

Fem avloppsreningsverk med MBR-process och strikt utsläppskrav

Rapport från en studieresa till USA

Klara Westling
Sofia Andersson



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området.

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 14057
167 14 Bromma
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Fem avloppsreningsverk med MBR-process och strikta utsläppskrav Rapport från en studieresa till USA
Title of the report:	Five wastewater treatment plants with MBR and strict effluent limits - a report from a study trip on the east coast of USA
Författare:	Klara Westling, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Sofia Andersson, Stockholm Vatten och Avfall AB
Rapportnummer:	2019-5
Antal sidor:	46
Sammandrag:	Rapporten sammanfattar erfarenheter och rekommendationer från fem avloppsreningsverk med membranbioreaktor (MBR) och strikta utsläppskrav i USA. Reningsprocessen fungerar väl hos de besökta verken, men de har vissa gemensamma utmaningar och det finns rekommendationer som kan vara till nytta för svenska avloppsreningsverk i samband med uppgradering till MBR.
Abstract:	This report concludes information, experiences and recommendations from five wastewater treatment plants with Membrane Bioreactor (MBR) and strict effluent requirements on the east coast of USA. Generally, the process works well at the visited plant, but there are common challenges and recommendations that can be adopted by Swedish WWTPs in the process of upgrading to MBR.
Sökord:	MembranBioReaktor (MBR), studieresa, strikta utsläppskrav, avloppsreningsverk
Keywords:	Membrane BioReactor (MBR), study trip, strict effluent limits, wastewater treatment plant
Målgrupper:	Processingenjörer, utvecklingsingenjörer, driftpersonal, instrumentpersonal, VA-chefer
Omslagsbild:	Ovanför membrantankar på Yellow River WRF, Atlanta, Georgia, Foto: Klara Westling, IVL Svenska Miljöinstitutet AB
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens webbplats www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2019
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	18-109
Projektets namn:	Membranbioreaktorprocesser
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm Vatten och Avfall AB

Förord

Våren 2018 skulle vi delta på en konferens, Membrane Technology Conference, i Florida USA. För att lära oss mer om drift av membranreningsverk i fullskala beslöt vi oss för att anordna några studiebesök när vi ändå skulle ut och resa. Vi fick hjälp av Stephen Katz på Suez att hitta lämpliga reningsverk och planera vår rutt. Innan vi reste samlade vi in frågor från våra kollegor och personer som arbetade med ombyggnationsprojektet (SFA) på Stockholm Vatten och Avfall. Vi sammanställde och skickade ut frågorna till reningsverken någon vecka innan vi reste så de skulle veta vad vi ville diskutera. Vi meddelade även att vi gärna ville träffa drift- och underhållspersonal och inte enbart ”plant managers”. Sen packade vi väskan full av påskägg och reste västerut utan att ha en aning om vilket mottagande vi skulle få.

Det visade sig att samtliga reningsverk tog emot oss med öppna armar och hade många frågor om Henriksdals reningsverk och vårt projekt. De flesta hade förberett svar på de frågor vi skickat, förklarade tålmodigt hur varje litet processteg fungerade, visade oss runt i reningsverkens alla skrymslen och vrår, lät oss i vissa fall intervjua drift- och underhållspersonal samt delade frikostigt med sig av data och erfarenheter. Efter att, under tre dagar, ha besökt fem reningsverk, rest över 100 mil med tåg, bil och flyg, renskrivit regnvåta, svärtydda anteckningsblad och konverterat gallons och square feet till begripliga enheter på kvällarna och genomlevt en konstant jakt efter en anständig kopp kaffe avslutade vi vårt värv. Resultatet finns presenterat i den här rapporten.

Vi vill tacka samtliga inblandade på de fem avloppsreningsverken; Bernard Williams och Mike Smith på Cox Creek WRF, Mike Carlson och Bob Money på Ballenger-McKinney WWTP, Jeff Angiel och Michael Rumke på Broad Run WRF, Ben Bagwell på Yellow River WRF samt Malcolm Gavin på John's Creek Environmental Campus. Ett extra stort tack till Stephen Katz och Craig Brown på Suez för hjälp med planering och genomförande av studiebesöken. Ett slutligt tack även till Svenskt Vatten Utveckling som möjliggjort skrivandet av denna rapport.

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	7
1. Introduktion	8
2. Bakgrund och syfte	9
3. De fem avloppsreningsverken	10
3.1 Cox Creek Water Reclamation Facility	11
3.2 Ballenger-McKinney Wastewater Treatment Plant.....	14
3.3 Broad Run Water Reclamation Facility	16
3.4 John's Creek Environmental Campus.....	19
3.5 Yellow River Water Reclamation Facility.....	21
4. Fakta och erfarenheter	25
4.1 Utrymme	25
4.2 Uppstart	25
4.3 Finsil	26
4.4 Membran	27
4.5 Kemikaliehantering	33
4.6 Överdäckning och ventilation.....	35
4.7 Skum och flytslam	36
4.8 Personal	36
4.9 Styrsystem.....	37
4.10 Reningsprocessen	38
4.11 Energi- och resursförbrukning	39
5 Sammanfattande slutsatser och diskussion	40
6 Referenser	42

Sammanfattning

Rapporten sammanfattar erfarenheter och rekommendationer från fem avloppsreningsverk med membranbioreaktor (MBR) och strikta utsläppskrav i USA. Reningsprocessen fungerar väl hos de besökta verken, men de har vissa gemensamma utmaningar och det finns rekommendationer som kan vara till nytta för svenska avloppsreningsverk i samband med en uppgradering till MBR.

De flesta avloppsreningsverk i Sverige kommer så småningom att få hårdare utsläppskrav för fosfor, kväve och organiskt material (BOD). För många av verken väntar också ökad belastning på grund av växande städer. Att införa membrantechnik är en möjlighet att öka kapaciteten på samma markyta och försäkra sig om att framtida reningskrav kan uppfyllas. Det finns ännu inget kommunalt reningsverk med membrantechnik i drift i Sverige, men flera verk har planer på att införa tekniken. Henriksdalsverket i Stockholm har kommit längst. Där ska sju aktivslamlinjer byggas om till MBR. Membranen är av typen hålfiber och kan liknas vid sugrör.

För att ta del av kunskap och erfarenhet från reningsverk med MBR som varit i drift ett antal år besökte rapportens författare i mars 2018 fem avloppsreningsverk på USA:s östkust. Samtliga fem verk har hårda utsläppskrav för fosfor, kväve och BOD. Avloppsreningsverken valdes ut för att så långt som möjligt likna svenska avloppsreningsverk med tanke på klimat, utsläppskrav och recipient. Hos alla fem reningsverken fungerar MBR-processen bra. Driften är stabil och de klarar sina utsläppskrav med god marginal. Men de har ett antal gemensamma utmaningar. Det har varit svårt att hitta en överdäckning av membrantankarna som är lätt nog att lyftas men samtidigt stabil nog att gå på. Det har noterats korrosion i utrustning som finns i anslutning till kemikalien hypoklorit, om den inte består av plastmaterial. Eftersom hypokloriten sönderfaller med tiden bör man inte förvara mer än vad som behövs för en månads drift. Problem med skumning i det biologiska reningssteget har avhjälpats genom installation av spraydysor som innehåller vatten eller klorlösning. I vissa fall har den travers som används för lyft av membranen fått bytas, eftersom membran som varit i drift en tid har fått beläggning som vägt mer än förväntat.

Membranen rengörs regelbundet med natriumhypoklorit och citronsyra enligt ett särskilt schema. Efter en tid har reningsverken anpassat schemat efter sina egna behov till färre rengöringstillfällen, och är nöjda med den effekt det ger på membranens kapacitet. I samband med membranrengöring med citronsyra noterades ökningar i utgående fosfathalter, något som även har observerats i pilotanläggningen på Hammarby Sjöstadswerk. Huvudfokus hos de besökta reningsverken i USA har legat på att klara gällande utsläppskrav, och man har ägnat mycket lite uppmärksamhet åt ökad resurs- och energieffektivitet såsom minskad kemikalie- eller energiförbrukning.

Summary

Several wastewater treatment plants (WWTPs) in Sweden will in the near future be given stricter effluent regulations concerning phosphorus, nitrogen and BOD. Many of these are also expecting an increased load due to a growing population. Implementation of membrane technology (MBR) is a possibility for these plants to both increase their treatment capacity as well as ensuring to comply with the future stricter regulations. Membrane technology is also very space efficient and the capacity of a plant can therefore often be increased without the need of more land.

Since there are no municipal WWTPs with membrane technology in operation in Sweden, it is important to learn from other plants in other countries. With this as a background, the authors of this report visited five MBR WWTPs in the USA, in March 2018. All visited plants were selected to be as similar as possible to Swedish WWTPs concerning climate, effluent regulations and recipient.

The MBR process is generally working well for all visited plants. The operation is stable and they are complying with their effluent regulations. However, there are some common general challenges that several of the visited plants are experiencing. It is difficult to find coating of the membrane tanks that is light enough to be lifted but at the same time stable enough to walk on. Corrosion has been noted on equipment handling hypo chlorite, but not if the equipment is made of plastic material. Since the hypo chlorite is degrading with time storage should not exceed one month usage. All visited plants have had problems with foaming in the biological treatment step, but this has been reduced by installing sprinklers containing water or a chlorine solution. For some plants, the power of the crane used to lift membranes had to be increased, since fouled membranes weighed more than initially expected.

The membranes are continuously cleaned using hypo chlorite and citric acid, based on a specific cleaning schedule. After some time, the plants have adjusted the cleaning schedule to their specific needs, and they are all satisfied with the cleaning effect on the membrane capacity. The two plants continuously monitoring effluent phosphate have both noted an increase in effluent phosphate concentrations in connection to membrane cleaning with citric acid. This effect has also been noted at the MBR pilot scale treatment line at Hammarby Sjöstadsvärk in Stockholm, Sweden (operated by IVL Swedish Environmental Research Institute and Stockholm Vatten och Avfall).

The main focus at the visited plants is to comply with the effluent requirements and not much focus is being put on resource and energy efficiency, such as chemical used for phosphorus and nitrogen removal and energy used for aeration in the biological treatment step and in the membrane tanks.

1. Introduktion

Denna rapport sammanfattar information, erfarenheter och rekommendationer från fem avloppsreningsverk med membranbioreaktor (MBR) och strikta utsläppskrav (med avseende på kväve och fosfor) på USAs östkust.

2. Bakgrund och syfte

Flertalet avloppsreningsverk i Sverige kommer inom den närmsta framtiden ges hårdare utsläppskrav med avseende på fosfor, kväve och BOD. Många av dessa avloppsreningsverk väntar även en ökad belastning på grund av växande städer. Att implementera membranteknik är en möjlighet för dessa avloppsreningsverk att både öka kapaciteten och samtidigt försäkra sig om att framtida reningskrav kan uppfyllas. Membranteknik är dessutom väldigt platseffektiv och avloppsreningsverkens kapacitet kan ofta utökas utan att mer markyta behöver tas i anspråk.

Henriksdals avloppsreningsverk (ARV) i Stockholm är ett av de reningsverk i Sverige som redan beslutat att implementera membranteknik i sin process, det vill säga gå från konventionell aktivslamprocess till MBR-process. Med den nya processen fördubblas reningsverkets kapacitet till 1,6 miljoner personekvivalenter (pe), samtidigt som nya striktare reningskrav kommer kunna mötas utan att mer biologisk volym krävs. Arbetet med att bygga om den första av sju parallella aktivslamlinjer till MBR pågår för fullt och den första MBR-processen planeras att drifställas under år 2020. Processen har testats i pilotskala på Sjöstadverket i ett samarbete mellan IVL Svenska Miljöinstitutet och Stockholm Vatten och Avfall sedan 2016. Trots att många lärdomar och slutsatser kunnat dras utifrån pilotförsöken saknas kunskap om fullskalanläggningar med förutsättningar som liknar de i Sverige.

Då det inte finns något kommunalt reningsverk med membranteknik i drift i Sverige idag är lärdomar, kunskap och erfarenhet från reningsverk i andra länder viktigt att ta del av.

Därför besökte rapportens författare, och tillika projektledare för MBR-piloten, fem avloppsreningsverk på USAs östkust i mars 2018 i samband med en internationell membrankonferens. Samtliga fem avloppsreningsverk har installerat MBR med samma typ av hålfibermembran som ska användas på Henriksdals reningsverk (ZeeWeed 500D, Suez) samt har hårda utsläppskrav med avseende på fosfor, BOD, och kväve (tre av dem har krav på N-tot och två på $\text{NH}_4\text{-N}$). Avloppsreningsverken valdes ut för att så långt som möjligt efterlikna svenska avloppsreningsverk med avseende på klimat, utsläppskrav och recipient.

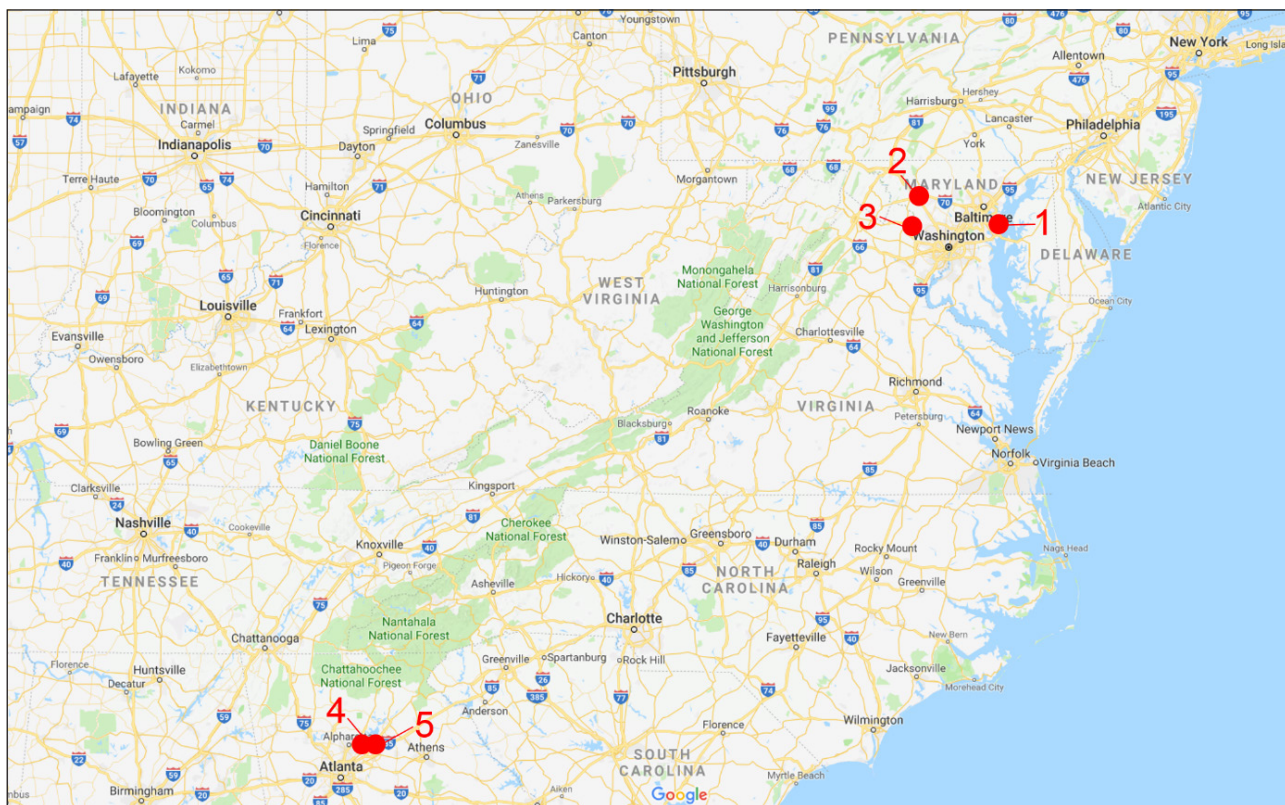
Syftet med besöken var att samla information om och erfarenheter av membrandrift, processstyrning, kemikaliehantering, maskinval, organisation, arbetsmiljö och driftsättning som kan vara relevant för Henriksdal och andra Svenska reningsverk som ska/funderar på att implementera membranteknik. Informationen, så som författarna uppfattade den, publiceras i denna sammanfattande rapport vilken kan delges samtliga intressenter i Sverige.

3. De fem avloppsreningsverken

Valet av reningsverk gjordes baserat på följande urvalskriterier:

1. Relativt stort kommunalt reningsverk på amerikanska östkusten.
2. Samma typ av membran som ska användas på Henriksdal, dvs ZeeWeed 500D från Suez.
3. Strikta krav på fosfor och/eller kväverening.

Valet föll på fem avloppsreningsverk i fem olika Countys fördelat på tre olika stater, se Figur 3.1. De tre reningsverken runt Washington har strikta utsläppskrav på både kväve och fosfor till följd av känsliga recipienter. De omfattas antingen av Chesapeake Bay TMDL Action Plan (Chesapeake Bay påminner om Östersjön med bräckt vatten och övergödning och aktionsplanen liknar Baltic Sea Action Plan) eller är en del av ett vattenskyddsområde. De har också ett klimat som påminner om Sveriges med snösmältning och periodvis kalla vattentemperaturer. De två reningsverken utanför Atlanta har inte lika känsliga recipienter och inte heller lika strikta utsläppskrav. Det blir heller aldrig lika kallt som i Sverige. Reningsverken valdes ändå ut eftersom de var lämpligt lokaliserade i förhållande till färdplanen, är välskötta och tillämpar långtgående kväve- och fosforrening. Samtliga reningsverk är betydligt mindre än Henriksdals reningsverk. De två största reningsverken motsvarar nästan en framtida MBR-linje (av sju) på Henriksdal.



Figur 3.1 Geografisk placering av de fem avloppsreningsverken. 1. Cox Creek, 2. Ballenger McKinney, 3. Broad Run, 4. John's Creek och 5. Yellow River.

De avloppsreningsverk som besöktes har varit i drift mellan 1–10 år vilket medförde både erfarenheter av uppstart med helt nya processer och membran samt erfarenheter av att driva MBR-processer över längre tid. Ett reningsverk hade dessutom precis inlett processen med upphandling av nya membran vilket innebär att de hade erfarenhet av hur processen fungerar över en hel membranlivstid.

Geografisk placering samt generell information om besökta avloppsreningsverk ges i Figur 3.1 och Tabell 3.1.

Utöver de reningskrav som presenteras i Tabell 3.1 så hade samtliga besökta reningsverk även krav på utgående halter av BOD₅, syre, bakterier, pH, suspenderat material och turbiditet. Detta innebär att samtliga reningsverk desinficerade det renade avloppsvattnet, för att minska antalet bakterier, innan det släpptes till recipient. I de flesta fall användes UV för desinfektion. Normalt krav på utgående syrehalt var >6–8 mg/L vilket uppnåddes genom ett luftningssteg, oftast i form av ett överfall. Krav på utgående halt av suspenderat material, turbiditet och BOD₅ var normalt inte ett problem då låga halter av samtliga dessa parametrar oftast nås hos membranläggningar. pH skulle enligt givna krav ligga inom ett intervall (normalt 6–9).

Tabell 3.1 Kort sammanställning om de fem avloppsreningsverk som besöktes.
FDN = fördenitrifikation, NIT = nitrifikation, EDN = efterdenitrifikation

Namn (driftsattes)	PE	Avlopp	N-rening (kolkälla)	P-rening	Krav (mg/L)	Temp (°C)
Cox Creek (2017)	80 000	Separat	FDN-NIT-EDN (Micro-C)	Fe ³⁺ simultan	P-tot: 0,3 N-tot: 3/4	Min 12 Max 25
Ballenger McKinney (2013)	180 000	Separat	FDN-NIT-EDN (Micro-C + MeOH)	Bio-P Fe ³⁺ för, simultan	P-tot: 0,3 N-tot: 3	Min 13
Broad Run (2008)	75 000	Separat + utjämning	FDN+NIT+EDN (MeOH)	Al ³⁺ för, simultan	P-tot: 0,1 N-tot 4	Min 17
John's Creek (2010)	85 000	Kombinerat	NIT+FDN	Bio-P Fe ³⁺ simultan	P-tot: 0,3 NH ₄ -N: 0,75	?
Yellow River (2010)	165 000	Separat + utjämning	NIT+FDN	Bio-P Al ³⁺ simultan	P-tot: 0,3 NH ₄ -N: 0,3	Min 13 Max 26

3.1 Cox Creek Water Reclamation Facility

Organisation: Anne Arundel County, department of public works.

Lokalisering: Anläggningen ligger i Anne Arundel County i delstaten Maryland, cirka 10 km söder om Baltimore och cirka 30 km norr om Washington D.C.

Storlek: ca 80 000 pe.

Om- eller nybyggnad till MBR: Nya membrantankar byggdes där den gamla försedimenteringen stod (ersattes av nya bassänger). Avloppsreningsverket var i drift under hela ombyggnadsperioden på 7 år och vid uppstart kopplades ledningarna om till membrantankarna och eftersedimenteringen kopplades bort.

Motivering MBR: Striktare reningskrav pga Chesapeake Bay TMDL Action Plan samt begränsat utrymme, reningsverket är omgivet av ett kraftverk, naturreservat och vatten.

MBR togs i drift: 2017. Lite programmering kvarstod vid besöket.

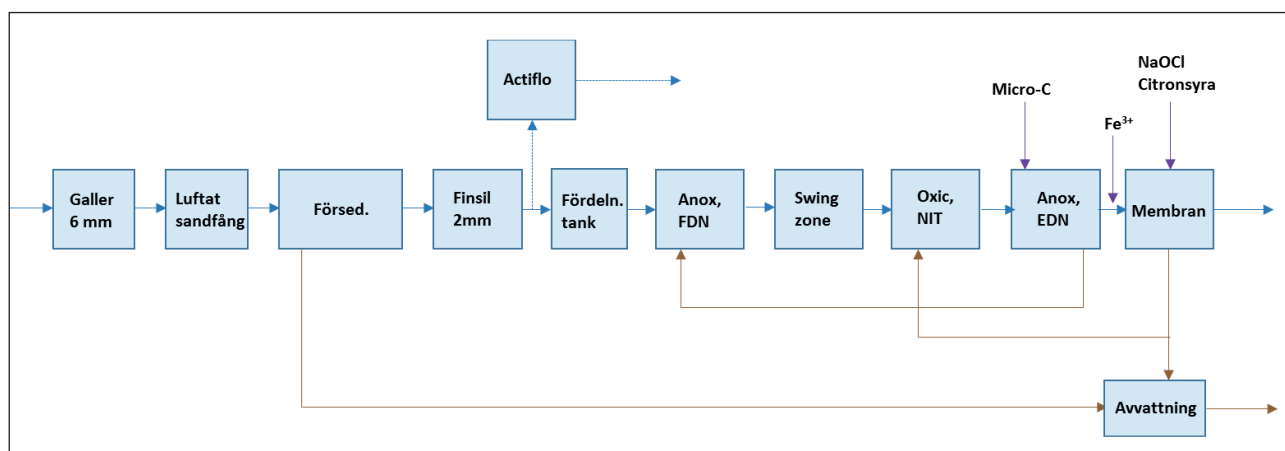
Reningskrav: se Tabell 3.2.

Inflöde: se Tabell 3.2.

Tabell 3.2 Reningskrav och inflöden till Cox Creek WRF.

Parameter	Krav (mg/L)	Typ	Inflödestyp	Värde (m ³ /d)
P-tot	0,3	årsmedel	Q_{medel_2017}	38 000
			Q_{max_2017}	57 000
N-tot	3	sommarhalvår	Q_{dim}	57 000
	4	vinterhalvår	Q_{maxdim}	170 000
BOD ₅ , SS, turbiditet, Cl, bakterier, pH, O ₂			Q_{max_MBR}	114 000

Avloppsvattnet: Cox Creek WRF är kopplat mot ett separat lednings-system. Trots detta påverkas inflödet av regn och snösmältning. Detta troligtvis på grund av att ledningsnätet är gammalt (65 år – gammalt för att vara USA) och cementrören läcker kraftigt. Nästan allt avloppsvatten, cirka 95 %, kommer från hushåll och resterande cirka 5 % från småindustrier som t.ex. biltvättar.



Figur 3.2 Blockschema över avloppsreningsprocessen på Cox Creek WRF.

Förbehandling: Grovreningen vid Cox Creek WRF består ett galler (6 mm) följt av ett luftat sandfång. Grovrenat avloppsvatten leds sedan till förse-dimenteringsbassänger. Innan det biologiska reningssteget sitter en 2 mm hålpåtssil (Ovivo) för att skydda membranutrustningen mot hår, fibrer och partiklar.

Biologisk rening: Det biologiska reningssteget består av 4 parallella linjer med aktivslamprocess. Kväverening sker genom nitrifikation med för- och efterdenitrifikation. Returslammet leds till nitrifikationszonen och slam med visst nitrat innehåll recirkuleras från efterdenitrifikationszonen till fördenitrifikationszonen. Kolkälla (Micro-C) doseras vid behov i efter-

denitrifikationen och dosen styrs mot ett börvärde på $\text{NO}_3\text{-N}$ i slutet av efterdenitrifikationszonen.

Kemisk rening: För fosforreduktion doseras FeCl_3 (fast dos) mellan det biologiska reningssteget och membrantankarna.

Membranen: Membrantankarna består av 8 parallella membratåg med 11 kassetter per tåg. Membranen rengörs regelbundet med NaOCl och citronsyra. Returslam pumpas från membrantankarna till nitrifikationszonen.

Slutpolering: Innan utgående vatten släpps till recipient behandlas det med UV-ljus för desinfektion samt luftas i en trappa för att uppnå krav på utgående syrehalt.

Slamhantering: Slam tas ut som primärslam från försedimenteringen och som överskottslam från membrantankarna. Uttag av överskottslam styrs mot en önskad slamhalt på 8 500 mg/L i nitrifikationszonen och 12 000 mg/L i membrantankarna. Ingen rötning sker. Slammet avvattnas och omhändertas av entreprenör (oklar avsättning).

Kuriosa: Ombyggnationen till MBR är den hittills största kapitalinvesteringen i Anne Arundel Countys historia. Tidigare reningskrav för kväve var 15 mg/l.

Bilder: se Figur 3.3.



Figur 3.3 Bilder från Cox Creek WRF.

Mer information:

http://www.aacounty.org/departments/public-works/engineering/Capital_Projects/cox-creek-water-reclamation-facility-enr

<http://www.heery.com/news/cox-creek-water-reclamation-facility-presents-new-beginnings-for-anne-arundel/>

3.2 Ballenger-McKinney Wastewater Treatment Plant

Organisation: Frederick County, division of utilities and solid waste management.

Lokalisering: Anläggningen ligger i Frederick County, Maryland, cirka 80 km väster om Baltimore.

Storlek: ca 180 000 pe.

Om- eller nybyggnad till MBR: Nya membrantankar byggdes bredvid eftersedimenteringen. Returslam- och recirkulationsflöden i biologen lades om. Sandfiltren byggdes om till lagerlokal. Avloppsreningsverket (ursprungligen byggt 1972 och utbyggt med biologisk rening 1993) var i drift under hela ombyggnadsperioden.

Motivering MBR: Striktare reningskrav på grund av Chesapeake Bay TMDL Action Plan, ökad belastning samt begränsat utrymme, reningsverket är omgivet av ett fångelse och ett naturreservat.

MBR togs i drift: 2013.

Reningskrav: se Tabell 3.3.

Inflöde: se Tabell 3.3. Innan det biologiska reningssteget finns utjämnings-tankar (gamla eftersedimenteringsbassängerna á 284 m³) som framförallt nyttjas vid underhållsarbeten i linjen.

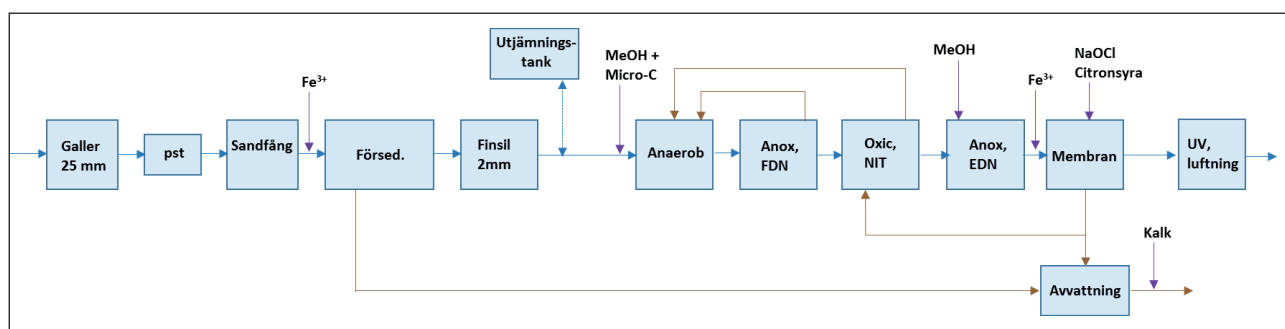
Tabell 3.3 Reningskrav och inflöden till Ballenger-McKinney WWTP.

Parameter	Krav (mg/L)	Typ	Inflödestyp	Värde (m³/d)
P-tot	0,3	årsmedel	Q _{medel_2017}	26 000
			Q _{max_2017}	38 000
N-tot	3	årsmedelvärde	Q _{dim}	57 000
			Q _{maxdim}	142 000
BOD ₅ , TSS, turbiditet, Cl, bakterier, pH, O ₂			Q _{max_MBR}	142 000

Avloppsvattnet: Ballenger McKinney är kopplat mot ett separat lednings-system med stort inläckage. Största delen av avloppsvattnet kommer från hushåll.

Förbehandling: Avloppsvattnet passerar grovgaller (25 mm) och luftat sandfång innan det försedimenteras. Innan det biologiska reningssteget sitter 2 mm hålplåtssilar (Ovivo) för att skydda membranutrustningen mot hår, fibrer och partiklar.

Biologisk rening: Det biologiska reningssteget består av 4 parallella linjer med aktivslamprocess (total slamålder ca 20–23 dagar). Reningsverket är



Figur 3.4 Blockschema över avloppsreningsprocessen på Ballenger McKinney WWTP.

designat för biologisk fosforrening så första zonen är anaerob och Micro-C (en glycerolprodukt) tillsätts för att processen ska ha tillräckligt med VFA. Kväverening sker genom nitrifikation med för- och efterdenitrifikation. Syrerikt returslam pumpas ($1,2 \times Q$) från membrantankarna till nitrifikationszonen. Nitratrikt slam recirkuleras ($4 \times Q$) från nitrifikationszonen till den anaeroba zonen (borde pumpas till fördenitrifikationszonen men de byggde fel). Nitrattfattigt slam recirkuleras från fördenitrifikationszonen till den anaeroba zonen på samma sätt som i en UCT-process. Metanol doseras i inloppskanalen till biologin (dos styrs på utgående $\text{NO}_3\text{-N}$ halt) samt i inloppet till efterdenitrifikationszonen (fast dos ca $1,9 \text{ m}^3/\text{d}$) för ökad för- och efterdenitrifikation.

Kemisk rening: Den biologiska fosforreningen är inte tillräcklig för att klara kraven så FeCl_3 tillsätts innan försedimenteringen (flödesproportionerlig dos, ca 75 % av P avskiljs) samt i kanalen in till membrantankarna (fast dos ca 450 l/d , motsvarar ca $3,4 \text{ g Fe/m}^3$ avloppsvatten).

Membranen: Membrantankarna består av 10 parallella membratåg med 14 kassetter per tåg. Varje tåg är försedd med varsin permeatpump. Membranen rengörs kontinuerligt med luft (totalt 6 turboblåsmaskiner) samt två gånger per år med NaOCl och veckovis med citronsyra. Det finns en lagringstank och en dagtank för vardera kemikalie, dagtankarna är $1,8 \text{ m}^3$ för NaOCl och $8,2 \text{ m}^3$ för citronsyra. En backpulsningspump används till samtliga membrantåg. Det finns ingen permeattank utan backspolning görs direkt från samlingsledning för permeat. Returslampumpning (totalt 4 pumpar) styrs enbart mot inkommande flöde, inte mot nivå i tank.

Slutpolering: Innan utgående vatten släpps till recipient behandlas det med UV-ljus för desinfektion samt luftas för att uppnå krav på utgående syrehalt.

Slamhantering: Slam tas ut som primärslam från försedimenteringen och som överskottslam från membrantankarna. Uttag av överskottslam styrs mot en önskad slamhalt på $4\,000 \text{ mg/L}$ i nitrifikationszonen och $6\text{--}8\,000 \text{ mg/L}$ i membrantankarna (vilket ger ca $2\,200 \text{ mg/L}$ i fördenitrifikationszonen). Ingen rötning sker. En entreprenör avvattnar slammet i filterpressar och stabiliserar det med kalk. Slutprodukten sprids på åkermark.

Kuriosa: De traverser som används för att lyfta membranen hade initialt installerats med för liten lyftkraft (ej inkluderat viktökning pga beläggning

på membranen) vilket medförde att en travers rasade rakt över förvarings-tanken för natriumhypoklorit.

Bilder: se Figur 3.5.



Figur 3.5 Bilder från Ballenger McKinney WWTP.

Mer information:

<http://www.acecmd.org/index.php/ballenger-mckinney-wastewater-treatment-plant>

<https://wrallp.com/our-work/ballenger-mckinney-wastewater-treatment-plant>

3.3 Broad Run Water Reclamation Facility

Organisation: Loudoun Water.

Lokalisering: Anläggningen ligger längs floden Broad Run i Ashburn, Virginia, cirka 40 km nordväst om Washington DC. Området är kraftigt expansivt (växer snabbast i världen just nu enligt Loudoun Water), då det ligger inom pendlingsavstånd från Washington D.C., och reningsverket byggdes för att möjliggöra fortsatt expansion. Ytterligare expansion av reningsverket planeras.

Storlek: ca 75 000 pe.

Om- eller nybyggnad till MBR: Nytt reningsverk som byggts ut i två etapper.

Motivering MBR: Hårdare reningskrav då reningsverkets recipient ligger inom Dulles watershed protection area samt möjligheten till återanvändning (försäljning) av renat avloppsvatten.

MBR togs i drift: Första etappen togs i drift 2008. Kapaciteten fördubblades 2012 när andra etappen togs i drift.

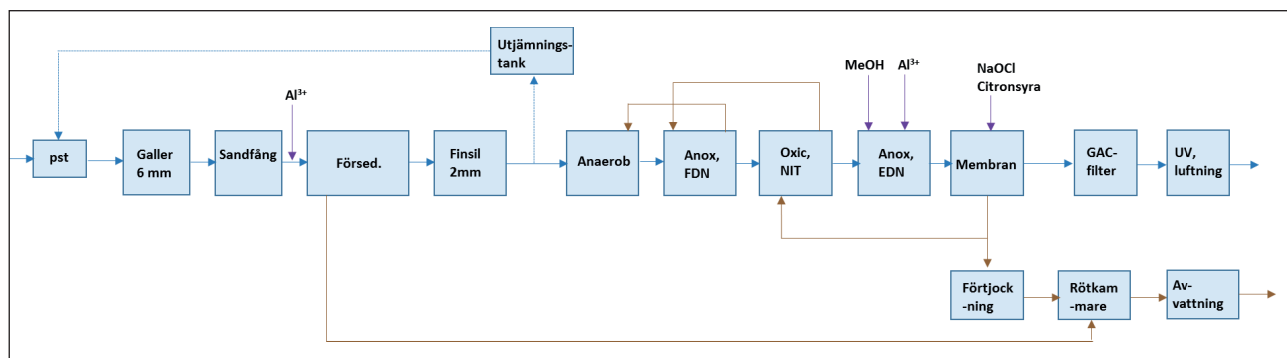
Reningskrav: se Tabell 3.4.

Inflöde: se Tabell 3.4. Innan det biologiska reningssteget finns två utjämningsstankar med sammanlagd volym på 19 000 m³ som används för både högflödes- och dygnsutjämning.

Tabell 3.4 Reningskrav och inflöden till Broad Run WRF.

Parameter	Krav (mg/L)	Typ	Inflödestyp	Värde (m ³ /d)
P-tot	0,1	årsmedel	Q_{medel_2017}	6 000
			Q_{max_2017}	12 000
N-tot	4	årsmedelvärde	Q_{dim}	38 000
			Q_{maxdim}	71 000
BOD ₅ , TSS, turbiditet, Cl, bakterier, pH, O ₂			Q_{max_MBR}	42 000

Avloppsvattnet: Broad Run WRF är kopplat mot ett separat ledningssystem med mycket täta ledningar. Inkommande flöde kan hållas nästan konstant då det finns buffertkapacitet i både ledningssystem och utjämningsstankar. Största delen av avloppsvattnet kommer från hushåll.



Figur 3.6 Blockschema över avloppsreningsprocessen på Broad Run WRF.

Förbehandling: Avloppsvattnet passerar galler (6 mm) och luftat vortex-sandfång innan det försedimenteras. Innan det biologiska reningssteget sitter en bandsil med 2 mm hål för att skydda membranutrustningen mot hår, fibrer och partiklar.

Biologisk rening: Det biologiska reningssteget består av 3 parallella linjer med aktivslamprocess (luftad slamålder 10–17 d). Reningsverket är designat för biologisk fosforering så första zonen är anaerob. Kväverening sker genom nitrifikation med för- och efterdenitrifikation. Syrerikt returslam pumpas (2–4×Q) från membran tankarna till nitrifikationszonen. Nitratfritt slam recirkuleras (2–4×Q) från nitrifikationszonen till fördenitrifikationszonen. Nitratfattigt slam recirkuleras (1–2×Q) från fördenitrifikationszonen till den anaeroba zonen. Metanol som späds in-line till 20 % (för att undvika ATEX-klassning) doseras i inloppet till efterdenitrifikationszonen. Dosen styrs på utgående NO₃-N halt. Vintertid förbrukas ca 1,5 m³ koncentrerad metanol per dag.

Kemisk rening: Den biologiska fosforeringen är inte tillräcklig för att klara kraven så Alum ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$) doseras flödesproportionerligt innan försedimenteringen samt i inloppet till efterdenitrifikationszonen.

Membranen: Aktivt slam från biologin pumpas in till membrantankarna (5 pumpar) som består av 12 parallella membratåg med 4 kassetter per tåg (finns utrymme för ytterligare en kasset per tåg). Varje tåg är försedd med varsin permeatpump. Membranen rengörs kontinuerligt med luft (totalt 7 centrifugalblåsmaskiner) samt regelbundet med NaOCl och citronsyra. Det finns en lagringstank för vardera kemikalie. Reningsverket har två backpuls-pumpar för rengöringskemikalierna och två för att backpuls med enbart permeat. Returslammet återförs med självfall (naturlig nivåstyrning).

Slutpolering: Innan utgående vatten släpps till recipient passerar det ett aktivkolfiler (GAK) samt behandlas med UV-ljus för desinfektion samt luftas för att uppnå krav på utgående syrehalt.

Slamhantering: Slam tas ut som primärslam från försedimenteringen och som överskottslam från membrantankarna. Uttag av överskottslam styrs mot en önskad slamhalt på 4 000 mg/L i nitrifikationszonen och 6–8 000 mg/L i membrantankarna (vilket ger ca 2 200 mg/L i fördenitrifikationszonen). Överskottslammet förtjockas i centrifuger till ca 3–4 % TS-halt utan polymertillsats och rötas i ca 20 dagar vid mesofil temperatur tillsammans med primärslammet (4–6 % TS-halt). Biogasen används som regel inte utan facklas. Rötat slam avvattnas till ca 20 % TS-halt i centrifuger. Slammet är svårt att avvattna och det åtgår mycket polymer. Avvattnat rötslam sprids på åkermark.

Kuriosa: Cirka 25 % av det renade avloppsvattnet återanvänds, främst som kylvatten i dataserverhallar men till viss del också till bevattning samt internt inom reningsverket till spolning av toaletter. Mängden renat avloppsvatten som får återanvändas begränsas av att en bestämd mängd kontinuerligt måste återföras till floden.

Loudon Water utreder nu grundvatteninjektering för produktion av dricksvatten från renat avloppsvatten eftersom det råder brist på dricksvatten.

Även detta reningsverk fick efter en viss tid öka lyftkraften i traverserna, från 4 till 5 ton, för att de skulle orka lyfta membran med beläggning.

Bilder: se Figur 3.7.

Mer information:

<https://www.loudonwater.org/water-reclamation>

<http://www.thembrsite.com/installations/broad-run-water-reclamation-facility/>



Figur 3.7 Bilder från Broad Run WRF.

3.4 John's Creek Environmental Campus

Organisation: Fulton County, Water Services Division of Public Works.
Driftas av Veolia.

Lokalisering: Anläggningen ligger på en drygt 17 ha stor tomt längs Chattahoochee river, i Atlanta, Georgia. Eftersom tomten ligger i ett väldigt exklusivt område har det byggts så det inte ska synas (ska se ut som ett fint gammalt kvarnkomplex), höras eller luktras utifrån att det finns ett avloppsreningsverk på platsen. Hela reningsverket omges av en stor park som är tillgänglig för allmänheten. I parken finns en damm som innehåller renat avloppsvatten.

Storlek: ca 85 000 pe.

Om- eller nybyggnad till MBR: Nytt reningsverk ersatte gammalt.

Motivering MBR: Hårdare reningskrav, ökad belastning och möjlighet att använda renat avloppsvatten. Ville även ha en high-techlösning med mer värde och goda framtidsutsikter.

MBR togs i drift: Det nya reningsverket togs i drift 2010.

Reningskrav: se Tabell 3.5.

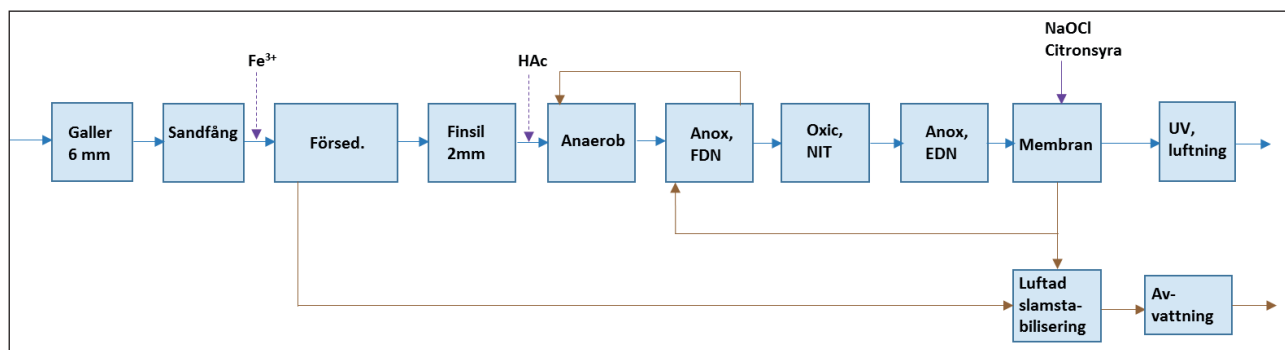
Inflöde: se Tabell 3.5.

Avloppsvattnet: John's Creek EC är kopplat mot ett kombinerat lednings-system och har stora variationer i sitt inflöde. Ingen industrianslutning.

Förbehandling: Avloppsvattnet passerar galler (6 mm) och luftat sandfång innan det försedimenteras. Innan det biologiska reningssteget sitter en

Tabell 3.5 Reningskrav och inflöden till John's Creek EC.

Parameter	Krav (mg/L)	Typ	Inflödestyp	Värde (m ³ /d)
P-tot	0,3	årsmedelvärde	Q_{medel_2017}	38 000
			Q_{max_2017}	72 000
NH ₄ -N	0,75	årsmedelvärde	Q_{dim}	59 000
			Q_{maxdim}	91 000
BOD ₅ , TSS, turbiditet, Cl, bakterier, pH, O ₂			Q_{max_MBR}	59 000



Figur 3.8 Blockschema över avloppsreningsprocessen på John's Creek EC.

bandsil med 2 mm hål för att skydda membranutrustningen mot hår, fibrer och partiklar.

Biologisk rening: Det biologiska reningssteget består av 4 parallella linjer med aktivslamprocess, varav 3 är i drift (en i reserv). Reningsverket är designat för biologisk fosforrening så första zonen är anaerob. Vid låga inkommande VFA-halter kan ättiksyra tillsättas i inloppet för förbättrad biologisk fosforrening. Kväverening sker genom nitrifikation med fördenitrifikation. Eftersom det inte finns något krav på utgående totalkvävehalt har inte denitrifikationen optimerats. Returslam med en syrehalt på ca 1 mg O₂/l pumpas (2×Q) från membrantankarna till fördenitrifikationszonen. Nitratfattigt slam recirkuleras från slutet av fördenitrifikationszonen till den anaeroba zonen. För att förbättra både biologisk fosforrening och fördenitrifikation kan primärslam (som hydrolyserats i slamfickan) recirkuleras till inloppet. Detta tillämpas dock sällan eftersom det krävs mer underhåll då.

Kemisk rening: Den biologiska fosforreningen är oftast tillräcklig för att klara utsläppskraven. Det finns möjlighet att dosera FeCl₃ innan försedimenteringen vid behov men detta tillämpas sällan.

Membranen: Utloppen från de 4 biolinjerna blandas i inloppskanalen till membrantankarna (självfall) som består av 8 parallella membratåg med 11 kassetter per tåg. Varje tåg är försett med varsin permeatpump (centrifugalpumpar). Membranen rengörs kontinuerligt med luft (5 skruvkompressorer) samt regelbundet med NaOCl och citronsyra. Citronsyra bereds manuellt från pulver i en dagtank. För NaOCl finns en dagtank i anslutning till membrantankarna och en lagringstank ca 200 m bort. Reningsverket har två backpuls-pumpar. Returslammet pumpas tillbaks till biologin från utgående samlingskanal med 8 pumpar.

Slutpolering: Innan utgående vatten släpps till recipient passerar det ett aktivkolfiler (GAK) samt behandlas med UV-ljus för desinfektion samt luftas för att uppnå krav på utgående syrehalt.

Slamhantering: Slam tas ut som primärslam från försedimenteringen och som överskottslam från membrantankarna. Uttag av överskottslam styrs mot en önskad slamhalt på 4–5 000 mg/L i biologin och 10–13 000 mg/L i membrantankarna. Blandslammet stabiliseras aerobt i 5 dagar. Stabiliserat slam avvattnas och läggs på deponi.

Kuriosa: Verket fungerar också som ett centrum för utbildning och informationsspridning mot allmänheten så i deras lokaler finns även klassrum och utställningslokaler. Cirka 50 % av det renade avloppsvattnet återanvänds, främst för påfyllning av dammen i den närliggande parken, som släckvatten hos räddningstjänsten samt till bevattning.

Bilder: se Figur 3.9.



Figur 3.9 Bilder från John's Creek Environmental Campus

Mer information:

<http://www.fultoncountyga.gov/component/content/article/451-jcec-general/4147-johns-creek-environmental-campus>

3.5 Yellow River Water Reclamation Facility

Organisation: Gwinnett County, department of water resources.

Lokalisering: Anläggningen ligger i Lilburn utanför Atlanta, Georgia.

Storlek: ca 165 000 pe.

Om- eller nybyggnad till MBR: Nytt reningsverk ersatte gammalt (från 1970-talet). Flera mindre reningsverk centraliserades.

Motivering MBR: Det var billigare att bygga en kompakt MBR än en konventionell aktivslamprocess eftersom kostnaden för betong och bygg-entreprenörer var ovanligt hög under tidpunkten för upphandling och genomförande. Driftkostnad utvärderades aldrig vid upphandling av totalentreprenaden.

MBR togs i drift: Det nya reningsverket togs i drift sommaren 2011.

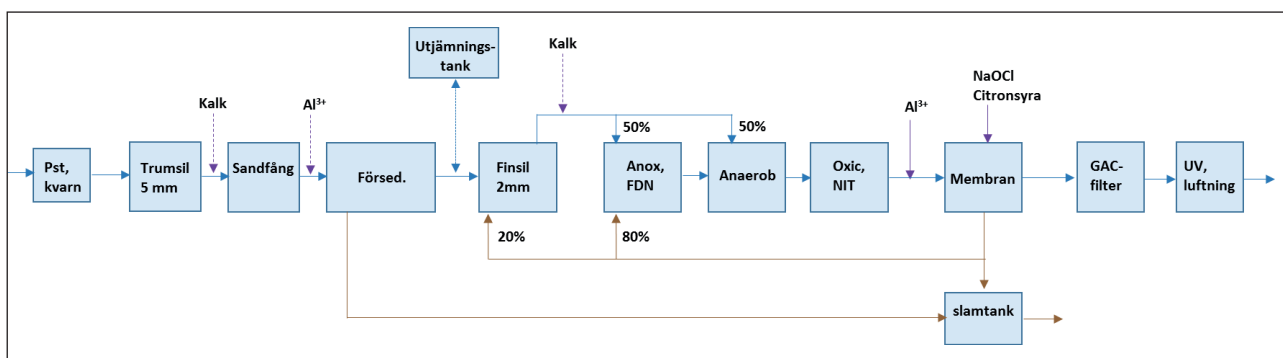
Reningskrav: se Tabell 3.6

Inflöde: se Tabell 3.6. Reningsverket har två utjämningstankar á 75 000 m³ styck som kan lagra försedimenterat avloppsvatten, vilket innebär att inflödet till MBR-processen kan hållas nära nog konstant.

Tabell 3.6 Reningskrav och inflöden till Yellow River WRF.

Parameter	Krav (mg/L)	Typ	Inflödestyp	Värde (m ³ /d)
P-tot	0,3/0,45	månads-/veckomedel	$Q_{\text{medel_2017}}$	56 000
			$Q_{\text{max_2017}}$	56 000
NH ₄ -N	0,3	årsmedel	Q_{dim}	83 000
			Q_{maxdim}	242 000
BOD ₅ , TSS, turbiditet, Cl, bakterier, pH, O ₂			$Q_{\text{max_MBR}}$	114 000

Avloppsvattnet: Yellow River WRF är kopplat mot ett separat ledningssystem med små variationer i inflöde. På grund av låg alkalinitet i avloppsvattnet tillsätts kalk före sandfång och före biologisk rening.



Figur 3.10 Blockschema över avloppsreningsprocessen på Yellow River WRF.

Förbehandling: Inkommande avloppsvatten mals och pumpas in i reningsverket via trumsilar med 5 mm hålplåt. Därefter följer vortextsandfång och försedimentering. Innan det biologiska reningssteget sitter en finsil med 2 mm hål för att skydda membranutrustningen mot hår, fibrer och partiklar.

Biologisk rening: Det biologiska reningssteget består av 5 parallella linjer (varav 4 är i drift och en backup) med aktivslamprocess (total slamålder ca 10 d). Kväverening sker genom nitrifikation med fördenitrifikation.

Syre- och nitratrikt returslam pumpas ($2 \times Q$) från membrantankarna till fördenitrifikationszonen. Det finns ingen nitratrecirkulation eftersom reningsverket inte har krav på utgående totalkvävehalt. För att erhålla biologisk fosforrening finns en anaerob zon mellan fördenitrifikationszonen och nitrifikationszonen. Hälften av inflödet leds till den anaeroba zonen och den andra hälften till fördenitrifikationszonen. På så sätt förses båda zonerna med kolkälla och hög slamhalt.

Kemisk rening: Den biologiska fosforreningen är inte tillräcklig för att klara utsläppskraven så Al^{3+} (Alum) doseras mellan det biologiska reningssteget och membrantankarna ($2,5 \text{ g Alum/m}^3$ avloppsvatten). Det finns också en doseringspunkt i försedimenteringen som inte används ofta.

Membranen: Membrantankarna består av 10 parallella membratåg med 15 kassetter per tåg. Varje tåg är försett med varsin permeatpump. Membranen rengörs kontinuerligt med luft samt regelbundet med NaOCl och citronsyra. Reningsverket har två backpuls-pumpar. Returslammet pumpas tillbaka till biologin från utgående samlingskanal med 5 pumpar. Ungefär 20 % av returslammet pumpas in till biologin via finsilarna med syfte att rensa ut aggregat av hår och fiber som bildas i aktivslamprocessen.

Slutpolering: Innan utgående vatten släpps till recipient passerar det ett aktivkolfilter (GAK) samt behandlas med UV-ljus för desinfektion samt luftas i en trappa för att uppnå krav på utgående syrehalt.

Slamhantering: Slam tas ut som primärslam från försedimenteringen och som överskottslam från membrantankarna. Uttag av överskottslam styrs mot en önskad slamhalt på 5–6 000 mg/L i biologin och 10 000 mg/L i membrantankarna. Blandslammet som har en TS-halt på ca 0,75 % pumpas till en utjämnings-tank (113 m^3) försedd med jetomrörare. Därifrån pumpas slammet nästan 3 mil till ett annat reningsverk som behandlar och avyttrar slammet.

Kuriosa: Investeringskostnaden för det nya reningsverket var 237 miljoner USD. Från början fanns rötning och avvattning projekterad men pengarna räckte inte till slamhanteringen. Slammet skickas därför till annan anläggning för behandling. De har en 30-årig masterplan för sin verksamhet. Det finns plats för ett parallellt verk bredvid, men om de vill utöka kommer de inte få släppa ut i Yellow River.

Bilder: se Figur 3.11.

Mer information:

<https://www.gwinnettcountry.com/portal/gwinnett/Departments/PublicUtilities/EngineeringandConstruction/YellowRiverWRF>

<https://www.water-technology.net/projects/yellow-river-water-reclamation-georgia/>

<http://www.thembrsite.com/installations/yellow-river-wrf>



Figur 3.11 Bilder från Yellow river WRF.

4. Fakta och erfarenheter

I detta kapitel presenteras fakta om anläggningarna samt erfarenheter om utformning, utrustning, uppstart, drift, reningsprocessen, bemanning och en del annat.

4.1 Utrymme

Membranbioteknik används ofta på grund av platsbrist för att erhålla en kompakt reningsteknik som ryms på en begränsad yta. Själva bassäng-volymererna för biologisk rening och membran är också förhållandevis små. Däremot tar kringutrustningen, kemikalietankar, dagtankar, kemikaliepumpar, returslampumpar (>4 ggr så hög kapacitet som i konventionell aktivslamprocess krävs), permeatpumpar, blåsmaskiner för membranluftning etc., en inte helt obetydlig yta i anspråk. De reningsverk som besöktes hade stora hallar med uppskattningsvis 8-10 m takhöjd för blåsmaskiner, pumpar, ventiler och rör samt separata rum för de olika rengöringskemikalierna.

4.2 Uppstart

Samtliga besökta reningsverk hade upplevt olika typer av problem i samband med uppstart av deras nya MBR-anläggningar. I samtliga fall hade driften av membranen fungerat bra direkt. De problem som uppstått var till största del el- och styrrelaterade men även mekaniska problem med ventiler som fastnade i ett gränsläge och luckor som kilade fast förekom. Ballenger McKinney hade initialt problem med styrningen av returslampumparna eftersom de nivågivare som mätte nivån i membrantankarna gav felaktiga värden när membranen luftades. När returslampumparna slog av på hög nivå stoppades inpumpningen till membranen och biologin. Detta kunde åtgärdas med en annan typ av nivågivare. Alla reningsverken utförde renvattentest av membrantankarna innan uppstart. Testen pågick olika lång tid på de olika reningsverken, från ett par dagar till en månad.

Generella rekommendationer för att undvika problem vid driftsättning listas nedan:

- Ha inte bråttom i samband med uppstart!
- Utbilda personalen i den nya tekniken både innan (men inte för långt innan) och efter uppstart (uppkommer många frågor strax efter uppstart).
- Samtligt el- och styrrelaterat arbete ska vara helt klart innan driftsättning.
- Genomför noggranna *Factory Acceptance Tests* (FAT) tillsammans med entreprenörer och konsulter.
- Genomför minst en veckas renvattentester (speciellt viktigt på membrantankarna) innan uppstart.

- Låt så mycket drift- och underhållspersonal som möjligt medverka på olika tester.
- Det är viktigt med kontinuerlig vidareutbildning av personalen även efter uppstart.

4.3 Finsil

Samtliga besökta reningsverk hade en 2 mm hålplåtssil installerad innan det biologiska reningssteget, för att förhindra att större partiklar förekommer i slammet som kan skada membranen. Hålplåtssilarna var utformade som roterande siltrummor, bandsilar eller en variant med PVC-plattor. Alla silar fungerar bra och väldigt lite rens avskiljs över dem. På John's Creek (85 000 PE, kombinerat avlopp) producerades ca 1,5 m³ pressat rens per dygn medan personalen på Yellow River (165 000 PE, separat avlopp) uppskattade att finsilen gav upphov till en volym motsvarande en arbetshjälm varje dag. I princip allt större partikulärt material avskiljs redan i de grövre silarna i grovreningen eller i försedimenteringssteget. Yellow River hade en hålplåtssil med roterande trumma som var dimensionerad för att rotera kontinuerligt men på grund av de små rensmängderna roterade de endast sin sil ett par gånger per dag. Övrig tid kunde vattnet passera utan att silen behövde roteras. På Ballenger McKinney uppgav de



Figur 4.1 Finsil på Yellow River WRF (överst) och Broad Run (nederst).

att det mest var fett som avskildes i finsilen. När renstvättpressen satte igen till följd av fettbelastningen slängde de in näve halm så löste sig problemet utan vidare åtgärder. Inget av reningsverket hade problem med att silarna satte igen vid t.ex. höga flöden och inget av reningsverken hade problem med hår/fibrer i membrantankarna.

Då finsilarna hos samtliga besökta reningsverk fungerade relativt problemfritt trodde de flesta operatörer att silen skulle kunna hantera avloppsvatten utan föregående grovrening, i alla fall under några dagar om behovet skulle uppstå. Dock var det ingen som hade provat detta i praktiken.

Trots att väldigt lite material avskiljs över finsilarna hade samtliga verk separat hantering av rensat därifrån, i form av en renstvättpress. För att uppnå en mer effektiv renshantering skulle det avskilda rensat från finsilarna istället kunna blandas med avskilt rens från gallren i grovreningen, och hanteras tillsammans med detta.

På Henriksdals ARV kommer avskilt rens från finsil att recirkuleras till försedimenteringen, där tanken är att det ska sedimentera tillsammans med primärslammet. Inget av de besökta reningsverken hade provat något liknande eller hört talas om denna strategi, och samtliga var skeptiska till att återföra rensat in i processen.

4.4 Membran

4.4.1 Installation och utformning

Samtliga besökta reningsverk hade samma typ av membranmoduler som ska installeras på Henriksdals ARV, ZeeWeed 500D från Suez, monterade i kassetter med 48 moduler per kasset. På de äldre installationerna satt moduler av typ 340 med en membranyta om 31,6 m², medan de nyare anläggningarna hade moduler av typ 370 med en yta om 34,4 m². Membrankassetterna installeras på rad i kanaler som måttanpassas efter kassetterna, så kallade membrantåg. Långa membrantåg är billigare att bygga men ger upphov till en slamhaltsgradient över taget. Fler korta tåg ger bättre möjlighet att styra anläggningen på ett energieffektivt sätt. Broad Run hade valt många tåg med få (4) kassetter per tåg medan Ballenger McKinney installerat 14 kassetter i varje tåg. Resterande reningsverk hade 10–11 kassetter per tåg. På Henriksdal reningsverk kommer varje tåg vara utrustat med 12 kassetter. I Tabell 4.1 finns en sammanfattning av membraninstallationerna och membrandriften på reningsverken.

Samtliga verk hade 1 permeatpump (centrifugal) installerad per membran-tåg vilket innebär att varje tåg kan backspolas och rengöras separat. Alla reningsverk utom Cox Creek hade även två separata pumpar för backspolning (centrifugal). Henriksdal kommer att ha 1 permeatpump installerad per 3 membrantåg och backspola genom att köra permeatpumpen baklänges. Alla reningsverk utom Ballenger McKinney mellanlagrade det renade avloppsvattnet i en permeattank som backspolningspumparna sög från vid backpulser med vatten eller för inline-spädning av kemikalier. På Ballenger McKinney togs backspolningsvattnet direkt från huvudledningen

för permeat. Samtliga reningsverk hade en eller oftast två dräneringspumpar för tömning av membrantågen.

Tabell 4.1 Installation och drift av membran på de fem reningsverken samt framtida Henriksdals reningsverk.

Namn	Tåg (st)	Kassetter (st/tåg)	Membranyta (m ²)	Dim. maxflux (l/m ² , h)	Aktuellt medelflux (l/m ² , h)
Cox Creek	8	11	133 000	35	14
Ballenger McKinney	10	14	212 000	30	6
Broad Run	12	4	76 000	26	15
John's Creek	8	11	133 000	21	14
Yellow River	10	10	167 000	30	15
Henriksdal	84	12	1 664 000	25	19

4.4.2 Betongbeläggning

Det är vanligt att membrantankar beläggs med plastfilm eller epoxyfärg för att skydda betongen mot de pH skiftningar som membranrengöringen medför. Ballenger McKinney, Yellow River och Broad Run hade alla någon typ av beläggning av membrantankarna. På Yellow River och Broad Run fungerade det bra. Ballenger McKinney har, trots att de lagt på ny beläggning flera gånger, problem med att beläggnings lossnar i stora sjok och fastnar i membranen. Dessa lösa delar får då plockas bort i samband med membraninspektion. Cox Creek valde att inte belägga sina membrantankar efter diskussion med personal på Ballenger McKinney. De hade inte sett något slitage på betongen ännu efter ca ett halvårs drift.

4.4.3 Membrandrift

Två av reningsverken, Broad Run och Yellow River, tar emot avlopp från separata ledningssystem samt utjämnar dygnsvariationer i utjämnings-tankar vilket innebär att de har ett mer eller mindre fast flöde in till reningsverket och membrantankarna. De kan därmed drifta membranen med konstant flux. Övriga reningsverk varierade fluxet efter flödet. Tabell 4.1 redovisar dimensionerande maxflux och aktuellt driftflux (medel) för reningsverken.

För energieffektiv drift av membran ska så få membrantåg som möjligt vara i drift eftersom de tåg som är ur drift inte behöver luftas. Alla reningsverken som besöktes hade en belastning som understeg den dimensionerande belastningen men hade ändå alla sina tåg i drift (bortsett från tåg som var ur drift för kemisk rengöring) hela tiden. Detta driftsätt medför en hög energiförbrukning och ett lågt flux. Eftersom el är billigt i USA fanns inga incitament att energioptimera (miljötänket var lite annorlunda). Däremot såg några av reningsverken att de inte behövde rengöra membran med kemikalier lika ofta om de driftades med lågt flux. Broad Run körde sin membranläggning med målet att slita membran så lite som möjligt för att på så sätt ha god funktion länge och inte behöva byta ofta. Deras hypotes var att membranen slits mer vid höga flux samt vid frekvent kemisk rengöring. De har även haft stora problem med ventiler och luckor som fastnat vilket gjort det svårt att ta tåg i och ur drift.

Henriksdal har stora variationer i inkommande flöde. Driftstrategin för membranläggningen är att minimera energiförbrukningen genom att hålla ett relativt konstant flux och ta membran tåg i och ur drift när flödet varierar. Enligt Suez är ett konstant flux fördelaktigt med hänsyn till membranslitage.

4.4.4 Rengöring av membran

Membran rengörs mekaniskt och kemiskt. Mekanisk rengöring görs främst genom luftning, men även genom backpulser (backspolning med vatten, vanligtvis i 30 s var 10-15:e min) och relaxation (stoppat vattenuttag i 60 s var 12:e min). Henriksdal kommer tillämpa relaxation men inte backpulser.

Membranluftning:

För att förhindra snabb igensättning av membranen luftas membrantanken kontinuerligt eller intermittent (typiskt 10 s på, 30 s av). Då hålls membranen i rörelse och material som fastnat på membranen kan lossna när membranen rörs mot varandra, se Figur 4-2. Membrankassetterna som ska installeras på Henriksdals ARV kommer vara av typen LEAPMBR vilket betyder att de utrustas med en ny sorts grovblåsiga luftare som kontinuerligt blåser in luft med ett fast luftflöde. Luftflödet kan varieras mellan två nivåer; en lägre nivå kallad LEAP_Lo, och en högre nivå kallad LEAP_Hi. Under perioder med god membrankapacitet (membrankapaciteten beräknas momentant i styrsystemet utifrån processdata) tillämpas LEAP_Lo. Vid perioder med sämre membrankapacitet går membrantåget automatiskt in i LEAP_Hi. Från de pilotförsök med MBR som genomförts i samarbete mellan IVL och SVOA kan noteras att förhållandet mellan att använda LEAP_Lo jämfört med LEAP_Hi är ungefär 80 % jämfört med 20 % vid normala driftförhållanden (Andersson, et al., 2017). Den högre nivån behöver således endast användas under kortare perioder under året vilket innebär en totalt sett lägre energiförbrukning än tidigare varianter av luftningssystem.

Alla de besökta reningsverken hade den äldre modellen av membrankassett (inte LEAPMBR) som är utrustad med ett finsblåsigt luftarsystem med ett högt, fast luftflöde som körs intermittent, ofta ca 10–30 s på och sen 30–45 s av. Denna typ av luftning medför att energiförbrukning för luftning av membrantankarna på reningsverken var relativt sett hög. Några av reningsverken hade problem med membranluftningen när de ventiler som skulle växla luftflödet från ett membrantåg till ett annat under den intermittenta luftningen inte fungerade. Det kan vara svårt att upptäcka om ett membrantåg inte fungerar som det ska eftersom inflödet till de olika tågen fördelar sig via gravitation så att mer rinner in till det tåg som har hög kapacitet. På Yellow River hade ett membrantåg haft väldigt låg permeabilitet, och därmed produktion, under flera veckor innan det upptäcktes eftersom den totala kapaciteten räckte till ändå. Efter att de upptäckt att permeabiliteten var låg tog det flera dagar innan felet kunde identifieras, eftersom det inte syntes i styrsystemet utan enbart vid visuell inspektion (ventilen för luftningen hade fastnat i ett gränsläge).

För luftning av membranen hade samtliga reningsverk 3–7 blåsmaskiner som endast försörjde membranen med luft.



Figur 4.2 Luftning av visningsmembran i renvatten (John's Creek EC) och blåsmaskiner (Ballenger McKinney).

Kemisk membranrengöring:

Membranen rengörs regelbundet med natriumhypoklorit och syra, för att lösa upp beläggningar och igensättningar (fouling) som bildas på membranen och orsakar minskad permeabilitet (försämrade kapacitet). Hypoklorit löser upp organisk fouling, t.ex. biofilm, och syran löser upp oorganisk fouling, exempelvis utfällningar med järn eller aluminium från de fällningskemikalier som doseras eller av kalcium om det förekommer naturligt i avloppsvattnet i höga koncentrationer.

Två olika typer av kemisk rengöring tillämpas; underhållsrengöring (eng. maintenance cleaning, MC) och återhämtningsrengöring (eng. recovery cleaning, RC). Båda typerna av rengöring görs med hypoklorit och citronsyra hos samtliga besökta reningsverk. På Henriksdals ARV kommer hypoklorit och antingen citronsyra eller oxalsyra användas, båda har testats i pilotskala och fungerar bra. Underhållsrengöring genomförs normalt ett par gånger i vecka. Proceduren är helautomatisk, tar omkring en timme, och genomförs på ett membrantåg i taget. Återhämtningsrengöring genomförs mer sällan, 1–6 gånger per år hos besökta reningsverk. Vid återhämtningsrengöring ett membrantåg på avloppsvatten och fylls upp med rengöringskemikalie som får stå i ca ett dygn. I Tabell 4.2 redovisas hur ofta reningsverken rengör membranen.

Det finns numera ett standardiserat rengöringsschema för MC och RC som anger frekvens och kemikaliedos, som membranleverantören (Suez) tagit fram. Men när de äldsta av reningsverken vi besökte togs i drift för omkring 10 år sen fick personalen själva, i nära samarbete med Suez, testa sig fram tills de hittade något som fungerar. Även de nyare reningsverken har frångått standardschemat och anpassat rengöringen efter sina egna behov med tiden. Vissa rengör ofta med natriumhypoklorit men sällan

med syra och andra gör tvärtom. Samtliga reningsverk är dock nöjda med det rengöringsschema de arbetat fram och den effekt det ger på permeabiliteten hos membranen. Generellt genomförs rengöring med både natriumhypoklorit och syra mer sällan än vad som anges i det standardiserade rengöringsschemat vilket anses positivt då det medför minskad kemikalieförbrukning och eventuellt längre livslängd för membranen. Enligt Suez (muntlig kommunikation med Moreno Di Pofi) är det hypokloriten som orsakar störst slitage på membranen så minskad förbrukning är fördelaktigt på många sätt.

Tabell 4.2 Membranrengöring på de olika reningsverken
(MC = maintenance cleaning, underhållsrengöring;
RC = recovery cleaning, återhämtningsrengöring).

Namn	MC	RC
Cox Creek	1 gång/vecka citronsyra 1 gång/vecka hypoklorit	2 ggr/år med citronsyra 2 ggr/år med hypoklorit
Ballenger McKinney	Varierar	2 ggr/år med citronsyra 2 ggr/år med hypoklorit
Broad Run	1 gång/vecka citronsyra 1 gång/vecka hypoklorit	2 ggr/år med citronsyra 2 ggr/år med hypoklorit
John's Creek	3 ggr/vecka citronsyra 3 ggr/vecka hypoklorit	Var 6:e vecka med citronsyra Var 6:e vecka med hypoklorit
Yellow River	3 ggr/vecka med hypoklorit 1 gång/månad med citronsyra	2 ggr/år med citronsyra 2 ggr/år med hypoklorit

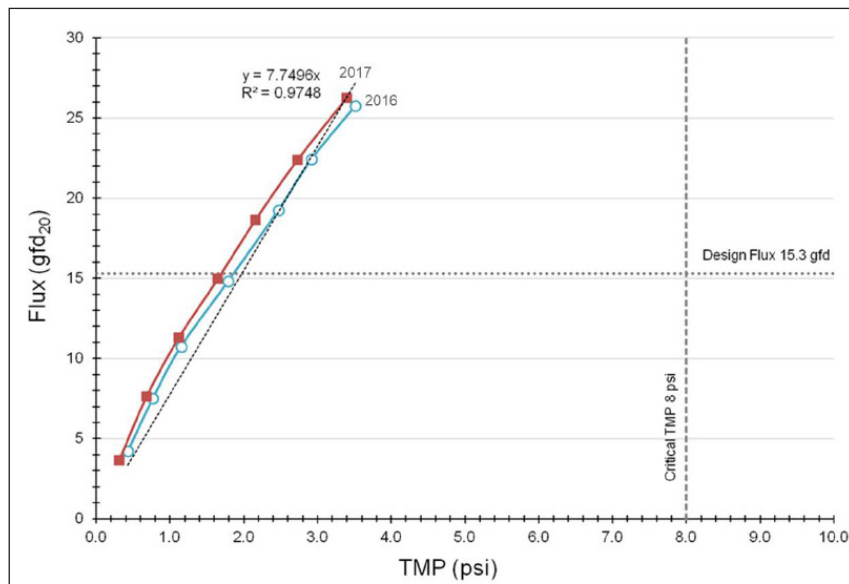
De två reningsverk som övervakade utgående fosfat online, med hjälp av en fosfatanalysator, hade noterat ökningar av utgående fosfat i samband med membranrengöring med citronsyra. Detta är något som även noterats i MBR-pilotanläggningen på Hammarby Sjöstadswerk (Andersson, et al., 2017). Ett av de reningsverk som noterat toppar av utgående fosfat funderade på att byta från järnbaserad till aluminiumbaserad fällningskemikalie, för att eventuellt minska problemet, men det andra verket som noterat liknande toppar använde en aluminiumbaserad fällningskemikalie. I MBR-pilotanläggningen på Hammarby Sjöstadswerk har parallella försök genomförts där en membrantank rengjorts med citronsyra och en annan med oxalsyra. För den membrantank som rengjordes med oxalsyra noterades betydligt mindre fosfattoppar i utgående vatten i samband med membranrengöring (Westling, et al., 2019).

Ett av reningsverken, John's Creek, hade ibland även problem med stora mängder fett i inkommande avloppsvatten och då fungerade det, enligt platschefen, bra att tömma några paket tvättmedel direkt i membrantankarna för att lösa upp fettbeläggningen. Suez representant som var med på besöken kände inte till detta innan och var inte helt nöjd med denna lösning.

4.4.5 Uppföljning av membranprestanda

Broad Run WRF har infört som rutin att genomföra fluxtest med renvatten efter varje genomförd återhämtningsrengöring av membranen. Hittills har 4 renvattentest genomförts. Vid testet körs permeatpumpen på ett antal olika fasta flöden och flux och TMP över membranen stude-

ras. Dessa har visat att membranens kapacitet är fortsatt god trots 10 års drift sedan uppstart. Rutinen har tidigare körts manuellt men kommer nu läggas in i styrsystemet av membranleverantören (som "äger" styrsystemet) och ske automatiskt efter varje återhämtningsrengöring. Broad Run WRF rekommenderar samtliga reningsverk med MBR att införa denna rutin för uppföljning av membranprestanda över tid.



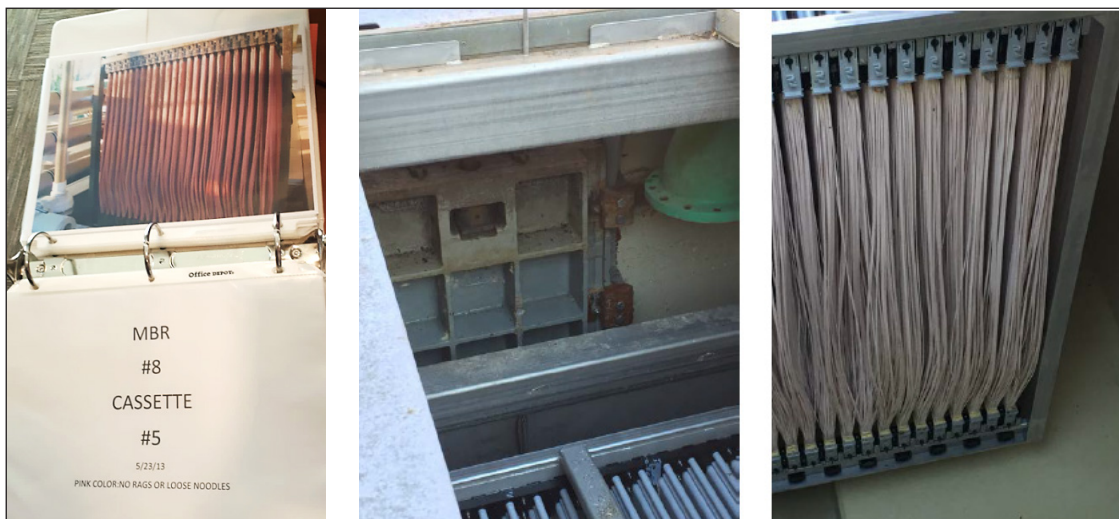
Figur 4.3 Genomförda fluxtester med renvatten på Broad Run WRF år 2016 och 2017.

4.4.6 Membraninspektion

I samband med återhämtningsrengöring ges möjlighet att inspektera membranerna genom att antingen lyfta upp en membrankassett eller att gå ner till membranerna i tömd tank. Samtliga besökta reningsverk inspekterar minst en membrankassett i samband med varje återhämtningsrengöring. Vid behov inspekteras fler kassetter. Normalt väljs en slumpvis kassett ut för inspektion. Kassetten kan antingen lyftas upp för inspektion eller inspekteras på plats genom att en operatör kliver ner i den tömda membrantanken. Vid inspektion studeras beläggning på membranerna, eventuella trasiga membrantrådar, igensatta eller trasiga dysor för luftning, skräp som fastnat i membranerna, membranträdarnas spänning mm. Flera av reningsverken som använde järnklorid för fällning av fosfor i sin reningsprocess uppgav att membranerna blivit lite "krispiga" med tiden men att detta inte påverkade funktionen.

En rekommendation från reningsverken är att dokumentera membraninspektionen genom att fotografera och skriva lite text om skicket på den inspekterade membrankassetten, se Figur 4.4.

Vanligt skräp som kan hittas vid membraninspektion är, förutom beläggning från membrantankar, små plastbitar, plåster, trasor och tygfibrer. Även vid övertäckning av hela behandlingslinjen hittas dessa typer av skräp, även om mängden skräp i de flesta fall är väldigt liten.



Figur 4.4 Dokumentation av membraninspektion på Yellow River och foton från membraninspektion på Broad Run.

Vid fällning av fosfor med järn är det vanligt att membranen antar en rosaaktig färg. Membranen som ses i Figur 4.4 har också en rosaaktig färg, trots att detta reningsverk (Yellow River) inte fällde med järn, utan med aluminium. Orsaken till dess rosaaktiga färg är därför oklar.

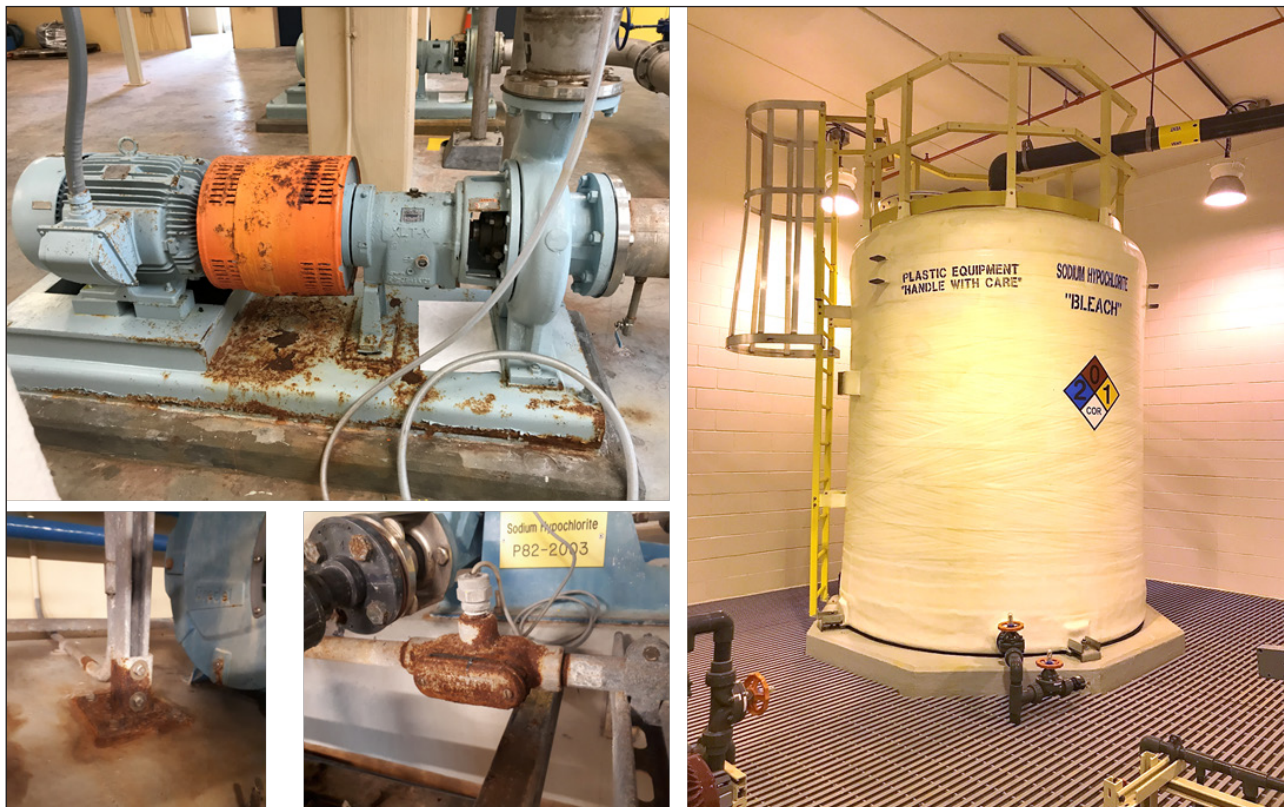
4.4.7 Membranbyte

Det reningsverk som varit i drift längst tid, Broad Run, hade vid besöket varit i drift i totalt 10 år. Eftersom att det inte finns så många äldre reningsverk med membran teknik så saknas också referenser på när i tid och hur snabbt membranens kapacitet börjar minska när de blir äldre. Broad Run har därför valt att vara på den säkra sidan och har beslutat att inleda processen om att byta ut samtliga membran, trots att de prestandaester de kontinuerligt genomfört med renvatten har visat på att membran fortsatt är i väldigt god kondition.

4.5 Kemikaliehantering

Samtliga besökta reningsverk använder hypoklorit och citronsyra för rengöring av membran. Hypokloriten levereras i lösning och citronsyran antingen i lösning eller som pulver, vilket sedan blandas till lösning på plats. Hantering och förvaring av hypoklorit kräver särskild aktsamhet då den levereras med hög klorkoncentration (upp till 200 g/L), och därför kan avge klorgas. Höga koncentrationer av klorgas i luft kan vara skadligt både för människa vid inandning samt för utrustning på grund av ökad korrosion. Klorkoncentrationen av levererad hypoklorit minskar även över tid och levererad lösning ska därför förvaras i mörk behållare, och ny lösning bör levereras minst 1 gång per månad för att säkerställa att korrekt klorkoncentration pumpas in till membranen i samband med rengöring. Behållare samt övrig kringutrustning bör vara gjorda av plast för att minska korrosion på utrustning (se Figur 4.5). Inget av reningsverken upplevde hanteringen av hypoklorit eller citronsyra som obehagligt eller besvärligt.

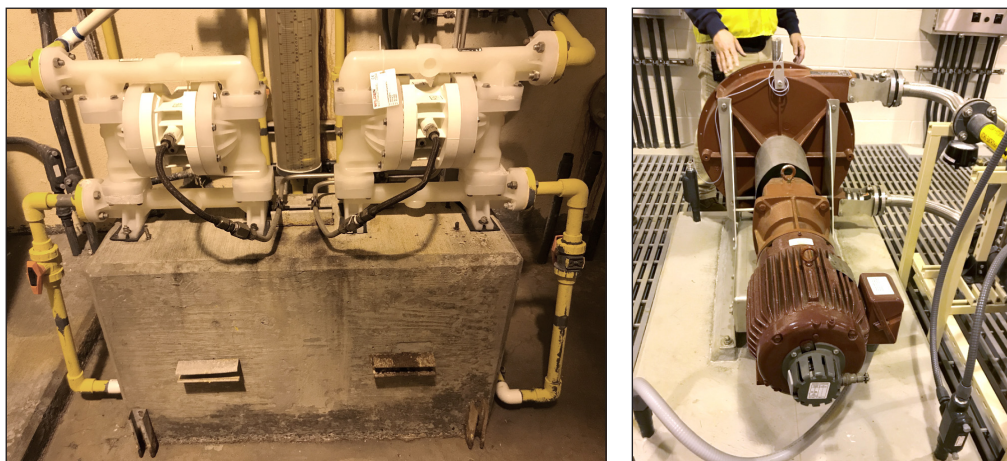
Minskning av klorkoncentration, även kallat sönderfall av natriumhypoklorit, redovisas även i Svenskt Vattens publikation P73 Dricksvattenteknik – Efterbehandling och Distribution (Svenskt Vatten AB, 2007).



Figur 4.5 Korrosion på backspolningspump (dropp från hypokloritanslutning ovanför) och hypokloritpumpar (vänster) på Broad Run samt ett hypokloritrum på Yellow River helt utan korrosion där alla detaljer är i plast (höger).

Rätt val av utrustning är viktigt för bra funktion. Flera av reningsverken haft problem med att få rätt mängd rengöringskemikalie att pumpas genom membranen. I dagsläget använder fyra av de fem besökta reningsverken slangpumpar för pumpning av rengöringskemikalie, och detta fungerar bra. Det femte reningsverket, Johns Creek, använder membranpumpar och är själva nöjda med valet.

Samtliga reningsverk hade dagtankar med rengöringskemikalier i anslutning till membrantankarna och lagertankar på annan plats med tillgänglighet för tankbilar. Tankstationerna för kemikalier var utrustade med markbrunnar för uppsamling av spill, välskyttade och färgkodade tankplatser samt olika anslutningar och/eller nycklar till tankstationer för olika kemikalier. Samtliga reningsverk uppgav av de aldrig någonsin tankat en kemikalie i fel tank.

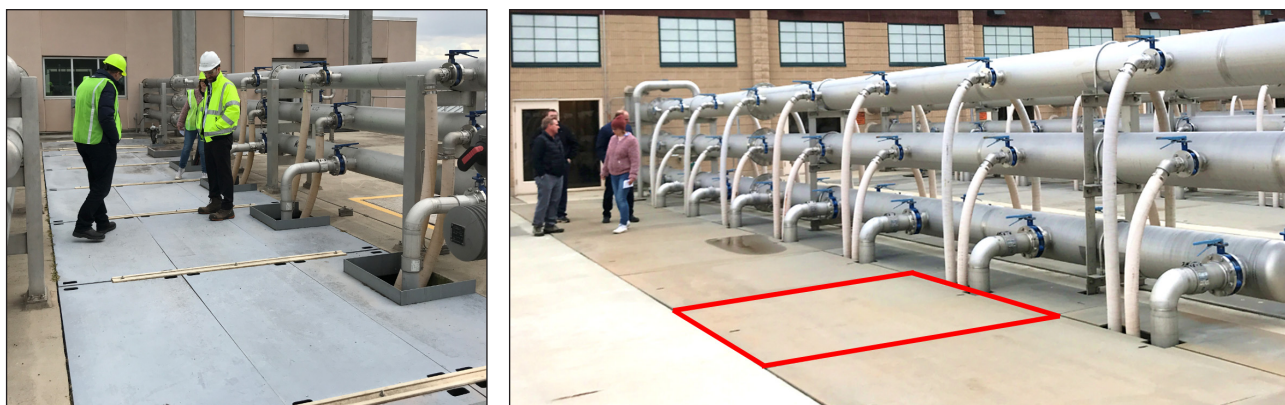


Figur 4.6 Hypokloritpumpar. Membranpumpar i plast på John's Creek EC och slangpump på Yellow river.

4.6 Överdäckning och ventilation

Fyra av de fem besökta reningsverken hade övertäckta membrantankar (Figur 4.7), både för att minimera risken att skräp hamnar i tankarna samt för att kunna samla upp och ta hand om processluften. Alla verk är placerade utomhus så ventilationen är inte kritisk däremot har samtliga verk "zero odour"-krav, det vill säga krav på att ingen lukt får förekomma från reningsverket. Samtlig processluft samlas därför upp och renas med aktivt kol innan den släpps ut.

Typ av överdäckning på membrantankarna tycks vara en svår fråga då inget av de besökta reningsverken var nöjda med sitt val. Eftersom att överdäckningen måste lyftas av i samband med membraninspektion måste den vara uppdelad i segment samt ha någon typ av handtag. De får inte vara för tunga, samtidigt som de måste vara nog stabila för att kunna gå på utan att det svajar. För enkelhets skull bör de kunna gå att lyfta utan att behöva använda lyftkran. Att hitta en balans mellan dessa krav har visat sig vara svårt och hos de besökta reningsverken. Broad Run hade glasfiber-segment som de var nöjda med förutom att de svajade när man gick på dem. De hade skickat tillbaks samtliga segment till fabriken för att få dem förstärkta och hållfastheten kontrollerad. Trots detta var de inte nöjda med



Figur 4.7 Olika typ av överdäckning över membrantankar; glasfiber (till vänster) och aluminium (till höger).

resultatet. På John's Creek var överdäckningen tillverkad i aluminium men i så stora segment att de behövde lyftkran för att flytta ett segment och inspektera processen. Även på Ballenger McKinney var överdäckningen av aluminium med där var handtagen felkonstruerade vilket gjorde det väldigt besvärligt att lyfta upp segment.

4.7 Skum och flytslam

Inget av de besökta reningsverken upplevde problem med skum och/eller flytslam i membrantankarna. Samtliga reningsverk hade dock periodvisa problem med skum och/eller flytslam i det biologiska reningssteget. För att minska problemet hade spraymunstycken för vatten eller klorlösning installerats på samtliga verk, i de flesta fall i efterhand när problemen uppkommit. Efter dessa installationer hade problematiken med skum och/eller flytslam minskat betänkligt.

4.8 Personal

Oavsett storlek på de besökta reningsverken så hade samtliga verk mellan 12–14 anställda operatörer och 0–2 anställda instrumenttekniker på reningsverket. Utöver det fanns även underhållspersonal, som antingen var anställda direkt av reningsverket eller som delades mellan olika aktörer (ex. dricksvattenverk och ledningsnät) inom det County där reningsverket låg. De reningsverk som delade underhållspersonal med andra aktörer uttryckte att de hade föredragit egen personal framför att dela den mellan olika aktörer.

I delstaten Georgia, där två av de besökta reningsverken låg, var det lagkrav att reningsverken skulle vara bemannade dygnet runt. Även övriga tre besökta reningsverk hade bemanning dygnet runt, främst för att de hade vissa analyser som skulle utföras på utgående vatten även nattetid men även för att reningsverken inte var nog automatiserade för att kunna lämnas obemannade. Samtliga besökta reningsverk hade därför bemanning dygnet runt, men av olika anledningar. Inget av reningsverken ansåg dock att membranen krävde tillsyn på natten. Drift av membran var generellt problemfritt hos samtliga besökta reningsverk. Flertalet personal lyfte ändå att det är viktigt med förståelse av processen, och Broad Run tipsade om träning i att manuellt styra processen för ökad förståelse hos personalen.

4.8.1 Arbetsuppgifter

Då ett reningsverk med MBR generellt kräver fler givare och instrument läggs stor del av arbetstiden på att underhåll och rengöring av instrument. Övriga arbetskrävande uppgifter som identifierades var arbete med blåsmaskiner, generellt förebyggande underhåll, motionering av ventiler (extra viktigt på membranreningsverk som har betydligt fler ventiler än konventionella reningsverk) samt renhållning. Personalen på reningsverken la förhållandevis lite arbetstid på drift av membran och kemikaliehantering (utom på Johns Creek där de beredde citronsyra manuellt från pulverform, Figur 4.8). De flesta tyckte att eftersedimenteringsbassängerna de haft

tidigare krävde mycket mer arbetstid för drift och underhåll, framförallt för spolning av flytslam vilket inte behöver göras i membrantankar.



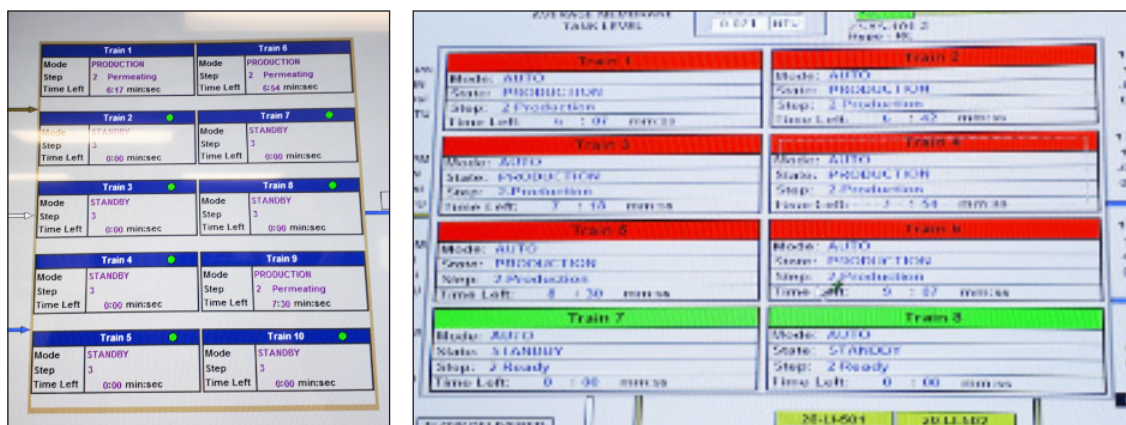
Figur 4.8 Citronsyra i pulverform levererat i säckar.

4.8.2 Support från membranleverantör

Det finns vanligtvis flera olika alternativ att välja mellan när det kommer till support från leverantör. De flesta reningsverk som besöktes köpte support från leverantör i någon form, vanligtvis veckorapporter kring driften av reningsverket och/eller ett antal dagars utbildning per år. Leverantören hade också genomfört utbildning hos personalen innan eller i samband med uppstart av processen.

4.9 Styrssystem

Samtliga reningsverk hade helautomatisk drift av membran (även om resten av processen ibland krävde halvmanuell styrning, t.ex. val av antal galler i drift). På alla reningsverken hade membranleverantören Suez levererat styrssystem för membranen med standardiserade processbilder där operatörerna ibland hade en något begränsad möjlighet att ändra parametrar. På Cox Creek hade de valt att ha kvar sitt gamla styrssystem för resten av reningsverket så operatörerna var tvungna att använda två olika system i sitt dagliga arbete (även om systemen kommunicerade med varandra). Författarnas erfarenhet är att automatiseringsgraden och vanan hos opera-



Figur 4.9 Exempel på användargränssnitt för styrning av membrantankar.

törerna att själva ändra parametrar i styrsystemet är mer utvecklad i Sverige jämfört med dessa fem reningsverk i USA. På Henriksdals reningsverk kommer styrning av membranen inorporeras i befintligt styrsystem vilket enligt Suez är väldigt ovanligt.

4.10 Reningsprocessen

I detta kapitel presenteras generella processrelaterade frågor. Många av frågorna var samma för flera av avloppsreningsverken.

4.10.1 Fosforering

Samtliga reningsverk har krav på P-tot i utgående renat vatten. Kraven ligger i intervallet 0,1–0,3 mg P-tot/L, där fyra av fem besökta reningsverk har krav på 0,3 mg P-tot/L och ett reningsverk har krav på 0,1 mg P-tot/L. Samtliga reningsverk renar betydligt lägre än kraven, vanligtvis ner till cirka 0,03 mg P-tot/L. Samtliga faller fosfor med aluminium (Al^{3+}) eller järn (Fe^{3+}) och tre av fem kombinerar detta med biologisk fosforering (bio-P), se Tabell 3.1. Resursoptimering verkar inte vara ett stort fokus på de besökta reningsverken och stora mängder kemikalier doseras, vanligtvis som fast eller flödesproportionell dosering. Inget av reningsverken styr dosering via fosfatanalysator eller något annat instrument, dock funderade Ballenger McKinney på börja styra med hjälp av den. Trots de låga fosforhalterna i utgående vatten, och den höga kemikaliedoseringen, är det inget av reningsverken som ser tecken på fosforbrist i det biologiska reningssteget.

4.10.2 Kväverening

Samtliga reningsverk hade krav på kväveutsläpp. Tre av fem verk hade krav på 3–4 mg N-tot/L i utgående renat avloppsvatten och övriga två hade krav på 0,75–1 mg $\text{NH}_4\text{-N/L}$ i utgående renat avloppsvatten, se Tabell 3.1. Kort sammanställning om de fem avloppsreningsverk som besöktes. FDN = fördenitrifikation, NIT = nitrifikation, EDN = efterdenitrifikation. Inget av verken hade problem med att klara uppsatta reningskrav. För de tre reningsverken med krav på N-tot doseras kolkälla (antingen metanol eller glycerol (Micro-C)) i efterdenitrifikationen. Doseringen görs antingen med ett fast flöde eller så styrs dosen på on-linegivare för $\text{NO}_3\text{-N}$ i slutet av efterdenitrifikationen eller i utgående vatten. Ballenger McKinney WWTP, som har ett krav på 3 mg N-tot/L i utgående vatten, doserar ca 5 g $\text{COD}_{\text{MeOH}}/\text{g}$ denitrifierat N.

Flera reningsverk tyckte att hanteringen av metanol kändes som en större arbetsmiljörisk än hanteringen av membranrengöringskemikalierna, såsom hypoklorit. Broad Run spädde exempelvis ut metanolen för att slippa ATEX-klassning. Detta medför att betydligt större volymer av kolkälla behöver hanteras och doseras, men samtidigt undviks brand- och explosionsrisker.

4.11 Energi- och resursförbrukning

Generellt kan noteras att inte någon av de besökta anläggningarna lägger något större fokus på minskad energi- och/eller resursförbrukning. Det finns inte heller några generella krav från myndigheter på att anläggningarna ska arbeta för detta. El är billigt och det saknas därmed incitament för att minska elförbrukning.

För energieffektiv drift av membranen ska så få membrantåg som möjligt vara i drift eftersom de tåg som är ur drift inte behöver luftas. Vid låg belastning, vilket även medför lägre flux, ställs då ett eller flera membrantåg i viloläge, för att istället öka belastning och flux över de membrantåg som är kvar i drift. Detta medför att fluxet över membranen åter hamnar inom det mer energieffektiva intervallet. Inget av de besökta reningsverken hade valt att implementera denna styrstrategi utan de valde istället att hålla samtliga membrantåg i drift, med varierat flux, oavsett inkommande belastning till anläggningen (se även 4.4.3). Det bör noteras att några av reningsverken hade utjämningsstankar uppströms processen och pumpade in ett fast flöde (utom vid Extremsituationer) till den biologiska reningen. I och med det kördes membranen med ett fast flux.

Endast två av de besökta reningsverken rötade sitt producerade slam och i båda dessa fall endast för att minska mängden slam som behövde hanteras. Biogasen facklades i båda fallen. Två anläggningar hade endast avvattning av primär- och överskottsslam och en anläggning pumpade bort allt slam till ett annat reningsverk 17 km bort.

5 Sammanfattande slutsatser och diskussion

Hos samtliga av de besökta reningsverken fungerar MBR-processen bra. Driften är stabil och de klarar sina utsläppskrav med god marginal. De är generellt nöjda med sina anläggningar.

Flertalet av reningsverken har, enligt lagkrav, personal på plats dygnet runt, men enligt berörd personal är detta något som ej är nödvändigt. Vid möjlighet att styra anläggningen på distans skulle det vara fullt tillräckligt med jourpersonal som kan kallas in vid behov.

Berörd personal trycker även på betydelsen av noggranna funktionstester samt upplärning av berörd personal innan uppstart av en ny MBR-anläggning. Med avseende på upplärning är det viktigt att följa upp denna en viss tid efter uppstart samt därefter även kontinuerligt, förslagsvis en gång per år.

Det finns ett antal gemensamma utmaningar som flertalet av de besökta reningsverken berörs av. Det har bland annat varit svårt att hitta en överdäckning av membrantankarna som är lätt nog att lyftas men samtidigt stabil nog att stå och gå på. Det har noterats korrosion i den utrustning som finns i anslutning till förvaring och hantering av natriumhypoklorit, men om denna utrustning består av plastmaterial uppkommer ej detta problem. Då natriumhypokloriten sönderfaller med tiden är det även viktigt att det är rätt volymer som hanteras på reningsverket. Förvarings-tankar för natriumhypoklorit bör ej förvara mer natriumhypoklorit än vad som behövs för en månads drift. Samtliga reningsverk har efter uppstart av MBR haft någon typ av problem med skumning i det biologiska reningssteget. Detta har avhjälpes genom att installera spraydysor innehållande vatten eller klorlösning i berörda områden. Några av de besökta reningsverken har även fått byta travers för lyft av membran, från 4 till 5 tons lyftkraft, då membran som varit i drift en tid haft beläggning som vägt mer än initialt uppskattat.

Det avloppsvatten som befinner sig i membrantankarna ska ej innehålla partiklar större än 2 mm, då dessa kan skada membranytan. Samtliga besökta reningsverk har därför en finsil installerad innan det biologiska reningssteget, för att filtrera bort partiklar som är större än 2 mm. Erfarenheten hos de besökta reningsverken är att det i dessa silar fastnar ytterst lite material och att de kräver väldigt lite tid för drift och underhåll från personal. I vissa fall läggs ett ytskikt i membrantankarna och det var ett av de besökta reningsverken som upplevde problem med att detta ytskikt lossnade från väggarna och sedan fastnade i membranen. Generellt anses detta dock inte vara något större problem då övriga reningsverk inte hade noterat något sådant.

Membranen rengörs regelbundet med natriumhypoklorit och citronsyra. Det finns ett framtaget standardiserat rengöringsschema från membranleverantören som anger när de olika rengöringssekvenserna ska exekveras.

Efter en viss tid har de besökta reningsverken anpassat rengöringsschemat efter sina egna behov. Vissa rengör ofta med natriumhypoklorit men sällan med syra och vissa gör tvärtom. Samtliga verk är dock nöjda med det rengöringsschema de arbetat fram och vilken effekt det ger på permeabiliteten hos membranen. Generellt genomförs rengöring med både natriumhypoklorit och syra mer sällan än vad som anges i det standardiserade rengöringsschemat vilket anses positivt då det medför minskad arbetsbelastning för driftpersonal.

Endast två av de besökta reningsverken övervakade kontinuerligt utgående fosfat, med hjälp av en fosfatanalysator. Båda dessa hade noterat ökningar av utgående fosfat i samband med membranrengöring med citronsyra.

Detta är något som även noterats i MBR-pilotanläggningen på Hammarby Sjöstadverk som drivs av IVL Svenska Miljöinstitutet AB och Stockholm Vatten och Avfall AB inför uppgradering av Henriksdals ARV till MBR-anläggning (Andersson, et al., 2017)

Huvudfokus hos de besökta reningsverken har generellt legat på att klara gällande utsläppskrav och väldigt litet fokus, i vissa fall inget, har legat på ökad resurs- och energieffektivitet. För att uppnå gällande utsläppskrav doseras därför stora mängder kemikalier för fosfor- och kvävreduktion och mycket energi åtgår för exempelvis luftning, både i det biologiska reningssteget och i membrantankarna.

6 Referenser

- Andersson, S. L. o.a., 2017. *Pilotförsök med membranreaktor för vlopsvattenrening, delrapport 3 - försöksår 3*, u.o.: IVL B-rapport 2285.
- Andersson, S. L., Westling, K., Baresel, C. & Andersson, S., 2017. Phosphorus peaks in MBR effluent after membrane cleaning. *Poster presented at NORDIWA 2017*.
- Svenskt Vatten AB, 2007. *Publikation P73 – Dricksvattenteknik – Efterbehandling och Distribution*, u.o.: ISSN:1651-4947.
- Westling, Klara, Sofia Lovisa Andersson, och Sofia Andersson. "Citric vs Oxalic Acid for Membrane Cleaning in MBR." Toulouse: IWA Membrane Technology Conference, 2019.



Box 14057 • 167 14 Bromma
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se