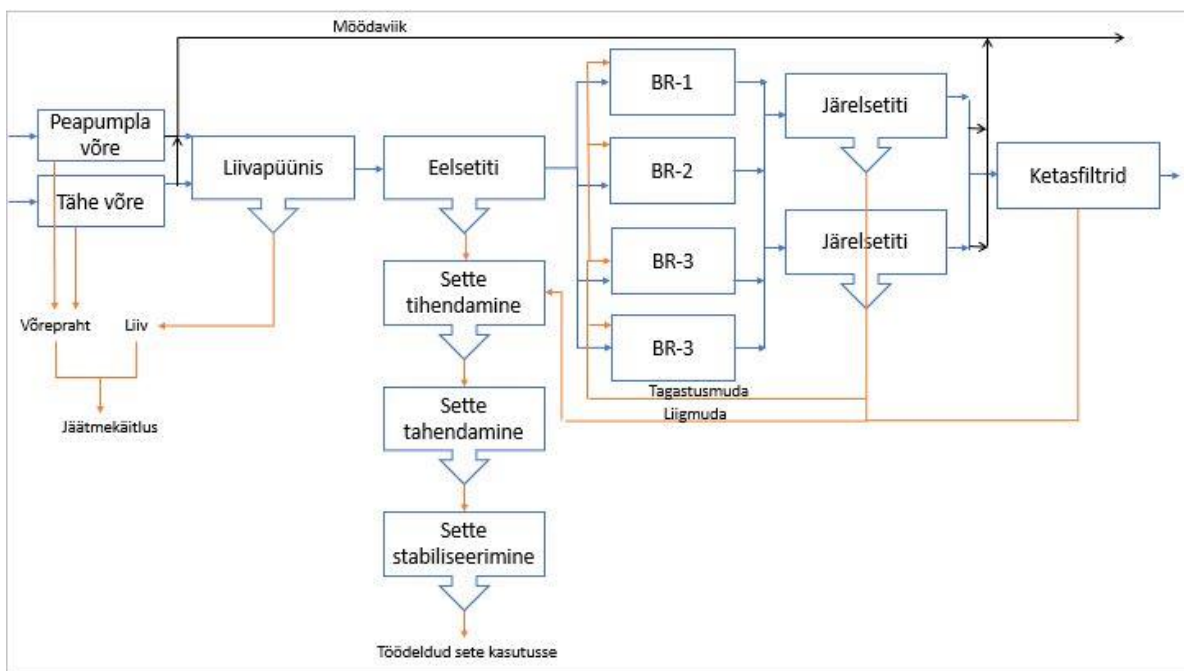
Pesulahustega töötamisel tuleb väga rangelt jälgida, et oleks tagatud kõik ohutusnõuded. Tavaliselt pakub filtri tootja katsetulemuste põhjal ise sobivad kemikaalid. Levinumad kemikaalid filtrite keemiapesuks on vesinikkloriidhape ja naatriumhüpokloriid. Tavaliselt on kangasfiltrid varustatud lisa keemiapesu seadmega (joonis 11). Keemiapesu töösüklit on põhjalikumalt kirjeldatud peatükis 1.6.3.

## **1.6. AS Tartu Veevärk reoveepuhasti**

### **1.6.1. Üldskeem**

Tartu reoveepuhasti on aktiivmuda puhasti. Tartu puhasti on dimensioneeritud 100 000 inimekvivalendile. Puhastil on kaks reoveepumplat, mis kogu linna reovee puhastile pumpavad (Tähe pumpla ja peapumpla). Pumplates on kasutusel kolme tüüpi võresi: trepp-, lamell- ja kruvivõre. Mõlema pumpla reoveed juhitakse kokku liivapüünistesse. Liivapüünisteks on horisontaalvoolulised õhutatavad püünised. Peale seda juhitakse vesi eelsetitisse. Tartu puhastil on kaks eelsetitit, millest töös on hetkel üks. Teist kasutatakse puhverdus mahutina. Peale

eelsetitit juhitakse vesi aerotanki, mis on ümber ehitatud bioloogiliseks lämmastiku- ja fosforiärastuseks, ning seetõttu nimetatakse seda bioreaktoriks. Tartus on 4 bioreaktorit, millest ka kõik on töös. Bioreaktoris on 3 tsooni, kõige välimine aeroobne tsoon, keskmine anoksiline ja sisemine anaeroobne tsoon. Aeraatoritena kasutatakse taldrikaeraatoreid. Aeratsioonitsooni doseeritakse koagulanti, et sadestada fosforit lisaks ka keemiliselt. Tartus on kasutusel raud(II)sulfaat. Peale teise astme puhastust suunatakse vesi kahte radiaaljärelsetitisse. Järelsetitis settib aktiivmuda põhja ning vesi suunatakse hammasülevoolu kaudu kolmanda astme puhastusse ketasfiltritesse. Need võeti kasutusele aastal 2012, mil karmistused nõuded heitveele. Enne filtreid kehtis fosfori piirväärtus 1,0 mg/l, pärast seaduse muudatust vähenes see 0,5 mg/l peale. Kangasfiltreid on kolm, millest kõik on kasutuses. Pärast ketasfiltreid juhitakse heitvesi läbi kaskaadi Emajõkke. Tartu puhasti üldskeem on joonisel 8.

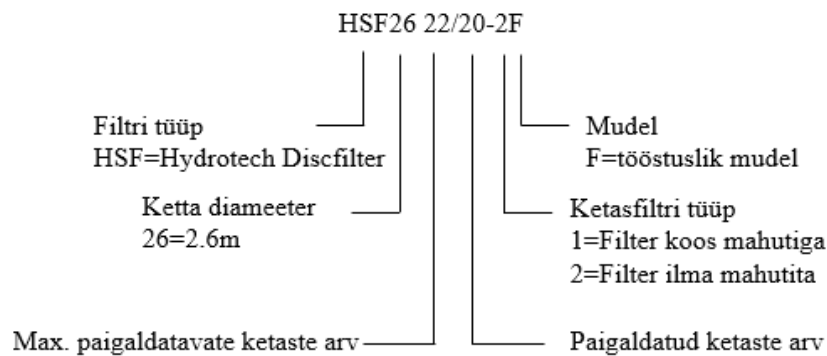


Märkus. Tähis „BR“ tähistab bioreaktorit, mis on aktiivmudapuhasti õhutuskamber koos bioloogilise fosfori- ja lämmastikuärastusega.

**Joonis 8.** AS Tartu Veevärgi aktiivmudapuhasti põhimõtteline skeem (Eesti Keskkonna..., 2016 järgi).

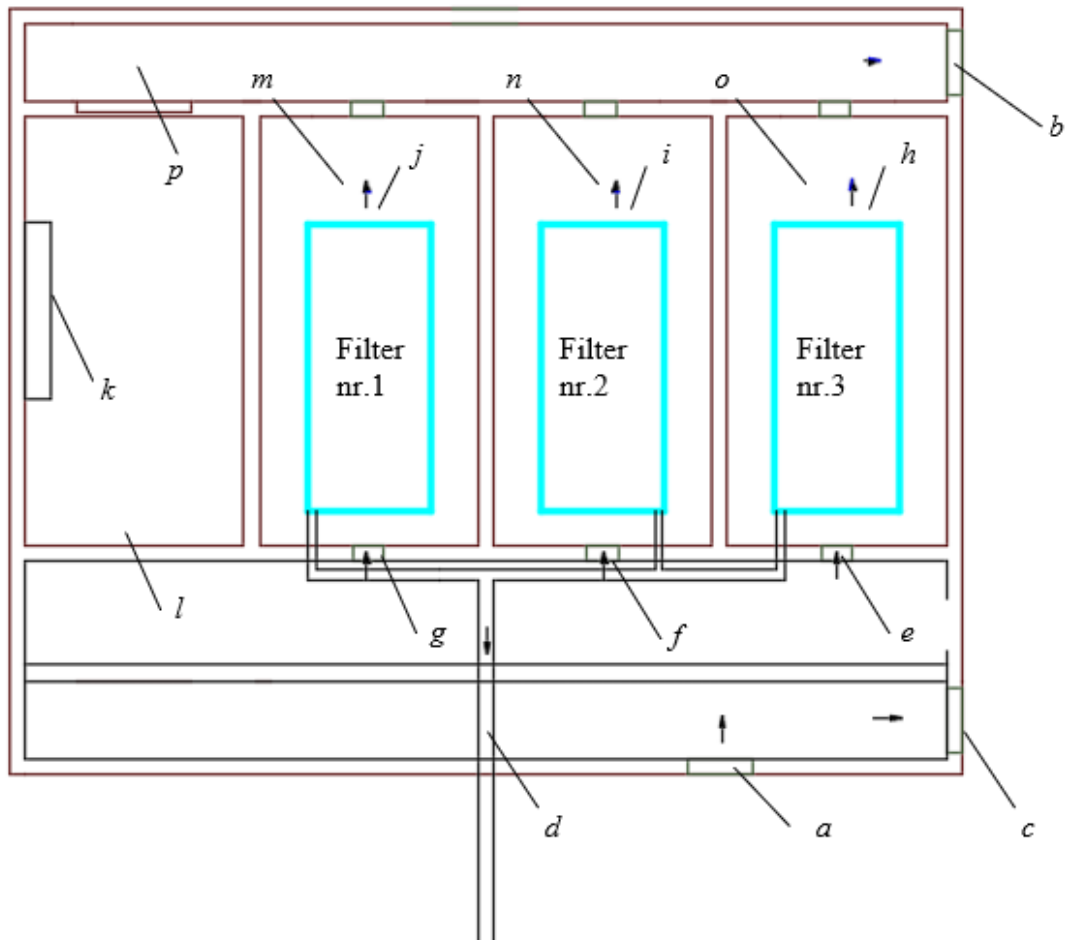
### 1.6.2. Ketasfiltrid Tartu reoveepuhastis

Ketasfiltrid HSF26 22/20-2F (Veolia Water Technologies AB, Hydrotech, 2018) paigaldati AS Tartu Veevärki 2013 aastal. Filtri koodi tähendus on toodud joonisel 9. Tartusse on paigaldatud filtrid, milledele on võimalik paigaldada kuni 22 ketast. Filtrite ketaste nummerdamist alustatakse filtri eest ehk sissevoolu poolt. Hetkel on Tartus kõigile filtritele paigaldatud 20 ketast. Kaks vaba kohta, kuhu on võimalik paigaldada veel kaks ketast, on jäänud filtri ette (ketaste asukohad number 1 ja 2 on vabad.).



**Joonis 9.** Filtri koodi tähendus.

Filtrid paigaldati eelkõige seetõttu, et heljumi suublasse juhtimise piirväärtused karmistuisid. Tartu puhastile on paigaldatud kolm seestpoolt-välja filtreerimis süsteemiga filtrit. Filtri kate materjalina on kasutusel kootud 10 µm polüester kangas. Joonisel 10 on kujutatud Tartu Veevärgi filtrihoonete põhimõttelist skeemi.



**Joonis 10.** AS Tartu Veevärk filtrihoone põhimõtteline skeem: *a* heitvee sissevool filtrihoonesse, *b* puhastatud heitvee väljavool, *c* möödaviik, *d* jääkmuda, *e* filter nr.3 sissevoolu siiber, *f* filter nr.2 sissevoolu siiber, *g* filter nr.1 sissevoolu siiber, *h* filter nr.3 väljavool, *i* filter nr.2 väljavool, *j* filter nr.1 väljavool, *k* juhtimiskilp, *l* varu filtri asukoht, *m* filter nr. 1 väljavoolu kamber, *n* filter nr.2 väljavoolu kamber, *o* filter nr.3 väljavoolu kamber, *p* väljavoolu kamber filtrihoonest.

Filtrihoonesse siseneb vesi sissevoolu kanali kaudu (joonis 10). Sissevoolu ava ei ole kolme filtri suhtes täpselt keskel, vaid asub kolmandale filtrile kõige lähemal. Kanalis jaotub vesi kolme filtri vahel. Filtrite ette on paigaldatud mehaanilised sulgemisseadmed, et reguleerida sissevoolu filtritisse.

### 1.6.3. Ketasfiltrite keemiapesu Tartus

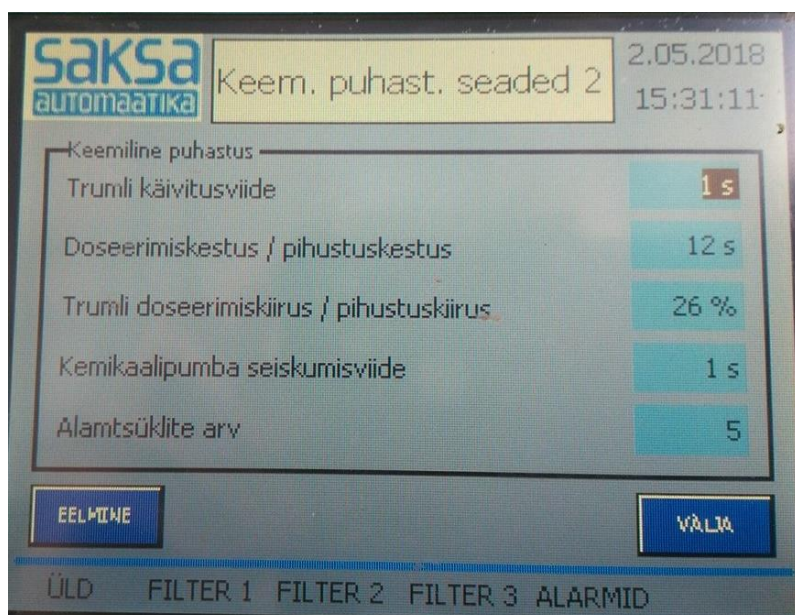
Filtrite keemiapesu jaoks on nende automaatikasse sisse programmeeritud keemilise puhastuse programm. Enne keemiapesu programmi käivitamist tehakse igakord düüsidele kontroll. Tagasipesu ja keemiapesu toimub läbi erinevate düüside. Keemiapesu düüsisse lastakse filtrite väljavoolu vesi (heitvesi) ning vaadatakse, kas düüsid pihustavad ühtlaselt. Kui leidub n.ö vigaseid düüse, mis ei pihusta mingil põhjusel korrektselt, siis need eemaldatakse ja vahetatakse uute vastu.

Pesutsüklil viiakse läbi kahe erineva kemikaaliga. Selleks kasutatakse vesinikkloriidhapet ja naatriumhüpokloriidi. Esmalt valmistatakse keemiapesu seadme mahutis (joonis 11) ette soolhappelahus. 30% kontsentratsiooniga soolhappe lahusest valmistatakse umbes 10%-ne lahus, nii et hapet lisatakse lahjendusvette. Pärast lahuse valmimist ühendatakse keemiapesuseade vooliku abil filtriga ja alustatakse puhastustsükliga.



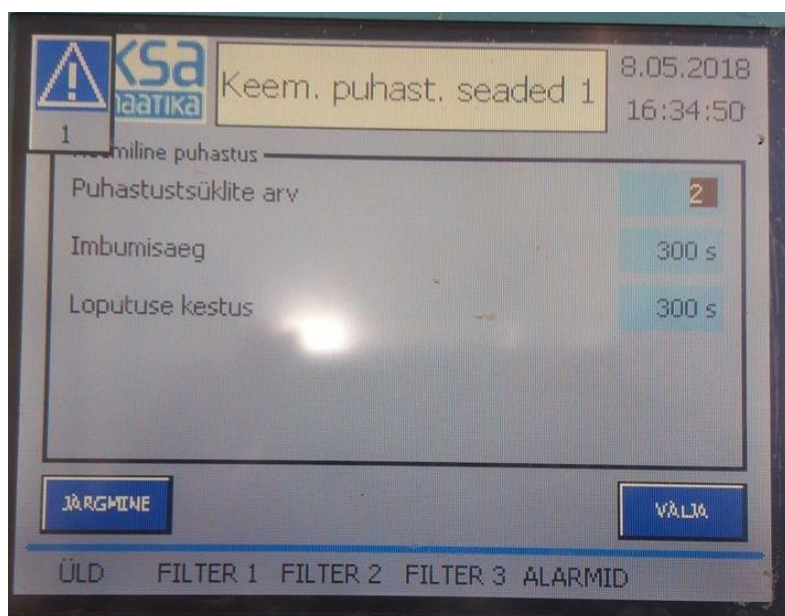
**Joonis 11.** Hydrotech ketasfiltrite keemiapesu seade (Veolia Water..., Hydrotech chemical..., 2018).

Iga puhastustsüklil hõlmab endas alamtsükleid. Tartu filtritel on ühel puhastustsükli 5 alamtsükli. Alamtsükliks pannakse paika kemikaali pihustamise kestvusaeg ja filtri pöörlemise kiirus sel ajal. Joonisel 12 on näha, et kemikaali doseerimine kestab 12 sekundit.



**Joonis 12.** Filtrite keemilise puhastuse alamsükli seadistus.

Sel hetkel pöörleb filter 26% kiirusega. See tähendab, et ajami mootori sagedusmuundur on vähendanud 50 Hz sagedust 26%. Sagedus 37 Hz annab filtri pöörlemiskiiruseks 1 täispööre minutis. Kui 12 sekundit on möödunud ja kemikaal pihustatud, kordub sama tsükkel uuesti. See tähendab joonise 12 alusel, et alamsükli viiakse läbi 5 korda. Pärast seda läheb puhastustsükkel edasi. Joonisel 13 on näha, et kemikaalil lastakse mõjuda 300 sekundit. Pärast seda viiakse läbi loputus. Loputusaeg kestab samuti 300 sekundit.



**Joonis 13.** Filtrite keemilise puhastuse põhitsükli seadistus.

Sellega on üks puhastusüksik lõppenud. Kuna Tartus on seadistatud filtrid nii, et need teeksid 2 puhastusüksikut järjest, algab eelpoolkirjeldatu uuesti.

Tartus on üks keemiapesu seade (joonis 11), mis tähendab seda, et kõigile kolmele filtrile tehakse järjest pesu happega. Näiteks, kui tehakse esimesele filtrile pesu, siis teised kaks jätkavad oma normaalset töökäiku seni, kuni kord on jõudnud nendeni. Kui kõik kolm filtrit on saanud happega pestud, jätkatakse filtri pesu naatriumhüpokloriidiga ehk klooriga. Oluline on jälgida, et keemiapesu seadme mahutid ja filtrid saaks veega täielikult puhataks pestud. Veega loputamine on vajalik seetõttu, et vältida mürgiste gaaside tekkimist kloori ja happe kokkupuutel. Alles siis, kui mahuti on saanud happest puhtaks, valmistatakse ette kloorilahus. Kloorilahuse jaoks valatakse mahutisse 80 l vett ja 40 l kloori, mille tulemusel saadakse suhe 1:2-le. Klooriga pesu toimub samamoodi nagu see oli happe puhul. Sarnaselt happesule korratakse ka klooripesu kaks korda. Tartu puhasti teostab keemiapesu harilikult kaks päeva. Esimesel päeval tehakse filtritele happe pesu ning järgmisel päeval teostatakse pesu klooriga.

## **1.7. Ketasfiltrite katsetused mujal riikides**

### **1.7.1. Ketasfiltrite tööparameetritega seotud katsed mujal riikides**

Ameerikas ja ka Euroopas on süvapuhastuses kasutuses olevad ketasfiltrid andnud reoveepuhastamises häid tulemusi (Rossi, 2014). Ketasfiltrite rajamise põhjusi ja tulemusi on kirjeldatud teistes riikides tehtud katsete näitel.

**Berliini Ruhlebeni** reoveepuhastis viidi läbi pilootkatse, kus uuriti reoveepuhasti väljavoolu puhastamist ketasfiltriga aastaringelt. Põhiliseks eesmärgiks oli saavutada hea ja stabiilne üldfosfori eemaldus. Berliini reoveepuhasti keskmine päevane sissevool puhastile on 247 000 m<sup>3</sup>/d. Katsetati erinevaid kemikaale, millest parima tulemuse andis alumiinium baasil koagulant ja katioone polümeer. Katseliselt tõestati, et ketasfilter oli võimeline eemaldama heitveest ligi 73% fosforit.

**Göteborgi Rya** reoveepuhastisse paigaldati ketasfiltrid põhjusel, et riigi poolt kehtestatud nõudmised suublasse juhitavale veele karmistused. Puhastisse paigaldati 32 filtrit, mis tegi sellest maailma kõige suurema ketasfiltritega reoveepuhasti. Puhasti keskmine päevane sissevoolu hulk on 373 000 m<sup>3</sup>/d. Enne ketasfiltrite rajamist oli sealse heitvee fosfori sisaldus

0,4-0,6 mg/l, peale ketasfiltrite paigaldamist pidi see olema 0,3 mg/l, kuid saavutati 0,2 mg/l. (Rossi, 2014)

Uuringute käigus selgus, et kuna bioloogilises puhastuses oli fosfori ärastuseks juba lisatud metallisoola, oli ketasfiltrite sissevoolus juba piisav osa fosforit mittelahustuval kujul (helbetena või heljumiga seotud). Seetõttu saavutati soovitud fosfori sisaldus ainult filtrimisega. Tulevikus, kui nõudmised peaksid karmistuma, on võimalik filtritele lisada ka täiendav keemiline süvapuhasus. (Rossi, 2014)

**Malmös Sjölanda** reoveepuhasti keskmine päevane sissevoolu hulk on 142 560 m<sup>3</sup>/d. Suublasse juhitava heitvee fosfori sisalduse piirarv on 0,3 mg/l, kuid arvatakse, et tulevikus võib see väheneda 0,2 mg/l peale. Puhastil katsetati ketasfiltreid pilootkatse abil. (Rossi, 2014)

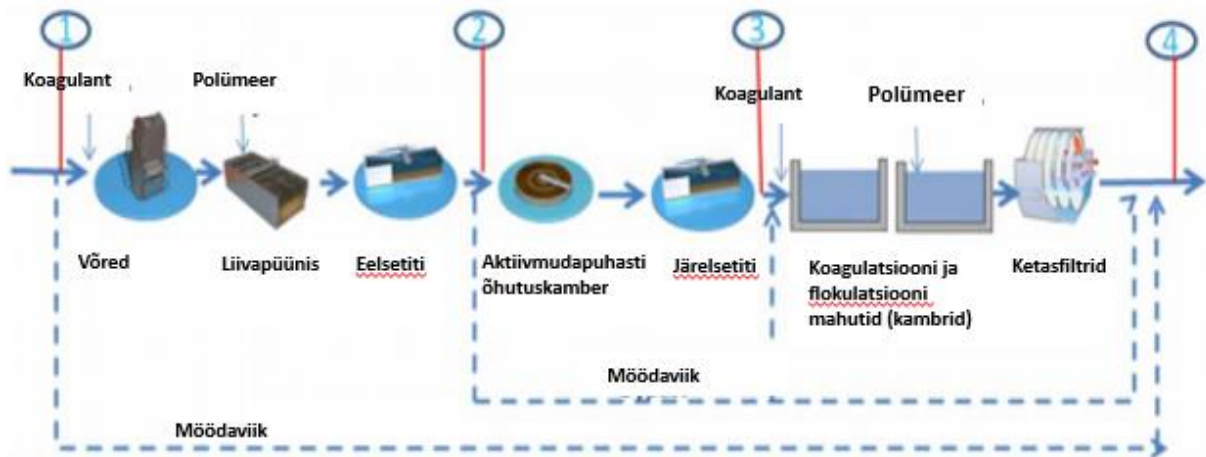
Katsete käigus kasutati 10 µm kangast. Keskmine fosfori ja heljumi sisaldus filtritele oli 0,38 mg/l ja 13 mg/l. Ilma kemikaali lisamata jõuti heljumi kontsentratsioonini 5 mg/l. Polümeeri lisamisel vähenes heljumi sisaldus vees alla selle ning fosfori sisaldus vees kuni 0,12 mg/l. Veel parem tulemus saadi, kui doseeriti nii koagulanti kui ka polümeeri. Sellise kombinatsiooni puhul saadi fosfori sisalduse tulemuseks 0,1 mg/l. Heljum vähenes ilma kemikaalideta 65%. Polümeeri lisamisel vähenes see 90% ning lisades veel koagulant saadi tulemuseks 95%. (Rossi, 2014)

**Massachusettsi Clintoni** reoveepuhasti keskmine päevane vooluhulk on 11 356 m<sup>3</sup>/d. Suublasse juhitava heitvee fosfori sisaldus oli 0,45-0,83 mg/l ja heljumi sisaldus 3-6 mg/l. Heitveele kehtestatud fosfori piirväärtus oli 1,0 mg/l, kuid alates 2014 aastast karmistusid need kuni 0,15 mg/l peale. Selgus, et koagulandi ja polümeeri lisamisel on võimalik saavutada isegi madalam fosfori sisaldus heitvees, kui 0,15 mg/l. Fe<sub>3</sub>Cl asemel võeti kasutusele alumiinium baasil koagulant. (Rossi, 2014)

### 1.7.2. Trollhätten Arvidstorp reoveepuhasti

Trollhättani Arvidstorpi reoveepuhasti on sarnane Tartu reoveepuhastiga. Samuti on mõlemal puhastil ketasfiltrite rajamise põhjus sarnane. Seetõttu on siin kohal väga hea välja tuua üks hästi töötav reoveepuhasti, kus on esindatud täiendav süvapuhasus ja ketasfiltrid.

Trollhättani reoveepuhasti on projekteeritud koormusele 62 000 inimekvivalenti. Trollhättani reoveepuhasti sissevoolu vesi koosneb eelkõige inimtegevuse tagajärjel tekkinud reoveest. Arvidstorpi reoveepuhasti on aktiivmudapuhasti, millede puhastus etapid on näidatud joonisel 14.



**Joonis 14.** Trollhättani Arvidstorpi reoveepuhasti skeem (Kängsepp *et al* 2016)

Selles reoveepuhastis rajati viimase astme puhastus põhjusel, et suublasse juhitava vee nõudmised karmistunud. Fosfori sisaldus puhasti väljavoolu veel ei tohtinud olla kõrgem kui 0,3 mg/l.

Selles puhastis kasutatakse koagulanti ja polümeeri nii esimeses, kui ka kolmandas puhastus etapis. Koagulandina kasutatakse raudkloriidi. Esimeses puhastus etapis doseeritakse koagulanti vahetult enne võresid, et saavutada tugevama struktuuriga heljumi osakesed. Kui on moodustunud tugevamad heljumi osakesed lisatakse liivapüünistesse polümeeri, mis sealse õhustamise kõigus seguneb kiirelt veega. Selline protsessi käik võimaldab anda kiirema ja parema tulemuse eelsetitamisel. (Kängsepp *et al* 2016)

Järgmiseks etapiks on bioloogiline puhastus. Bioloogiline puhastus toimub aktiivmuda õhutuskambril, mis on eelkõige mõeldud eemaldamiseks BHT-d ja lämmastikku. Pärast bioloogilise puhastuse etappi järgneb sellele järelsetid.

Aastal 2013 rajati puhastile üks puhastus etapp juurde. Uus etapp algas pärast järelseteid. Etapp koosneb koagulatsioonile ja flokulatsioonile mahutitest, mis täidavad täiendava süvapuhasuse rolli. Koagulatsioonile ja flokulatsioonile järgnevad kuus ketasfiltrit (Kängsepp *et al* 2016).

Trollhättani puhasti on oma pindalalt väike. Piiratud pindala oli põhjuseks, miks valiti viimase astme puhastusse ketasfiltrid. Iga filter koosneb 18-st ketast, millede paneelidel on 10 µm-d kangad, moodustades sellega filtrimis pindala 812 m<sup>2</sup>. Ketasfiltrite valimisel/projekteerimisel arvestati puhastile sissetuleva vooluhulgaga 2700 m<sup>3</sup>/h. Sellest umbes 1800 m<sup>3</sup>/h on tulnud pärast järelsetiteid. Ülejäänud 900 m<sup>3</sup>/h on vooluhulk, mis tugevate vihmajude ajal juhitakse möödaviiguna bioloogilisest puhastusest ja järelsetitites mööda. Mõlemad veevoolud segunevad enne koagulatsiooni ja flokulatsiooni mahuteid. Koagulant doseeritakse eraldi seisvas mahutis, kus mikseri abil on tagatud vee segunemine kemikaaliga. Seejärel suunatakse vesi järgmisse mikseriga mahutisse, kus doseeritakse polümeeri, et tekiks veelgi suuremad heljumi osakesed. Pärast seda suunatakse vesi ketasfiltritesse ja sealt edasi juba suublasse. (Kängsepp *et al* 2016).

Pärast viimase etapi lisamist Arvidstorpi reoveepuhastile on sealse puhasti väljavoolu vees oleva fosfori sisaldus alla 0,3 mg/l. Parimaks tulemuseks mõõdeti fosfori sisaldus 0,16 mg/l (Kängsepp *et al* 2016).

## 2. KETASFILTRITE TÖÖPARAMEETRITE UURIMINE

### 2.1. Tüüpüksed ketafiltrite tööparameetrite uurimiseks

#### 2.1.1. Tagasipesu protsendi leidmine

Tagasipesu protsent (edaspidi BW%, inglisekeeles *backwash*) on üks näitajatest, mida katsete käigus vaadeldi. Leitav väärtus (BW%) näitab filtri filtreerimis võimet ja selle näidu suurus oleneb ühtlasi ka sellest, millisele koormusele on filter projekteeritud. Kui protsent väärtus on suur, siis näitab see, et koormus filtrile suur. Kui koormus filtrile on sama aga tagasipesu protsendi väärtus tõuseb näitab see, et paneelid hakkavad ummistuma ning filter vajab keemiapesu.

Üks pesutsükkel kestab tagasipesu algusest kuni järgmise tagasipesu alguseni. Protsendi arvutamiseks mõõdetakse stopperi abil tagasipesu aeg. Seejärel mõõdetakse n.ö staatiline aeg, mil filter ei ole pesu režiimis. Staatiline aeg lõppeb, kui filter alustab uuesti tagasipesuga. Kogu tsükli aeg saadakse, kui summeeritakse pesu ning staatiline aeg. Tagasipesu protsent arvutatakse valemi (2.1) järgi.

$$BW\% = \frac{t_{wash}}{t_{tot}} * 100\%, \quad (2.1)$$

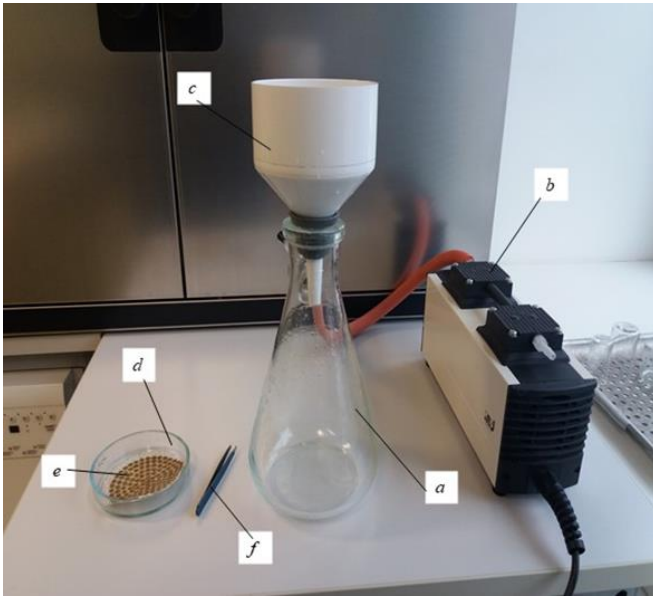
kus BW% on leitav tagasipesu protsent;

$t_{wash}$  - tagasipesu aeg s;

$t_{tot}$  - kogu tsükli aeg s.

### 2.1.2. Heljumi määramine

**Heljumi** eemaldamise efektiivsus on filtrite puhul väga oluline. Heljumisisalduse mõõtmiseks tuleb esmalt valmistada ette seade, mille abil toimub heljumi määramine. Bunseni pudeli külge ühendatakse vaakumpump. Pudeli otsa pannakse Büncheri lehter ning selle peale filterpaber. Joonisel 15 on näidatud heljumi määramiseks vajalikud seadmed.



**Joonis 15.** Heljumi määramiseks vajalikud seadmed: *a* Bunseni pudel, *b* vaakumpump, *c* Büncheri lehter, *d* Petri tass, *e* filterpaber, *f* pinsetid.

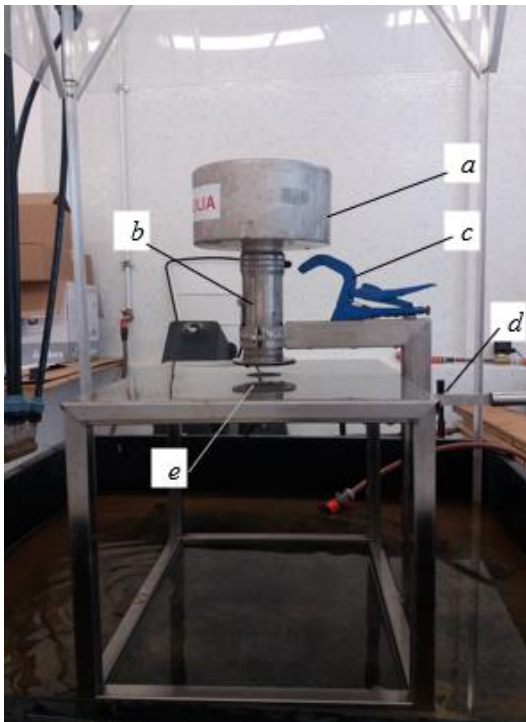
Katse sooritamisel tuleb esmalt võimalikul täpsel kaalul kaaluda filterpaber. Seejärel tuleb filterpaber asetada Petri tassi. Sellega tagatakse filterpaberi puhtus ja kaalu muutumatus. Järgmiseks tuleb võtta veeproov, millel heljumit soovitakse määrata ja see mõõtesilindris mõõta. Seejärel tuleb filterpaber tõsta Petri tassist lehtrisse, mis asetati pudeli otsa. Nüüd tuleb käivitada vaakumpump ja aegamisi valada kogu veeproovi vesi filterpaberile.

Vaakumpump aitab vee kiiremini filterpaberist välja tõmmata ning paberi kuivemaks teha. Kui kogu vesi on suunatud läbi filterpaberi, tuleb pump välja lülitada ja vaakum vabastada. Seejärel tuleb märg filterpaber tõsta ettevaatlikult pintsettide abil Petri tassi tagasi ja panna see kuivatuskappi kuivama. Oluline on jälgida, et kõik proovid saaksid kuivada ahjus vähemalt tund aega ja 105 C° juures. Kuivatamine on vajalik, et kogu niiskus oleks eemaldatud. Pärast kuivatamist tuleb Petri tassid koos filterpaberitega tõsta jahtuma eksikaatorisse. Proovid peaksid jahtuma vähemalt üks tund. Pärast jahutamist tuleb filterpaberid uuesti kaaluda. Heljumi sisaldus vees arvutatakse mõõtmistest saadud tulemuste abil. Nendeks on filterpaberi kaal enne ja pärast heljumi proovi võtmist ning veehulk, mis suunati läbi filterpaberi.

### 2.1.3. ET-test katse ja seadme kirjeldus

Ketasfiltrite valmistajatehas Hydrotech pakub filtri paneelide uurimiseks spetsiaalset *ET-testi* (lühend inglisekeelsest sõnast varustus, *equipment*) seadet. Katse käigus hinnatakse filtri paneeli hüdraulilist vee läbilaksevõimet ning tema võimet kinni pidada heljumit.

ET katsestend kujutab endast roostevaba terasest pukki (joonis 16), mille keskel asub ringikujuline ava (joonis 16, viide *e*), ning kuhu peale paigutatakse uuritav filtri paneel.



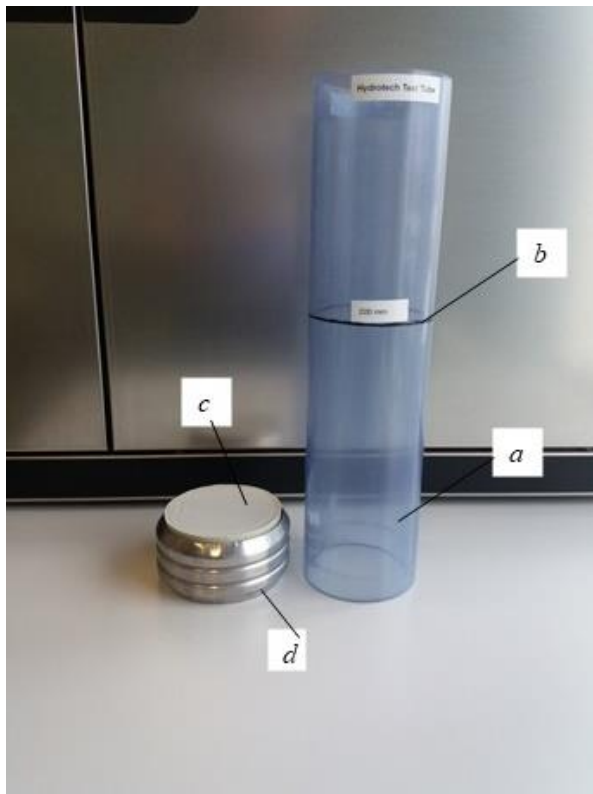
**Joonis 16.** *ET-test* katse seade: *a* suur silinder (2 l), *b* väike silinder (~0,75 l), *c* käsisulgur, *d* kang klapi sulgemiseks, *e* ava sulgemiseks/avamiseks mõeldud kang.

Ava on võimalik klapi abil sulgeda ja avada. Klapp suletakse käsisulguri abil, mis asub seadme all (joonis 16, viide *d*). ET seadmele on ehitatud külge kaks kontsentrilist ning erineva diameetriga silindrit, mis on üksteisega liidetud. Alumise silindri külge on keevitatud roostevaba rõngas, mille all on kummitihend. Tihendi abil välditakse vee lekkimist filterpaneeli ja seadme vahelt.

Katse jaoks läheb vaja umbes 2,75 l vett. Selleks, et tagada filter kangale vajalik minimaalne rõhk (200 mm nagu ka reaalsetes oludes) ning täita kogu alumine silinder (joonis 16, viide *b*) veega läheb vaja umbes 0,75 l vett. Suurema silindri jaoks, mis asub väiksema peal, on vaja 2 l vett (joonis 16, viide *a*).

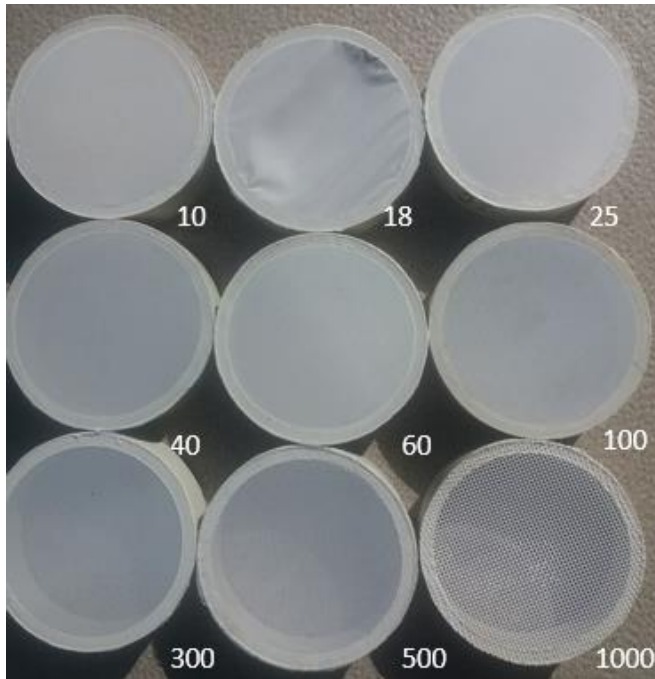
#### 2.1.4. *Test-tube* katse ja seadme kirjeldus

Kanga valimiseks oludes, kus puhastatava heitvee omadused ei ole teada, tuleks teha *test-tube* katse. Sellise katse abil on võimalik kiirelt ja efektiivselt määrata filtreerimisvõimsus ja heljumi eraldamise efektiivsus. Joonisel 17 on näidatud *test-tube* kasutatavad katse seadmed.



**Joonis 17.** *Test tube* katse seaded: *a* gradueeritud toru, *b* filter kangale nõutud rõhk (200mm), *c* filtertoorik, *d* kummitihendiga klamber.

Katse seadmeks on läbipaistev gradueeritud PVC toru, mis on umbes 300 mm pikk ja läbimõõduga 75 mm (joonis 17, viide *a*). Seadme juurde kuulub kummitihendiga klamber (joonis 17, viide *d*), selleks et filtertoorikud paigaldada tihedalt ümber katsetatava toru. Filtertoorikute kangad on poorsusega 10 - 1000  $\mu\text{m}$ . Joonisele 18 on märgitud numbrid, mis iseloomustavad konkreetse tooriku kanga võrgusilma suurust.



**Joonis 18.** Filtritoorikud võrgusilma suurusega 10 - 1000  $\mu\text{m}$ .

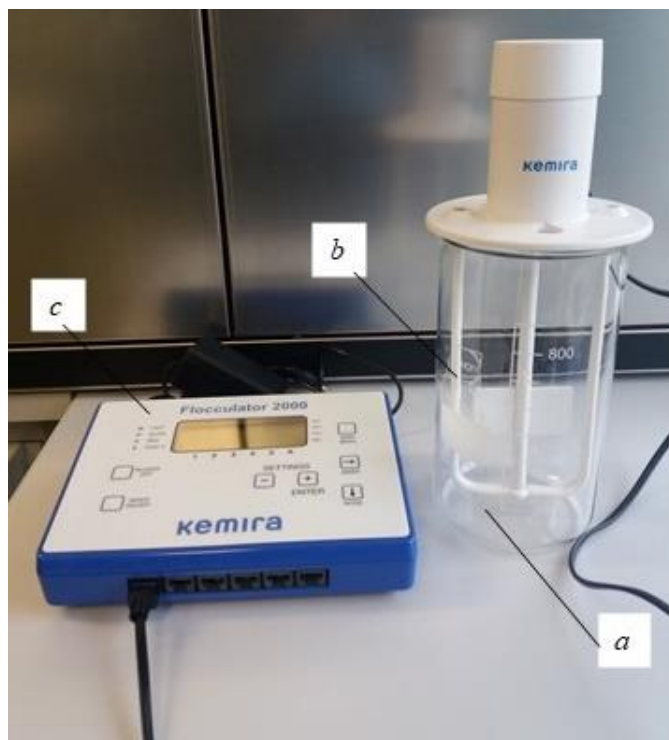
Suurused on esitatud mikromeetrites. Enne katse alustamist on soovitatav panna filtritoorikud puhtasse kraanivette seisma, et nad vettiksid. Kuivalt on uus filterkangas hüdrofoobne.

Katset sooritades tuleb valitud filtritoorik esmalt kinnitada klambri abil tihedalt katsetatava toru külge. Järgmiseks on vaja välja mõõta 1 l reovett või heitvett. Filterkangale peab mõjuma teatud rõhk (200 mm nagu ka reaalsetes oludes). Seetõttu on oluline valada vesi torusse võimalikult kiiresti, et vajalik rõhk oleks võimalikult kiiresti tagatud. Kohe, kui vesi on hakanud läbi filterkanga tilkuma, tuleb käivitada stopper. Mõõdetakse kui palju vett läbib filter kangast 10 sekundi jooksul.

Katses on oluline jälgida, et peale igat katset saaks seade põhjalikult puhastatud. Filtritoorikud tuleb peale katseid loputada kraaniveega ja seejärel keemiliselt pesta. Keemiapesul kasutatakse esmalt 10%-st vesinikkloriidhapet ja seejärel kloori lahust. Hape pihustatakse filtritoorikute peale ja lastakse mõjuda ca 2 minutit. Pärast happega pesemist on oluline, et hape saaks korralikult veega maha pestud. Seejärel tohib filtritoorikute kanga peale pihustada kloorilahust ning lasta sel mõjuda samuti umbes 2 minutit ning siis see uuesti maha pesta. Väga oluline on jälgida, et vesinikkloriidhape ja kloorilahus ei puutuks omavahel kokku, sest nende omavahelisel reaktsioonil tekivad mürgised gaasid. (Guidelines,...bench-scale..., 2018)

### 2.1.5. Jar-test katse ja seadme kirjeldus

Konkreetselle reoveele sobiv koagulant ja flokulant ning nende vajalik doos määratakse katseliselt. Jar-test sooritatakse harilikult koos *test-tube* katsega. Joonisel 19 on näidatud jar-test katse jaoks vajalikud seadmed.



**Joonis 19.** Jar-test katse seaded: a) gradueeritud katseklaas, b) mootoriga mikser, c) kontrolleri seade.

Katseks on vaja gradueeritud klaasi/purki (joonis 19, viide a), millel on mootoriga mikser (joonis 19, viide b). Mootoriga mikserile on külge ühendatud kontrolleri seade (joonis 19, viide c), millega seadistatakse mikseri pöörlemiskiirus ja -aeg.

Esmalt tuleb katseklaasi valada 1 l reovett või heitvett. Järgmiseks tuleb seade seadistada nii, et esimesel 10 sekundil teeks mikser 400 pööret. Peale 10 sekundit tuleb kiirust alandada nii, et mikser teeb järgmise 4 minuti jooksul 50 pööret. Esimese 10 sekundi jooksul, kui mikser pöörleb kiirel kiirusel tuleb lisada ka kemikaal (nt. polümeer).

## 2.2. Katsete eesmärk Tartu filtrite uurimisel

Uurimustöö käigus soovitakse saada hea ülevaade Tartu puhastis olevate ketasfiltrite saavutatavatest vee puhastamise tulemustest. Seal juures koguda infot nende hooldamisest ja

töö tingimustest. Uuritakse filtrite tööd mõjutavate parameetrite (heljum, fosfor, hägusus). näitajaid ja nende ärastust. Oluliste parameetrite näitajate välja selgitamiseks tehakse laboratoorseid katseid, kui ka välikatseid reoveepuhastil.

*ET-testi* abil soovitakse välja selgitada, milline on nende hüdrauliline vee läbilaskevõime ning kuidas see muutub ajas. Seal juures vaadeldakse, kas kõik kolm filtrit on ühtlaselt koormatud. Samuti uuritakse ka, kui kiiresti ummistuvad erinevate filtrite paneelid ning kas see sõltub paneeli asukohast filtris. Veel uuritakse, kui sage on filtrite keemiapesu ja kas see puhastus on piisav, et puhastada paneel ummistusest. Tulemuseks on vaja saavutada paneelile uue paneeliga (katsetes märgistatakse uus paneel tähisega PH-puhas paneel) sarnane läbilaskvusvõime.

Teiseks soovitakse saada ülevaade filtrite tagasipesu sagedusest ning kas see erinev kolme filtri vahel. Selle info kogumiseks (tagasipesu registreerimiseks) paigaldatakse filtritele vastavad andurid.

*Test-tubi* ja *jar-testis* katsetes soovitakse välja selgitada, millised kemikaalid ja nende kogused on puhastile omasele veele kõige sobilikumad. Sellega seoses soovitakse vähendada heljumi ja hägususe näitajaid heitvees. Kuna puhastil on probleeme muda väljakandega, mis tõttu ka filtrid ummistuvad. Vaadeldakse ka erinevate heljumi sisaldusete reovett. Soovitakse teada saada, kui suured peaksid olema kemikaalide doosid, kui esineb mudaväljakanne.

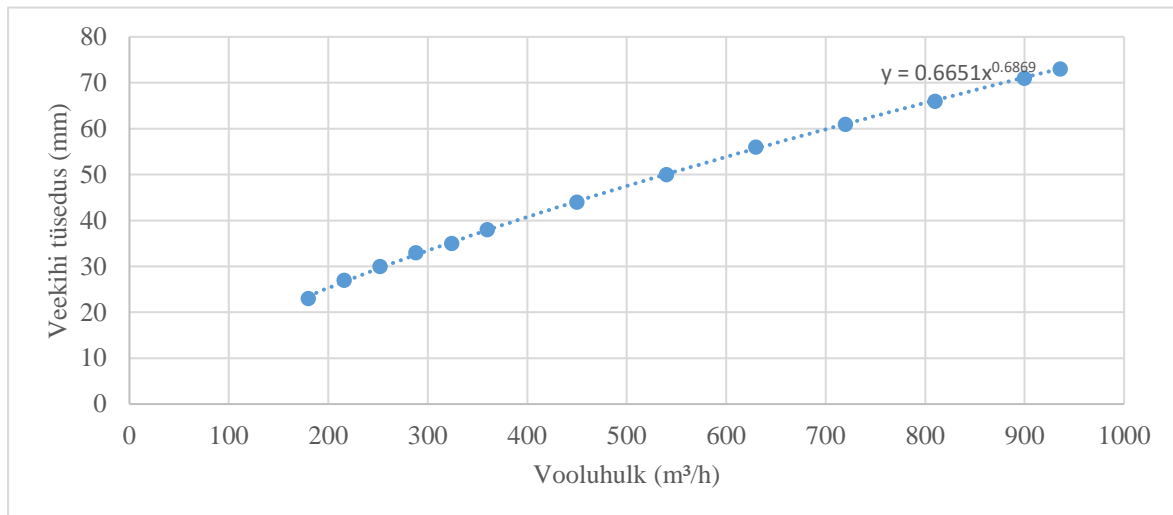
Lõppeesmärgiks on välja selgitada, milline oleks parim kombinatsioon ketasfiltrite tööks, nii et oleks jälgitud kemikaalide kulu, tööjõukulu, energia kulu ja hüdraulilist vee läbilaskevõimet.

## **2.3. Katsete metoodiline kirjeldus**

### **2.3.1. Hüdrauliline koormus**

Ketasfiltrite läbiv vooluhulk võimaldab näha, kas filtrid on ühte moodi koormatud ning kas läbilaskvus on sama. Tartu Veevärgis mõõdetakse suublasse juhitava heitvee vooluhulka mõõturiga, mis asub väljavoolukaevus, kuhu suunatakse nii filtritest, kui ka filtrihoonest möödajuhitud vesi. Kuna vaid osa veest juhitakse läbi ketasfiltrite, osa aga võidakse juhtida läbi möödaviigu, siis ei olnud teada, kui palju vett läbis igat filtrit. Seetõttu tuli esmalt mõõta või määrata iga ketasfiltri vooluhulk.

Ketasfiltrite automaatika võimaldab mõõta veetaset iga filtri sisse- ja väljavoolus ühe sekundi tagant. Joonisel 20 on Hydrotechi poolt väljastatud seos veetaseme ja vooluhulga vahel. Veetase filtri väljavoolul saadakse, kui fikseerida veetase filtri väljavoolul siis, kui sissevoolu ei ole (null nivoo). Vastavalt veekihi tusedusele on võimalik leida väljavoolu hulk.



**Joonis 20.** Vooluhulga ja veetaseme seos (Hydrotech, 2018).

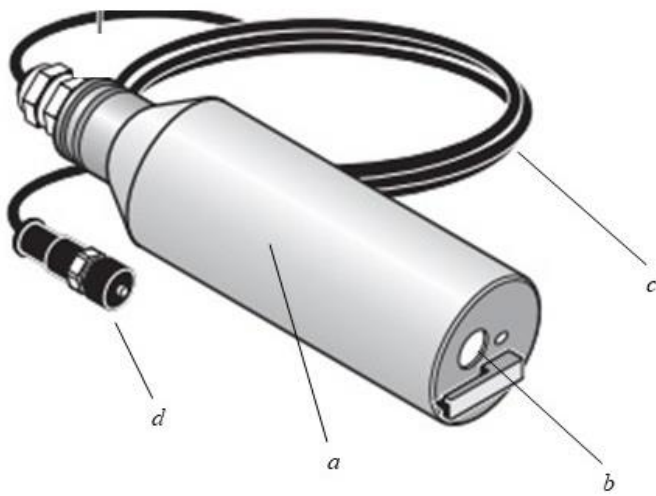
### 2.3.2. Hägusus

#### Töö reoveepuhastis

Hägususe uurimiseks paigaldati filtri sisse- ja väljavoolule mõõteriistad. Seadmed on silindrilise kujuga, millede otsas asub hägususe mõõtmise andur. Ette antud paigaldamisenõuete järgi tuleb andur paigaldada mahuti põhja suhtes horisontaalselt. Andur peab olema vähemalt 30 cm mahuti põhjast kõrgemal ja ei tohiks vabalt vees liikuda. (Hach, 2009) Andurid on ühendatud kaabliga Hach automaatikaploki (SC1000) külge, kuhu jooksevad hägususe näitajate väärtused. Andmeid on võimalik mälukaardi vahendamisel laadida arvutisse.

Andurid paigaldati selleks, et näha hägusust reaalajas. Reoveepuhasti eelnev kogemus viitas sellele, et kolmas filter ummistub kõige kiiremini. Seetõttu paigaldati andurid filtri nr. 3 sisse- ja väljavoolule. Andurid paigaldati 01.02.2018 ja eemaldati 14.05.2018.

Joonisel 21 on kujutatud hägususe andurit, joonisel 22 on näidatud Tartu Veevärki paigaldatud anduri asend.



**Joonis 21.** Hach Solitax sc DOC023.54.03232 hägususe andur (Hach, 2009). *a* korpus, *b* hägususe andur, *c* ühendus kaabel, *d* kaabli ühendus automaatikaplokki.



**Joonis 22.** Hach hägususe andur AS Tartu Veevärk kangasfiltril nr. 3.

### Töö laboris

Katsete käigus määrati hägusust ka laboris. Tavaliselt määratakse hägusus sissetuleval veel ning seejärel igal katsel eraldi enne filtrimist ja kemikaalide lisamist ning pärast filtrimist ja kemikaalide lisamist. Kasutatud on Aqua Lytic Turbidimeter AL250T-IR seadet. Hägusus on

esitatud NTU ( $NTU=FNU$ ) ühikuna. Enne mõõtmist kalibreeriti seade standardlahusega vastavalt juhendile.

### 2.3.3. Tagasipesu

Arusaamaks, kui sage on tagasipesu kõigil kolmel filtril ja kas see erineb filtrite vahel, paigaldati filtritele seade, mis mõõdab tagasipesuvee aja kestvust. Andurid ühendati vastava automaatploki taha. Andmed salvestuvad automaatselt mälukaardile. Joonisel 23 on näidatud seade, mis paigaldati igale filtrile rõhu manomeetri juurde. Selle abil mõõdeti tagasipesu aega.



Joonis 23. Seade filtrite tagasipesu mõõtmiseks

### 2.3.4. Heljum ja fosfor

**Fosforit määratakse** laboratoorses katsetes Merck TR 620 ja NOVA 60 seadmete abil. Selleks täidetakse küvetid (5 ml) heitveega, millel soovitakse fosforit määrata. Seejärel pannakse küvetid TR 620 seadmesse, kus neid keedetakse 120 C° juures 30 minutit. Pärast keetmist tuleb lasta proovidel jahtuda, kuni nad on saavutatud toatemperatuuri. Edasi

tilgutatakse proovidesse kahte erinevat reagenti. Seejärel lastakse neil veega reageerida 5 minutit ning siis pannakse küvett seadmesse NOVA 60, kus fosfor määratakse spektrofotomeetriliselt.

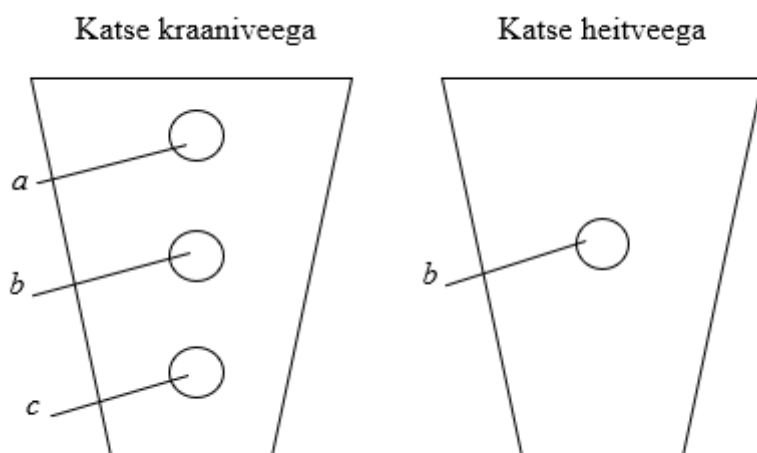
**Heljumi määratakse** konkreetsetes töös veel, millega hakatakse katset tegema (sissevoolu vesi) ja pärast igat katset (*test-tube*, *jar-test* ja *ET-test*).

### **2.3.5. ET-test**

Uurimis töös teostati *ET-test* katseid ajavahemikul 20.11.2017-04.05.2018. *ET-test* viidi läbi iga nädalal, väljaarvatud aegadel, mil tehnilistel põhjustel esines puhastil tõrkeid, mis segasid testi tegemist. Mõõtmised sooritati Maaehituse ja veemajanduse õppetooli laboris.

Katse toimus tsükliliselt. See tähendab, et tsükel algab siis, kui paneelidele on sooritatud keemiapesu ning lõpeb siis kui paneelid vajavad uuesti keemiapesu. Katse ajavahemikul sooritati neli tsüklit. Tsüklite algusajad on järgmised: 19.11.17, 25.01.18, 23.02.18, 29.03.18. Viimane mõõtmine tehti 04.05.2018 ning sellega lõppes ka viimane tsükel. 19.11.17-11.12.18 on nimetatud edaspidi tsükel number 1-ks, 25.01.18-23.02.18 on tsükel number 2, 23.02.18-29.03.18 on tsükel number 3 ning 29.03.18-04.05.18 on tsükel number 4.

Test sooritatakse iga kord nii kraanivee, kui ka heitveega. Kraaniveega tehakse katseid ühel paneelil vähemalt kolmes kohas, paneeli ülemises ääres, keskel ja all ääres. Iga sellise katse puhul määratakse kui palju läheb aega, et 2 l kraanivett läbiks filtri kanga. Joonisel 24 on näidatud katsetatavad asukohad paneelidel nii heitvee, kui ka kraaniveega tehtud katse puhul.



**Joonis 24.** Katsetatavad asukohad paneelil: *a* paneeli üleval, *b* paneeli keskel, *c* paneeli all.

Heitvesi toodi kanistritega Tartu reoveepuhastist ning see võeti ketasfiltrite sissevoolult. Selle katse puhul seati katseseadme alla ainult uuritava paneeli keskpaik. Katse on oma iseloomult samasugune nagu oli seda kraanivee puhul. Heitvee puhul tuleb jälgida, et katse teostatakse kohe kui vesi on silindrisse valatud. See on oluline, kuna heitvesi sisaldab heljumit ning kui sellel lasta silindris seista sadestub, siis see sadestuks kiirelt filter kanga pinnale, mille tõttu ei ole tulemus enam täpne. Erinevus kraanivee sooritatud katsesest seisneb selles, et heitveega tehtud katses tuleb mõõta vee hulka, mis läbis kanga 10 sekundi jooksul. Katse seadme alla tuleb asetada mahuti, kuhu läbivoolav vesi koguda. Kogutud vesi mõõdetakse mõõtesilindris. (Guidelines,...ET-equipment..., 2018)

See katse võimaldab määrata filterpaneeli hüdraulilise vee läbilaskvuse muutumise ajas ja kindlaks määrata, millise sagedusega peaks teostama filtritele keemiapesu. Esimene mõõtmine tehakse puhaste paneelidega, st. kohe pärast keemiapesu, et määrata, kas keemiapesuga on saavutatud uutele filterpaneelidele omane maksimaalne hüdrauliline läbilaskvus. Seejärel teostatakse sama paneeliga teatud ajavahemiku möödudes (nt. iga nädal) mõõtmine sama meetoodika alusel. Sellisel viisil saadakse teada, kui palju on paneeli hüdrauliline läbilaskvus muutunud biokile tekke või raua ja alumiiniumsoolade väljasadenemise tõttu filterkanga poorides.

*ET-testis* uuriti kõiki kolme filtrit reoveepuhastis. Selleks eemaldati kõigilt filtrilt kolm paneeli ning asendati need valmistajatehasest saadud n.ö asenduspaneelidega. Paneelid asendati

selleks, et filter saaks jätkata oma normaalset töökäiku mõõtmise teostamiseks kulunud aja jooksul. Paneelid eemaldati iga filtri algusest (ketas nr. 2), keskelt (ketas nr. 10) ja lõpust (ketas nr. 19). Oluline on jälgida, et katses kasutatavad paneelid on alati ühed ja samad. Samuti tuleb jälgida, et samad paneelid paigaldatakse peale *ET-testi* alati samasse kohta tagasi. Selleks, et saada alati üks ja see sama paneel tuleb paneelid märgistada. Joonisel 25 on näidatud, kuidas käesolevas töös värviti paneeli plastkorpus erksat värvi, et oleks lihtne eristada, kus uuritav paneel asub.



**Joonis 25.** Paneeli asukoha märgistamine.

Lisaks sellele, et on vaja rangelt jälgida, kas paneel on alati ühes ja samas ketta segmentis, tuleb hoolikalt jälgida ka seda, kust paneel on võetud, et need omavahel vahetusse ei läheks. See tähendab seda, et iga paneeli peale tuleb märkida, kas paneel pärineb filtri algusest, keskelt või lõpust. Joonisel 26 on näha märgistus paneeli metallärel F3KESK. Tähis annab teada, et paneel pärineb kolmandast filtrist ja keskmisest kettast. Tulemusi kirjeldatakse peatükis 2.4.4



**Joonis 26.** Paneeli märgistamine.

### **2.3.6. *Test-tube ja jar-test***

*Test-tube* ja *jar-test* sooritati harilikult samal ajal. *Jar-test* katses katsetati erinevaid kemikaale ja nende doose. Katseid viidi läbi mitmel korral. Kuna vesi oli võetud pärast järelsetiteid, tähendas see seda, et vesi sisaldas juba puhastis tavapäraselt kasutatavat koagulanti. Et kindlaks teha, kas raudsulfaadi kogus on juba niigi piisav, viidi läbi katsed, kus doseeriti sama koagulanti juurde. Lisaks viidi läbi katsed kuue erineva polümeeriga (edaspidi nimetatakse polümeerid vastavalt P1, P2, ..., P6). Polümeerid P1 ja P2 saadi Tartu Veevärgist ning ülejäänud neli (P3-P6) Hydrotechilt. Tabelis 2 on väljatoodud kasutatud polümeeride omadused.

**Tabel 2.** *Jar-test* katsetes kasutatavad polümeerid

Polümeeri tüüp	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Laeng	K	K	A	K	K	K
Suhteline laeng	H	M	L	H	H	L
Suhteline molekulimass	VHM	VHM	HM	VHM	HM	HM
Esinemis vorm	P	P	P	P	P	P

Märkused:

1. Tähis „K“ tähendab, et polümeer on positiivse laenguga ioon ehk kation.
2. Tähis „A“ tähendab, et polümeer on negatiivse laenguga ioon ehk anioon.
3. Tähis „H“ tähendab, et polümeeri suhteline laeng on kõrge (inglise keeles *high*)
4. Tähis „M“ tähendab, et polümeeri suhteline laeng keskmine (inglise keeles *medium*)
5. Tähis „L“ tähendab, et polümeeri suhteline laeng on madal (inglise keeles *low*).
6. Tähis „VHM“ tähendab väga kõrget polümeeri molekuli massi (inglise keeles *very high molecular weight*).
7. Tähis „HM“ tähendab kõrget polümeeri molekuli massi (inglise keeles *high molecular weight*).
8. Tähis „P“ tähendab, et polümeer on pulbri kujul.

Katsetes kasutati pulbrilisi polümeere. Polümeeri vesilahuse valmistamiseks võeti 100 ml destilleeritud vett ja lisati 0,1 g polümeeri pulbrit. Polümeeri lahus valmis magnetsegajal vähemalt ühe tunni möödudes. Polümeere doseeriti heitveele erinevates doosides, et katsetada, millised kogused on kõige sobilikumad. Kuue polümeeri seast valiti välja kaks. Üks neist valiti välja kahe polümeeri seast, mis pärines Tartu Veevärgis kasutatavatest. Teine polümeer valiti välja nelja Rootsist saadud polümeeride seast. Polümeerid valiti välja katses tulemuste alusel. Kahte valitud polümeeri katsetati neljas erineva heljumi kontsentratsiooniga vees. Pärast *jar-test* katset, kui helbed olid moodustanud, tehti saadud veega *test-tub* katse. *Test-tub* katses kasutati kahte erineva poorsusega kangast ja vaadeldi, milline kombinatsioon on kõige sobilikum konkreetsele heitveele. Katseid tehti nii 10 µm kanga, kui ka 18 µm kangaga. Katsete tulemused on kirjeldatud peatükis 2.4.7.

## 2.4. Tulemused ja arutelu

### 2.4.1. Tartu reoveepuhasti koormuse uurimine ja nende mõju filtritele

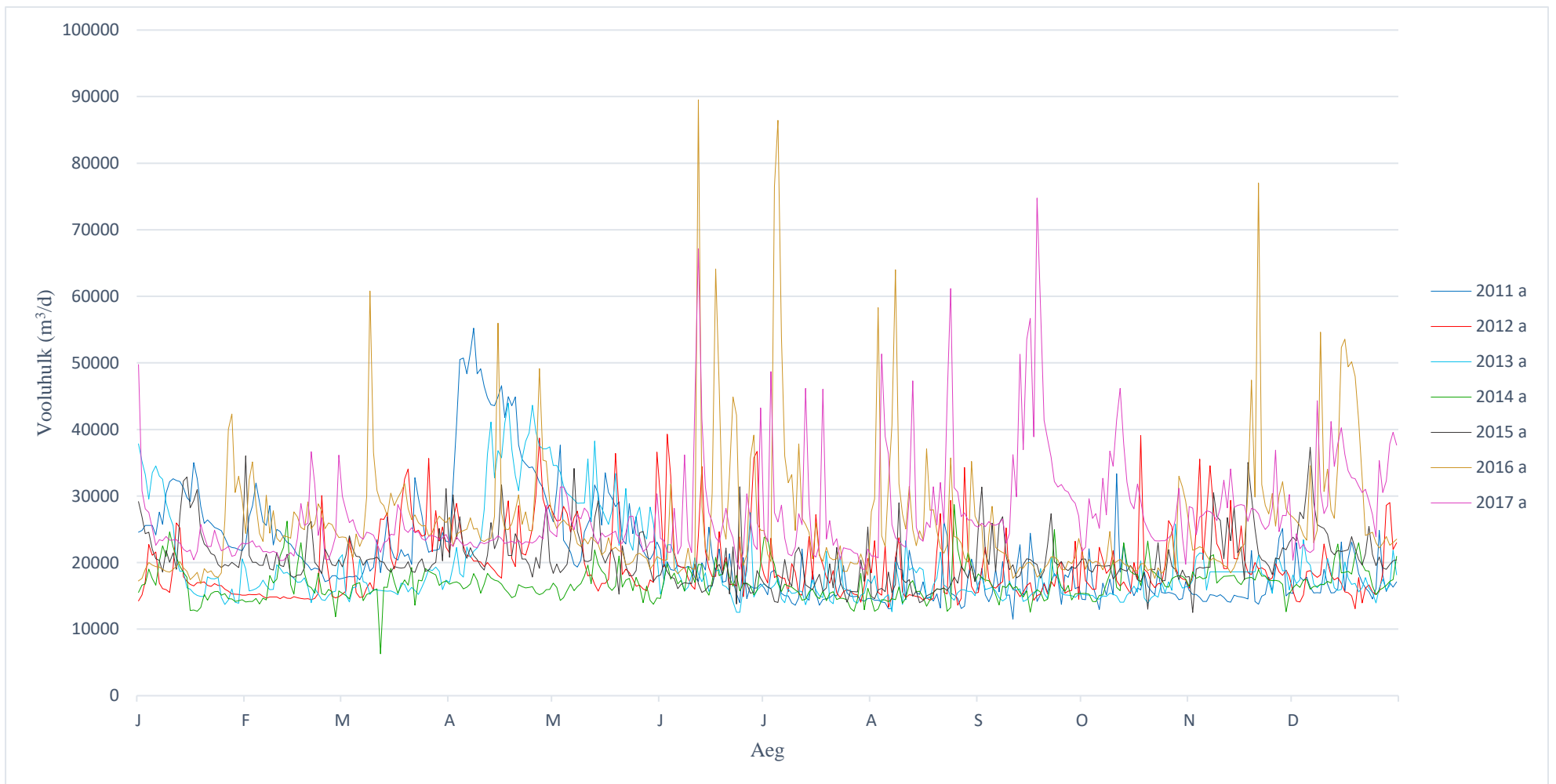
Ketasfiltrite uurimise käigus uuriti puhasti iseloomu ja sealse reovee omadusi. Põhilised vaadeldi puhastatud reovee vooluhulkasi ning kuidas on muutunud heljumi ja fosfori sisaldus väljavoolu vees. Tartu puhastile paigaldati ketasfiltrid aastal 2013. Seetõttu uuriti puhasti iseärasusi enne ja pärast filtrite paigaldamist.

Tabel 3 näitab puhasti sissevoolu veele kehtestatud projekteeritud, kui ka tegelikke parameetreid. Tabeli alusel saab öelda, et puhasti koormus on kasvanud. Tabelit analüüsid on näha, et kõigi reoainete hulk on eelmise aasta seisuga kasvanud ning ületanud projekteeritud parameetreid. Ainuke parameeter, mis ei ületanud 2012 aasta projekteeritud parameetreid oli keskmine vooluhulk.

**Tabel 3.** AS Tartu Veevärk puhasti hüdrauliline koormus ja reostuskoormus (AS Tartu Veevärk, 2018)

	Projekteeritud parameetrid (Metaantank, 2006)	Projekteeritud parameetrid (Sweco, 2012)	Tegelikud parameetrid aastal 2017
Ööpäevane keskmine sissevool puhastisse $Q_{\text{dkesk}}$ (m <sup>3</sup> /d)	28000	33000	28810
Biokeemiline hapnikutarve BHT <sub>7</sub> (mg/l)	295,71	167,27	352,0
Keemiline hapnikutarve KHT (mg/l)	514,28	517,24	901,0
Heljum HA (mg/l)	357,14	251,51	404,0
Üldfosfor TotP (mg/l)	10,7	8,48	12,5
Üldlämmastik TotN (mg/l)	51,42	46,96	64,9

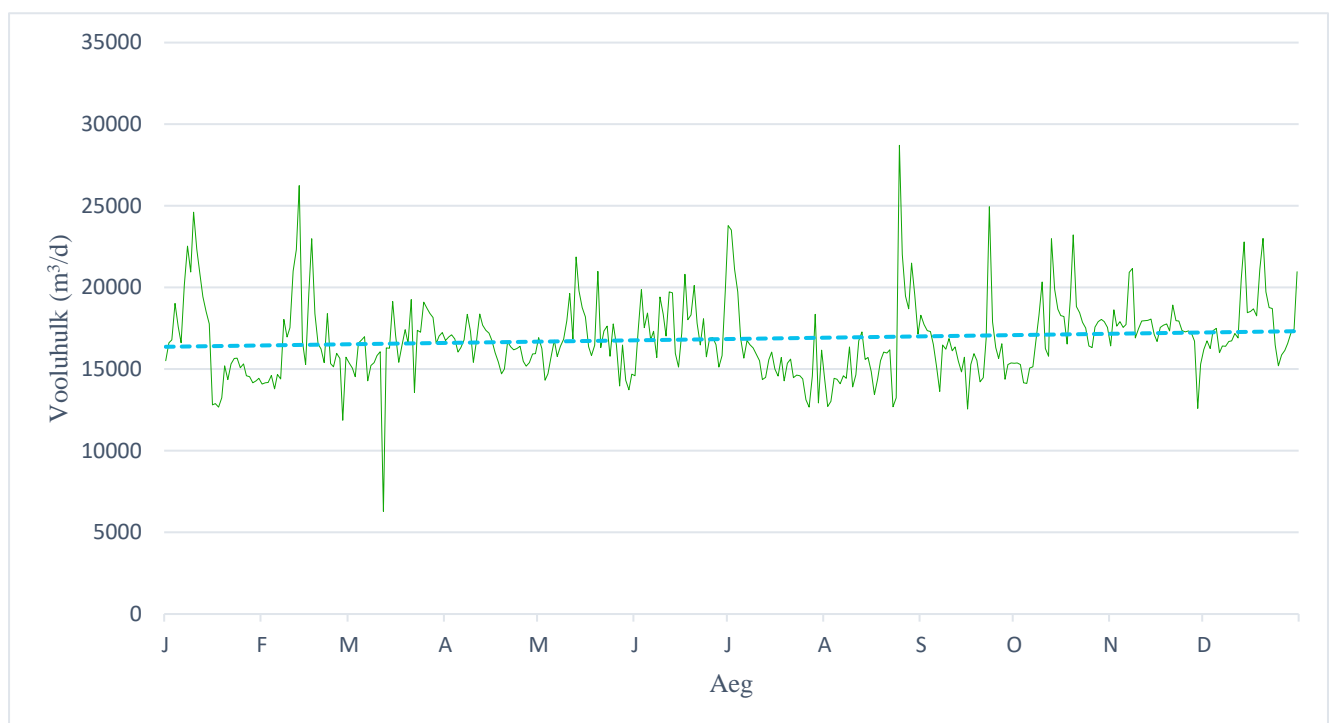
Joonisel 27 on väljatoodud reovee puhasti puhastatud vee vooluhulgad. Puhastatud vee vooluhulk on võrreldav puhastile sissetuleva vee vooluhulga, kuna tava olukordades suunatakse kogu sissetulev vesi läbi puhasti.



**Joonis 27.** Heitvee vooluhulgad aastatel 2011-2017.

Tulemusi analüüsidest selgus, et aastate vooluhulga graafikud on oma olemuselt väga erinevad. Kevadisi ja sügiseisi suurvee piike ei esinenud sugugi kõigil aastatel. Aastad 2011 ja 2013 on olnud oma vooluhulkade suhtes sarnased aastad. On näha, et kevaditi esineb kummalgi aastal piik, mis tuleneb põhiliselt sademetest ja lumesula veest. Teistel ülejäänud aastatel sellist kordust aga ei esinenud.

Märkimist vajab ka aasta 2014, mis oli vaadeldavate aastate kõige madalama vooluhulgaga aasta. Samuti ei esinenud aastal 2014 silmapaistvaid piike. Joonisel 28 on näha, et sügisel ja kevadel on küll ööpäevane keskmine vooluhulk kasvanud ning suvel on see pigem madalam olnud, kuid üldiselt on aasta olnud üsna ühtlase trendiga.



**Joonis 28.** Heitvee vooluhulgad aastal 2014.

Tulles tagasi joonise 27 juurde on näha, et just viimase kahe aasta vooluhulga näitajad on märkimisväärselt kõrgemad, kui on olnud see eelnevatel aastatel. Selgelt joonistub välja ka 2016 aasta palju tähelepanu saanud suured vihmajärged, mis kindlasti mõjutasid puhasti koormust. Üks väga suur vihmajärg esines 21. juunil, kus tunniga sadas maha ligi 30 mm sademeid (Mets et al 2016). Teine vihmajärg hoog Tartus 2016 aastal oli 3. juuli, kus sadas tunnis maha umbes 20 mm sademeid (Mets et al 2016). Aastal 2017 esinesid suuremad vihmajärged 11. juunil ja 21. septembril. Jooniselt 27 on selgelt näha, et just nendel päevadel on ka puhastatud heitvee vooluhulgad kasvanud. Sellised looduslikud ilmingud on kindlasti mõjutanud puhastile sissetulevate vooluhulkade suuruseid.

Tabelis 4 on väljatoodud kõigi analüüsis olevate aastate ööpäevane keskmine puhastatud vee vooluhulk. On näha, et viimastel aastatel on vooluhulk aastate lõikes olnud kasvavas trendis. Võrreldes aastat 2014 (ketasfiltrite tööle asumise aasta) aastaga 2017 on päeva keskmine vooluhulk kasvanud rohkem kui 10 000 m<sup>3</sup> võrra, mis tähendab, et nelja aastaga on ööpäevane keskmine puhastatud heitvee vooluhulk kasvanud umbes 38%.

**Tabel 4.** AS Tartu Veevärk reoveepuhasti ööpäevane keskmine heitvee vooluhulk ööpäevas aastate lõikes (AS Tartu Veevärk, 2018)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Q <sub>dkesk</sub> (m <sup>3</sup> /d)	21287	19698	19467	16846	20512	26141	27271

Lisaks vihmahoogudele, kahel viimasel aastal, on vooluhulga kasvu mõjutanud ka kasvav klientide arv. Tabelis 5 on väljatoodud AS Tartu Veevärgi klientide arv aastatel 2010-2017. On näha, et aastal 2011 on Tartu klientide arv 7205 ning aastaks 2017 on see tõusnud 10080 peale. See tähendab, et 7 aastaga on klientide arv Tartus kasvanud umbes 28%. Lisaks Tartule on olnud klientide arvu trend kasvav ka Ülenurme vallas, Tartu vallas ning lisaks on ka liitunud Lohva vald.

**Tabel 5.** AS Tartu Veevärk klientide arv (AS Tartu Veevärk, 2018)

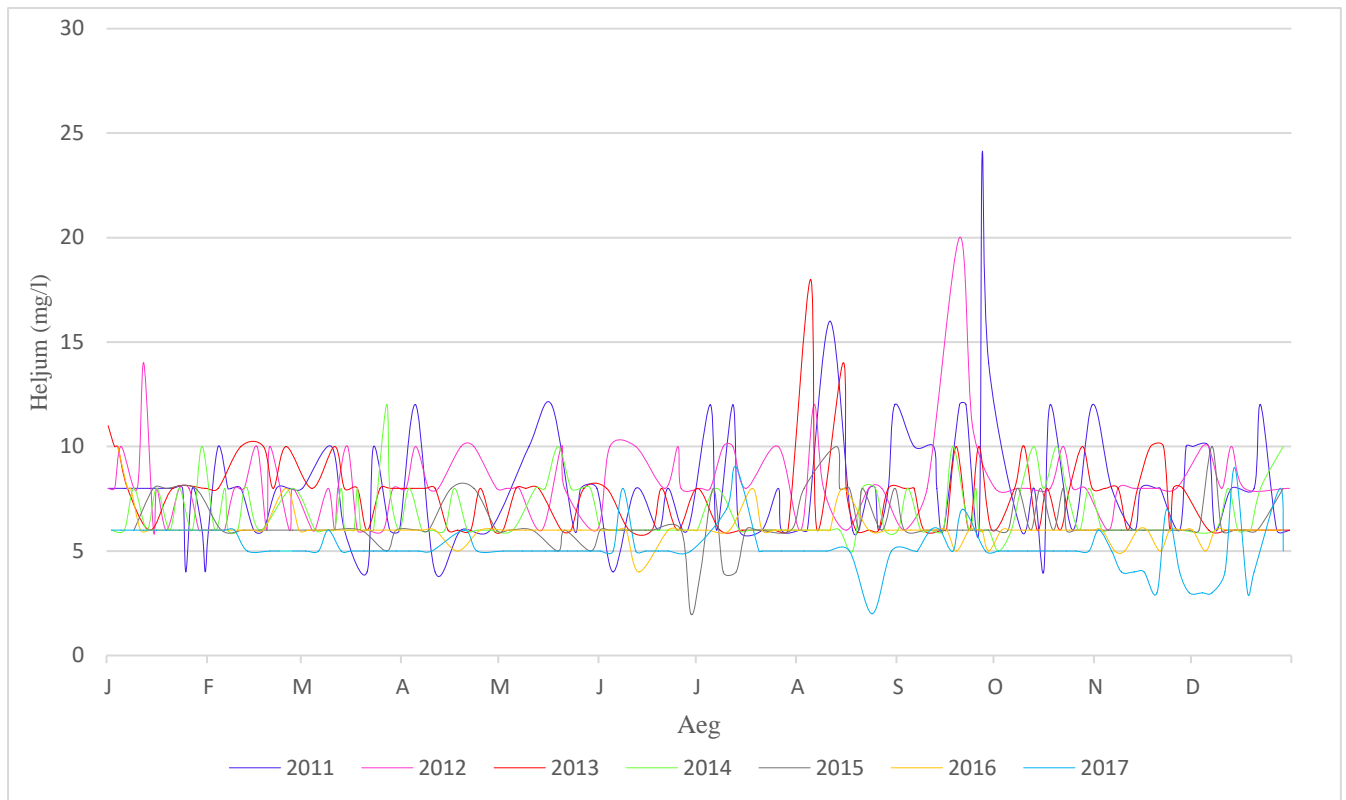
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Klientide arv Tartu linnas	6823	7205	7589	7986	8497	8960	9538	10080
Klientide arv Ülenurme vallas	52	220	298	330	353	378	425	467
Klientide arv Tartu vallas	82	105	125	136	147	160	184	228
Klientide arv Lohkva vallas	0	0	0	0	0	0	0	93

Filtrite (10 µm kangaga) installeerimisel oli esitatud heljumi sisalduse piirväärtus, mis võib filtritele juhtida, 50 mg/l ja maksimaalne vooluhulk 936 m<sup>3</sup>/h. Kuna filtreid on kolm, mis kõik

on töös, siis 50 mg/l heljumi kontsentratsiooniga maksimaalne vooluhulk, mida filtritele võib suunata on 2808 m<sup>3</sup>/h. Kui vaadelda näiteks joonist 27 ning 2016 aasta 21 juuni ööpäeva keskmist puhastatud reovee vooluhulka on see umbes 90 000 m<sup>3</sup>/d, mille keskmine tunnivoolum on umbes 3750 m<sup>3</sup>/h. Kuna Tartu ei mõõda puhastist möödajuhitud (möödaviik) vee hulka (vt. joonis 8), võib eeldada, et ainuüksi puhastile tulnud veehulk oli veel suurem. Sellisel juhul on näha, et kolm filtrit ei suudaks sellist vooluhulka arvatavasti vastu võtta, kuid see oleneb heljumi kontsentratsioonist filtrite sissetulevas vees. Maksimaalne päeva keskmine vooluhulk, mida kolm filtrit suudavad vastu võtta, heljumi kontsentratsiooni 50 mg/l juures, on arvutuste kohaselt 67 392 m<sup>3</sup>/d. Selline number kehtib siis, kui filtrite ees olevad siibrid (vt. joonis 10) on 100% lahti keeratud.

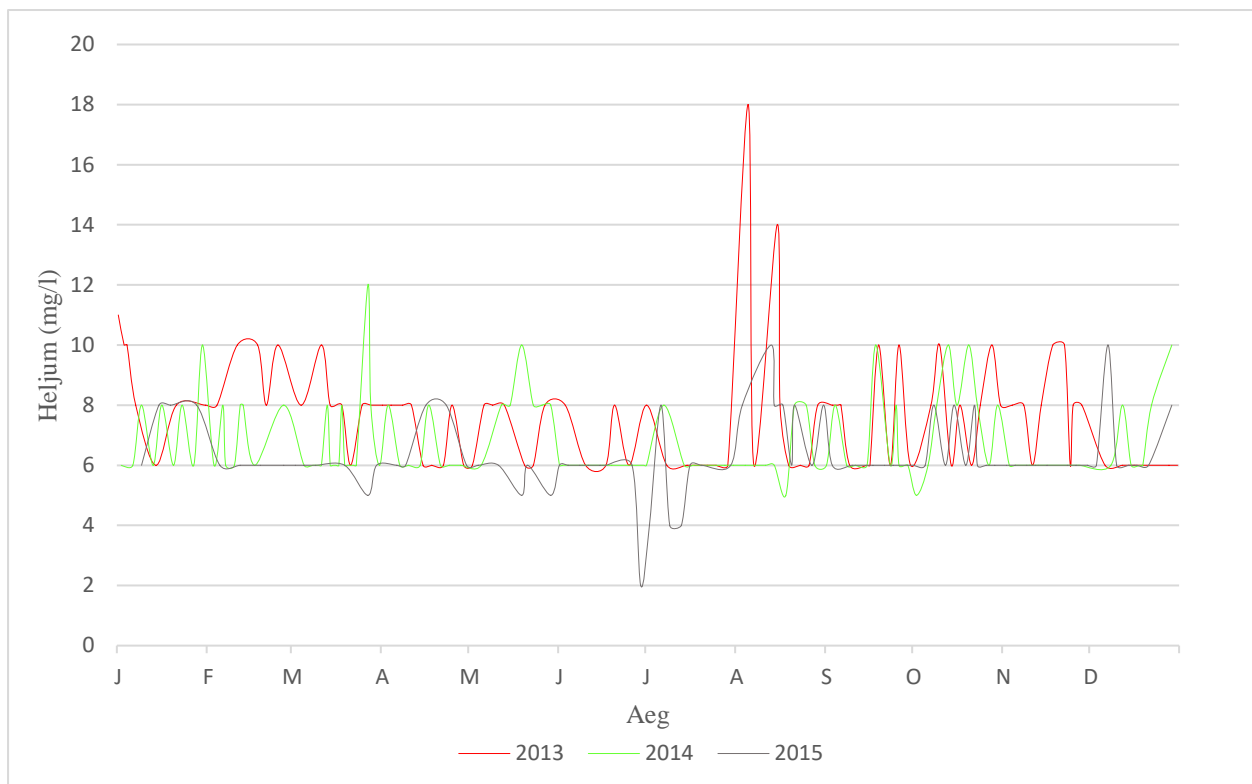
Tartu puhastil olevate ketasfiltrite sissevoolud on enamasti ajast lahti umbes 30-50% või koguni vähem. Filtrid ei ole täielikult avatud, kuna püütakse vältida bioloogilisest puhastusest pärineva muda sattumist ketasfiltritesse. Nagu selgus joonisest 27, et esinevad väga suured vooluhulgad, mis ei ole puhasti süsteemile tavapärane, siis see põhjustab järelsetititest muda väljakande. Muda väljakande korral jõuab väga suure heljumi sisaldusega vesi (möödetud maksimaalne hägususe näitaja oli umbes 600 FNU, mis vastab ca 900 mg/l heljumi kontsentratsioonile) ketasfiltriteni ning seetõttu ummistuvad filterkangad ja võivad puruneda. Tava olukordades (see tähendab olukord, mil ei esine muda väljakannet ja heljum on madalam, kui 50 mg/l) on keskmine heljumi sisaldus umbes 5-12 mg/l või isegi vähem. Muda väljakande ajal võib heljumi sisaldus olla paljugi suurem, mis tähendab seda, et maksimaalne vooluhulk, mida võib filtritele juhtida, on palju väiksem. Maksimaalse vooluhulga väärtus on seoses heljumi sisaldusega.

Joonisel 29 on graafik heljumi sisaldusest. Proovid on võetud väljavoolul kaskaadilt. Joonise eesmärgiks on näidata, et ketasfiltrite rajamisel on heljumi sisaldus suublasse juhitud vees vähenenud. Ketasfiltrit paigaldati puhastile 2013, kuid oma tööd alustasid nad 2014 aastal.



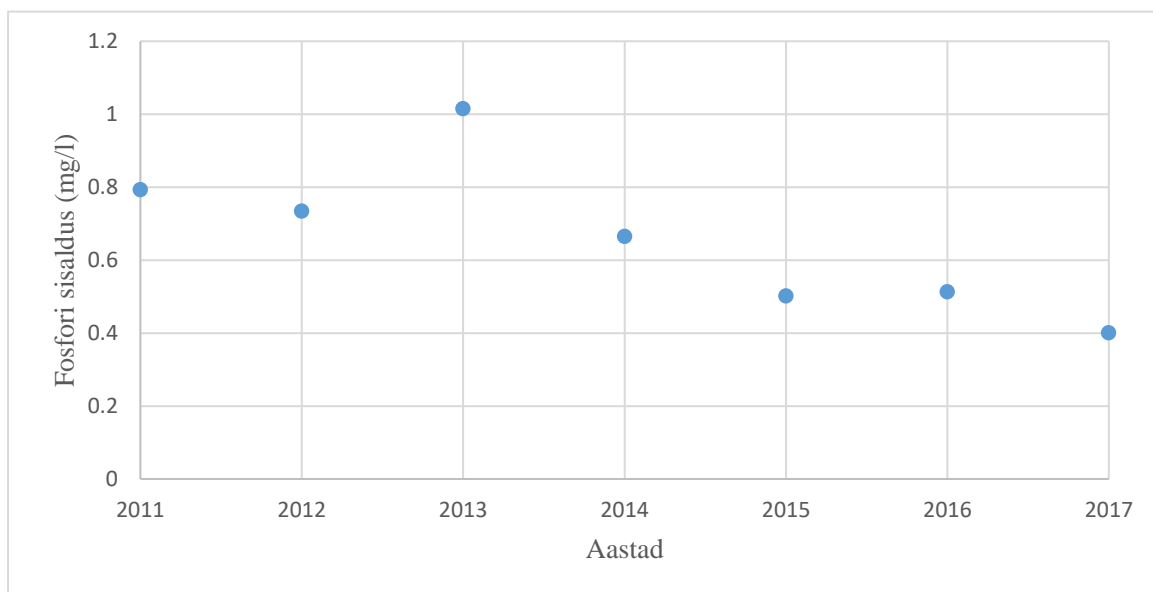
**Joonis 29.** Heljumi sisaldus väljavoolu veel kaskaadil aastatel 2011-2017.

Joonisel 30 on eraldi välja toodud kolm aastat. Üks aasta enne ketasfiltrite tööle hakkamist ja üks aasta peale ketasfiltrite tööle hakkamist. Jooniselt on näha, et punane joon ehk 2013 aasta heljumi sisaldus väljavoolu veel kaskaadil on olnud teistest järgnevatest kahest aastast kõrgem. Hall joon iseloomustab aastat 2015, kus on hästi näha, et heljumi sisaldus väljavoolu veel kaskaadil on tunduvalt vähenenud. Olgugi, et eest pool olevad tabelid (vt. tabel 2) tõestasid, et sissevoolu vee kontsentratsioonid reoveepuhastisse on suurenenud. See näitab, et tänu ketasfiltritele on heljumi sisaldus suudetud siiski hoida madalal.



**Joonis 30.** Heljumi sisaldus väljavoolu veel kaskaadil aastatel 2013, 2014, 2015.

Lisaks vooluhulga ja heljumi analüüsile vaadeldi ka fosfori näitajaid aastatel 2011-2017. Veevärgi veeproovide analüüsile põhistel andmetel on heljumist tulenevat fosforit väljavoolu vees umbes 10-50%. Joonisel 31 on näidatud üldfosfori sisaldus väljavoolu vees aastatel 2010-2017. Jooniselt on näha, et alates aastast 2014 on üldfosfori sisaldus väljavoolu vees hakanud kahanema. Võib arvata, et see on seotud kangasfiltritega, mis koos heljumi eemaldamisega vähendavad mittelahustunud fosfori sisaldust heitvees.



**Joonis 31.** Üldfosfori keskmine sisaldus heitveel kaskaadil aastatel 2010-2017.

## 2.4.2. Energia-, hooldus- ja kemikaalikulu

Puhastil on oluline jälgida, et kõik puhastus etapid oleks kuluefektiivselt opereeritud. Üks kuluallikateks puhastil on kemikaalid. Tabel 6 kirjeldab kemikaalide kulu, mis puhastil kulus eelmise aasta jooksul.

**Tabel 6.** AS Tartu Veevärk puhastile kulunud kemikaalid ja nende maksumus (AS Tartu Veevärk, 2018)

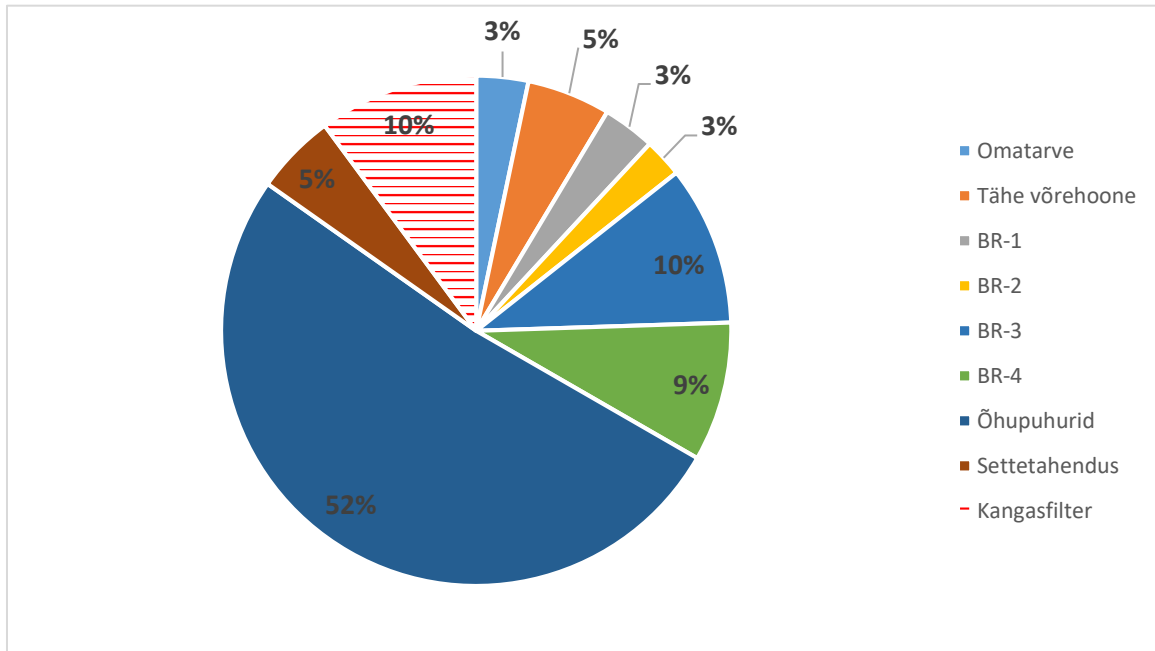
Kasutatav kemikaal	Kulunud kemikaal aastal 2017 (t)	Kulunud kemikaali hind aastal 2017 (€)
<b>Ketasfiltrite hoolduseks:</b>		
Soolhape	0,31	303,33+km
Naatriumhüpokloriid	0,33	341,87+km
<b>Reoveepuhastuse teistes protsessides:</b>		
Raud(II)sulfaat	401,4	59 540,60+km
Polümeer 1	13,9	38 610,0+km
Polümeer 2	7,9	21 014,0+km

Märkused:

1. Tähis „Polümeer 1“ on flokulant, mida kasutatakse eelseti ja järelseti muda tihendamiseks.
2. Tähis „Polümeer 2“ on flokulant, mida kasutatakse muda tahendamiseks.

Tabelis 6 on näha, et ketasfiltrite keemiapesuks kulub puhastil kõige vähem kemikaale võrreldes reoveepuhastusse kuluvate teiste kemikaalidega. Soolhapet läks eelmine aasta kokku 0,31 t ja naatriumhüpokloriidi 0,33 t. Kõige suurem kulu on fosfori sadestamiseks vajalikul kemikaalil ehk raudsulfaadil. Raudsulfaati kulus eelmine aasta 401,4 t. Suurusjärgult teine kemikaal, mida kulub koguseliselt kõige rohkem on muda tahendamiseks vajalik polümeer. Sellele järgneb teine polümeer, mida kasutatakse muda tihendamiseks.

Joonisel 32 on näidatud järgmist kulu allikat, mis on elektrienergia. Joonisel on välja toodud möödunud aasta elektrienergia kulu.



**Joonis 32.** AS Tartu Veevärk energiakulu aastal 2017.

Joonise põhjal saab öelda, et kõige suurem elektrienergia kulu on õhupuhuritel. Õhupuhurite abil toimub bioloogilise puhastuse aeratsioon. Vaadeldes kõiki nelja bioreaktorit on näha, et BR-3 ja BR-4-le kulub kõige rohkem energiat. Selline suurus on tulnud sellest, et bioreaktorite elektrikulu hulgas on ka aktiivmudapumpla kulu ehk siis tagastust- ja liigmudapumbad.

Käesolev töö uurib ketasfiltrite tööd antud puhastil, mis tõttu on oluline teada, kui suured on ketasfiltrite kulud arvestades kogu puhasti kulutusi. Jooniselt 32 on näha, et ketasfiltrid (joonisel viirutatud ala) oma elektrienergia näitaja poolest ei moodusta sugugi suurt osa kogu puhasti elektrienergia kulust. Ketasfiltrite energiakulu oli aastal 2017 10% kogu puhasti energiakulust.

Ketasfiltrite puhul ei saa vaadelda ainult elektrienergia näitajaid. Muud kulud, mis kaasnevad filtritega on välja toodud tabelis 7. Tabelis on välja toodud hooldustöödeks kulunud tunnid 2017 aastal. Tabelisse on pandud keskmised sagedused hooldustöödel, kuid võib olla juhuseid, kui seda tehakse tihedamini. Seda just muda väljakande tõttu, mis tähendab seda, et hooldustööde tundide arv võib olla veel suurem. Tabeli viimases veerus on näidatud, kui palju minuteid kulub aastas ühe 1 m<sup>2</sup> filterpinna hooldamiseks. Tartusse on paigaldatud 456 m<sup>2</sup> filter pinda (kolm filtrit kokku arvestatud).

Umbes 58,84 minutit aastas kulub ühele ruutmeetrile kangasfiltri hooldamiseks. Kõige rohkem aeganõudev hooldustöö on filtrite keemiapesu. Teine kõige aeganõudvam tegevus filtrite juures on pesudüüside kontroll ja puhastamine. Võrreldes Tartu puhastit teiste reoveepuhastitega, siis näiteks Rya Göteborg puhastil kulub filtrite hooldamiseks aastas 38 minutit ühele ruutmeetrile (Rossi, 2014). Arvidstrop puhastil aga 21,6 minutit aastas ühele ruutmeetrile (Kängsepp *et al* 2016). Põhjus, miks Tartu puhastil kulub poole rohkem aega filtrite hooldamiseks võib olla seotud muda väljakandega. Seda suure (>50 mg/l) heljumi sisalduse tõttu filtrite sissevoolu vees. Hoolduskulud võiksid väheneda, kui installeerida isepuhastuvad düüsid ja tagasipesu pumba filtrid.

**Tabel 7.** AS Tartu Veevärk ketasfiltrite hooldamistööd (AS Tartu Veevärk, 2018)

Hooldustöö	Sagedus	Tundide arv aastal 2017	Min/aastast/m <sup>2</sup>
Keemilinepesu	8 nädala järel	192	25,26
Pumba filtri puhastamine	Iga nädal	52	0,68
Pesudüüside kontroll ja puhastamine	Iga 3 nädala järel	144	18,95
Muud hooldused	Vastavalt hooldusjuhendile	106	13,95
	<b>Kokku</b>	<b>494</b>	<b>58,84</b>

### 2.4.3. Tartu puhasti ketasfiltrite vooluhulgad

Ketasfiltrite vooluhulga mõõtmiste tulemustena saadi kolme filtri nullnivood. Esimesel filtril oli selleks 450 mm ning teisel ja kolmandal mõõdeti 466 mm. Väljavoolu veesamba ja Hydrotechi poolt väljastatud graafiku (vt. 2.3.1 joonis 20) alusel leiti iga filtri väljavoolu hulk. Väljavoolu tase fikseeriti automaatika poolt iga sekundi tagant. Vooluhulga mõõtmis tulemused on mõõdetud ajavahemikul 01.02.2018-05.05.18. Joonisel 33 on näidatud kõigest mõned päevad, kuidas vooluhulga graafik saadi. Selline lühike periood iseloomustab piisavalt hästi ketasfiltrite väljavoolu hulkasi puhastis. Jooniselt on näha vooluhulga erinevused. See on tingitud sellest, kui palju on sissevoolu siiber avatud. Sellise joonise alusel on näha, palju ketasfiltritele sissevool tegelikult on. Üldiselt peaksid kolme filtri vooluhulga graafikud jooksmas võrdselt, kuid võib esineda olukordi, kus kolmanda filtri sissevool on madalam kui teistel, kuna see filter on kõige problemaatilisem ja väga tundlik muda väljakande suhtes. Üldjoontes püütakse kõigile kolmele filtritele tagatakse alati võrdne sissevool. Filtrite sissevoolu siibrid on manuaalselt keeratavad, seega võib esineda olukordi, kus mõne filtri sissevool on pisut kõrgem või madalam. Seda seetõttu, et kuna siibri manuaalsel keeramisel ei ole võimalik tagada täielikku täpsust. Jooniselt on näha, et kuni 13nda aprillini on keskmine

tunnine vooluhulk umbes 75-90 m<sup>3</sup>/h olgugi, et üks filter on võimeline vastu võtma kuni 936 m<sup>3</sup>/h, mis tähendab seda, et filtrid on avatud umbes 8-10 %. Katsetuse käigus prooviti ka olukordi, kus siiber oleks täielikult avatud ehk filtrile suunatakse maksimaalne vooluhulk, mida ta on võimeline vastu võtma. Sellised perioodid olid aga väga lühiajalised, kuna kardeti muda väljakannet ning sellisel juhul oleks siibri täielik avatus põhjustanud palju kahju. Jooniselt on näha ka väikseid vooluhulga erinevusi näiteks tunni aja jooksul. Sellised piigid võivad tekkida see tõttu, et siibreid käiakse aeg ajalt lahti ja kinni keeramas-kontrollimise mõttes.

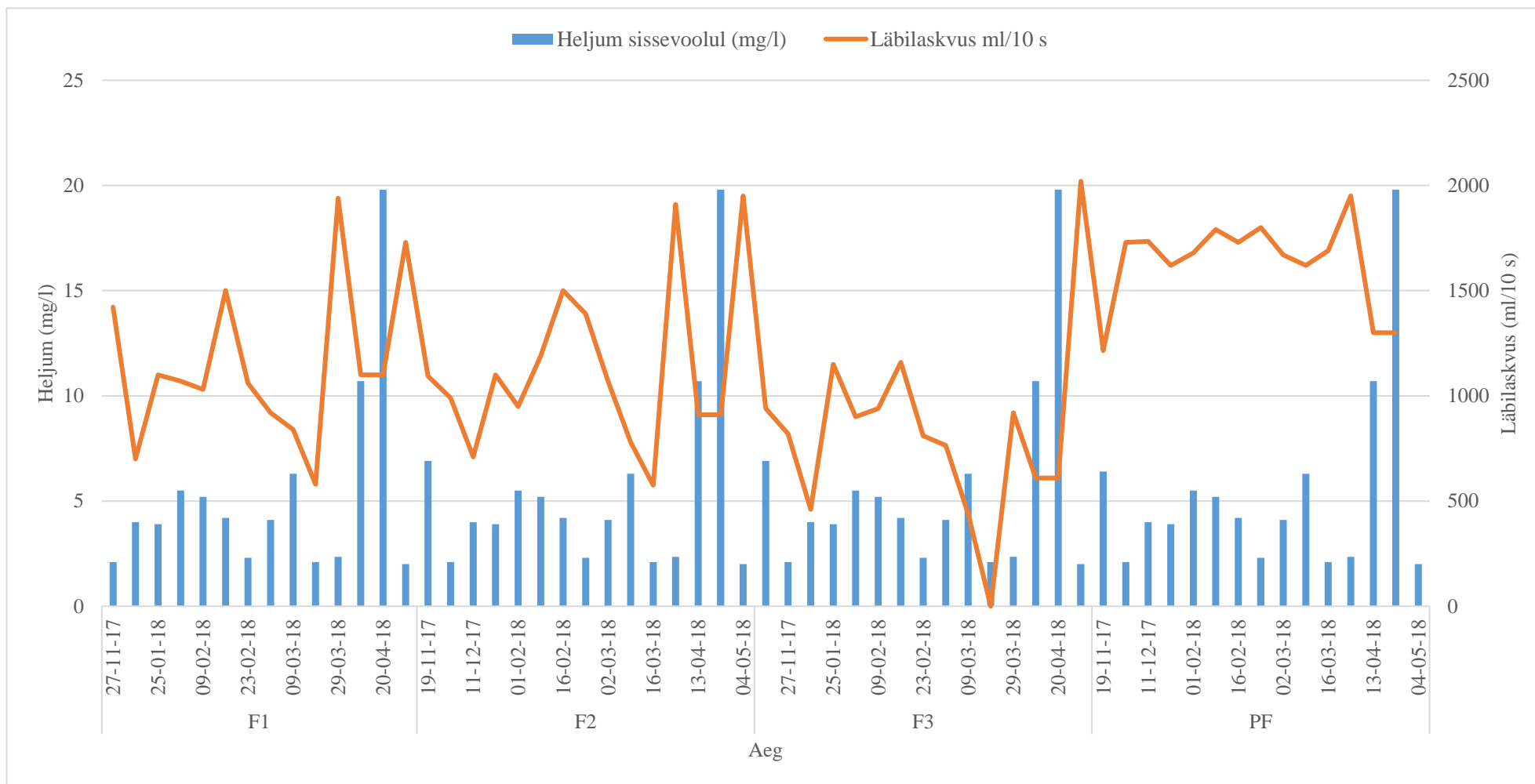


Joonis 33. Filtrite väljavool 13.04.18-17.04.18

#### **2.4.4. ET-test tulemused**

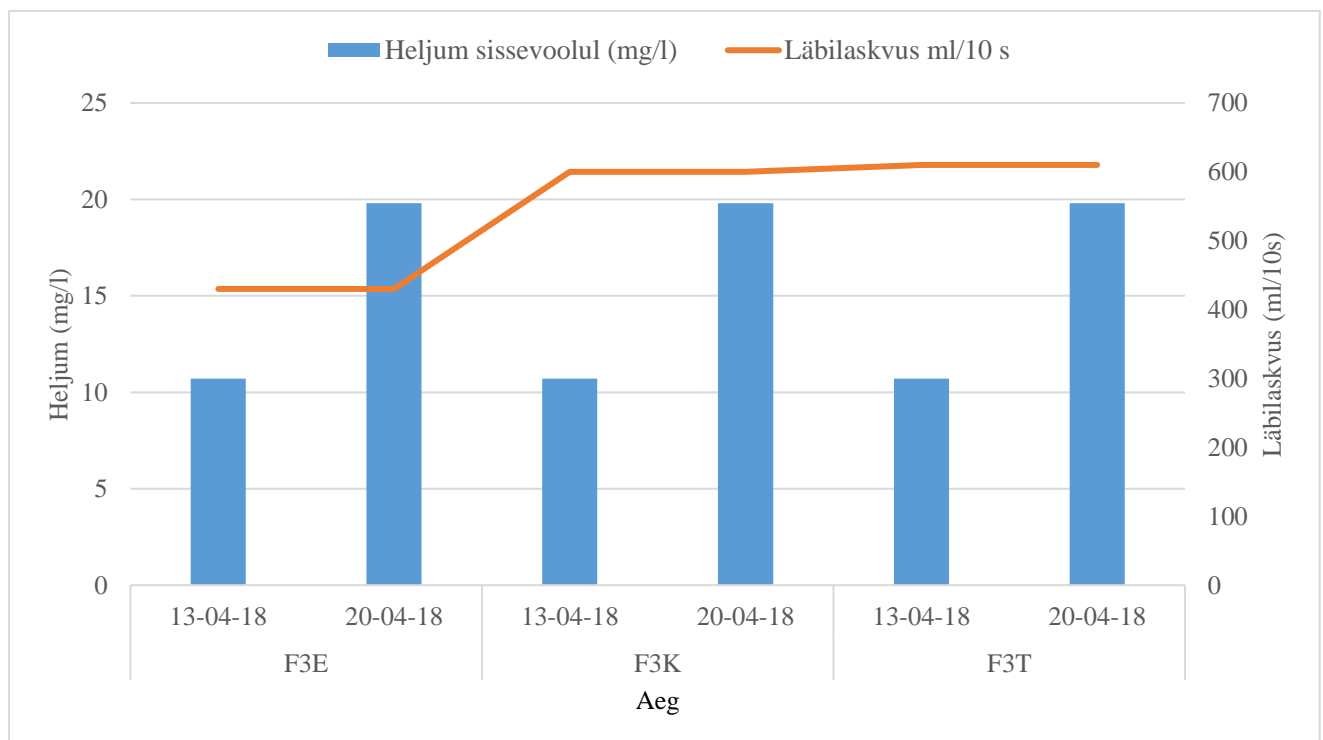
Joonisel 34 on eraldi välja toodud kõigi kolme filtri paneelide ja puhta(uus) filtri paneeli heljumi ning hüdraulilise läbilaskvuse näitajad katseperioodi vältel. Väga hästi joonistuvad välja piigid, kus hüdrauliline läbilaskvus suureneb ja väheneb. Nende alusel on näha, et pärast keemiapesu on filtrite hüdrauliline läbilaskvus kasvanud (saavutatud tagasi esialgne uuele paneelile sarnane läbilaskvus) ning mida rohkem tsükli lõpupoole, seda väiksemaks muutus läbilaskvus. See ei ole aga alati nii. Hüdrauliline läbilaskvus sõltub tugevasti hägususe ja heljumi näitajatest, seetõttu ei saa öelda, et hüdrauliline läbilaskvus on ühtlaselt langevas või kasvavas trendis. Üldiselt on jooniselt näha, et mida kõrgem on heljumi sisaldus filtrite sissevoolu vees, seda madalam on filtri hüdrauliline läbilaskvus. Vaadeldes perioodi 13.04.18-20.04.18 on näha, et filtrite hüdrauliline läbilaskvus on olnud oma iseloomult sarnane kõigi filtrite vahel. Samas on siin jooniselt väga selgelt näha, et just kolmas filter laseb kõige vähem vett läbi paneelide. Olgugi, et sissevoolu vee heljumi sisaldus on kõigil filtritel olnud sama.

Joonisel on näha, et 16.03.2018 olid kolmanda filtri paneelid ummistunud ja läbilaskvust oli puudulik. Hiljem selgus ka, et filtris olid mõned paneeli kangad purunenud (esines muda väljakanne). Teine suurem ummistus esines 11.12.2017 muda väljakande tõttu.



Joonis 34. Filtrite sissevoolu vee heljumi sisaldus ja hüdrauliline läbilaskvus läbi filter paneelide.

Edasi uuriti, kas hüdrauliline läbilaskvus muutub ühes filtris kolme paneeli vahel. See tähendab, kas kõik kolm paneeli, mis asuvad filtri alguses, keskel ja lõpus, on ühe ja sama hüdraulilise vee läbilaskusega. Vaadeldes joonist 35 ja katsetuse päevi 13.04.18-20.04.2018 on näha, et kõige vähem lasi vett läbi filtri esimene paneel ehk F3E. On näha, et keskmine ja tagumine paneel on üsna sarnase trendiga, kuigi tagumine on siiski lasknud rohkem vett läbi, kui on seda keskmise paneeli puhul. Selline põhjus võib olla tingitud sellest, et muda väljakande korral saab filtri esimene paneel rohkem koormatud ning see tõttu on see ka rohkem ummistunud.

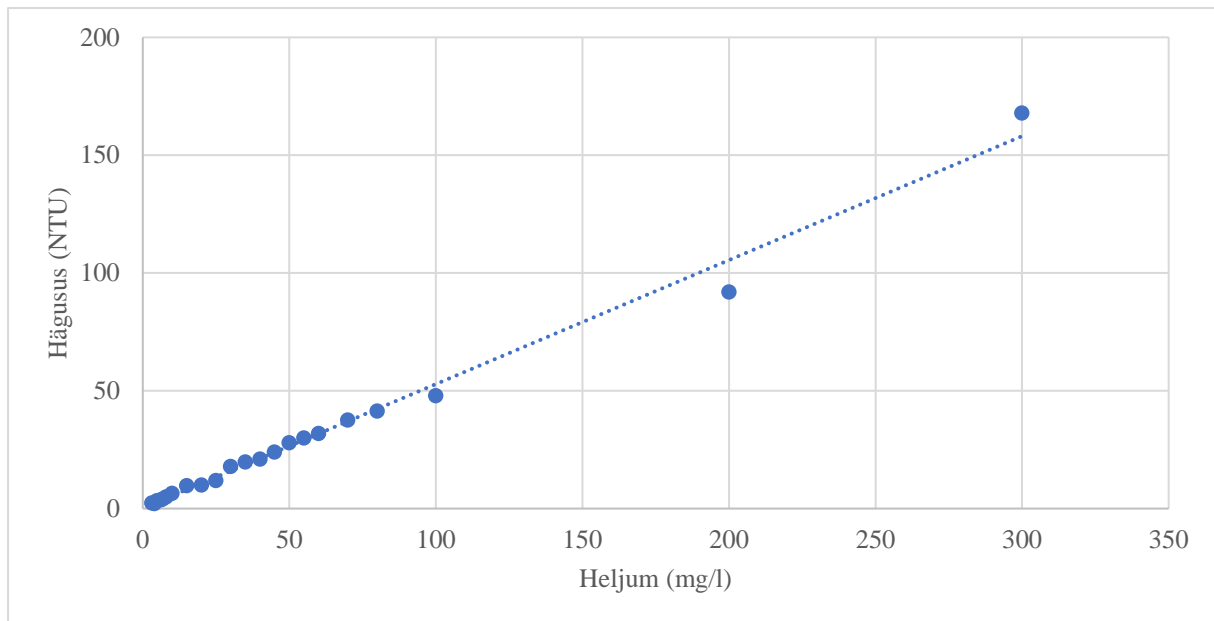


**Joonis 35.** Filter nr.3 paneelide hüdrauliline läbilaskvus

#### 2.4.5. Hägusus ketasfiltri sisse- ja väljavoolu vees

Hägususe andureid kontrolliti iga nädal. Vaatlustel selgus, et filtri väljavoolukambris elutsevad putukad. Anduri ette sattudes võisid nad mõjutada näitu. Sissevoolukambris sellist olukorda ei nähtud.

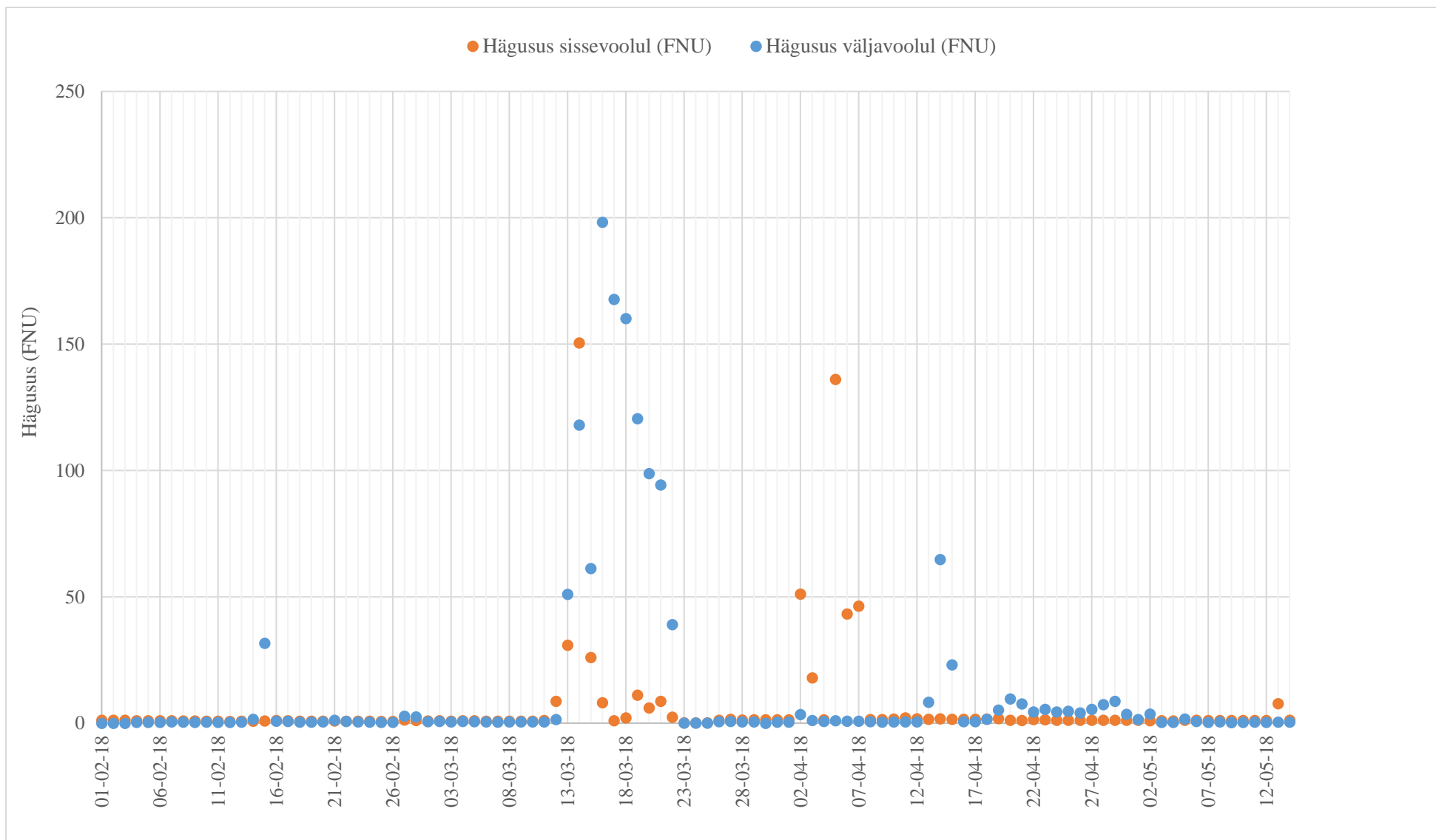
Hägusus vastab teatavasti mingile heljumi kontsentratsioonile vees. Et näha heljumi ja hägususe suhet, pandi laboratoorsetes katsetes mõõdetud tulemused graafikule. Hägususe ja heljumi suhe on esitatud joonisel 36.



**Joonis 36.** Hägususe ja heljumi suhteline sõltuvus.

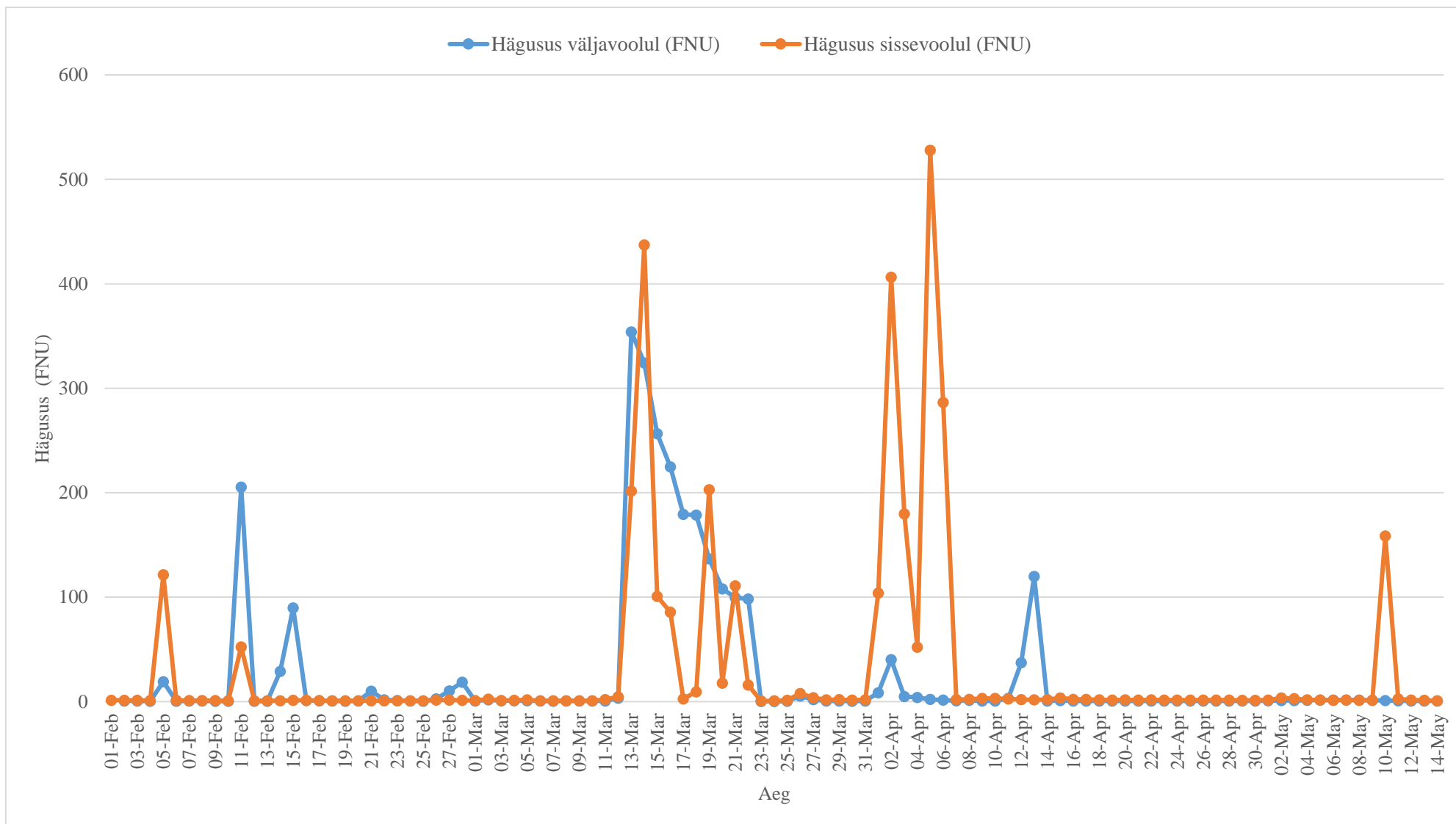
Joonisel 37 on näidatud filter nr. 3 päevakeskmine hägususe sisse- ja väljavoolul. Tulemustest on näha, et kõige kõrgem (150 FNU) päevane keskmine hägususe näitaja, filtri sissevoolul mõõtmisperioodi jooksul, oli 14.03.18. Eelnevast peatükist (pt. 2.4.4 *ET-test* tulemused) selgus, et 16.03.18 katses oli filterpaneelide läbilaskvus puudulik. Joonisel 37 on näha, et muda väljakanne toimus tegelikult juba varem umbes 14.03.18. Veel on näha, et kuupäevast 16.03.18 ületavad väljavoolu hägususe näitajad sissevoolu näitajaid. Selle põhjuseks võib olla mõnede filter paneelide kanga purunemine. Kui filterkangas puruneb, jõuab heljumi rikas vesi otse väljavoolu ning kuna filtri kanga purunemise tõttu oli filter seisatud, oli sissevoolu anduriteni jõudnud juba heljumivaesem vesi (madalama heljumi kontsentratsiooniga). See tõttu näitasid sissevoolu andurid madalamat tulemust.

Teine selline juhtum, kus väljavoolu hägususe näitaja ületab sissevoolu oma, on aprilli keskpaigast kuni mai alguseni. Põhjus, miks väljavoolu näitajad on kõrgemad kui sissevoolu omad, võib olla selles, et väljavoolu andur oli kattunud muda või putukatega, mis tõttu ei näidanud andur õiget tulemust. Aprilli alguses küll esines muda väljakanne (joonis 36) (50 FNU on umbes 100 mg/l heljumi sisaldust, mis ületab lubatud piirnormi 50 mg/l), kuid kangad ei purunenud. See tõttu ei saa kõrgema hägususe näitaja väljavoolul olla seotud kanga purunemisega. Vaadeldes aprilli alguse muda väljakannet ja *Et-testi* tehes (joonis 33) selgus, et filtrid ei olnud täielikult ummistunud ja läbi vett. Seega võib oletada, et tegemist oli lühiajalise muda väljakandega, millega filtrid said ise hakkama.

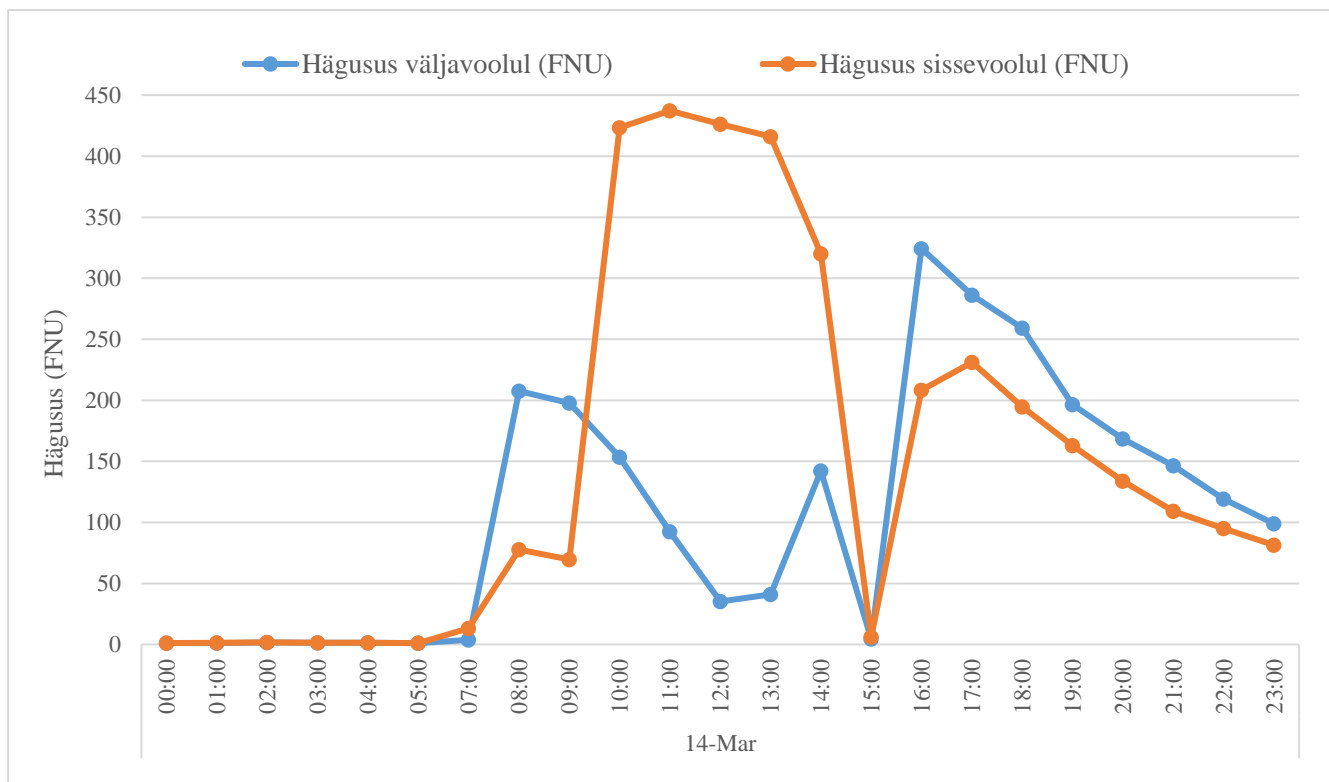


Joonis 37. Sisse- ja väljavoolu päevakeskmine hägusus.

Joonisel 38 on näha tunnikeskmine hägusus näitajaid filtri sisse- ja väljavoolul päevade lõikes. Jooniselt 38 on näha, et hetkelised väärtused on palju kõrgemad, kui on päeva keskmised (joonis 37). Näiteks 14.03 on hägususe näitaja sissevoolul kerkinud kella 09:00 ajal 430 FNU-ni. Hägususe muutumist ajas sel päeval kirjeldab joonis 40.



Joonis 38. Sisse- ja väljavoolu tunnikeskmine hägusus.

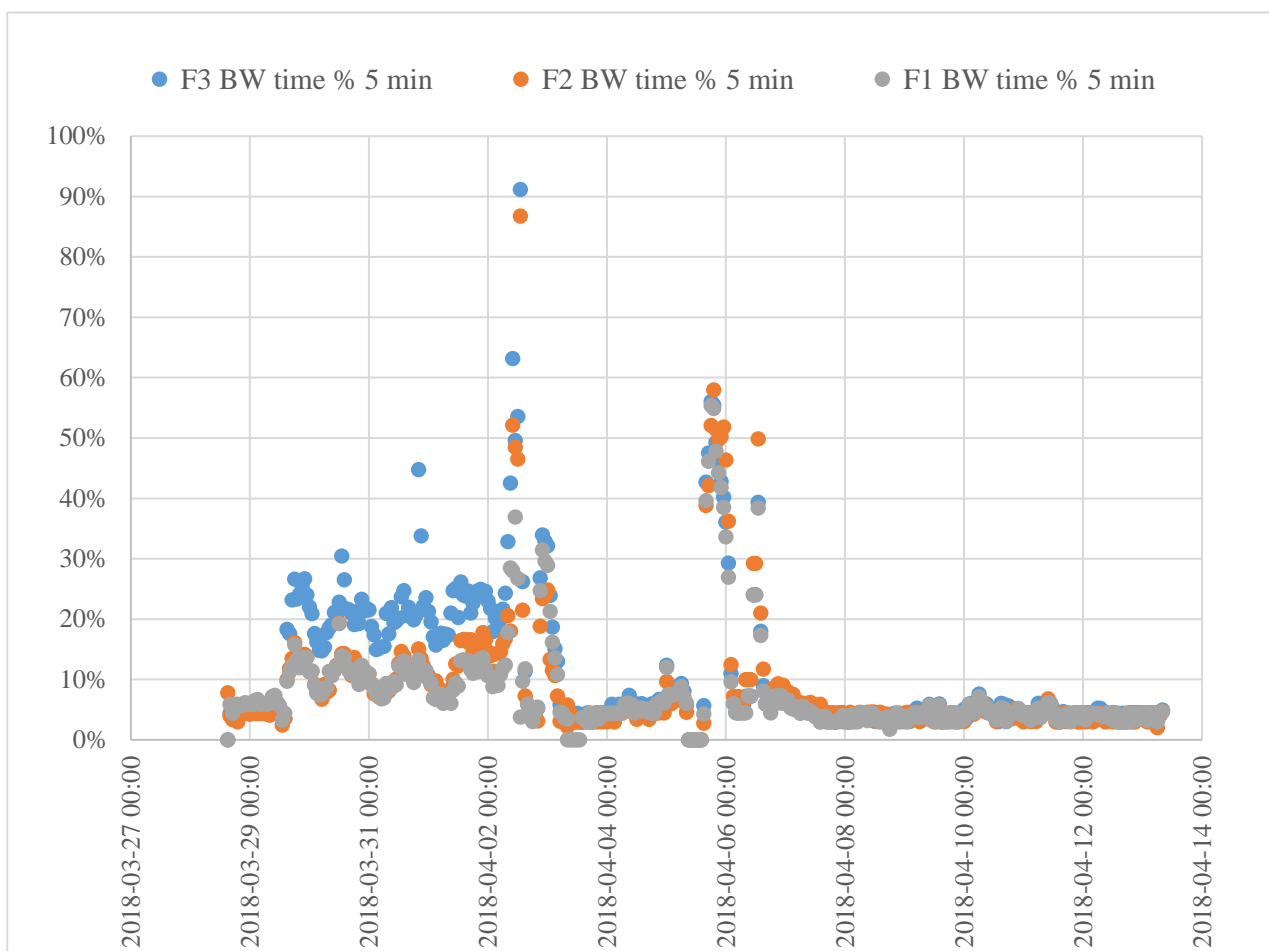


**Joonis 39.** Sissevoolu ja väljavoolu keskmised hägususe näitajad tunnis kuupäeval 14.03.18.

Hägususeandurite abil on võimalik kohe märgata, millal algab muda väljakanne. Selle info abil on võimalik vältida filtrite täieliku ummistust ja kangaste purunemist, näiteks saaks siis õigel ajal filtrite sissevoolu sulgeda/piirata või polümeeri doseerida, mis selgub peatükis 2.4.7. Andureid tuleb aga regulaarselt kontrollida ja puhastada, et tulemused oleksid võimalikult täpsed.

#### **2.4.6. Tagasipesu tulemused**

Joonisel 40 on näidatud kolme filtri tagasipesu protsenti. Mida suurem on pesu protsent seda rohkem on filter koormatud. Üldiselt, nagu oli näha ka ketasfiltrite vooluhulkadelt, on ketasfiltrite sissevool piiratud ja seetõttu on ka tagasipesu protsent madal. Küll aga on joonisel näha, et umbes 2. aprilli paiku on tagasipesu protsent läinud hüppeliselt kõrgeks. Selle põhjuseks on heljumi muutus vees, mida tõestavad ka joonised 37 ja 38, kust oli näha, et hägusus näitaja kasvas. Sama olukord esines ka 6. aprilli paiku, kus samuti hägususe joonised (37, 38) tõestavad seda. Alates märtsi lõpust kuni aprilli alguseni on selgelt näha, et kolmanda filtri tagasipesu on tihedam, kui teistel. Selline olukord tõestab, et kolmas filter on rohkem koormatud, kui teised.



**Joonis 40.** Tagasipesu andmed perioodil 27.0318-14.04-18

### 2.4.7. Jar-testi ja test-tube katsete tulemused

Joonistel 41 ja 42 on parempoolses katseklaasis on vesi, mis on võetud ketasfiltri sissevoolult ja vasakul vesi, mis saadi peale polümeeri lisamist. Joonisel 41 on näha, et tekkinud osakesed on palju väiksemad kui on seda joonisel 42.



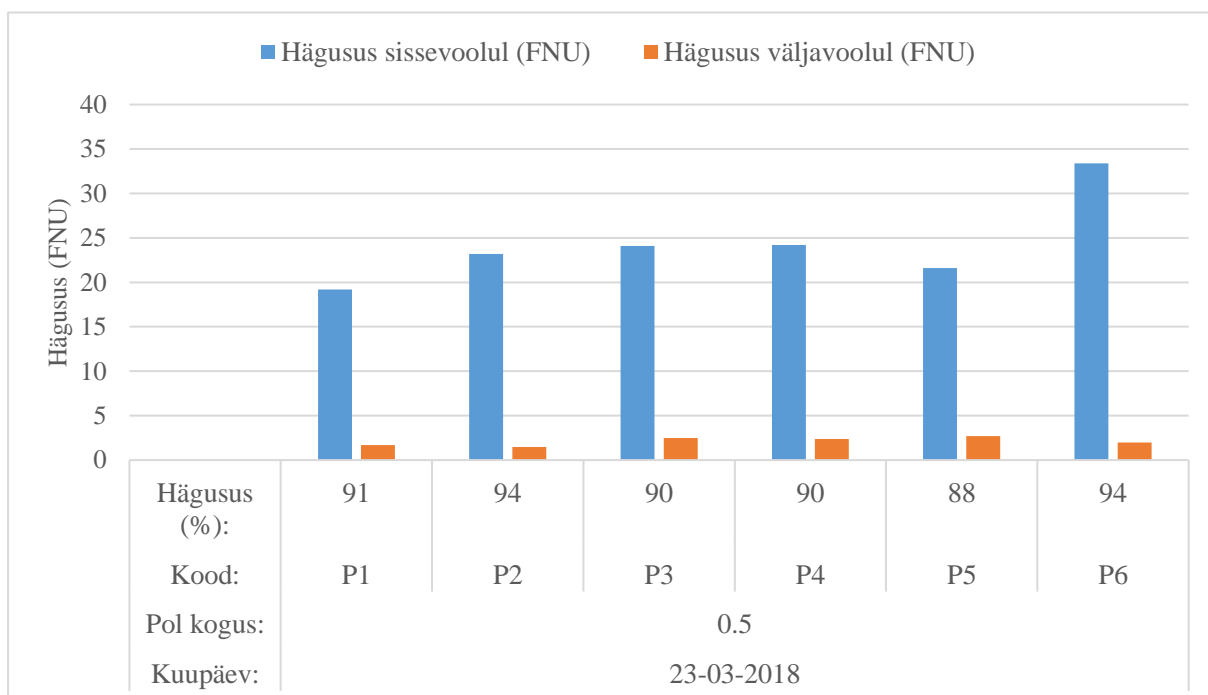
**Joonis 41.** Polümeeri P1 lisamisel vees tekkinud helbed.



**Joonis 42.** Polümeeri P6 lisamisel vees tekkinud helbed.

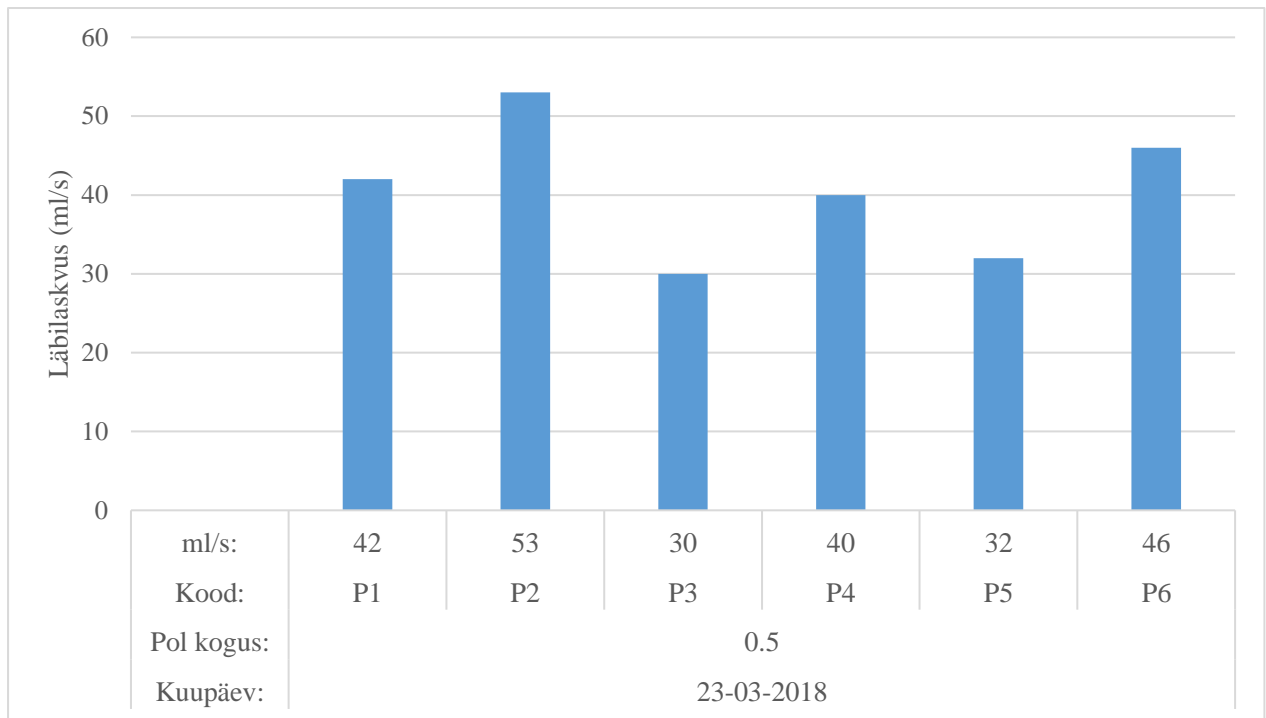
Seega saab öelda, et erinevad polümeerid käituvad ühes ja samas vees erinevalt ning annavad erinevaid tulemusi.

Esimestes katsetes prooviti kuute erinevat polümeeri. Tulemustes vaadeldi Tartust kasutuses olevatest polümeeride parimat ja Rootsist saadud polümeeride parimat. Jooniselt 43 on näha, et 0,5 mg/l polümeeri koguse ja 10 µm kanga kombinatsioon andis vees, mille heljumi sisaldus oli 35 mg/l, Tartus olevatest polümeeridest parima tulemuse P2. Rootsist pärit polümeeride seast andis kõige parema tulemuse P6, kus hägusus vähenes võrreldes sissetuleva veega 94 %.



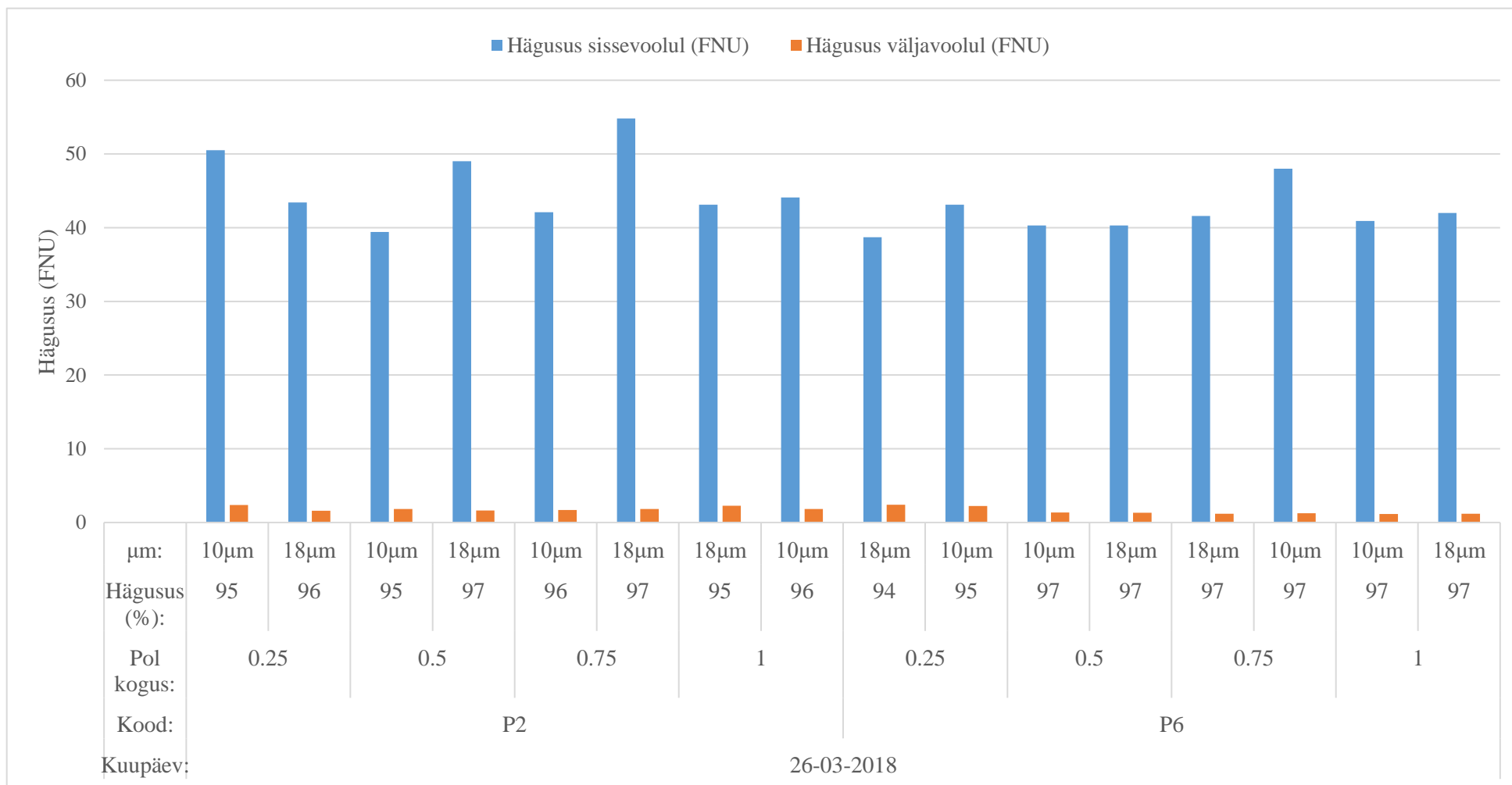
**Joonis 43.** Hägususe tulemused kuue erineva polümeeriga (*jar-test*), kus P1-P6 on polümeeride nimetused (kood), 0,5 polümeeri doseerimis kogus ja 88/91/.../94 hägususe vähenemise protsent.

Joonisel 44 on näha, et kasutades neid polümeere on ka vee läbilaskvus kõige suurem. Parimad tulemused andsid seega polümeerid P2 ja P6, kus P1-P6 on polümeeri nimetus (kood) ning 0,5 polümeeri doosi kogus.



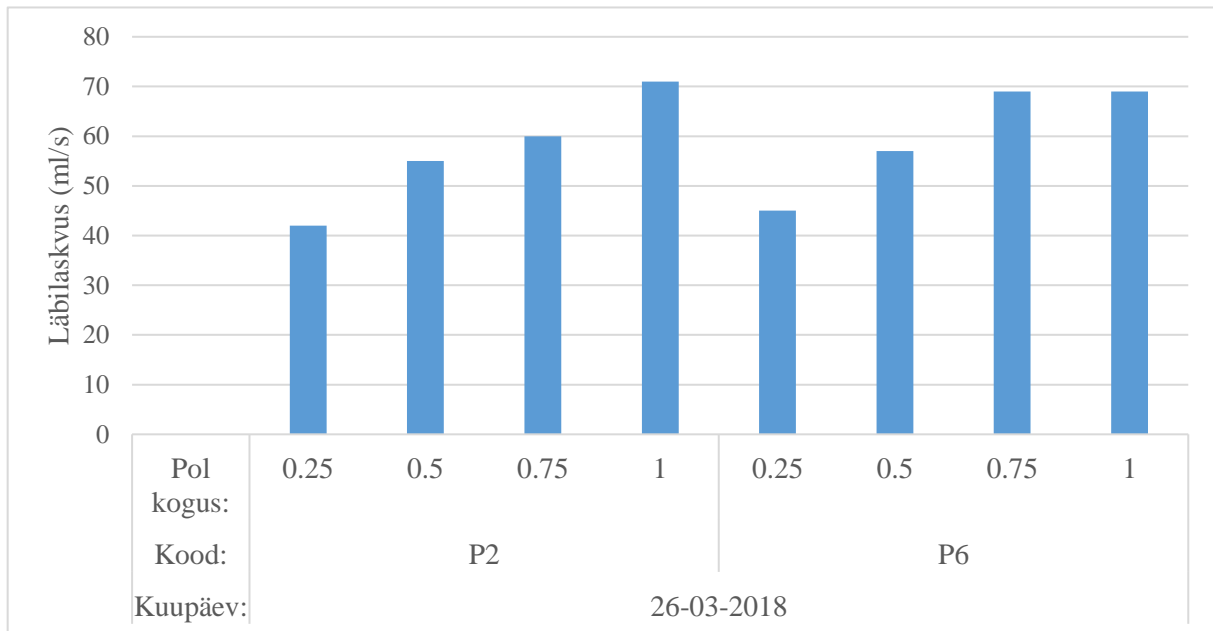
**Joonis 44.** Läbilaskvus tulemused kuue erineva polümeeriga (*jar-test*), kus P1-P6 on polümeeride nimetused (kood), 0,5 polümeeri doseerimis kogus ja 88/91/.../94 hägususe vähenemise protsent.

Järgmises katses võeti filtrihoonest heitvesi, mille heljumi sisaldus oli umbes 80 mg/l (sellele vastav hägususe näitaja on umbes 45 FNU). Katsetati, milline oleks sobiv kombinatsioon polümeeri annuse ja kanga võrgusilma ava suuruse vahel. Joonisel 45 on näidatud, kuidas hägusus muutus erinevate kombinatsioonide korral. Hägususe vähenemine on joonisel välja toodud ka protsentuaalselt. Katsetati polümeeri doose 0,25 mg/l, 0,5 mg/l, 0,75 mg/l ja 1 mg/l. Katsetus viidi läbi nii 10 µm, kui ka 18 µm kangaga filtreerimisel. Jooniselt 45 on näha, et vees, mille hägusus on umbes 45 FNU, piisab polümeeri kogusest 0,5 mg/l, et saavutada umbes 97 %-line hägususe ärastus.



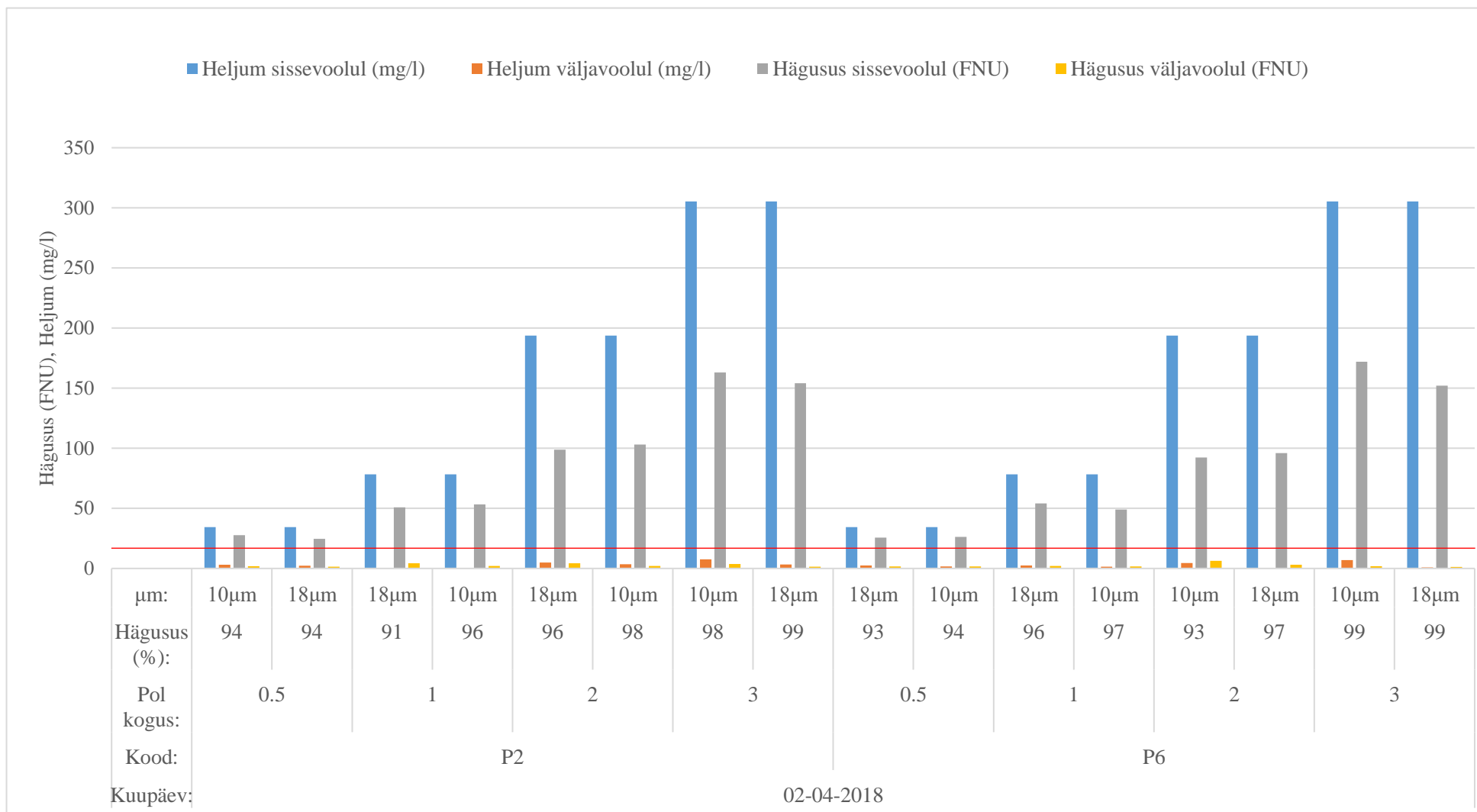
**Joonis 45.** Hägususe vähenemine protsentides erinevate polümeeride, dooside ja avasuurusega kangaste kombinatsioonil, kus P2/P6 polümeeride nimetus (kood), 10 µm ja 18 µm on kanga võrgusilma ava suurus, 0,25/0,5/0,75/1,0 on doseeritud polümeeri kogus ja 94/95/96/97 on hägususe vähenemise protsent.

Joonisel 46 on näha, et vee läbilaskvus suureneb, kui polümeeri kogust suurendada. Polümeer P6 abil saavutati parima läbilaskvuse doosiga 0,75 mg/l ja P2 abil doosiga 1,0 mg/l.

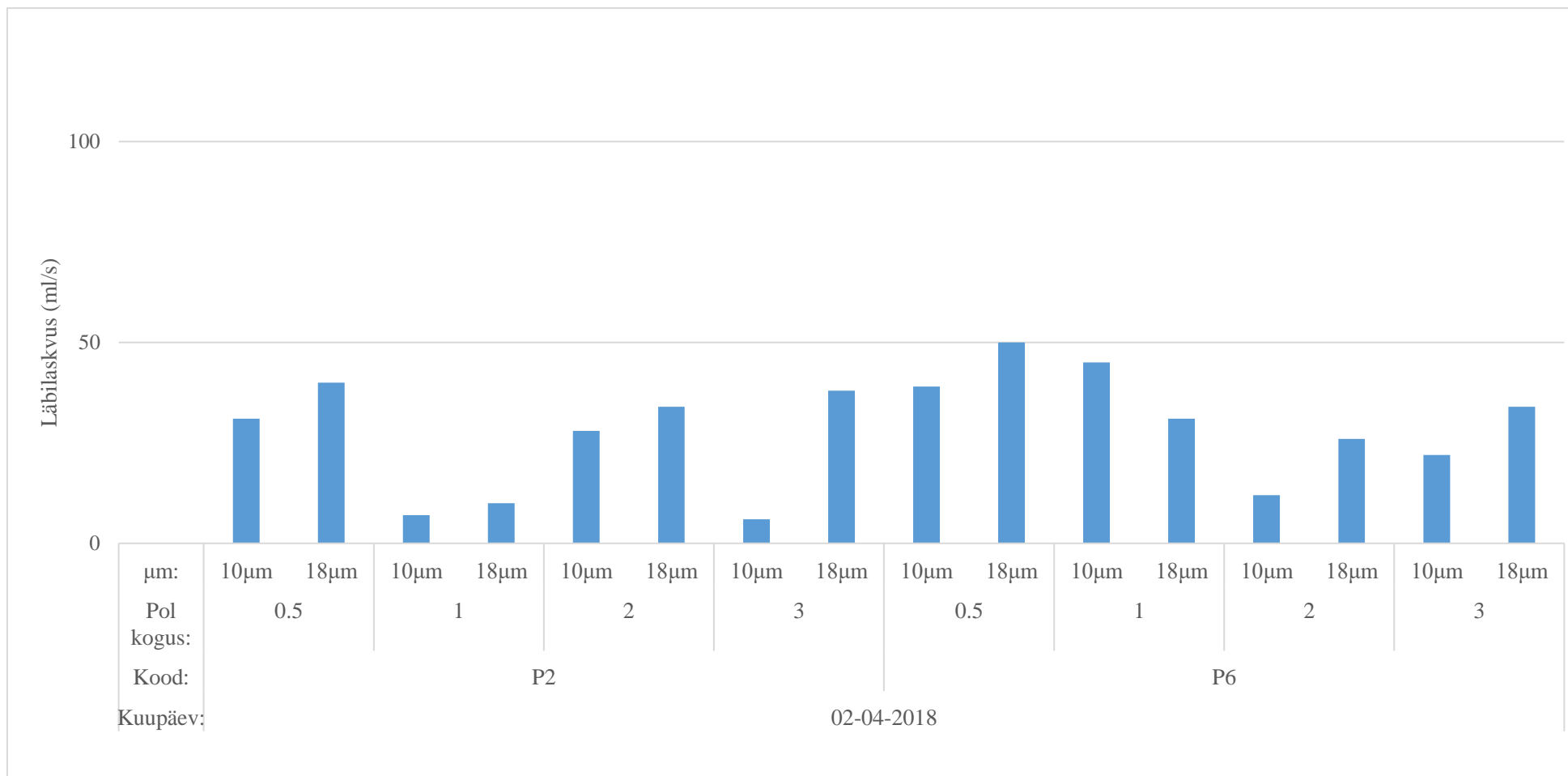


**Joonis 46.** Vee läbilaskvuse sõltuvus polümeeri doosist, kus 0,25/0,5/0,75/1,0 on doseeritud polümeeri kogus, P2/P6 on polümeeri nimetus (kood).

Oluline on välja uurida, kui palju oleks vaja doseerida polümeeri, kui puhastil esineb muda väljakanne. Katseid sooritati erinevate heljumi kontsentratsiooniga heitvees, mis loodi kunstlikult. Selleks võeti ketasfiltrite sissevoolu vesi ning segati vastava koguse mudaga, et saavutada soovitud heljumi sisaldus vees. Muda saadi BR-4 väljavoolult. Prooviti saavutada ligikaudseid kontsentratsioone umbes 50 mg/l, 100 mg/l, 200 mg/l ja 300 mg/l. Joonisel 47 on näidatud, millised olid kunstlikult tekitatud lahuste hägususe ja heljumi näitajad. Uuriti ka suurema pooriavaga kangast (18 µm), et teada saada, kas see oleks Tartu puhasti jaoks alternatiiv praegusele. Joonisel 47 on näidatud, et 18 µm kanga puhul on heljumi ja hägususe näitajad soovitud piires (joonisel 47 tähistab punane joon heljumi piirväärtust, mis on nõutud suublasse juhitud vees), kuid joonisel 48 on näha, et sellise kanga puhul on läbilaskvus suurem. Seega näitavad tulemused, et tingimused on rahuldatud, kui doseerida umbes 10 mg polümeeri 1 g heljumi kohta ja läbilaskvuse suurendamiseks võib kasutada 18 µm kangast.

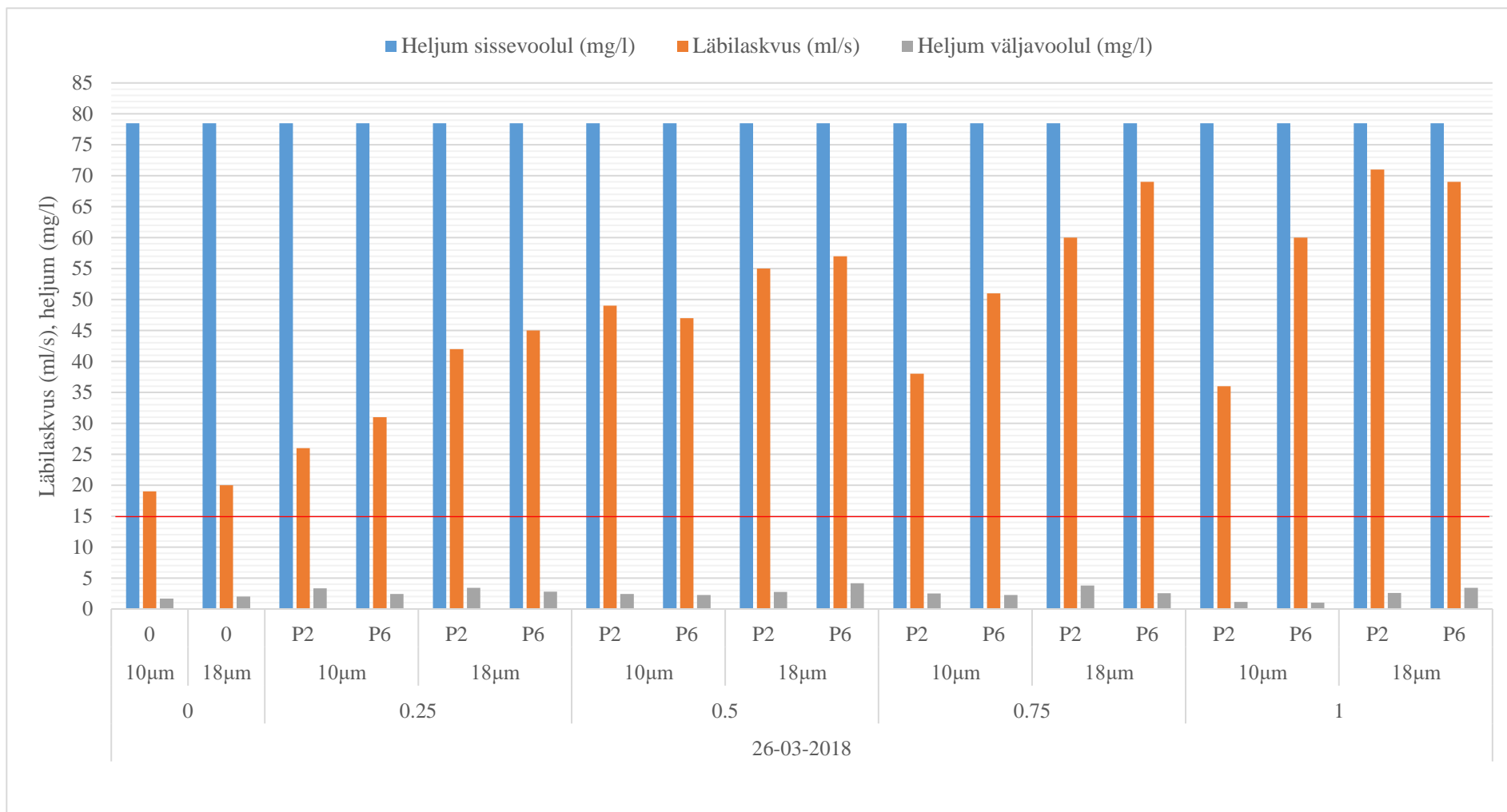


**Joonis 47.** Heljumi ja hägususe tulemused erinevate heljumi kontsentratsioonidega heitvees, kus P2/P6 on polümeeri nimetus (kood), 10 µm ja 18 µm on kanga võrgusilma ava suurus ja 91/93/94/.../99 on hägususe vähenemise protsent ning punane joon märgib ära heljumi piirväärtuse nõudmise suublasse juhitas vees (15 mg/l).



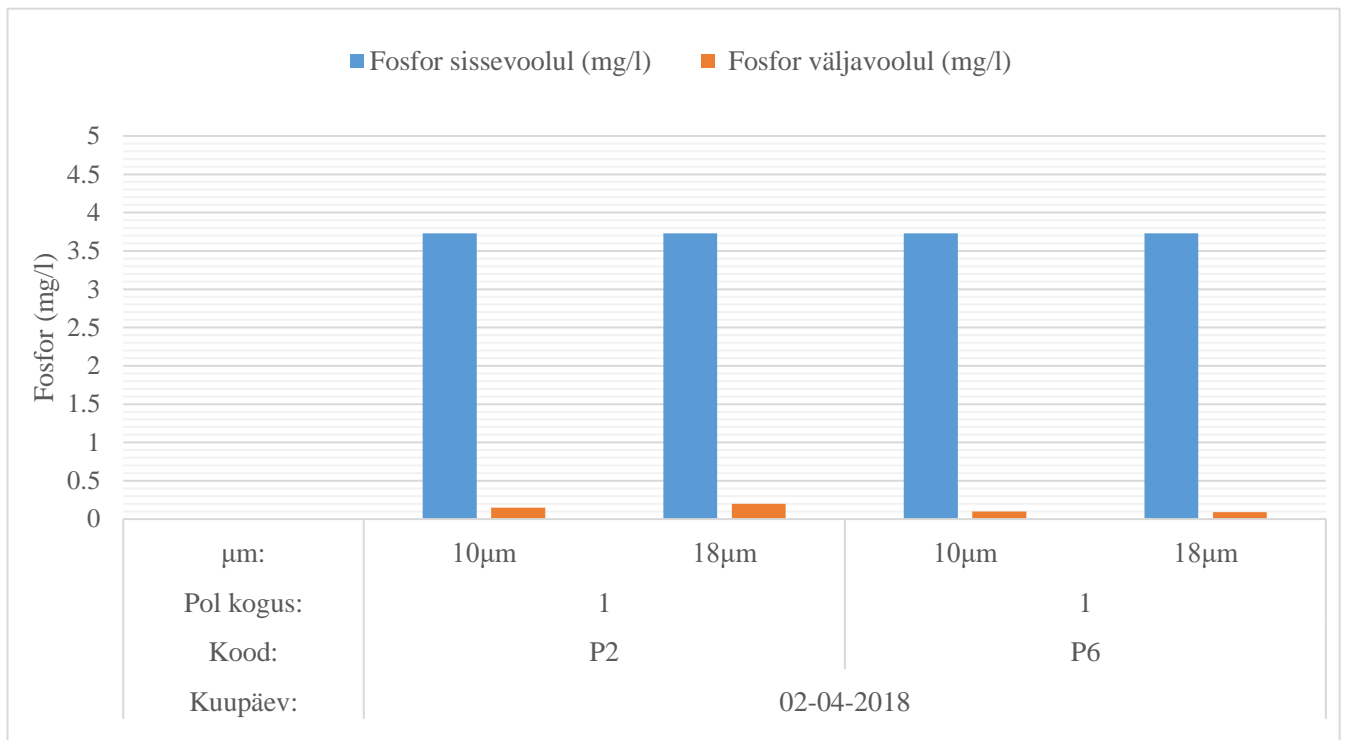
**Joonis 48.** Vee läbilaskvuse ja polümeeri dooside suhe, kus P2/P6 on polümeeride nimetus (kood), 10 µm ja 18 µm on kanga võrgusilma ava suurus ja 0,5/1,0/2,0/3,0 on doseeritud polümeeri kogus.

Katses tõestati, et muda väljakande puhul sobis kangas 18  $\mu\text{m}$  paremini. Joonisel 49 on näidatud, et selline kangas rahuldaks nõudmisi ka siis, kui ei esine muda väljakannet ja polümeeri lisama ei pea. Katses on võetud vesi, mis oleks omane filtritele, kui on tegemist tavalise päevaga (ei esine muda väljakannet). Võetud vees mõõdeti heljumi sisaldus umbes 78 mg/l. Jooniselt 49 on näha, et ilma kemikaalide lisamiseta on heljumi piirväärtus väljavooluvees siiski tagatud olgugi, et katses kasutatav vesi oli kõrgema heljumi kontsentratsiooniga, kui 50 mg/l.



**Joonis 49.** Heljumi eemaldamise tõhusus filtrite pinnal tavapärase heljumi kontsentratsiooniga vees, kus 0 tähendab seda, et polümeeri ei lisatud, P2/P6 on polümeeride nimetused (kood), 10 µm ja 18 µm on kanga võrgusilma ava suurus, 0,25/0,5/0,75/1,0 on doseeritud polümeeri kogus ning punane joon märgib ära heljumi piirväärtuse nõudmise suublasse juhitas vees (15 mg/l).

Töös uuriti, kas polümeeri lisamisel väheneb fosfori sisaldus vees. Kuna fosfori eemaldamine ei olnud uurimustöö põhieesmärk, vaadeldi seda ainult põgusalt. Joonisel 50 toodud 02.04.18 tehtud katsed. Fosforisisaldust mõõdeti katses, kus heljumi kontsentratsioon oli umbes 100 mg/l ja polümeere doseeriti 1,0 mg/l kohta. Kombineerides polümeeri P2 ja kangast 10 µm, vähenes fosfori sisaldus vees võrreldes esialgsega (3,73 mg/l) umbes 19 korda. Kasutades sama kombinatsiooni polümeeriga P6 vähenes fosfori sisaldus võrreldes esialgsega ligi 42 korda (0,1 mg/l).



**Joonis 50.** Fosfori (mg/l) vähenemine erinevate kombinatsioonide korral.

Tulemuste põhjal saab teha arvutused, kui palju kuluks polümeeri muda väljakande korral. Näiteks, kui puhastil esineks muda väljakanne (heljumi kontsentratsiooniga 200 mg/l), ühel päeval kuus, tuleks doseerida 2 mg polümeeri liitri vee kohta. Kui arvestada 2017 aasta keskmist vooluhulka päevas (28 810 m<sup>3</sup>/d) kuluks umbes 57 kg polümeeri päevas, mis teeb rahaliselt (arvutatud Tartu polümeer P2 järgi) umbes 152 eurot päevas, mis tähendab umbes 0,01 eur/m<sup>3</sup> kohta, päevadel, mil esineb muda väljakanne.

Tänaasel lahendusel, kus filtritel on 10 µm kangad ja filtrile juhtida lubatud heljumi sisaldus on 50 mg/l, ei suuda filtrid muda väljakande (nt. 200 mg/l heljumi kontsentratsiooniga) ajal rohkemat heljumit vastu võtta. Ka kuivema ilmaga võib esineda lühiajalist muda väljakannet. Sellisel juhul võivad filtrid sellega ise hakkama saada. Kui aga on sademeterohke ilm ja vooluhulgad on suured, võib juhtuda olukord, mil muda väljakanne kestab kauem. Sellisel juhul

tekib olukord, kus filtreid koormatakse üle ja tagasipesu ei suuda väikese pooriavaga kangal saavutada puhta filterkangale omast pinda. Seetõttu filtrid ummistuvad ja vajavad keemiapesu. Selle ennetamiseks tuleb tänases olukorras kogu kõrge heljumi kontsentratsiooniga vesi suunata filtritest mööda. Siit võib järeldada, et tulevikus, nõudmiste karmistumisel, on puhastil mõistlikum/odavam rajada juurde polümeeri doseerimis kamber (helvestuskamber) ja vahetada praegused 10 µm kangad 18 µm kangaste vastu.

Katsetes tõestati, et kõrge heljumisisaldusega vee puhul aitab õiges koguses doseeritud ja vee omadustele sobilik polümeer moodustada suuremaid helbeid. See oleks hea võimalus, mis eelduste kohaselt aitaks vältida filtrite kiiret ummistumist. Võimalus on kasutada polümeeri doseerimist ainult sademeterohketel aegadel, kui vooluhulgad on suured ja võivad tekitada muda väljakannet. Kuivade ilmade korral ei ole see tänases olukorras vajalik. Üheks tulevikusoovituseks oleks enne ketasfiltreid juurde lisada täiendav keemiline süvapuhasustetapp. Kuna hetkel on filtrid võimelised fosforit piisavalt hästi kinni pidama, ei ole koagulatsiooni kambrit vaja lisada. Küll aga võiks enne filtreid olla olemas flokulatsioonikamber.

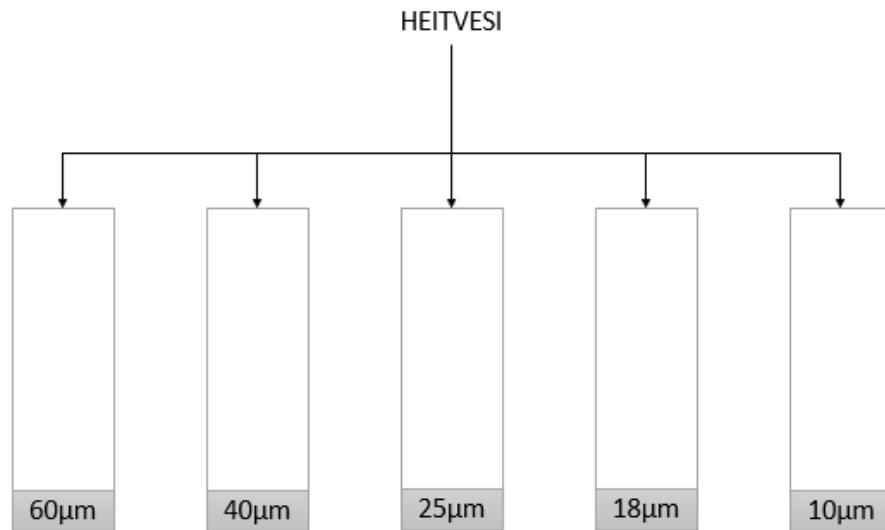
Et välja arvutada, millises suurusjärgus peaks flokulatsiooni kamber olema, on arvestatud projekteeritud ööpäeva keskmise vooluhulgaga 33 000 m<sup>3</sup>/d ja viibeajaga 4 minutit. Sellistes tingimustes on vaja flokulatsioonikambrit mahuga umbes 92 m<sup>3</sup>.

Tulevikule mõeldes on aga üsna tõenäoline, et fosfori kohta kehtestatud nõudmised võivad veelgi karmistuda. Seetõttu on otstarbekas süsteem ehitada juba nii, et võimalusel/vajadusel saab enne flokulatsiooni kambrit teostada ka täiendav koagulatsioon. Selline keemiline eeltöötlus võimaldaks viia fosfori kontsentratsiooni heitvees väga madalale (alla 0,1 mg/l).

## **2.5. Soovitused uurimuste jätkamiseks tulevikus**

Käesoleva töö edasiseks uurimiseks tulevikuks oleks vaja teada saada heljum osakeste suurused vees. Osakeste suuruse mõõtmiseks on olemas spetsiaalne seade. Lisaks võiks ka katsetada filtreerimist läbi erinevate võrgusilma avadega filter kangaid, et määrata, kui suur osa heljumist on võimalik eemaldada erinevate kangaste abil. Seejärel tuleks teada saada, milline kanga ava on kõige efektiivsem Tartu puhastile, et eemaldada suuremaid osakesi. Tuleks vaadata heitvett, mis on omane filtritele tavalisel päeval st., et ei esine muda väljakannet. Seejärel tuleks leida,

millised on osakesed, kui puhastil toimub muda väljakanne. Osakeste suuruse teada saamiseks on joonisel 51 kujutatud skeemi, kuidas katset läbi viia. Katsed tuleks teha mõlemal juhul, st. tavalisele päevale omase heitveega ja muda väljakandega heitveele, katsetades kõiki viite filterkangast, millede võrgusilma ava oleks 10 $\mu$ m, 18 $\mu$ m, 25 $\mu$ m, 40 $\mu$ m ja 60 $\mu$ m.



**Joonis 51.** Heljumiosakeste suuruse välja selgitamine erinevate võrgusilma avadega filter kangaste abil.

## KOKKUVÕTE

Reovesi sisaldab reoaineid, mis võivad kahjustada keskkonda ja seetõttu on suublasse juhitava vee omaduste kohta kehtestatud nõuded. Peamised reoained, mille piirväärtuste karmistamiseks valmis tuleb olla, on heljum ja fosfor. Üha olulisem on jälgida, et iga protsess või tehnoloogia oleks kuluefektiivne ja selle keskkonnakasutuse suurus ei ületaks ökosüsteemide taastootlikusevõimet.

Reoveepuhastustehnoloogiad on pidevas arengus. Puhastitele seadmeid tootvad ettevõtted tegelevad pidevalt sellega, et puhastid saavutaksid seaduse poolt suublasse juhitavale veele kehtestatud reoainete piirväärtused ning oleksid juba praegu valmis normide võimalikuks karmistumiseks. Selleks, et saavutada seadust rahuldavad tulemused, on välja töötatud filtertehnoloogia, mis sobib paigaldada reoveepuhasti viimaseks, järelpuhastuse etapiks. Ketasfiltrid ei ole oma tööpõhimõttelt keerulised – heitvesi juhitakse läbi trumli raamile kinnitatud peene kanga. Filtreerimisel saadav tulemus sõltub aga paljustki sellest, milline on filtritele juhitava vee heljumi kontsentratsioon ja vooluhulk. Väga kõrge heljumisisaldusega vee puhul või kui soovitakse viia fosfori sisaldus vees väga väikeseks, on soovitatav lisada filtrite ette täiendav keemiline süvapuhasustetapp.

Eestis on mikrosõelumine küllaltki uus tehnoloogia, mistõttu ei ole need siin ka palju uuritud. Ketasfiltrite töö optimeerimiseks tuleb siiski neile pöörata erilist tähelepanu.

Käesoleva magistritöö eesmärk oli ketasfiltrite tööparameetrite uurimine Tartu reoveepuhasti näitel. Esmalt uuriti puhasti iseärasusi. Erilist rõhku pöörati reoainete kontsentratsioonile, sest sellest sõltub otseselt filtrite töö. Oluliseks uurimisülesandeks oli välja selgitada ketasfiltrite tegelik koormus ja hüdrauliline läbilaskvus.

Filter paneelide vee läbilaske võime määrati *ET-test* katsega. Katse tulemustest selgus, et kolmanda filtri hüdrauliline läbilaskvus on võrreldes teistega kõige madalam erinevate katse tsüklite jooksul. Uuriti, kas vee läbilaskvust paneelide kaupa, et näha, kas filter paneelid on võrdselt koormatud või mitte. Tulemustes selgus, et esimene paneel laseb kõige vähem vett läbi. Selle põhjuseks võib olla see, et esimese paneelile tulev vesi on heljumi rikkam, kui see on viimaste paneelide juures.

Ketasfiltrite töö optimeerimisel tuleb teada nende ummistumise kiirust, tagasipesu sagedust ja keemiapesu toimet kanga puhastamisel. Filtrite tagasipesurežiim iseloomustab filtrite

ummistumist. Selgus, et kolmanda filtri tagasipesu sagedus oli võrreldes teistega suurem. Kuna katsed näitasid, et kolmas filter on kõige enam koormatud, uuriti vee hägusust sisse- ja väljavoolul spetsiaalselt paigaldatud anduritega. Andurite abil sai vaadata hägusust reaajas. Tulemuste alusel oli näha, kuna esines muda väljakanne. Nende näitaja abil saab ligikaudselt määrata, milline võis olla vee heljumi sisaldus. Selgus, et kolmandale filtrile tulev vesi on heljumi rikkam. Seda saab ka järeldada sellest, et ainult kolmas filter läks umbe muda väljakande ajal. Mõnel juhul purunesid isegi paneelide kangad. Olukord võib olla tingitud ka sellest, et ehituslikult asub filtri hoonesse tulev sissevoolu kanal kõige lähemal just kolmandale filtrile.

Reoainete sisaldust väljavoolus aitab parandada see, kui filtrite töö seotakse täiendava keemilise süvapuhasdus etapiga. Selleks tuleks valida kemikaalid ja nende doosid, mis võimaldaks tegelikes oludes veest veelgi rohkem heljunit ja fosforit kinni püüda. Kuna iga reoveepuhasti on isesugune, tuleb sobivaimad kemikaalid valida katseliselt. Katsetes uuriti heljumi, fosfori ja hägususe näitajaid. Uurimustulemused näitasid, et filtrid töötavad väga hästi heljumi ja ka hägususe eemaldamiseks tavalisel päevadel (kuiv ilm, vooluhulgad tavapärased), kuid jäävad hätta märja aja korral, mil vooluhulgad kasvavad sedavõrd, et algab mõningane sette väljakanne järelsetitist. Hägususe keskmine ärastus kuiva ilma korral oli 94%. Samuti tõestati katsetega, et lisades veele ainult polümeeri on tagatud ka fosfori madal kontsentratsioon heitvees.

Kuna Tartu puhastil esineb muda väljakandeid pöörati erilist rõhku just sellisele olukorrale. Vaadeldi, milline polümeeri doos on muda väljakande ajal piisav. Tulemustes selgus, et muda väljakande ajal piisab polümeeri doosist 10 mg ühe grammi heljumi kohta. Saadud tulemusi analüüsides selgus, et Tartu puhastil oleks mõistlik kasutada 18 µm kangaid. Seda just see tõttu, et sellise võrgusilma ava ja polümeeri doosi korral suureneb filtri läbilaske võime. Katses tõestati, et täiendava keemilise süvapuhasdusega on filtrid võimelised andma paremaid läbilaskvuse näitajaid ning reoaine eemaldus on efektiivsem. Hägususe keskmine ärastus oli 97%.

Olgugi, et tänasel päeval ei ole fosfori ärastusega puhastil probleeme, selgus katse käigus, et keemilise eeltöötusega on võimalik saada ka väga madalaid fosfori näitajaid. Tartu puhastit aitaks muda väljakande puhul täiendav keemiline süvapuhasdus, kus oleks esindatud vähemalt flokulatsiooni kamber.

Edasises tulevikus tuleks uurida, kui suured on reovees olevad heljumi osakesed ja leida sobiv kombinatsioon filterkanga ava suuruse ja kemikaalide vahel. Tartu puhastit aitaks muda väljakande puhul täiendav keemiline süvapuhasus. Selleks tuleks ketasfiltrite ette rajada täiendav flokulatsioonikamber.

# KASUTATUD KIRJANDUS

- Abbas, W.** (2004). Disc filtration and Floc strength. (Magistritöö). Lund. 57 pp.
- Asano, T., Burton, F.L., Leverenz, H.L., Tsuchihashi, R., Tchobanoglous, G.** (2007) Water Reuse: issues, technology, and application. The McGraw-Hill Companies. The United States of America.
- Behzadirad, I.** (2010). Discfilters for tertiary treatment of wastewater at the Rya wastewater treatment plant in Göteborg. (Magistritöö). Chalmers university of technology. Göteborg, Sweden. 77 pp.
- Davis, M.L.** (2010). Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice. The McGraw-Hill Companies. New York.
- Eesti Standardikeskus. EVS-EN 1085:2007. Reoveekäitlus sõnastik.
- Eesti Standardikeskus. EVS-EN 16323:2014. Kanalisatsioonitehnika oskussõnastik.
- Environmental dictionary. (2018). [veebileht] <https://mot.kielikone.fi/mot/entic/netmot.exe?UI=ened> (02.04.2018)
- Factory direct pipeline products. Speed, Excellence, Economics and Knowledge. Depth vs. Surface Filtration. (2018). [veebileht] <http://www.fdpp.com/depthsurface.htm> (19.04.2018)
- Gunt Hamburg. Equipment for engineering education. Water treatment. Mechanical processes. Basic knowledge. Filtration. (2018). [veebileht] [http://www.gunt.de/images/download/filtration\\_water\\_english.pdf](http://www.gunt.de/images/download/filtration_water_english.pdf) (17.04.2018)
- Hach. (2009). Solitax sc DOC023.54.03232. User Manual. Hach Company. Germany. [juhend] (07.04.18)
- Hunter Water. Water & Sewer. Water Supply. Water Treatment Processes. (2018). [veebileht] <https://www.hunterwater.com.au/Water-and-Sewer/Water-Supply/Water-Treatment-Processes.aspx> (20.04.2018)
- Karu, J.** (2016). Veevärk. TTÜ kirjastus. Tallinn. 199 lk.
- Keskkonnatasude seadus. (vastuvõetud 07.12.2005, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 01.01.2018). -*Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/130062017034> (03.04.2018)
- Kirs, K.** (2014). Annuspuhasti tehnoloogiline tsüklite dimensioneerimine Suurupi reoveepuhasti näitel. (Magistritöö). Tallinna Tehnika Kõrgkool arhitektuuri ja keskkonnatehnika teaduskond. Tallinn. 50 lk.
- Knapp, T., Tucker, D.** (2006). Side-by-side pilot testing of two disk filter manufacturers at the city of Merced wastewater treatment plant, WEFTEC. pp 1–9.
- Kriipsalu, M., Kuusik, A.** (2001). Reovesi-Omaveevärk ja omakanalisatsioon. /Tiiteltoimetaja Aleksander Maastik. Tallinn. Ehitaja kirjastus, lk 65-135
- Kuusik, A.** (2017). Reoveepuhastamise põhietapid, meetodid ja reoainete eraldamine. Reoveepuhastite operaatorite koolitus Tartus. [koolitus]

- Kõrgmaa, V., Tenno, T., Gross, M., Kriipsalu, M., Kivirüüt, A., Maastik, A., Tamm, P., Värk, V., Karabelnik, K., Terase, H.** (2016). Juhend reoveepuhasti rajamise või ümberehitamise korraldamiseks. Kesklabor. Eesti Keskkonna Uuringute Keskus. Tallinn. 54 lk.
- Kängsepp, P.** (2010). Hydrotech. Guidelines for carrying out jar-test trials with the bench-scale test-tube filtration unit. [juhend] (23.03.18)
- Kängsepp, P.** (2012). Hydrotech. Guidelines for carrying out pre-tests with bench-scale test-tube filtration unit. [juhend] (23.03.18)
- Kängsepp, P.** (2014) Hydrotech. Guidelines for carrying out pre-tests with the ET-equipment for filtration rate measurements. [juhend] (23.03.18)
- Kängsepp, P., Väänänen, J., Örning, K., Sjölin, M., Olsson, P., Rönnerberg, J., Wallebäck, F., Cimbritz, M., Pellicer-Nàcher, C.** (2016). Performance and operating experiences of the Scandinavian full-scale Discfilter installation for tertiary phosphorus polishing with preceding coagulation and flocculation. – Water Practice and Technology. Vol. 11, No. 2, pp 459-468.
- Lenntech. Water Treatment Solutions. (2018). [veebileht] <https://www.lenntech.com/membrane-technology.htm> (16.04.2018)
- Lim, A. L, Bai, R.** (2003). Membrane fouling and cleaning in microfiltration of activated sludge wastewater. Journal of Membrane Science. Vol 216, pp 279-290.
- Ljunggren, M.** (2006). Micro screening in wastewater treatment-an overview. Vol 62, pp 171-177. Lund.
- Ljunggren, M., Nilsson, B., Strube, R., Jönsson, L., La Cour Jansen, J.** (2005). Microscreening for stormwater treatment. Vol 61, pp 109-114.
- Makarov, A.** (2018). Optimization of high phosphorus loaded post-precipitation and separation process. (Bakalaureusetöö). South-Eastern Finland University of Applied Sciences. Finland. 63 pp.
- Mets, R., Kula, K.** (03. juuli 2016). Galerii: Tartu tagas külluslik vihmasedu. -*Tartu Postimees*. [e-ajaleht]. <https://tartu.postimees.ee/3751851/galerii-tartu-tagas-kulluslik-vihmasadu> (29.04.2018)
- Mueller, N. C., van der Bruggen, B., Keuter, V., Luis, P., Melin, T., Pronk, W., Reisewitz, R., Rickerby, D., Rios, G. M., Wennekes, W. and Nowack, B.** (2012). Nanofiltration and nanostructured membranes: Should they be considered nanotechnology or not? Journal of Hazardous Materials. Vol 211-212, pp 275-280.
- Mulder, M.** Basic. (1997). Principles of membrane technology. Kluwer Academic Publisher. The Netherlands.
- Reovee puhastamise ning heit- ja sademevee suublasse juhtimise kohta esitatavad nõuded, heit- ja sademevee reostusnäitajate piirmäärad ning nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed. (vastuvõetud 29.11.2012, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 01.01.2017). -*Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/116122016006> (04.01.2018)

- Reovesi ja reoveekogumisalad. (2018). Keskkonnaministeerium. [veebileht] <https://www.envir.ee/et/reovesi-ja-reoveekogumisalad> (22.05.18)
- Rossi, L.** (2014). Enhancing phosphorus removal by disc filtration a case study from Viikinmäki wastewater treatment plant. (Magistritöö). Aalto University. School of Chemical Technology. Finland. 140 pp.
- Saveljev, I.** (1978). Füüsika üldkursus. Kirjastus Valgus. Tallinn.
- Shon, H.K., Phuntshole, S., Chaundhary, D.S., Vigneswaran, S., Cho, J.** (2013). Nanofiltration for water and wastewater treatment-a mini review- Vol 6, pp 47-53
- Shukla, A. A., Kandula, J. R.** (2008). Harvest and recovery of monoclonal antibodies from large-scale mammalian cell culture. BioPharm International. Vol 21. Issue 5.
- Tang, B.** (2016). Review of recent developments on membrane technology for wastewater treatment- Oxidation Communications. Vol. 39 Issue 3-II, pp 2589-2599.
- Tartu linna ühisveevärgi ja -kanalisatsiooniga liitumise eeskirja ning Tartu linna ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni kasutamise eeskirja kinnitamine. (vastuvõetud 14.09.2006).-*Riigi Teataja*. <https://www.riigiteataja.ee/akt/12737048> (02.04.2018)
- Tenno, T.** (2014). Biogeeniärrastus, opereerimistingimused, settekäitlus. Tartu Ülikool. Tartu.
- The International Water Association. Sedimentation Processes. (2018). [veebileht] <https://www.iwapublishing.com/news/sedimentation-processes> (20.04.2018)
- Veeseadus. (vastuvõetud 11.05.1994, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 01.01.2018).-*Riigi Teataja*. <https://www.riigiteataja.ee/akt/104072017050> (15.04.2018)
- Veolia Water Technologies AB-Hydrotech. Hydrotech discfilters. (2018). [veebileht] <http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/hydrotech-discfilter/da/> (19.11.2017)
- Veolia Water Technologies. Hydrotech. Hydrotech chemical cleaning trolley: HCT. [juhend] (04.04.18)
- Väänänen, J.** (2017). Microsieving in municipal wastewater treatment: Chemically enhanced primary and tertiary treatment. Doktoritöö. Lund University. Lund. 79 pp.

## **LISAD**