

Uuringuaruanne

Paide reoveepuhasti



August 2018

**INGENIEURBÜRO
FRIEDRICH**





Sisukord

1. Taust	1
2. Aruande fookus	1
3. Paide RVP asukoht ja liik	1
4. Paide RVP konfiguratsioon	2
5. Annusreaktorite tsükli programm	5
6. Siseneva reovee andmed	6
6.1.1 Hüdraulilised andmed	6
6.1.2 Saasteained.....	7
7. Puhastatud heitvee andmed	11
8. Reovee bioloogiline puhastamine	14
8.1 KHT eemaldamine	14
8.1.1 Mudatoodang.....	14
8.1.2 Hapnikukulu ja õhustamine.....	14
8.1.3 KHT bilanss	15
8.2 Lämmastiku ärastus.....	16



8.3 Fosfori ärastus	17
9. Settekäitlus	18
10. Energiatõhusus	19
11. Probleemid reoveepuhastuse protsessides.....	19
12. Soovitused protsessi optimeerimiseks	21
13. Reservvõimsused	22
13.1 Puhastile saabuv koormus	22
13.2 Puhasti jõudlus	23
13.3 Järeldus	23
14. Personali kvalifikatsioon	24
15. Kokkuvõte	24



1. Taust

Üks CWPharma projekti eesmärke oli iseloomustada üht Eestis toimivat reoveepuhastit (RVP), et hinnata selle sobivust ravimijääkide eemaldamiseks kavandatava puhastusetapi rajamiseks. Projekti ülesande täitmiseks valiti puhastiks, mida oleks võimalik täiendada süvapuhastusetapiga ravimijääkide eemaldamiseks, Kesk-Eestis asuv Paide RVP.

2. Aruande fookus

Käesolevas uuringus analüüsiti Paide RVP-le saabuva reovee omadusi, peamiste saasteainete eemaldamiseks rakendatud puhastusprotsesse, settekäitlusprotsesse ja energiatõhusust ning olemasolevat reservvõimsust täiendava tööstusreovee puhastamiseks. Samuti käsitleti probleeme, mis selgelt mõjutavad reovee puhastusprotsesse, ja esitati ettepanekud protsessi jõudluse parandamiseks.

3. Paide RVP asukoht ja liik

Paide on Kesk-Eestis asuv enam kui 8000 elanikuga linn. Paide RVP on hiljuti olemasoleva puhasti kõrvale rajatud puhasti, mis anti käiku 2015. aastal. Puhasti arvestuslik võimsus on 40 000 ie. Kui varem tuli rohkem kui pool kogu puhasti reoveekoormusest piimatööstusest, siis nüüd, kus tööstus on tegevuse lõpetanud, ei tööta RVP enam täiskoormusega.



Joonis 1: Paide asukoht Eesti kaardil



4. Paide RVP konfiguratsioon

Paide ja seda ümbritsevate valdade reovesi juhitakse survetorude kaudu RVP sissevoolukambrisse ning läbib seejärel kombineeritud võreseedmed ja õhustatavad liivapüünised. Võrepraht ja liiv eraldatakse ja ladustatakse kuni edasise kõrvaldamiseni konteineritesse.

Suurte sisenevate vooluhulkade korral voolab reovesi sissevoolukambrit otse sademeveemahutisse (maht 2500 m³). Mahutist pumbatakse vesi tagasi RVP sissevoolu.

Eelpuhastatud reovesi voolab 1000 m³ suurusesse ühtlustusmahutisse. Selles toimub reovee ühtlustamine ja segamine, mille järel pumbatakse vesi ühte kolmest annusreaktorist (SBR) (iga reaktori maht on 3000 m³). Reaktorites on aktiivmuda. Aeroobse reoveepuhastuse käigus aktiivmuda ja reovett segatakse ja õhustatakse. Pärast bioloogilist puhastamist lülitatakse segamine ja õhustus välja ning aktiivmuda settib põhja, puhastatud vesi eemaldatakse aga supernatandina pinnalt ujuvate dekantritena. Pärast annusreaktorite tühjendamist puhastatud heitveest on puhastustsükkel lõppenud ja reaktorid on valmis järgmiseks tsükliks, mis koosneb taas vastavalt täitmisest, segamisest ja õhustamisest.



Joonis 2: Sissevoolu konstruktsioon



Joonis 3: Võreseedmed ja liivapüünised

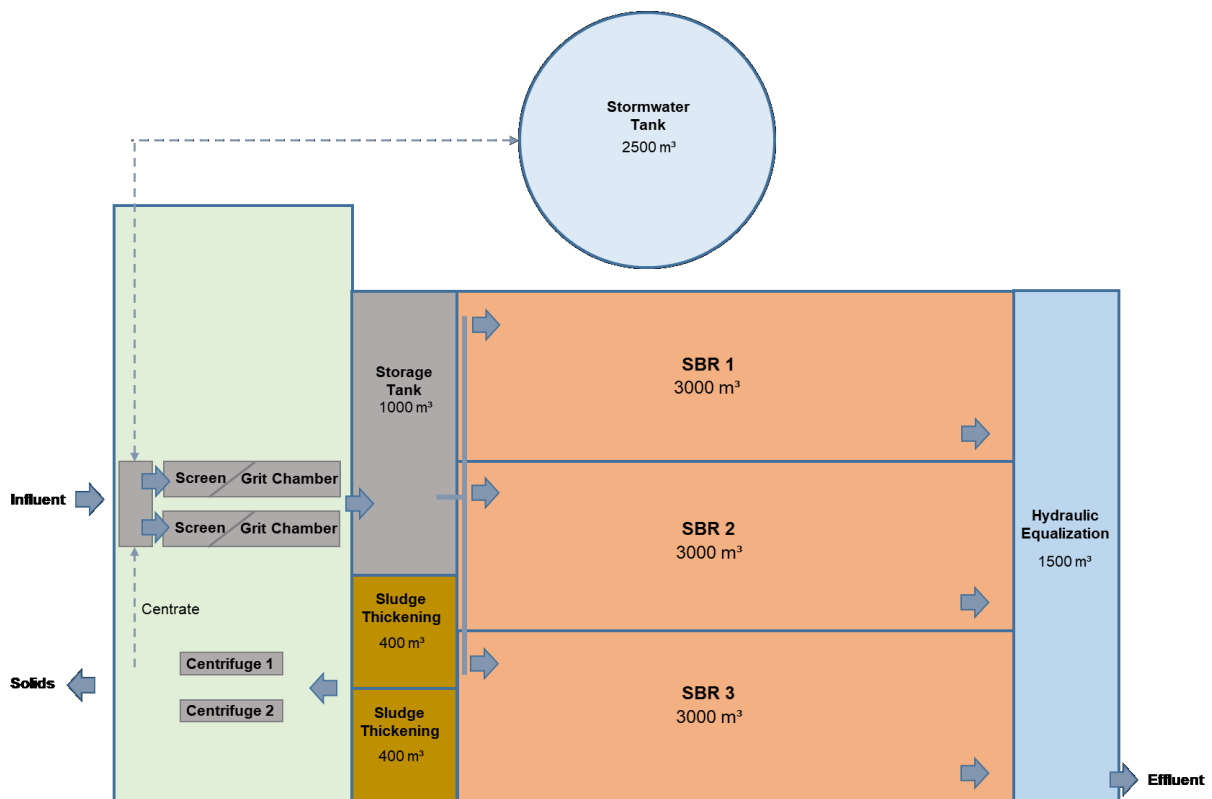


Joonis 4: Annusreaktor (SBR) seguri ja dekantriga



Joonis 5: Mudatihendi

Puhastatud heitvesi voolab annusreaktorist välja suhteliselt lühikese ajaga (1 tund) ja suurel voolukiirusel (1200 m³/h). Suubla veekogusse viiva kanali kaitsmiseks võimalike kahjustuste eest toimub väljavoolava heitvee ühtlustamine ja ühtlasi voolukiiruse vähendamine hüdraulilises ühtlustusmahutis, mille maht on 1500 m³.



Joonis 6: Paide RVP protsessiskeem



Aeroobse puhastamise käigus muundatakse orgaanilised ühendid aktiivseks biomassiks. Lisaks adsorbeeritakse sissevooluga saabuv tahke materjal aktiivmudahelveste külge. Mõlema protsessi ulatust saab jälgida hõljuvainete (HA) kasvuna annusreaktorites, mille tulemusena moodustub aktiivmuda (WAS). Aktiivmuda eemaldatakse tsükli lõpus ja pumbatakse ühte kahest mudatihendist (kumbki vastavalt 400 m³). Muda ühtlustamiseks ja lõhnaheite vältimiseks õhustatakse mahuteid kordamööda.



Joonis 7: Hüdrauliline ühtlustamine



Joonis 8: Dekantertsentrifuugid

Mudatihenditest pumbatakse aktiivmuda otse ühte kahest tsentrifuugist, kus toimub muda tahendamine, mille tulemusel suureneb selle tahkeaine sisaldus kuivaines (KA) 1,4%-lt 20%-le. Fugaat juhitakse RVP sissevoolu ja puhastatakse seejärel koos reoveega.



Joonis 9: Tahendatud muda



Joonis 10. Kompostimisväljak

Tahendatud muda töödeldakse edasi lähedalasuvatel kompostimisväljakutel. Siin segatakse muda orgaanilise materjaliga, mis parandab selle struktuurseid omadusi, ja komposteeritakse 6–8 nädalat. Kompostmulda kasutatakse väetisena põllumajandusmaal.



Joonis 11: Sademeveemahuti



Joonis 12: Suubla

5. Annusreaktorite tsükli programm

Tsükli programm koosneb toimingutest, mida annusreaktor täidab kogu puhastusprotsessi vältel. Paide RVP-s on kuivailma režiim (12 h/tsükkel) ja sademetega ilma režiim (8 h/tsükkel). Sellest tulenevalt sooritab üks annusreaktor kuivades ilmastikutingimustes 2 tsükli ööpäevas ja sademetega ilma režiimi puhul 3 tsükli ööpäevas.



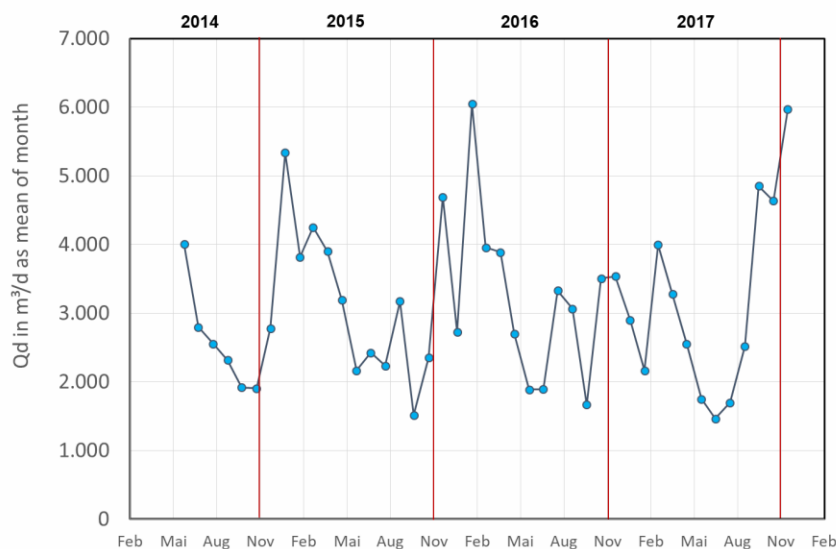
Tabel 1: Annusreaktori tsükli programm kuiva ilma korral

Tsükkel - aeg	Faas - aeg	Protsess	Toiming 1	Toiming 2	Toiming 3
h	min				
3,4	205	Denitrifikatsioon	Täitmine		Segamine
4,3	55	Nitrifikatsioon	Täitmine	Õhustamine	Segamine
9,8	330	Nitrifikatsioon		Õhustamine	Segamine
11,0	70	Settimine			
12,0	60	Dekanteerimine	Väljavool		
12,3	20	Muda tühjendus	Väljavool		

6. Siseneva reovee andmed

6.1.1 Hüdraulilised andmed

Joonisel 13 on kujutatud ööpäevas puhastile saabunud vooluhulkade põhjal koostatud kuu keskmiste vooluhulkade väärtused aastatel 2014–2017. Nagu näha, on sisenenud vooluhulgad kõige suuremad talvel (5000–6000 m³/d) ja kõige väiksemad suvel (1500–2000 m³/d). Kuna kasutada olid ainult igakuised keskmised väärtused, siis võivad hooajalised kõikumised olla veelgi äärmuslikumad. Seetõttu on küsitav, kas väärtuste arvatud kõikumine 35% ulatuses on iseloomulik või tuleks eeldada, et see on veelgi suurem. Ööpäevas sisenevate vooluhulkade tavapärase kõikumine aasta lõikes lahkvoolse kanalisatsioonisüsteemiga piirkondades Saksamaal on pigem 25%.



Joonis 13: Kuu keskmine ööpäevas sisenev vooluhulk

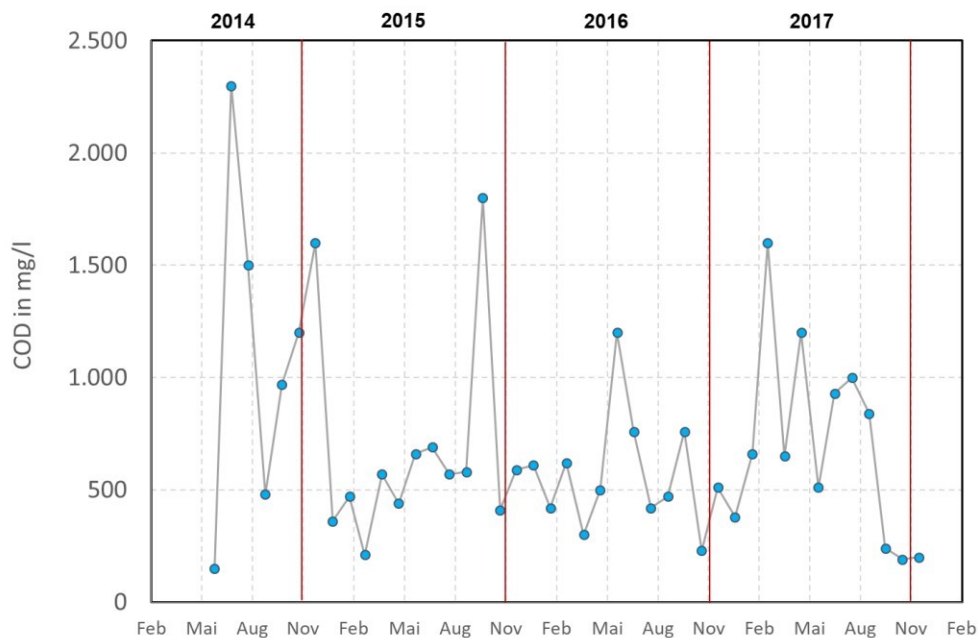


Annuspuhasti puhul aga, mis töötab katkendlikult tsüklirežiimis, kujutavad siseneva vooluhulga hüdraulilised näitajad tõelist väljakutset.

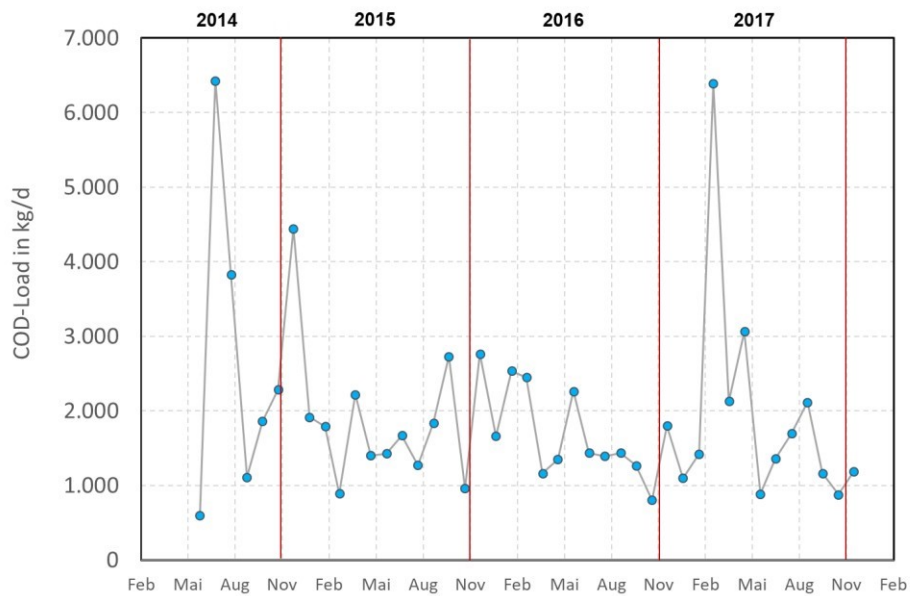
6.1.2 Saasteained

Kuna aasta lõikes ei toimu Paides suurt elanikkonna liikumist, võib eeldada, et puhastile saabuvate vooluhulkade suure kõikumisega kaasneb suur saasteainete lahjendus. Tegelikult on keskmine KHT kontsentratsioon sissevoolul suhteliselt väike ja siseneva vooluhulgaga võrreldes kõiguvad KHT väärtused veelgi laiemas ulatuses ehk 67%. Andmetest ei nähtu aga, et suvel oleks lahjendus väiksem kui talvel (vt joonis 14). Sisenenud vooluhulga ja KHT kontsentratsiooni järgi sissevoolul saab arvutada KHT koormuse (joonis 15). Iseloomustavad statistilised näitajad on kokku võetud tabelis 2. Keskmine KHT kontsentratsioon on 739 mg/l ja keskmine koormus 2218 kg KHT/d.

85%-kvantiili ja keskmise väärtuse suhtarv on KHT kontsentratsiooni puhul 1,6, kuid KHT koormuse puhul vaid 1,3.

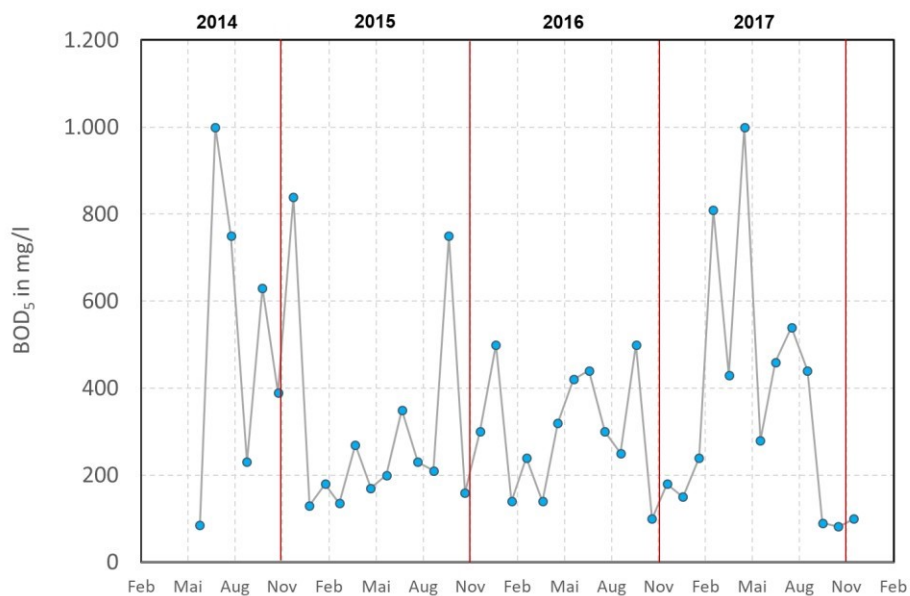


Joonis 14: Kuu keskmine KHT kontsentratsioon sissevoolul



Joonis 15: Kuu keskmine KHT koormus sissevoolul

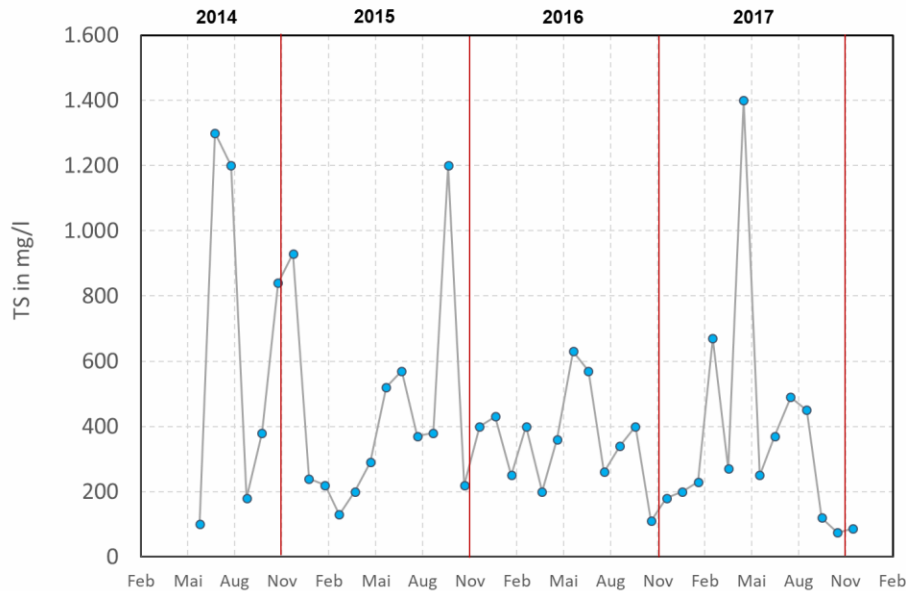
BHT₅ vastab üldjoontes lagundatavale KHT fraktsioonile. Joonisel 16 kujutatud BHT₅ profiilil on näha aasta lõikes suurt kõikumust. BHT₅ kontsentratsioonid sissevoolul kõiguvad 71% ulatuses ehk rohkem kui kaks korda enam kui Põhja-Saksamaal. Keskmise BHT₅ kontsentratsioon on 364 mg/l ja keskmine koormus 1091 kg/d.



Joonis 16: Kuu keskmine BHT₅ kontsentratsioon sissevoolul

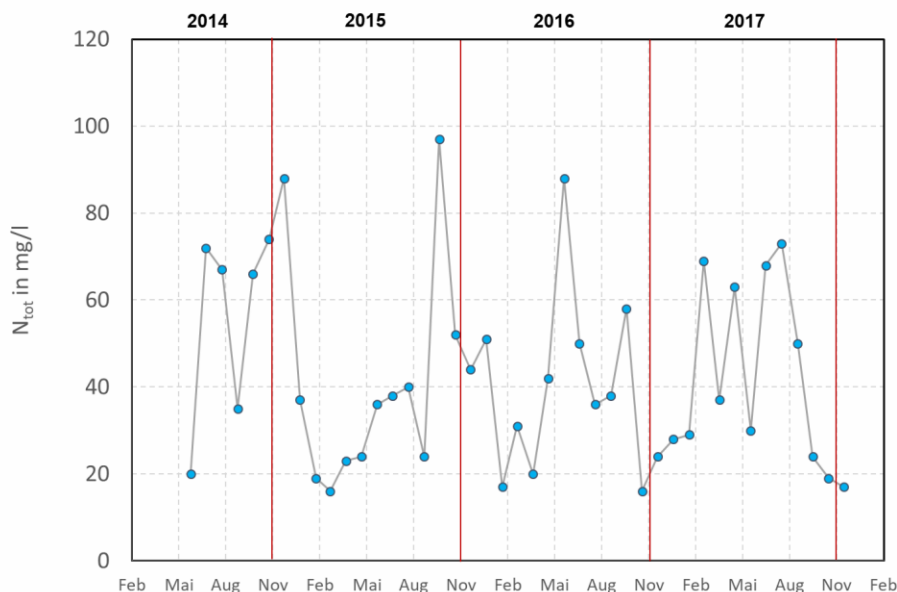


HA kontsentratsioon sissevoolul näitab KHT ja BHT₅-ga sarnast mustrit. Kontsentratsiooni keskmine väärtus on 455 mg/l ja koormuseks on arvatatud 1364 kg HA/d. HA kontsentratsioonid, mis ulatuvad üle 800 mg/l, on põhimõtteliselt võimalikud, kuid neid võib põhjustada ainult mitteolmelist päritolu reovesi.

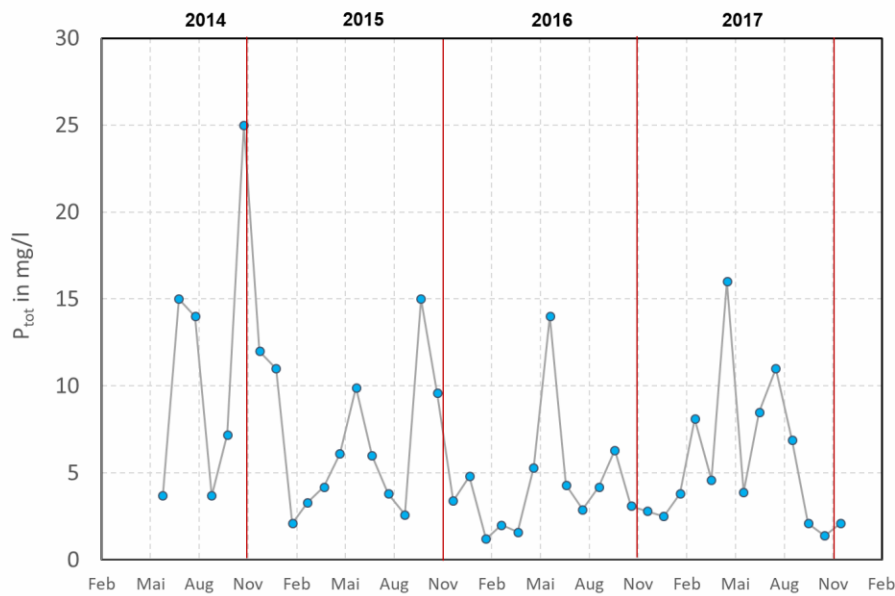
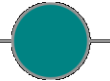


Joonis 17: Kuu keskmine HA kontsentratsioon sissevoolul

Lämmastiku ja fosfori kontsentratsioonid sissevoolul on mõlemad üsna väikesed. Keskmine N_{üld} kontsentratsioon on 43 mg N/l ja keskmine P_{üld} on 7 mg P/l. Profiili vaatlemine aasta lõikes ei paku selgitust nende parameetrite kõikumusele.



Joonis 18: Kuu keskmine N_{üld} kontsentratsioon sissevoolul



Joonis 19: Kuu keskmine P_{üld} kontsentratsioon sissevoolul

Tabelis 2 on toodud kokkuvõtte sissevoolu kontsentratsioonidest ja koormustest, mis põhinevad keskmistel ja 85%-kvantiili näitajatel. Sellest tabelist võib järeldada, et:

- Orgaaniliste ainete KHT, BHT₅ ja HA erikoormus reovees on lämmastiku ja fosforiga võrreldes oluliselt suurem.
- KHT ja BHT₅ suhtarv on 2,0 ja seega vahemikus, mis on tüüpiline olmereoveele.
- Reovee keskmine koormus vastab 18 000 ie-le ja sellele vastav 85%-kvantiilil põhinev koormus vastab 40 000 ie-le, kui kasutada võrdlusparameetrimina KHT-d.

Tabel 2: Tüüpilised saasteainete väärtused sisenevas reovees

	Erikoormus	Keskmine			85%-kvantiil		
		3000 m ³ /d			4000 m ³ /d		
Q _d	koormus/ie	Konts.	Koormus	Võimsus	Konts.	Koormus	Võimsus
	g/(ie*d)	mg/l	kg/d	ie	mg/l	kg/d	ie
KHT	120	739	2218	18000	1200	4800	40000
HA	70	455	1364	19000	772	3088	44000
BHT ₅	60	364	1091	18000	702	2808	47000
N _{üld}	11	43	130	12000	68	273	25000
P _{üld}	1.8	7	20	11000	13	53	29000



Et veelgi paremini illustreerida Paide reovee omaduste erinevust tüüpilistest Põhja-Saksamaa tingimustest, on tabelis 2 toodud keskmisi väärtusi võrreldud DWA poolt koostatud statistika keskmiste väärtustega.

Selle võrdluse põhjal on ilmne, et reovee suurem erikogus selgitab piisavalt väiksemat saasteainete kontsentratsiooni. Samas ei selgita see, miks ei ühti omavahel orgaaniliste ainete (KHT, BHT₅, HA) ja toitainete (N, P) näitajad.

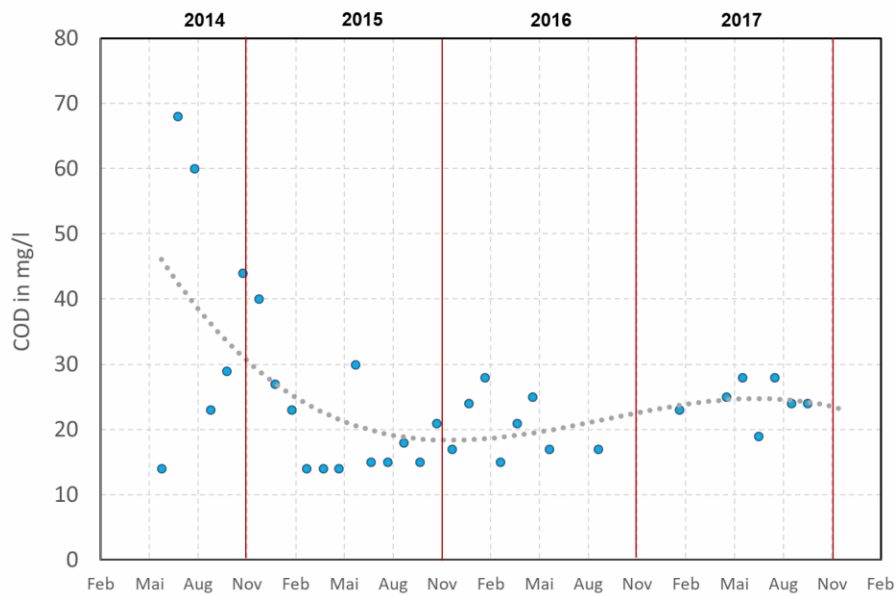
Tabel 3: Põhja-Saksamaale tüüpilise reovee ja Paide reovee omaduste võrdlus

	Saksamaa	Eesti	EST/GER
eri Q	120 l/(ie*d)	167 l/(ie*d)	
	Konts.	Konts.	
	mg/l	mg/l	
KHT	1000	739	74%
HA	583	455	78%
BHT ₅	500	364	73%
N	92	43	47%
P	15	7	45%

7. Puhastatud heitvee andmed

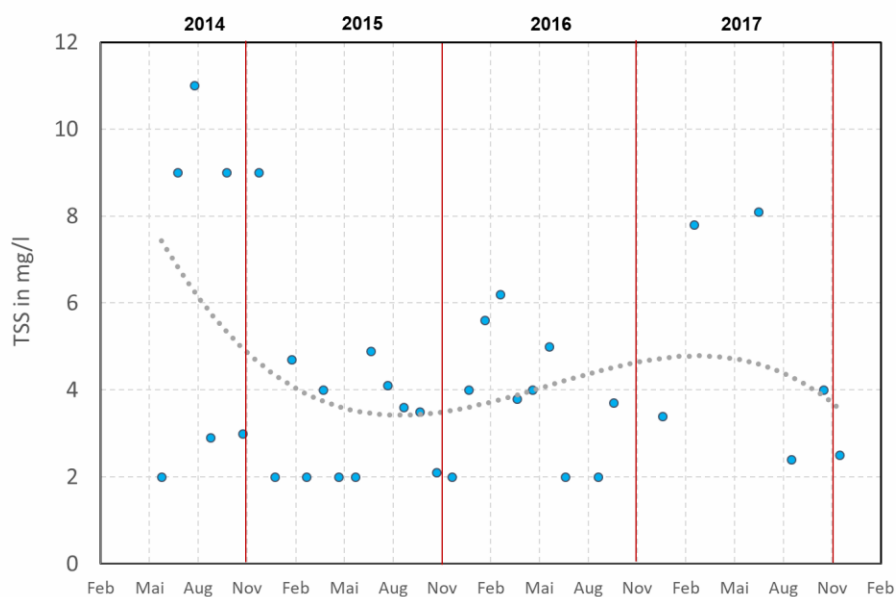
Reoveepuhastusprotsesside tõhusust iseloomustavad saasteainete kontsentratsioonid puhastatud heitvees.

KHT kui orgaanilise reostuse peamine parameeter vähenes pärast uue RVP käiku andmist 70 mg/l-lt 25 mg/l-le ning selle väärtused kõikusid 21% ulatuses. See tähendab, et KHT eemaldus toimib suure stabiilsusega terve aasta jooksul, mis on RVP töö juures peamine saavutus.



Joonis 20: Kuu keskmine KHT kontsentratsioon väljavoolul

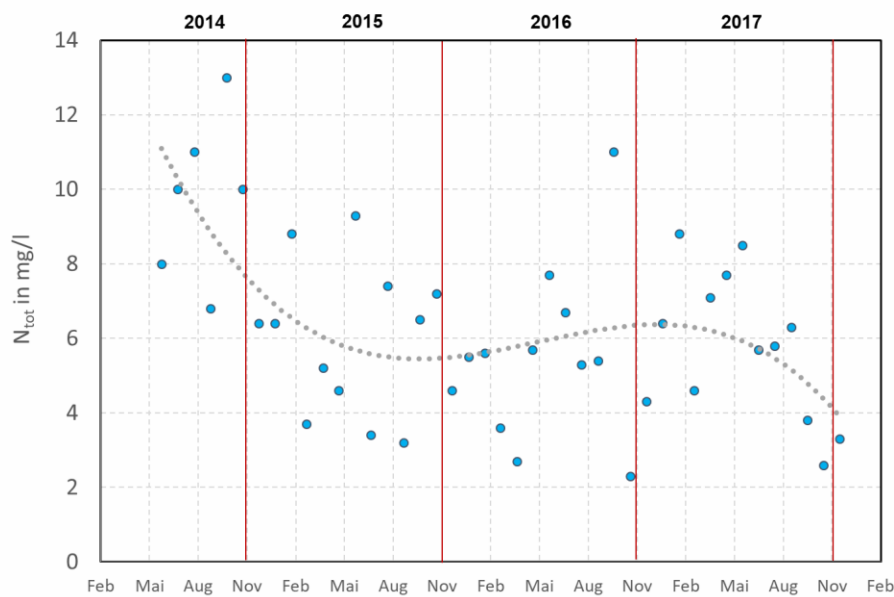
Puhastatud heitvees sisalduv HA on mõõde, mis iseloomustab aktiivmuda ja puhastatud heitvee eraldamise edukust. See võib osutada tõsiseks probleemiks eelkõige siis, kui muda settivus on halb. Alates 2015. aastast on keskmised HA kontsentratsioonid puhastatud heitvees jäänud alla 4 mg HA/l.



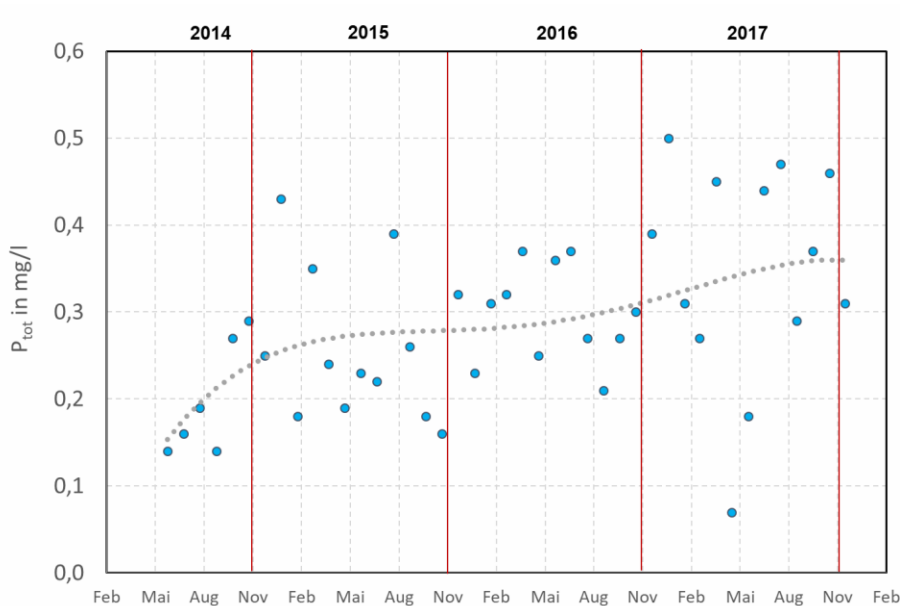
Joonis 21: Kuu keskmine HA kontsentratsioon väljavoolul



Lämmastiku kontsentratsiooni puhastatud heitvees mõõdetakse üldlämmastikuna ($N_{\text{üld}}$). Teiste lämmastiku vormide kohta info puudub. Siiski eeldatakse, et suurem osa heitvees leiduvast lämmastikust on nitraat. Kuna muda viibeaeg (SRT) annusreaktorites on suhteliselt pikk, siis oksüdeerivad nitrifitseerijad bakterid tõenäoliselt enamiku aastast kogu olemasoleva redutseeritud lämmastiku nitraadiks. Keskmise $N_{\text{üld}}$ kontsentratsioon puhastatud heitvees on 6,0 mg N/l.



Joonis 22: Kuu keskmine $N_{\text{üld}}$ kontsentratsioon väljavoolul



Joonis 23: Kuu keskmine $P_{\text{üld}}$ kontsentratsioon väljavoolul



Fosforiärastus toimub P akumulatsioonilise teel aktiivsesse biomassi ning P sadestamisena raua abil. Viimast tuntakse kui keemilist fosforiärastust. Joonisel 23 kujutatud P_{üld} kontsentratsiooni profiil puhastatud heitvees annab tunnistust tõhusast P-ärastusest, mille tulemusena jääb fosfori keskmine kontsentratsioon väljavoolul alla 0,3 mg/l.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et olemasolevate andmete põhjal toimivad reovee puhastusprotsessid väga tõhusalt ning nende tulemuseks oleva heitvee kvaliteet sobib neljanda puhastusetapi paigaldamiseks ravimijääkide eemaldamise eesmärgil.

8. Reovee bioloogiline puhastamine

8.1 KHT eemaldamine

8.1.1 Mudatoodang

Paide RVP andmete kohaselt on sealne mudatoodang 121 t HA/a. See teeb muda eritoodanguks 9 kg HA/(ie*a), mis on üsna vähe võrreldes Põhja-Saksamaa näitajaga 13–15 kg HA/(ie*a). Väikese mudatoodangu põhjuseks on muda ülimalt pikk viibeaeg (SRT) annusreaktorites – 109 päeva. SRT mõõdab samaaegse aeroobse kääritusprotsessi reaktsiooniga RVP bioloogilise puhastuse etapis. Kui puhastuse eesmärk on aeroobne stabiliseerimine, siis piisaks 25 päeva pikkusest viibeajast. Kõik, mis on üle eespool nimetatud arvestusliku SRT, põhjustab HA edasist aeroobset vähenemist annusreaktorites ja kulutab jätkuva õhustamisvajaduse tõttu elektrienergiat.

8.1.2 Hapnikukulu ja õhustamine

Hapnikukulu tekib aktiivse biomassi aeroobse tegevuse tagajärjena, mis on tingitud biolaguneva KHT ja redutseeritud lämmastikukomponentide (peamiselt ammoniaagi) oksüdeerumisest.



Tabelis 4 on arvatud ja ära toodud reovee omadustest lähtuv vajalik hapnikuvool koos olemasoleva puhuri poolt toodetava hapnikuvooluga. Selle arvutuse järgi on puhuri reservvõimsus keskmise hapnikukulu juures 33%.

Tabel 4: Reovee koormuse põhjal arvatud hapnikuvool

	Parameeter		Tarve	Saadaval	Ühik
		Keskm	1 x SBR	1 x SBR	
Q	Sissevool	3031	1010		m ³ /d
KHT	KHT sissevoolul	739	739		mg/l
	Inertne lahustunud 5% kogu KHT-st	37	37		mg/l
	Inertne tahke 14% kogu KHT-st	103	103		mg/l
	Biologundatav	599	599		mg/l
	Biologundatav KHT koormus	1815	605		kg O ₂ /d
N	Nitrifikatsiooni hapnikukulu	241	80		kg O ₂ /d
	C+N keskmine hapnikukulu	2056	685		kg O ₂ /d
Õhustus	Õhustamise aeg	12	12		h/d
	C+N hapnikutarbe tipp	171	57		kg O ₂ /h
	α-väärtus	0,65	0,65		
	Temperatuur	20	20		°C
	O ₂ küllastus	8,9	8,9		mg/l
	O ₂ seadeväärtus	1,5	1,5		mg/l
	O ₂ küllastuse puudujääk	1,20	1,20		
	Õhusti keskmine sügavus	4	4		m
	Hapniku eriülekanne õhustis	18	18		g O ₂ /(Nm ³ m)
	Vajalik hapnikuvool	4403	1468	2.056	Nm ³ /h
	Reserv			588	Nm ³ /h

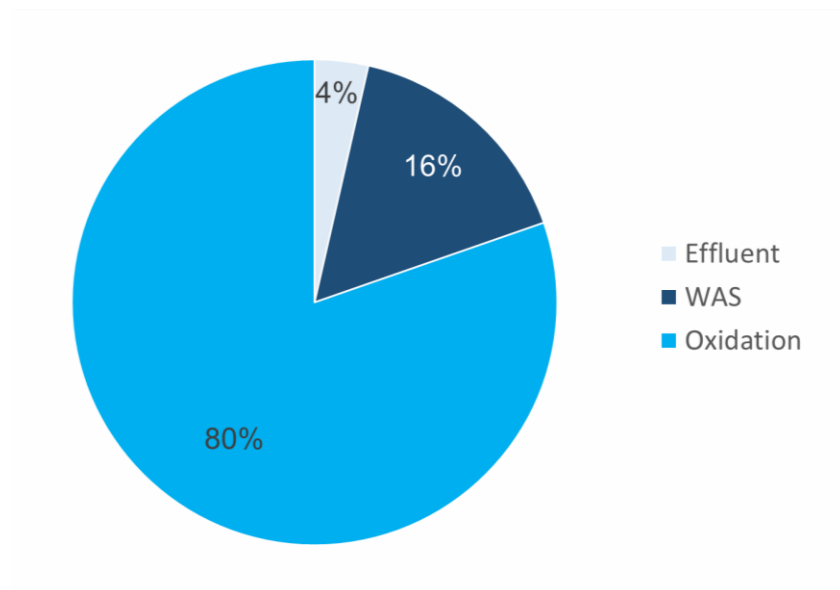
8.1.3 KHT bilanss

KHT bilanss on näitaja, mis iseloomustab hästi RVP üldise koormuse seisu ja energiatõhusust. Bilanssi ennast on väga lihtne arvutada. KHT koormus sissevoolul ja väljavoolul on teada KHT kontsentratsiooni ja vooluhulga mõõtmiste põhjal. Aktiivmuda KHT saab arvutada lenduvate hõljuvainete (LHA = orgaaniline HA)



ja LHA KHT-sisalduse teguri abil. See tegur on aktiivmuda puhul konstant väärtusega 1,45 g KHT/g LHA. Paide RVP puhul on eeldatav LHA/HA suhe väike – 0,65 g LHA/g HA.

Saadav tulemus näitab puhastusprotsessis oksüdeerimisel kulutatud KHT kogust ja arvutatakse järgmiselt: KHT sissevoolul miinus KHT väljavoolul miinus aktiivmuda KHT. Tulemus on kujutatud joonisel 24.



Joonis 24: KHT-bilanss Paide RVP-s

Bilansis domineerib märkimisväärse 80%-ga puhastisse sisenenud KHT-st see osa, mis kulub oksüdeerimisel. RVP puhul, kus muda viibeag (SRT) on 25 päeva, moodustab sisenevast KHT-st oksüdeeritava KHT osa ca 60% ja RVP-s, kus on kasutusel eelsetiti ja anaeroobne kääritus (SRT ca 15 päeva), vaid 40%. Mida suurem osa sisenevast KHT-st kulub oksüdeerimisele, seda rohkem elektrienergiat kulub õhustamisele ja seda väiksem on aktiivmuda toodang. Seetõttu ei ole üllatav, et mudatoodang on üsna väike (vt ptk 8.1.1). Seega võib RVP-d iseloomustada kui ulatusliku aeroobse muda stabiliseerimisega puhastit.

8.2 Lämmastiku ärastus

Lämmastiku bilanss põhineb eeldusel, et $\text{NH}_4\text{-N}$ ja $\text{NO}_2\text{-N}$ kontsentratsioonid väljavoolul on väga väikesed ja orgaanilise N kontsentratsioon väljavoolul on 1,0 mg/l.

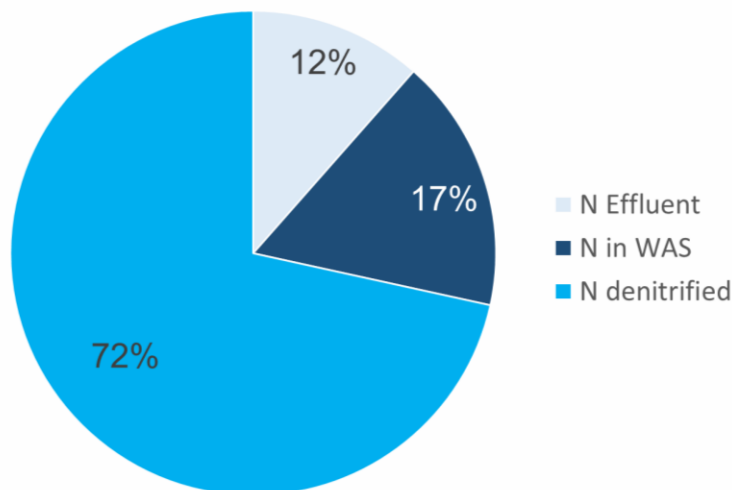


Ülejäänud üldlämmastiku ($N_{\text{üld}}$) väljavoolul moodustab $\text{NO}_3\text{-N}$ (vt tabel 5). HA põhjal eeldatakse, et 7% lämmastiku ärastusest toimub aktiivmudasse akumuleerumise teel.

Tabel 5: Lämmastiku bilansi arvutus

Parameeter	Konts.	Koormus
	mg/l	kg N/a
N sissevoolul	43	47815
$\text{NH}_4\text{-N}$ väljavoolul	0,1	111
$\text{NO}_3\text{-N}$ väljavoolul	4,8	5296
$\text{NO}_2\text{-N}$ väljavoolul	0,1	111
N_{org} väljavoolul	1,0	1106
$N_{\text{üld}}$ väljavoolul	6,2	5518
N aktiivmudas		8144
N nitrititseeeritud		39671
N denitrititseeeritud		34374

Graafiliselt on lämmastiku bilansi kujutatud joonisel 25. N üldine lagunemise määr RVP-s on 88%.



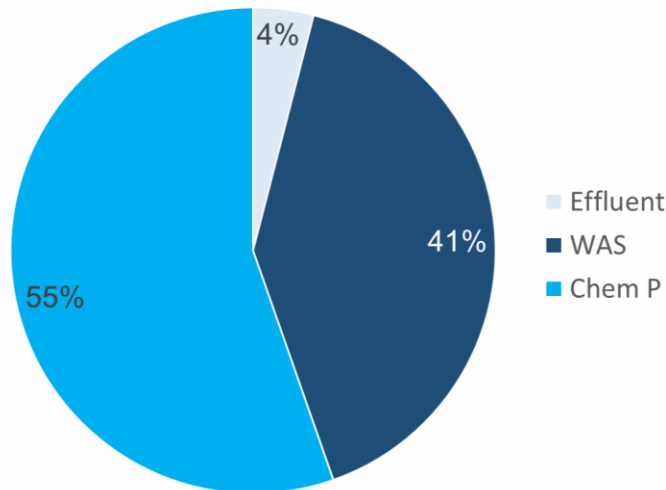
Joonis 25: Lämmastiku bilanss Paide RVP-s

8.3 Fosfori ärastus

Nagu lämmastiku puhul, liigub osa puhastile saabunud fosforist puhastatud heitvette, teine osa akumuleerub aktiivsesse biomassi, ning neist kahest järele jääv osa on



fosfor, mis eemaldatakse tehnoloogia abil. Paide RVP-s rakendatakse keemilist fosfori ärastust. Aktiivsesse biomassi akumulbeerunud P-fraatsiooni arvutamiseks kasutatakse fosfori erisisaldust HA-s, mis on 2,5%.



Joonis 26: Fosfori bilanss Paide RVP-s

Jooniselt 26 nähtub, et puhastile saabuva P lagunemise määr on väga suur – 96%. Samas tuleb keemiliselt eemaldada ainult 55% sisenevast fosforist, sest 41% akumulbeerub aktiivsesse biomassi.

9. Settekäitlus

Paide RVP settekäitlus koosneb muda pika viibeaja tõttu samaaegsest aeroobsest stabiliseerimisest, nagu juba kirjeldatud peatükis 8.1.1. Järgnevas käitlusetapis toimub muda ladustamine, ühtlustamine ja staatiline tihendamine, kuni selle tahkeaine sisaldus kuivaines (KA) on ca 1,4%. Tihendist pumbatakse muda dekantertsentrifuugi ja tahendatakse, kuni saavutatakse 20% KA. See protsess töötab täisautomaatselt ja tulemuseks on kõrge kvaliteediga reoveesete.

Reoveesete orgaanilise sisalduse edasiseks vähendamiseks ja toote omaduste parandamiseks töödeldakse setet väljaspoole RVP-d, kuid siiski selle lähedusse rajatud kompostimisväljakul.



10. Energiatõhusus

Energiakasutuse tõhusus reoveepuhastuses sõltub ennekõike seadmete energiatõhususest, elektriagamite efektiivsusest ja loomulikult optimaalsest protsessijuhtimisest. Eeltoodud arvutuste põhjal on aga ilmne, et Paide RVP töötab olulise alakoormusega. Kui puhasti tegelik koormus ei ühti piisavalt selle arvestusliku koormusega, ei ole protsessi võimalik optimaalselt juhtida. Kuigi ühelt poolt võimaldab mitme liiniga annusreaktorite süsteem teatavat paindlikkust, siis teisalt on selle puuduseks vajadus juhtida reovesi läbi puhasti tsükliliselt.

Energiatõhususe osas on seega väljakutseks leida kompromiss (1) sobiva muda viibeaja ja (2) säästva ja paindliku hüdraulilise jõudluse vahel, ning jõuda nende kahe põhjal (3) optimaalse protsessijuhtimiseni.

Puhasti andmetel on selle energiakulu 1,0 miljonit kWh/a. Selle kulu liigitamiseks seoti see inimekvivalentides (ie) väljendatud tegeliku KHT koormuse ehk KHT erikoormusega $120 \text{ g KHT}/(\text{ie} \cdot \text{d})$. Tabelist 2 nähtub, et keskmine koormus on 18 000 ie ja see teeb (võrreldavaks) elektrienergia erikuluks $55 \text{ kWh}/(\text{ie} \cdot \text{a})$, mis on väga suur. Sellist tüüpi (samaaegse aeroobse kääritusprotsessiga) ja sellise võimsusulatusega RVP puhul peaks normaalne elektrienergia erikulu olema 30–40 kWh/(ie*a).

11. Probleemid reoveepuhastuse protsessides

Paide RVP on suhteliselt uus, hästi projekteeritud ja nõuetekohase käitusega puhasti. Reoveepuhastuse tulemused näitavad, et puhasti üldist jõudlust ei mõjuta negatiivselt ükski tõsisem puudus.

Puhastile saabuva reovee omadusi vaadates on siiski ilmne, et periooditi esineb sisenevate vooluhulkade hüdraulilises koormuses äärmuslikke kõikumisi. Kuna annusreaktorites vahetatava reovee maht on kindlalt piiritletud, saab hüdrauliliste probleemide vältimiseks muuta ainult tsüklite sagedust ja pikkust.



Tabel 6: Hüdrauliline nõudlus sõltuvalt töös olevate annusreaktorite ja ööpäevaste tsüklite arvust

Töös	Annusreaktor	1	2	3	Ühik
	Annusreaktori maht	3000	6000	9000	m ³
	Maks. vahetatav osakaal	40	40	40	%
	Maks. vahetatav maht	1200	2400	3600	m ³ /tsükkel
Kuiv ilm	Tsüklite arv ööpäevas	2	2	2	
	Hüdrauliline võimsus	2400	4800	7200	m ³ /ööpäevas
Keskmine	Hüdr. nõudlus 2 tsükli	126%	63%	42%	
85% väärtus	Hüdr. nõudlus 2 tsükli	166%	83%	55%	
Maksimum	Hüdr. nõudlus 2 tsükli	252%	126%	84%	
Sademetega ilm	Tsüklite arv ööpäevas	3	3	3	
	Hüdrauliline võimsus	3600	7200	10800	m ³ /ööpäevas
Keskmine	Hüdr. nõudlus 3 tsükli	84%	42%	28%	
85% väärtus	Hüdr. nõudlus 3 tsükli	111%	55%	37%	
Maksimum	Hüdr. nõudlus 3 tsükli	168%	84%	56%	

Tabelis 6 on esitatud teoreetiline lähenemisviis, mille puhul on arvatud 1, 2 või 3 töös olevas annusreaktoris vahetatav maht 2 ja 3 tsükli kohta päevas. Kui hüdrauliline nõudlus ületab 100%, tähendab see hüdraulilist ülekoormust. Samas, kui nõudlus jääb alla 100%, ei tähenda see siiski tingimata, et hüdraulilise ohutuse mõttes on olemas reserv, sest see lähenemisviis põhineb (ebarealistlikul) eeldusel, et sisenev reovesi on päeva lõikes ideaalselt jaotunud.

Seetõttu on tabeli 6 sõnumi see, et kaks töös olevat annusreaktorit ei suuda toime tulla siseneva reovee maksimaalsete hüdrauliliste koormustega.

Ka siis, kui töös on 3 annusreaktorit, mis töötavad 2 tsükliga ööpäevas, põhjustavad RVP-sse saabuva reovee lühiajalised maksimaalsed hüdraulilised koormused paratamatult ühtlustusmahuti ülekoormuse. Sõltuvalt konkreetse sademete sündmuse ulatusest võib see juhtuda isegi siis, kui puhasti töötab sademetega ilma režiimis ja 3 tsükliga ööpäevas.

Kui puhasti töös on kitsaskoht, siis on see seotud sisenevate vooluhulkade tippkoormuse, mahutusvõimsuse, annusreaktorite täitmise perioodide ja reaktorites vahetatava vee mahuga.



12. Soovitused protsessi optimeerimiseks

Sademetel perioodil esineva hüdraulilise võimsuse puudujäägi probleemi lahendamiseks on soovitatav muuta tsükliprogrammi vastavalt tabelile 7 viisil, mis toob kaasa hüdraulilise läbilaskevõime automaatse suurenemise.

Esiteks on tungivalt soovitatav kasutada rohkem kui ühe täitmisaasiga tsükliprogrammi. See konkreetne funktsioon aitab hoida ühtlustusmahutis madalat veetaset.

Teiseks on igal täitmisaasil ainult aja-, kuid mitte mahupiirang. See tähendab, et seni, kuni reovesi on ühtlustusmahutis, töötavad ka täitepumbad, ja see aitab vähendada ühtlustusmahutis oleva vee mahtu.

Kolmandaks, kui maksimaalne veetase annusreaktoris saavutatakse kohe täitmisaasi alguses, hüppab tsükkel faasile 4.4, vähendades sel moel tsükli pikkust ning suurendades seega tsüklike arvu ööpäevas.

Tabel 7: Optimeeritud tsükliprogramm

Tsükli pikkus	Faasi pikkus	Faas	Faas	Protsess	Toiming 1	Toiming 2	Toiming 3
h	min						
0,5	50	1	1.1	Denitrifikatsioon	täitmine		segamine
0,9	5		1.2	Denitrifikatsioon			segamine
2,1	70		1.3	Nitrifikatsioon		õhustamine	segamine
2,6	50	2	2.1	Denitrifikatsioon	täitmine		segamine
3,0	5		2.2	Denitrifikatsioon			segamine
4,2	70		2.3	Nitrifikatsioon		õhustamine	segamine
4,7	50	3	3.1	Denitrifikatsioon	täitmine		segamine
5,1	5		3.2	Denitrifikatsioon			segamine
6,3	70		3.3	Nitrifikatsioon		õhustamine	segamine
6,8	50	4	4.1	Denitrifikatsioon	täitmine		segamine
7,2	5		4.2	Denitrifikatsioon			segamine
8,3	70		4.3	Nitrifikatsioon		õhustamine	segamine
9,3	60		4.4	Nitrifikatsioon		õhustamine	segamine
10,5	70	5	5	Settimine		jõude	
11,7	70	6	6	Tühjendamine	väljavool		
12,0	20	7	7	Muda kõrvaldamine	väljavool		



Alafaasid 1.2–4.2 võimaldavad vajadusel pikendada denitrifikatsiooniprotsessi.

Selle tsükliprogrammi rakendamiseks ja selle paindlikkusest kasu saamiseks tuleb vähemalt üks kahest täitepumbast välja vahetada, et see vastaks tegelikule vooluhulgale. Praegu on mõlema pumba vooluhulk kokku 260 m³/h. Tegelik täitmisaeg on 260 min (4,3 h), mis tähendab, et selle ajaga jõutakse täita ainult 1126 m³. Vahetatava vee maht kokku on aga 1200 m³. Teisisõnu, sademete perioodil, kui ühtlustusmahutisse saabuvad äärmuslikud tippvooluhulgad, on ühtlustusmahutist väljavoolamise kiirus, arvestades selle mahtu, liiga väike.

Mis puudutab soovitatud tsükliprogrammi, siis on olukorra parandamiseks vaja suurendada ühtlustusmahutist annusreaktoritesse voolava reovee vooluhulka. Soovitatav on välja vahetada üks olemasolevatest pumpadest igas reaktoris ja suurendada vooluhulka 130 m³/h asemel vähemalt kuni 300 m³/h. Välja vahetamist vajavad ka vastavad torud, mille läbimõõtu tuleb suurendada seniselt DN 100-lt DN 200-le.

13. Reservvõimsused

13.1 Puhastile saabuv koormus

Paide RVP projekteeriti võimsusega 40 000 ie. Reovee keskmise koormusena määratleti 18 000 ie ja sellele vastavaks projektkoormuseks saadi 40 000 ie. „Vastava” tähendus põhineb levinud taval kasutada kõigi olemasolevate väärtuste 85%-kvantiili.

Selle lähenemisviisi kohaselt Paide RVP juba töötabki täiskoormusega, kuigi keskmine koormus jääb alla poole vastavast projektkoormusest.

Kasutamata võimsuse hindamisel on olulised kaks aspekti:

Kuu keskmistele väärtustele tuginemine tähendab töötamist väga väikese fookussügavusega. Nende andmete põhjal statistikat koostada on peaaegu lubamatu. Seega puudub kindlus, mis võimaldaks välja arvutada kasutamata võimsust, lähtudes reovee koormusest.



Olenemata andmete kvaliteedist osutavad olemasolevad andmed väga suurtele kõikumistele puhastile saabuvates vooluhulkades ja saasteainete sisalduses. See on põhjus, miks vastav projektkoormus on palju suurem kui Paide RVP-le saabuv keskmine koormus. Seda kõikuvust on vaja täpsemalt kirjeldada, mis on võimalik vaid siis, kui andmeid kogutakse suurema sagedusega. Andmeid (sisenev vooluhulk ja saasteainete kontsentratsioon) tuleb registreerida iga päev. Puhasti tegeliku koormuse määramiseks on oluline siduda reovee tegelik kogus selle kvaliteediga.

13.2 Puhasti jõudlus

Vaadates puhasti üldist jõudlust, on ilmne, et muda viibeaja näol, mis kestab rohkem kui 100 päeva, on tegemist tohutu, seni kasutamata jäänud võimsusega puhasti bioloogilise puhastuse etapis. Peatükis 8.1.2 tehtud arvutustes saadi puhuri teoreetiliseks reservvõimsuseks rohkem kui 30%. See ei ole sugugi vastuolus suure vastava projektkoormusega, sest muda viibeaja näol on tegemist keskmise viibeajaga ja puhuri võimsus on ainult teoreetiline ning põhineb keskmistel saasteainete kontsentratsioonidel.

13.3 Järeldus

Neid aspekte silmas pidades ei ole mitte puhasti suurus see, mis piirab puhastusvõimsust, vaid pigem puhastile saabuva reovee dünaamika, mis seab piirid puhasti reservvõimsuse kasutamisele. Dünaamika on mõjutatud peamiselt sissevoolu hüdraulikast ning seda on võimalik piisavalt muuta tänu mitme liiniga süsteemi põhimõttele ja sademeveemahutile.

Kitsaskohaks on ühtlustusmahuti ja annusreaktorite vaheline koostöö. Reaktorite täitmine kiirendatud korras aitaks hoida ühtlustusmahutit tühjana ja võimaldaks töötamist lühemate tsüklitega. Sel viisil oleks võimalik suurendada tsüklite arvu ööpäevas ja seega suurendada märkimisväärselt hüdraulilist läbilaskevõimet.



14. Personali kvalifikatsioon

Paide RVP nagu iga teine sellise suurusega puhasti on oma betoonmahutite, torustike, masinate, elektriseadmete, juhtimissüsteemide, käitustoimingute ja operaatori jaoks paljude ootamatute igapäevaste väljakutsetega keerukas süsteem.

Puhastil on selge struktuur ning kõik puhasti rajatised ja puhastusprotsessid on hästi dokumenteeritud. Puhasti üldise seisukorra, reoveepuhastuse ja settekäitluse tulemuste kui ka isikliku kontakti põhjal operaatoriga on ilmne, et puhastit käitaval meeskonnal on suured teadmised ja juba ka head kogemused Paide RVP töö juhtimisel. Kindlasti ei saa märkimata jätta nende jõupingutusi olemasolevate rajatiste ja seadmete hoidmisel ja täiustamisel.

15. Kokkuvõte

Eestis tegutsev Paide RVP anti käiku 2015. aastal. Puhasti üldise jõudluse tase vastab nüüdisaegsele tehnika tasemele reoveepuhastuses. Puhastis on kasutusel samaaegse aeroobse stabiliseerimise protsess. Puhasti arvestuslik võimsus on 40 000 ie. Keskmiselt on see aga rakendatud palju väiksemal võimsusel, mis vastab 18 000 ie tasemele. Suurte kõikumiste tõttu puhastile saabuva reovee omadustes, peamiselt hüdraulilistes koormustes, on vastav projektkoormus 40 000 ie.

Reoveepuhastusprotsesside tõhusus KHT, HA, N ja P osas on väga hea.

Mitme liiniga bioloogilise puhastuse etappi, mis koosneb 3 annusreaktorist, iseloomustab rohkem kui 100 päeva kestev muda viibeaeg. Seetõttu on energiatõhusust kirjeldav elektrienergia erikulu 55 kWh/(ie*a) ligikaudu kaks korda suurem kui täiskoormusel töötava RVP puhul.

Puhasti koormustingimuste täpsemaks kindlaks määramiseks on oluline koguda andmeid suurema sagedusega. See info on kasutamata võimsuse täpsemaks hindamiseks oluline.



Puhasti töötajate kvalifikatsioon on vastavuses puhasti üldiste tulemustega.

CWPharma projekti seisukohast ei ole ühtegi põhimõttelist takistust puhastusetapi rakendamiseks, mille eesmärk on ravimijääkide eemaldamine puhasti heitveest.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. Friedrich'.

Dr - Ing. Michael Friedrich

Schwerin, 06.08.2018