

Nr B 2444  
Juni 2022

## Resultat från FoU-samarbete Syvab-IVL

Årsredovisning för 2020 - 2021

Christian Baresel, Sofia Lovisa Andersson, Jing-Jing Yang, Niclas Bornold, Andriy Malovanyy, Magnus Rahmberg, Erik Lindblom, Linus Karlsson



I samarbete med: Sydvästra stockholmsregionens va-  
verksaktiebolag - SYVAB

**Författare:** Christian Baresel, Sofia Lovisa Andersson, Andriy Malovanyy, Magnus Rahmberg, Jing-Jing Yang, Niclas Bornold, Erik Lindblom, Linus Karlsson

**Medel från:** SYVAB och Stiftelsen Institutet för Vatten- och luftforskning (SIVL)

**Rapportnummer** B 2444

**ISBN** 978-91-7883-377-1

**Upplaga** Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2022**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

## Förord

Redovisade aktiviteter i denna rapport är en del av FoU-samarbetet mellan Syvab och IVL Svenska Miljöinstitutet som syftar till att bidra till en VA-verksamhet som tillgodoser samhällets krav på en resurseffektiv hantering av avloppsvatten och slam. Utöver en så effektiv rening av avloppsvatten och hantering av avloppsslam som möjligt, eftersträvas en VA-verksamhet med minsta möjliga miljöpåverkan där indirekt påverkan från t.ex. produktion av kemikalier, transporter, elanvändning, slamlagring och slamspridning räknas in såväl som produktion av bioenergi. Samarbetet avser i första hand Syvabs eget reningsverk Himmerfjärdsverket men har en öppen spridning av resultaten så att även andra VA-aktörer kan få stöd i sitt arbete mot en mer hållbar hantering av avlopp och slam.

De olika aktiviteterna har genomförts i tätt samarbete mellan IVL Svenska Miljöinstitutet och Syvab Himmerfjärdsverket. Författarna tackar alla Syvabs medarbetare som direkt eller indirekt har varit involverat i arbetet. Speciellt tack till Sara Söhr, Heidi Lemström, Victor Kårelid, Ross Roberts, Anders Lind och Carl-Olof Zetterman.

# Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	6
1 Avloppsreningsverkens roll i samhället.....	7
1.1 Vilka utmaningar ser reningsverk framför sig? .....	7
1.2 Vad FoU-samarbetet har som syfte.....	7
1.3 Hur ska resultaten användas? .....	8
2 FoU-frågor som samarbetet har fokuserat på under år 2020-2021 .....	8
3 Aktivitetsredovisning - Hållbara lösningar för att möta framtiden .....	9
3.1 SIMFRAM2 - Miljöpåverkansanalys .....	9
3.1.1 Vilken utmaning gäller det? .....	9
3.1.2 Viktigaste resultat och slutsatser .....	10
3.1.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk? .....	10
3.1.4 Beskrivning av utfört arbete .....	10
3.2 Lustgasemissioner från nya rejektvattenbehandling och i huvudlinjen .....	14
3.2.1 Vilken utmaning gäller det? .....	14
3.2.2 Viktigaste resultat och slutsatser .....	14
3.2.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk? .....	17
3.2.4 Beskrivning av utfört arbete .....	17
3.3 Lustgasemissioner från MBR-piloten .....	19
3.3.1 Vilken utmaning gäller det? .....	19
3.3.2 Viktigaste resultat och slutsatser .....	19
3.3.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk? .....	22
3.3.4 Beskrivning av utfört arbete .....	22
3.4 MBR-GAK pilottester för rening av mikroföroreningar .....	22
3.4.1 Vilken utmaning gäller det? .....	23
3.4.2 Viktigaste resultat och slutsatser .....	23
3.4.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk? .....	30
3.4.4 Beskrivning av utfört arbete .....	30
3.5 Skumbildning och åtgärdsutredning .....	31
3.5.1 Vilken utmaning gäller det? .....	32
3.5.2 Viktigaste resultat och slutsatser .....	32
3.5.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk? .....	33
3.5.4 Beskrivning av utfört arbete .....	33
4 Vad ska göras härnäst? .....	35
5 Ekonomisk redovisning .....	35
6 Referenser.....	36
7 Bilaga: Simulink-modellen i SIMFRAM2 .....	38



# Sammanfattning

Dagens reningsverk står inför flera utmaningar såsom ökad belastning, skärpta reningskrav, ett förändrat klimat, krav på ökad resurseffektivitet, en mer hållbar slamhantering och minskad miljöpåverkan från verksamheten. I en strävan att nå mer hållbara lösningar för avloppsvattenrening och slamhantering har IVL Svenska Miljöinstitutet och Syvab haft ett långsiktigt forsknings-samarbete. Under 2020 och 2021 har olika aktiviteter inom områdena klimat- och miljöpåverkan, slamhantering och processoptimering genomförts. Några av de aktiviteter som redovisas i denna rapport är fortfarande under genomförande och fortsätter även under 2022.

Några resultat från 2020/21 års arbete är följande:

- En simulering av framtida Himmerfjärdsverket 2030 med olika realistiska inflöden där infiltration och snabb avrinning varierats visar att mängden tillskottsvatten i inflödet påverkar reningsverkets miljöpåverkan. Framför allt en förändrad infiltration som ger ett minskat inflöde resulterar i en kraftig minskning av övergödningspotentialen, förbrukning av fossila resurser, klimatpåverkan, försurningspotential och förbrukningen av materialresurser.
- Lutsgasmätningarna i den nya rejektvattenbehandlingen indikerade att 0,3 % av inkommande totalkväve emitterades som lustgas vilket är en total årlig lustgasemission från processen på ca 330 kg N<sub>2</sub>O/år eller 117,5 ton koldioxidekvivalenter årligen. Dessa emissioner är mycket lägre jämfört med mätningar i den tidigare deammonifikationsprocessen. Vid periodvisa problem i demonprocessen uppgår lustgasemissionerna dock till samma storleksordning som från den tidigare deammonifikationsprocessen.
- Emissionsmätningar i huvudlinjen visade en genomsnittlig N<sub>2</sub>O-emissionsfaktor på ca 0,42 % (N<sub>2</sub>O-N/NH<sub>4</sub>-N-belastning). Vid en delvis hämning av nitrifikationen under mätperioden v41 kunde högre utsläpp av lustgas (1 % N<sub>2</sub>O-N/NH<sub>4</sub>-N-belastning) observeras. Vid en mer stabil nitrifikation minskar även lustgasemissioner igen till en emissionsfaktor på <0,4 %.
- Mätningar för att kvantifiera växthusgasemissioner gjordes även i MBR-pilotanläggningen och ett medelvärde för lustgasemissionsfaktorn på ca 0,36 % N<sub>2</sub>O-N/NH<sub>4</sub>-N-belastning med ett högsta värde på 1,33 % beräknades. Även om det på grund av saknade data för luftflödet till membrantanken inte går att dra några slutsatser än så tyder dessa initiala mätningar ändå på högre lustgasemissioner från MBR-piloten jämfört med mätningar i IVLs MBR-pilot vid Hammarby Sjöstadverk samt jämfört med nuvarande reningprocess vid Himmerfjärdsverket.
- Resultaten för rening av läkemedelsrester och PFAS för de två MBR-GAK-pilotlinjerna visar en fortsatt bra reningseffektivitet även om en förväntat avtagande effekt med ökade antal behandlade bäddvolymmer observerades. Ett kolbyte har fortfarande inte behövts och PFOS-reningen sker fortfarande främst i MBR-processen. Medan första pilotlinjen bekräftar principförslaget så visar den andra pilotlinjen och övergripande resultat att signifikanta resurs- och kostnadsbesparingar kan åstadkommas jämfört med konventionell design om resultaten från pilotförsöken läggs som grund för en framtida fullskaleimplementering.
- Olika åtgärder som rekommenderades i en genomförd utredning för att minska skumproblemet i piloten och för att undersöka en möjlig hantering i framtida Himmerfjärdsverket visar ett minskat skumtäckte i piloten. Ifall det beror på en minskad skumbildning eller ett effektivt avdrag av skummet kvarstår dock att utreda.

# 1 Avloppsreningsverkens roll i samhället

## 1.1 Vilka utmaningar ser reningsverk framför sig?

Dagens reningsverk står inför flera utmaningar inklusive skärpta reningskrav, ett förändrat klimat, krav på ökad resurseffektivitet och minskad miljöpåverkan från verksamheten. Det finns fortsatt behov att utveckla men framför allt implementera mer resurseffektiva tekniker och processer för behandling av kommunalt avloppsvatten och för att hitta förnybara alternativ till användande av fossil energi och råvara. Det handlar dels om att minska energi- och kemikaliebehovet vid rening, dels att tänka i nya banor och att utveckla framtidens reningssystem för att rena så bra som möjligt utan att öka miljöpåverkan av reningen. Klimatfrågan accentuerar behovet av att arbeta med minskad miljöpåverkan samtidigt som den också tydligt demonstrerar behovet av att utnyttja innehållet av organiskt material i avloppsvatten för nyttiggörande av energi och/eller för att hitta förnybara alternativ till fossil råvara. Viktigt är också att återföra fosfor och andra näringsämnen.

Specifika utmaningar för svenska reningsverk generellt inkluderar (utan prioritering):

- Ökning av processkapaciteten för att möta framtida belastningen
- Effektivare rening av närsalter och organiskt material
- Borttagning av mikroföroreningar inklusive läkemedelsrester och PFAS
- Slamhantering som möter krav på maximal energiutvinning och närsaltsåtervinning, samt låg miljöpåverkan
- Effektivare hantering av bräddvatten
- Anpassning till klimatförändringar
- Minskad kemikalieanvändning vid reningen
- Minimering av utsläpp av växthusgaser från vattenrening och slamhantering

Av dessa utmaningar har flera berörts i de aktiviteter inom ramen för FoU-samarbetet mellan Syvab och IVL och som redovisas i denna rapport.

## 1.2 Vad FoU-samarbetet har som syfte

Syvab Himmerfjärdsverket strävar kontinuerligt efter mer hållbara lösningar för avloppsvattenrening och slamhantering. Detta för att ha en verksamhet som är både mer resurseffektiv och som har den lägsta möjliga totala miljöpåverkan, samtidigt som kostnaderna för verksamheten genom långsiktig verksamhetsplanering och verksamhetsutveckling hålls på lägsta möjliga nivå för kommuninvånarna vars avloppsvatten Syvab renar.

Syvabs utvecklingssamarbete med IVL syftar till att bemöta strävan för att uppnå den för samhället mest resurseffektiva avloppsvattenreningen och slamhanteringen. IVL har länge utvecklat och utvärderat nya och befintliga tekniker inom VA-området, bland annat på FoU-anläggningen Hammarby Sjöstadsverk. IVL och Syvab har samarbetat inom området i flera år.

Ett annat syfte med FoU-samarbetet är ett generellt kunskapsutbyte mellan Syvab och IVL men även andra involverade partner som universitet, där ytterligare specialistkompetens på lärosätena kan kanaliseras ut och nå praktisk tillämpning genom gemensamt handledda examensarbetare och industridoktorander. För IVL är det av stort värde att få teknik testad och implementerad i fullskalemiljön samtidigt som Syvabs anställda kontinuerligt "utbildas" genom att ha IVL-experter som bollplank och projektpartners i riktiga projekt. Denna typ av organisatoriskt lärande och

kunskapsutbyte blir särskilt effektivt eftersom det med automatik blir direkt anpassat och skräddarsytt för Syvabs egna processer och behov, något som är omöjlig att nå via bredare bransch-workshops och teoretiska kurser. Dessutom ges möjligheten att expertkunskaper stannar inom organisationen även efter avslutade projekt både hos Syvabs befintliga personal och genom att examensarbetare och industridoktorander även utgör en rekryteringsbas för nyanställningar.

## 1.3 Hur ska resultaten användas?

Resultaten från FoU-samarbetet ska i första hand användas av Syvab för att optimera den nuvarande verksamheten samt för att planera den framtida verksamheten så att resurseffektiva lösningar som ger den lägsta möjliga miljöpåverkan används.

Då de frågeställningar som undersöks i någon mening är av generell natur så ska resultaten även vara tillgängliga för andra reningsverk eller VA-aktörer. Även om vissa resultat inte kan överföras direkt så är avsikten att belysa möjliga lösningar och angreppssätt för att olika aktörer sedan ska kunna hitta specifika lösningar på sina utmaningar.

## 2 FoU-frågor som samarbetet har fokuserat på under år 2020-2021

FoU-samarbetet har identifierat ett antal frågeställningar som ska utredas inom det aktuella samarbetet. Vissa av de frågeställningar som dagens reningsverk står inför har redan behandlats i tidigare FoU-projekt mellan parterna men ingår samtidigt också i ett kontinuerligt samarbete. Här kan bl.a. arbeten med processtyrning, luftningsoptimering, rejektvattenbehandling, rening av läkemedelsrester, ökad biogasproduktion, utsläpp av växthusgaser, m.m., nämnas.

Specifika frågor som prioriterades för samarbetet under 2020 och 2021 återges i de efterföljande avsnitten och inkluderar:

- **SIMFRAM2 Miljöpåverkansanalys vid förändrat inflöde (se 3.1)**  
Dynamisk modellering av den framtida reningsprocessen med Membran BioReaktor (MBR)-teknik kopplad med LCA-modellering möjliggör att olika framtida scenarier kan utvärderas holistiskt. I SIMFRAM2 testas och jämförs reningsverkets miljöpåverkan som följd av några hypotetiska åtgärder på ledningsnätet uppströms. Åtgärderna resulterar i en minskning/ökning av infiltrerande mängd grundvatten till ledningsnätet respektive snabb avrinning på hårdgjorda ytor i form av dagvatten till reningsverket. Förändringar i mängden tillskottsvatten i avloppsvattnet in till reningsverket kan ha stor påverkan på reningsprocessen. Effekten på reningsverkets miljöpåverkan har undersökts för fem realistiska inflödesscenarier.
- **Lustgasemissioner från nya DEMON-rejektvattenbehandlingen och huvudlinjen (se 3.2)**  
Under 2017 togs den nya rejektvattenbehandlingen baserad på deammonifikation med granulärt slam i drift vid Himmerfjärdsverket. Efter en längre uppstartsfas har flera emissionsmätningar genomförts vilka kan jämföras med den tidigare 1-stegs-MBBR-deammonifikationen. Även i huvudlinjen L1 har lustgasemissioner undersökts i linje med tidigare mätningar.



- **Lustgasmätningar i MBR-piloten (se 3.3)**  
Under 2020 togs MBR-piloten i drift och under 2021 genomfördes en första mätkampanj med avseende för lustgasemissioner från piloten. Även om dessa mätningar var begränsade i omfattning och både mätningar och pilotinstrumentering behöver kompletteras framöver, så ger dessa mätningar ändå en första indikation om emissionsnivåerna från MBR-processen vid Himmerfjärdsverket.
- **MBR-GAK-pilottester för rening av mikroföroreningar (se 3.4)**  
Denna aktivitet är kopplat till MBR-GAK-piloten som uppfördes vid Himmerfjärdsverket under 2020. Med hjälp av FoU-samverkansprojektet kunde flera aspekter relaterat till drift och rengingseffektivitet undersökas i piloten. Aktiviteten kopplades till Syvabs pilotprojekt för rening av läkemedelsrester i samarbete med Ramboll och IVL och med finansiellt stöd från Naturvårdsverket.
- **Skumbildning och åtgärdsutredning (se 3.5)**  
Under 2021 har en kunskapsammansättning och utvärdering av skumproblematiken i MBR-processen generellt och framtida Himmerfjärdsverket i synnerhet genomförts. Eftersom uppkomst av skum och flyt slam är ett problem kopplat till MBR-tekniken har MBR-piloten under sommaren 2021 anpassats för att bättre kunna hantera skummet som uppstår.

Även andra aktiviteter som exempelvis produktion av funktionella kolkällor från slam och matavfall samt etablering och uppstart av en PAK-MBR-pilot genomfördes under 2020 och 2021. Dessa aktiviteter har dock i största utsträckning genomförts i separata FoU-projekt som t.ex. med hjälp av industridoktorander i samverkan med flera andra reningsverk och inkluderas därför inte i denna sammansättning eller kommer rapporteras i framtida årsrapporter.

## 3 Aktivitetsredovisning - Hållbara lösningar för att möta framtiden

### 3.1 SIMFRAM2 - Miljöpåverkansanalys

Förändringar i mängden tillskottsvatten i avloppsvattnet in till reningsverket kan ha stor påverkan på reningsprocessen, både när det gäller flöde och temperatur. För att studera vilken miljöpåverkan tillskottsvatten kan ge har processmodellering och livscykelanalys (LCA) genomförts. Fem realistiska inflödesscenarier har genererats och använts som indata till en processmodell över framtida Himmerfjärdsverket.

Under 2019 arbetade IVL parallellt med inflödes- och processmodellering. Detta arbete finns presenterat i rapporten från 2019 (Baresel et al., 2020).

Under 2020-2021 genomfördes LCA och resultattolkning.

#### 3.1.1 Vilken utmaning gäller det?

Svenska reningsverk tar idag emot betydande mängder tillskottsvatten på grund av infiltration i ledningsnäten. Med ett förändrat klimat kan även ökad nederbörd vara att vänta med högre maxflöden än vad man har idag. När ytavrinning av regnvatten, snösmältning eller inträngande

grundvatten når avloppsledningarna späds spillvattnet ut och kyls ner, vilket påverkar verkens reningsprocesser negativt. Genom processmodellering är det möjligt att studera närmare vilken påverkan förändringar i inflödet har på reningsprocesserna och vidare genom LCA utvärdera hur potentiell miljöpåverkan förändras.

### 3.1.2 Viktigaste resultat och slutsatser

Framtida Himmerfjärdsverket 2030 har simulerats med fem olika realistiska inflöden där infiltration och snabb avrinning varierats. Data för ett års drift av reningsprocessen har använts som indata till LCA.

Sammanfattningsvis är slutsatsen att mängden tillskottsvatten i inflödet påverkar reningsverkets miljöpåverkan. I denna studie var det främst en förändrad volym av tillskottsvatten till följd av infiltration som bidrog till förändringarna. Särskilt övergödningspotentialen blir direkt proportionell till mängden vatten som renas eftersom utsläppskraven är baserad på koncentrationer. Förändringar i snabb avrinning gav inte så höga flödestoppar eller kalla temperaturer att reningen påverkades nämnvärt sett till årsmedelvärden. I samtliga scenarier behövde en del av vattnet ledas till högflödesrening.

Minskad infiltration som resulterade i ett minskat inflöde om 16 % gav en minskning av övergödningspotentialen med 16 %, en minskning av förbrukning av fossila resurser med 12 %, minskad klimatpåverkan 7 %. Försurningen minskade med 7 % och förbrukningen av materialresurser minskade med 5 % i scenariot med minskad infiltration.

I och med att det är effekten av förändringar i det flöde som når reningsverket som studerats gäller resultaten oavsett var på ledningsnätet förändringarna skulle uppstå.

### 3.1.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk?

Processmodelleringen och de studerade scenarierna är specifika för Syvab, dock är metodiken, d.v.s. att integrera dynamiska processmodeller med LCA, generell. Metoden som använts lämpar sig för att studera många andra scenarier som till exempel förändrad nederbörd, förändrad belastning eller utvärdering av reningsverkens processkonfiguration och styrstrategier.

### 3.1.4 Beskrivning av utfört arbete

Målet har varit att utgå från ett basscenario och därifrån studera några alternativa scenarier där flödespåverkande åtgärder uppströms gjorts. Basscenarioet skall vara realistisk för år 2030 och det är därför Syvabs framtida reningsprocess med MBR-teknik som simuleras. Den nya reningsprocessen bygger på ett dimensionerande underlag som utgörs av prognostiserade flöden och belastningar. För mer information hänvisas till Baresel et al. (2020).

De fem scenarierna som studerades var:

0. Basfall 2030
1. Åldrande av ledningsnät: Ökad infiltration (med 50 %) till följd av försämrade ledningar vilket leder till mer inläckage.
2. Reparation av ledningsnät: Minskad infiltration (med 50 %) tack vare underhåll av ledningsnät och minskat inläckage.
3. Asfaltering: Ökad snabb avrinning (med 50 %) till följd av att andelen hårdgjorda ytor i staden ökar.
4. Reparation av felaktiga anslutningar: Minskad snabb avrinning (med 50 %) tack vare att felaktiga nätanslutningar åtgärdas.

Data för ett års drift av reningsprocessen har använts som indata till livscykelanalysen, som inkluderade fem miljöpåverkanskategorier.

- Klimatpåverkan (ej biogent kol)
- Övergödning
- Försurning
- Fossila resurser
- Materialresurser

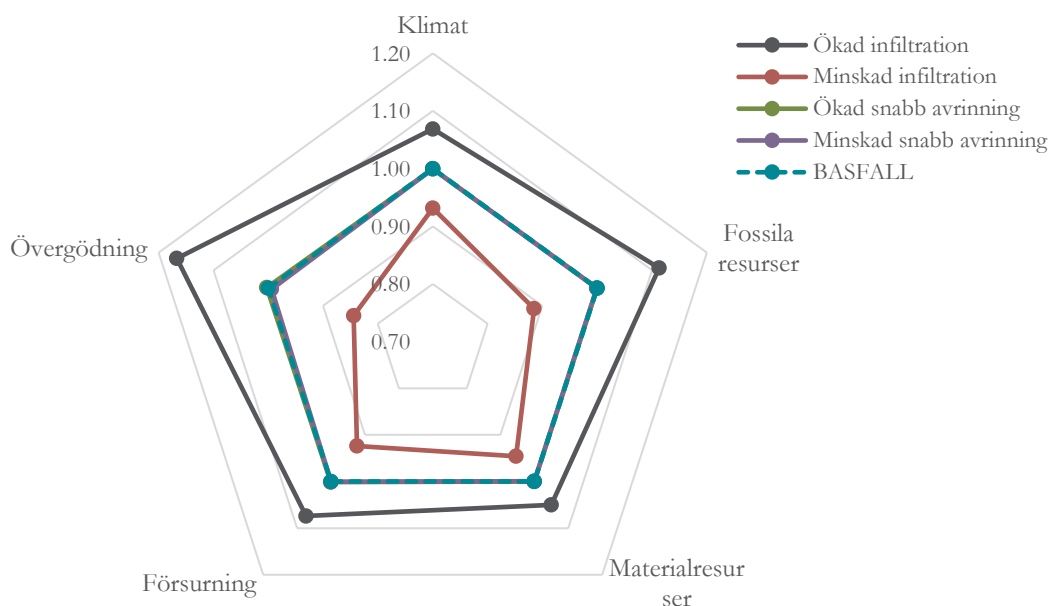
Metoden för inflödesmodellering, processmodellering och LCA är i stort densamma som i tidigare projekt och en utförligare beskrivning finns i Andersson et al. (2020). En viktig lärdom från tidigare projekt har varit att den vanligt förekommande funktionella enheten "m<sup>3</sup> behandlat avloppsvatten" blir missvisande för denna typ av scenarier där just flödet förändras och därför har vi valt att titta på miljöpåverkan med funktionell enhet "ett års drift".

En sammanställning av driftdata för de fem scenarierna visas i Tabell 1. Mängden behandlat vatten i reningsverket per år varierade som mest med +/- 16 % från basfallet i scenarierna med ökad/minskad infiltration. Detta påverkade totalkvävereduktionen med i storleksordningen 2 % men kolkälleförbrukningen med hela 20 % och energiförbrukningen med 8 %. Minskad förbrukning vid minskad infiltration och vice versa. Vid minskad infiltration minskade också andelen av flödet som gick till högflödesreningen (HFLR) från 1,6 % i basfallet till 0,2 % medan det för scenariot med ökad infiltration var 3,4 % av det totala inflödet som gick till högflödesreningen och en liten andel (0,07 %, motsvarande nästan 45 000 m<sup>3</sup>/år) som också förbiledes högflödesreningen.

**Tabell 1. Data för de fem scenarierna. HFLR = högflödesrening.**

	Basfall	Ökad Infiltration	Minskad Infiltration	Ökad snabb avrinning	Minskad snabb avrinning
Skillnad i behandlat flöde		+ 16 %	- 16 %	+ 0,1 %	- 0,1 %
Andel förbilet HFLR	0,00 %	0,07 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Andel till HFLR	1,6 %	3,4 %	0,2 %	1,9 %	1,5 %
Skillnad i totalkvävereduktion (kg N/år)		- 40 568	36 895	- 193	361
Skillnad i TN red (%)		- 2 %	+ 2%	- 0,01%	+ 0,02 %
Skillnad i energiförbrukning		+ 8 %	- 8 %	-0,08 %	+ 0,05 %
Skillnad i metanolförbrukning		+ 20 %	- 20 %	0 %	0 %

Miljöpåverkan per år för drift av framtida Himmerfjärdsverket för de fem miljöpåverkanskategorierna presenteras i Figur 1. Resultaten är normerade mot basfallet. Det framgår tydligt att miljöpåverkan i samtliga kategorier ökar med ökad infiltration och minskar med minskad infiltration. Förändringarna i miljöpåverkan vid ökad respektive minskad snabb avrinning var så små (<1 % mot basfallet) att de inte syns i figuren. Detta hänger samman med att den snabba avrinningen bara påverkade totala inflödet till verket marginellt, i storleksordningen 0,1 %.



**Figur 1. Miljöpåverkan från Himmerfjärdsverket för fem miljöpåverkanskategorier normerade mot basfallet. Funktionell enhet: 1 års drift.**

Övergödningen är den kategori som påverkades mest mellan scenarierna, följt av förbrukningen av fossila resurser. Minskad infiltration med 50 % från basfallet gav 16 % minskad övergödningspotential vilket beror på lägre flöde in till verket, som i sin tur ger lägre flöde ut och således lägre utsläppta mängder föroreningar då utgående utsläppshalt varit samma i samtliga scenarier. Det omvända gäller för ökad infiltration som ger högre flöden och ökad mängd utsläpp per år trots att utgående halt varit samma som i basfallet. Med 50 % ökad infiltration ökade därför övergödningspotentialen med 17 %. Förändring i förbrukning av fossila resurser var i storleksordningen 11-12 % när infiltrationen ändrades.

De viktigaste orsakerna till förändringar i de olika miljöpåverkanskategorierna presenteras i Tabell 2. Klimatpåverkan ändrades mellan scenarierna främst på grund av förändrad avgång av lustgas från biologin, elförbrukning och kemikalieanvändning för membranen. De fossila resurser som förändrades mest mellan scenarierna var förbrukning av metanol, kemikalier för MBR och elektricitet. Övriga bidrag till den totala förbrukningen av fossila resurser kom främst från polymer, transporter och kalciumnitrat men dessa poster varierade inte så mycket mellan scenarierna.

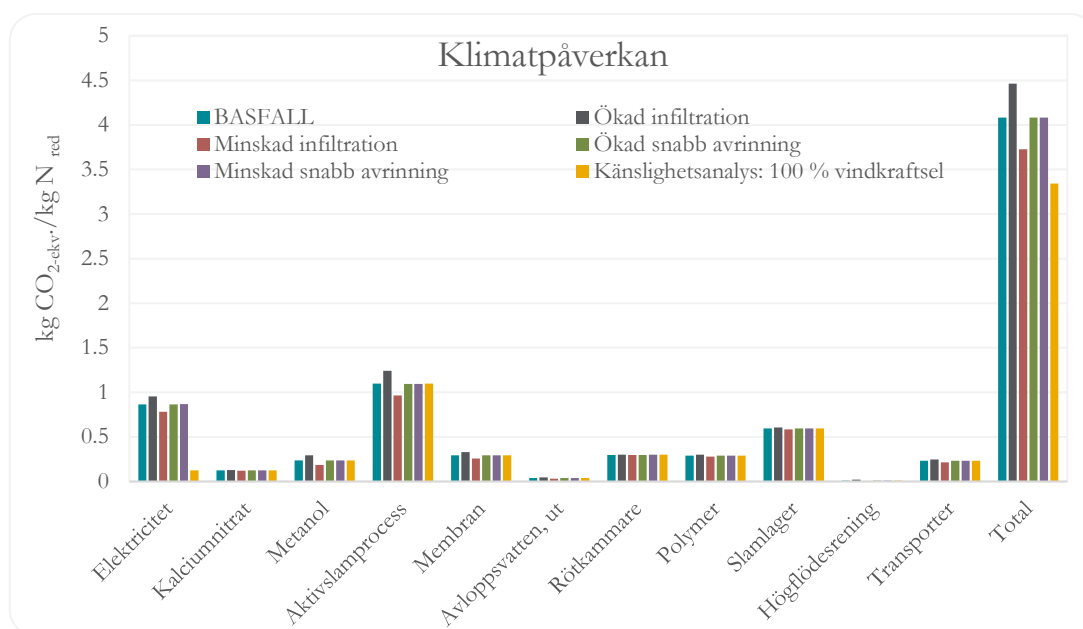
Övergödningspotentialen påverkades i princip enbart av utgående mängd totalkväve.

**Tabell 2. Viktigaste orsakerna till förändringar i miljöpåverkan som resultat av förändrat inflöde till Himmerfjärdsverket. Funktionell enhet: 1 års drift.**

Kategori	Ökad infiltration		Minskad infiltration		Ökad snabb avrinning		Minskad snabb avrinning	
	Förändring	Viktigaste orsak	Förändring	Viktigaste orsak	Förändring	Viktigaste orsak	Förändring	Viktigaste orsak
Klimat	↑	↑ Direkt N <sub>2</sub> O ↑ El ↑ Metanol	↓	↓ Direkt N <sub>2</sub> O ↓ El ↓ Metanol	-		-	
Material-resurser	↑	↑ MBR ↑ El	↓	↓ MBR ↓ El	-		-	
Fossila resurser	↑↑	↑ Metanol ↑ MBR ↑ El	↓↓	↓ Metanol ↓ MBR ↓ El	-		-	
Förurning	↑	↑ MBR ↑ El	↓	↓ MBR ↓ El	-		-	
Övergödning	↑↑	↑↑ Utg. Tot-N	↓↓	↓↓ Utg. Tot-N	-		(↓)	(↓) Utg. Tot-N

\* Förändring mot total påverkan i basfallet enligt följande: Större än 10% visas med dubbelpilar, 1 till 10 % visas med enkelpil, 0,5 till 1 % visas med pil i parentes, mindre än 0,5 % visas med streck (inom felmarginal).

Bidragen till klimatpåverkan visas i Figur 2. Data är normerat mot mängden renat kväve i respektive scenario (enhet: kg CO<sub>2</sub>-ekv per kg N red). Här finns även sjätte scenario som är en känslighetsanalys av basfallet där svensk elmix bytts mot 100 % vindkraft. Den totala klimatpåverkan för basfallet minskade med 18% när elmixen ändrades vilket är en större förändring än i något av de övriga scenarierna. Således är slutsatsen att klimatpåverkan är känslig för val av elmix. Bidraget från elektricitet är det näst största efter direkt avgång av klimatgaser från aktivslamprocessen.



**Figur 2. Bidrag till klimatpåverkan. Enheten är kg CO<sub>2</sub>-ekv per kg N reducerat för respektive scenario.**

Sammanfattningsvis så har inflödet en stor påverkan på reningsverkets miljöpåverkan. I denna studie var det främst en förändrad volym tillskottsvatten till följd av infiltration som

bidrog till förändringarna. Förändringar i snabb avrinning gav inte så höga flödestoppar eller kalla temperaturer att reningen påverkades nämnvärd sett till årsmedelvärden. Minskad infiltration som resulterade i ett minskat inflöde om 16 % gav en minskning av övergödningspotentialen med 16 %, en minskning av förbrukning av fossila resurser med 12 %, minskad klimatpåverkan 7 %. Försurningen minskade med 7 % och förbrukningen av materialresurser minskade med 5 % i scenariot med minskad infiltration.

## 3.2 Lustgasemissioner från nya rejektvattenbehandling och i huvudlinjen

Under hösten 2019 påbörjades en initial mätkampanj av direkta emissioner av växthusgaser på Syvabs nya rejektvattenrening som redovisades kort i årsrapporten för år 2019. Dessa mätningar följdes upp under 2020.

Syvabs nya rejektvattenprocess består av granulärt slam som anrikas med hjälp av cyklon och sedimentering. Syftet med mätningar är att få en uppfattning av utsläppsmängder av växthusgaserna metan ( $\text{CH}_4$ ) samt lustgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) från rejektvattenreningen. Genom mätningar i vattenfasen samt processluften ges möjlighet för bredare kunskap och förståelse för lustgasemissioner avloppsreningsprocesser. Med bättre vetenskap om utsläppsmängder kan processen optimeras för mindre utsläpp med bibehållen reningseffekt.

Under oktober 2021 genomfördes även en mätning i L1 i huvudreningen som uppföljning av motsvarande tidigare mätningar i huvudlinjen.

### 3.2.1 Vilken utmaning gäller det?

Aktiviteten fokuserar främst på att kartlägga utsläppen från olika driftstrategier som delaktivitet i bedömningen av klimatpåverkan från Syvab Himmerfjärdsverket. En grundförutsättning är god kännedom om utsläppsmängder vid normal drift. Detta sker med mätningar av processluften från reaktorn. Då kan olika driftstrategier utföras för att följa upp mängden lustgas som bildas samt emitteras vid de förvalda processförutsättningarna. Antaganden kan då göras för att exempelvis relatera utsläppsmängderna av  $\text{N}_2\text{O}$  till energiåtgång eller kvävereducering. En av svårigheterna med mätningarna har visats sig vara främst att få en stabil process som är mätbar och ger stadiga förhållanden. Mätkonfigurationen för mätningarna i processluften är väldigt känslig för flytslam, fukt eller kyla. Dessa faktorer har visat sig ha stor inverkan i utförandet av mätningarna på Himmerfjärdsverket, då det i vissa fall förekommit mycket flytslam.

För huvudlinjen gäller det framför allt att upprepa mätningar på samma sätt som vid tidigare tillfällen för en bättre förståelse av emissioner och variationerna över olika år. Mätningarna kan dessutom användas som referens för en framtida ombyggnad till MBR-process och emissionsmätningar som eventuellt kommer utföras.

### 3.2.2 Viktigaste resultat och slutsatser

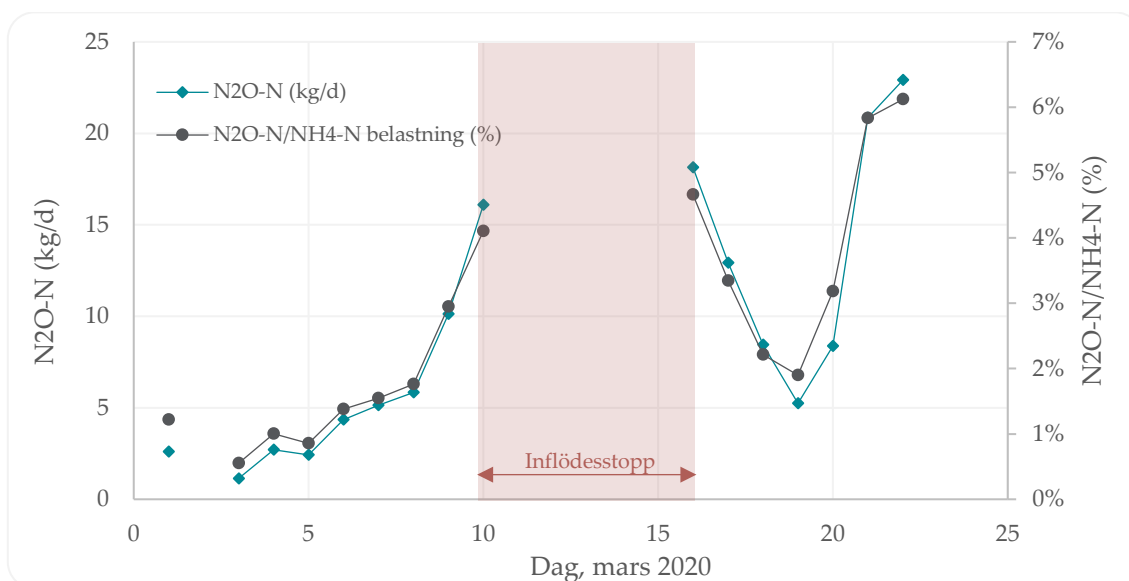
Mätningarna under 2019 indikerade att 0,3 % av inkommande totalkväve till rejektreningen emitterades som lustgas (Tabell 3). Baserat på mätningen och en belastning på 360 kg TN/d under mätperioden kan då en total årlig lustgasemission från processen skattas till ca 327 kg  $\text{N}_2\text{O}$ /år eller 117,5 ton koldioxidkvivalenter årligen. Under mätningen analyserades även metanhalter och Tabell 3 visar att metanemissioner från processen bidrar med ytterligare ca 66 kg  $\text{CH}_4$ /år eller 1,97 ton koldioxidkvivalenter årligen.

Tabell 3. Uppskattade mängder lustgas- samt metanemissioner för rejektivattenreningen.

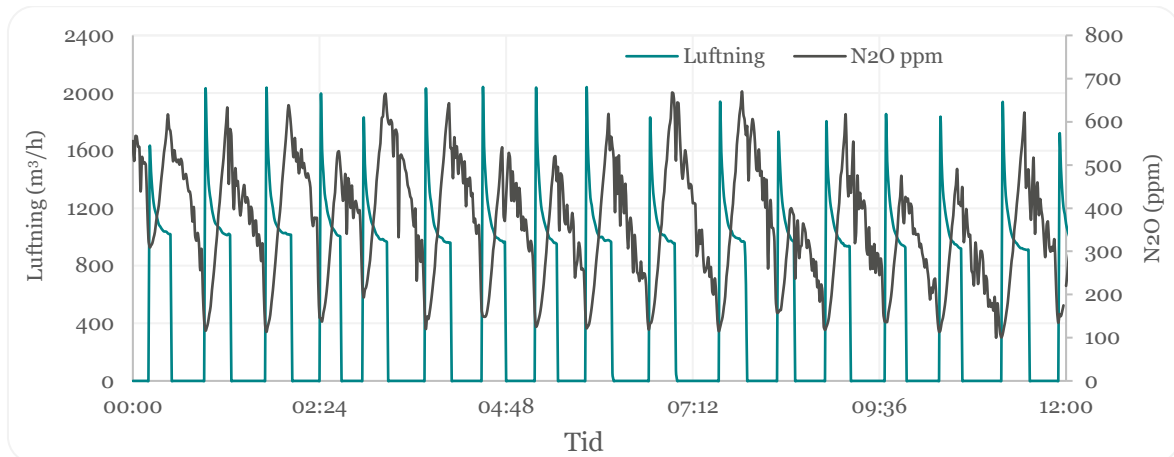
Tot-N IN	Inflöde rejeckt	Tot-N Belastning	Lustgas-emissioner	Metan-emissioner	Lustgasavgång
1 000 mg/l	15 m <sup>3</sup> /h	0,45 kg N/(m <sup>3</sup> och dygn)	1,7 kg N <sub>2</sub> O-N/dygn	0,18 kg CH <sub>4</sub> /dygn	0,3 % N <sub>2</sub> O-N/Tot-N

Dessa emissioner är mycket lägre jämfört med tidigare mätningar i deammonifikationsprocessen vid Himmerfjärdsverket (0,84 %–92,9 %; Baresel et al., 2015). Mätperioden hösten 2019 var dock relativt kort där återkommande problem med skumning och instabil drift störde mätningarna. Tester av IVL i samarbete med Purac AB och Nodra AB i rejektbehandlingen vid Slottshagen ARV har dessutom visat att en bra pH-styrning kan minska N<sub>2</sub>O-emissioner (Baresel et al., 2019b). Därför upprepades mätningar i demon-processen vid Syvab med avsikt att testa tre olika pH börvärde (6,5, 7 och 7,5). Mätningar inleddes vid pH 7 som är processens standardbörvärde. Sedan justerades pH till 7,5 vilket medförde en ackumulation av ammonium i reaktorn. Vid ökade ammoniumhalter observerades även ökade lustgasemissioner (Figur 3). På grund av de höga nivåer ammonium i reaktorn, som ger ökat risk för processtörningar, sänktes pH till 7,0 och sedan vidare till 6,5. Processen blev dock instabil och nitrat började ackumuleras redan vid pH 6,9. En vidare sänkning till pH 6,5 bedömdes därför som för riskabelt. Störningar i inkommande rejektflödet pga. elfel medförde att inte tillräckligt data kunde samlas in vid stabila förhållanden för en komplett utvärdering av hur pH påverkar lustgasutsläpp.

Figur 3 visar beräknade lustgasemissioner för mätperioden under mars 2020. De högsta dagliga lustgasemissioner (> 10 kg/d) men även procentuell andel av lustgasemissioner mot inkommande kväve sammanfaller med när processen hade en kvävebelastning >300 kg N/d. Med en genomsnittlig kvävebelastning på 327 kg N/d (varierade mellan 44 kg N/d till 410 kg N/d p.g.a. periodvisa problem med inflödet) i demon-processen under mätperioden kan en total årlig lustgasemission från processen skattas till ca 2500 kg N<sub>2</sub>O eller 750 ton koldioxidekvivalenter. Dessa emissioner ligger i samma storleksordning med tidigare mätningar i deammonifikationsprocessen (Baresel et al., 2015).

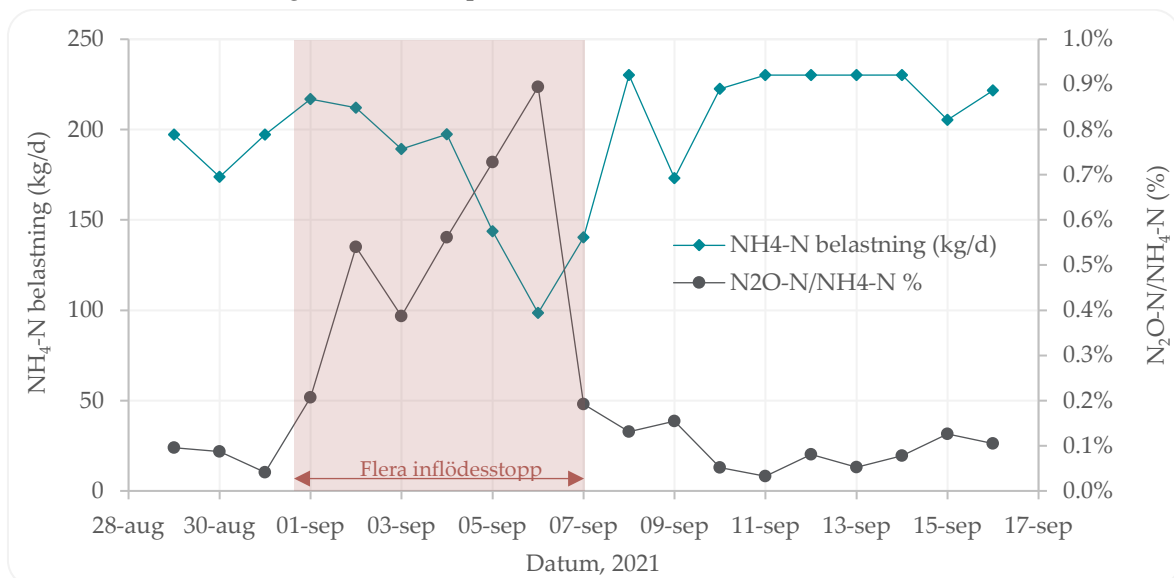
Figur 3. N<sub>2</sub>O-emissioner från demonprocessen under mars 2020 (vid pH 7).

pH-värdet i demonprocess styrdes via en anpassning av den intermittenta luftningen. Lustgasemissioner utsläpp var generellt högre i början av luftningsfasen och minskade gradvis med tiden (Figur 4). Även när processen inte luftades var lustgashalter fortfarande på en hög nivå. Även om halterna minskade successivt under icke-luftade perioder så uppnåddes aldrig en "lustgasfri" period. En möjlig förklaring kan vara att ventilationen alltså bortförsl av processluften inte sker i tillräckligt stor uträckning och att det därmed sker en viss ackumulation av lustgas i reaktorn. Detta kan ha påverkat de skattade emissionsmängder.



Figur 4. Lustgashalter i gasfasen och luftflödet i demonprocessen under en vanlig driftperiod.

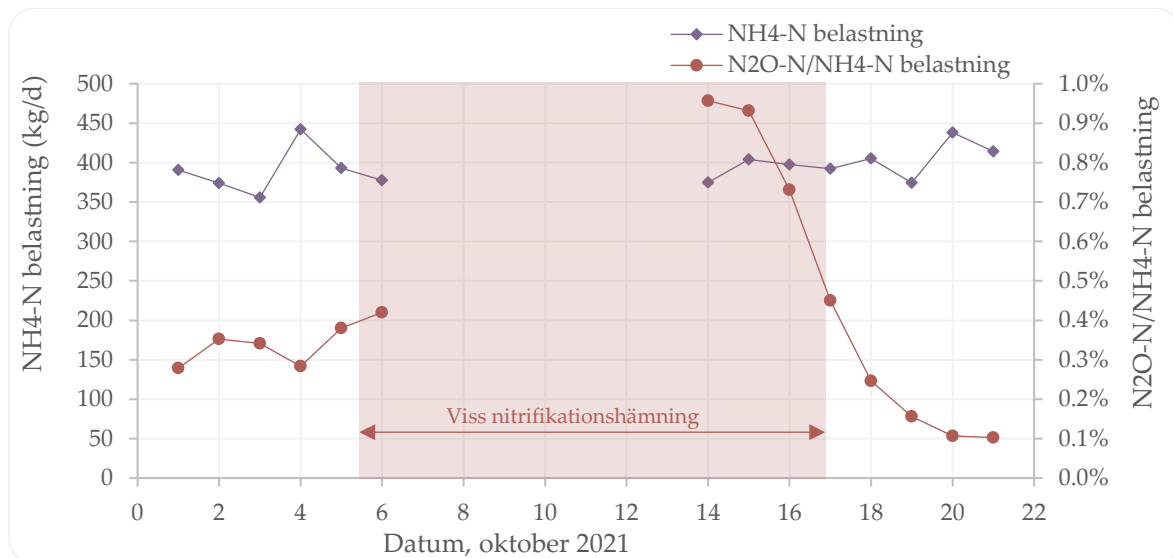
Lustgasemissioner i demonprocessen mätes även under perioden 28.08.2021 – 16.09.2021. Demonprocessen kördes med en genomsnittlig  $\text{NH}_4\text{-N}$  belastning på 200 kg/d, vilket var lägre än vid mätkampanjerna under 2019 och 2020. Som Figur 5 visar så uppgick de genomsnittliga lustgasutsläpp till ca 0,24 % av inkommande kvävebelastning men att variationerna var mycket stora med som lägst 0,03 % och som störst 0,9 %  $\text{N}_2\text{O-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ . De genomsnittliga utsläppsmängderna är avsevärt lägre än under mätperioden 2020 men ligger i samma storleksordning som vid mätperioden 2019.



Figur 5.  $\text{N}_2\text{O}$  emissioner från demonprocess under hösten 2021.



Emissionsmätningar i huvudlinjen L1 utfördes under två kortare perioder i oktober 2021 (Figur 6). Ammoniumbelastningen till processlinjen L1 var ca 400 kg/d och med de mätningar som gjordes beräknades en genomsnittlig N<sub>2</sub>O-emissionsfaktor på ca 0,42 % (N<sub>2</sub>O-N/NH<sub>4</sub>-N-belastning). Mätningar genomfördes när en delvis hämning av nitrifikationen inträffade i reningsverket under v41 vilket kan ses från högre utsläpp av lustgas (1 % N<sub>2</sub>O-N/NH<sub>4</sub>-N-belastning) i början av den andra mätperioden. Vid en mer stabil nitrifikation minskar även lustgasemissioner igen till en emissionsfaktor på <0,4 %.



Figur 6. N<sub>2</sub>O-emissioner från huvudlinjen L1 under oktober 2021.

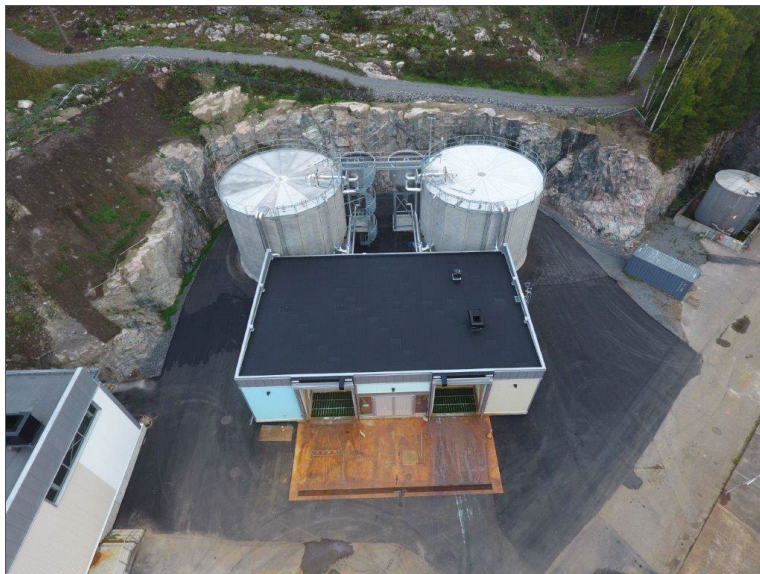
### 3.2.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk?

Vid biologisk kväverening finns det alltid risk att lustgas bildas och i takt med att kväveringskraven blir striktare på reningsverk behöver också kunskapen om lustgasutsläpp bli bättre. Mätningar som denna vid Himmerfjärdsverket leder till ökad förståelse och intresse för växthusgasavgång på reningsverk. Vid tidigare försök (Baresel et al., 2019b) påvisades stora skillnader i lustgasavgång beroende på vilken driftstrategi som användes. Genom denna aktivitet kan de resultaten styrkas samt tillämpas på liknande processer.

### 3.2.4 Beskrivning av utfört arbete

Mätningen i Demon-processen startades med en kort mätkampanj i november 2019 och fortsattes sedan i februari/mars 2020. Själva processen består av granulärt slam som anrikas med hjälp av cyklon och sedimentering. Demonprocessen styrdes av ett pH-bövråde (7,1) och luftning var intermittent för att behålla pH-värdet. Under mätningen i november 2019 hade processen en kvävebelastning på ca 360 kg N/d. Under mätningar våren 2020 låg processens kvävebelastning med ca 390 kg/d något högre.

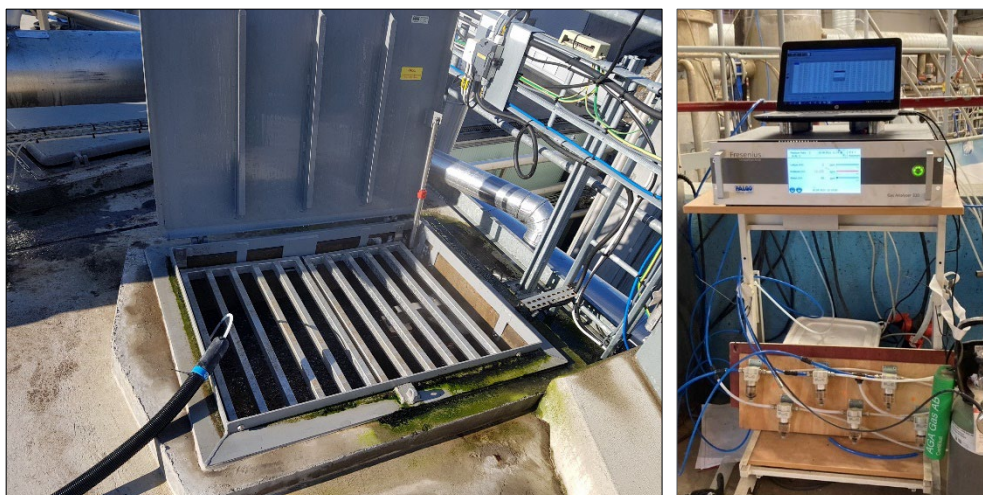
De två demonreaktorerna har en yta på 30 m<sup>2</sup> var och är 9 meter höga (Figur 7). Reaktorvolymen är därmed mycket mindre jämfört med den tidigare deammonifikationsprocessen som fanns vid Himmerfjärdsverket. Den nya processen sker dessutom i slutna reaktorer vilket gör att processluften samlas upp i övre reaktorvolymen (ca 15 % av den totala volymen) innan den ventileras bort.



Figur 7. Demon-processen vid Himmerfjärdsverket.

Gasprovtagningen för analys av lustgas skedde i toppen av reaktorerna i över processvattennivån där processluften samlats. Under icke-luftade processcykler stannar processluften i reaktorn vilket kan påverka lustgashalten. För att undvika osäkerheten för en representativ gasprovtagning även under dessa perioder öppnades reaktorns topplock (Figur 8).

Mätutrustningen som används för mätningar processluften är av NDIR-typ (nondispersive infrared sensor) som är kopplat till ett automatiskt provtagningssystem som tar in prover från sex olika provpunkter samtidigt (Figur 8). Processluften pumpas från olika punkter i reaktorn med en i enheten inbyggd pump (ca 4 l/min). För mätningar av lustgas löst i processvattnet används en online micro-sensor från danska Unisense AS. Den har tidigare installerats av Syvab och är integrerad i Himmerfjärdsverkets styrsystem. Tyvärr har sensorn inte fungerat enligt Syvab och åtgärdsförsök lyckades inte så inga relevanta data för mätperioden finns tillgängliga. Under hösten gjordes en längre mätning (ca en månad) i processluften. Vattensensorn var då inte placerad i reaktorn då det uppkommit problem med styrsignalen. Processen hade även andra driftproblem som försvårade för mätningarna.



Figur 8. Gasmätning vid Demon-processen, Himmerfjärdsverket.

För emissionsmätningar i huvudlinjen användes samma analysutrustning som vid mätningar i rejektbehandlingen i kombination med en flytande mätbuv i likhet med tidigare mätningar i huvudprocessen (Figur 9).



Figur 9. Mätutrustning och placering vid mätning i huvudlinje L1.

## 3.3 Lustgasemissioner från MBR-piloten

Kort före avstängning av piloten förra sommaren samt under hösten 2021 genomfördes en första mätkampanj för kvantifiering av lustgasemissioner i MBR-piloten vid Himmerfjärdsverket. MBR-piloten består av en aktivslamprocessdel med flera kaskader och zoner samt två membrantankar.

### 3.3.1 Vilken utmaning gäller det?

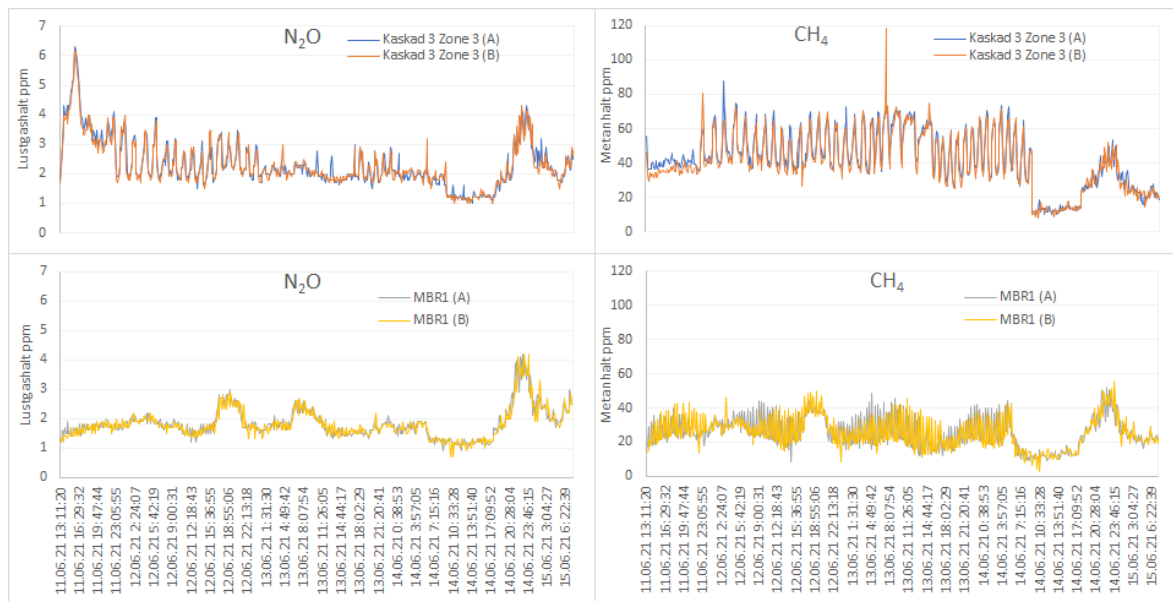
Aktiviteten fokuserar främst på att kartlägga utsläppen från MBR-processen för att få kännedom om utsläppsmängder vid Himmerfjärdsverket framtida reningsprocess. Mätningar i en annan MBR-process indikerade väsentligt mindre lustgasutsläpp än andra aktivslamprocesser (Baresel et al., 2022) och en förberedande initial screening av emissionerna från Syvabs MBR-pilot har därför genomförts.

### 3.3.2 Viktigaste resultat och slutsatser

Figur 10 visar ett exempel för haltvariationer för lustgas och metan i biologin (kaskad 3 zon 3) och membrantank 1 som mättes med två separata provtagningskanaler (A och B) samtidigt i respektive provtagningspunkt. De högre lustgashalter i processluften i K3Z3 den 11 och 14 juni kan direkt kopplas till att metanoldosering inte var i gång. Den successiva minskningen av lustgashalter fram till ökningen den 14 juni sammanfaller med en gradvis ökning av metanoldosering och en gradvis minskning av medelsyrehalten i zonen. För metanhaltarna i samma zon ser man en omvänd trend med låga halter den 11 och 14 juni när metanoldoseringen inte är i gång. Övervakningen av metanoltillsats har dock delvis haft problem under en längre tid och endast variationerna i doseringen har beaktats på grund av osäkerheter i faktiskt doserad mängd. Halttoppen den 15 juni

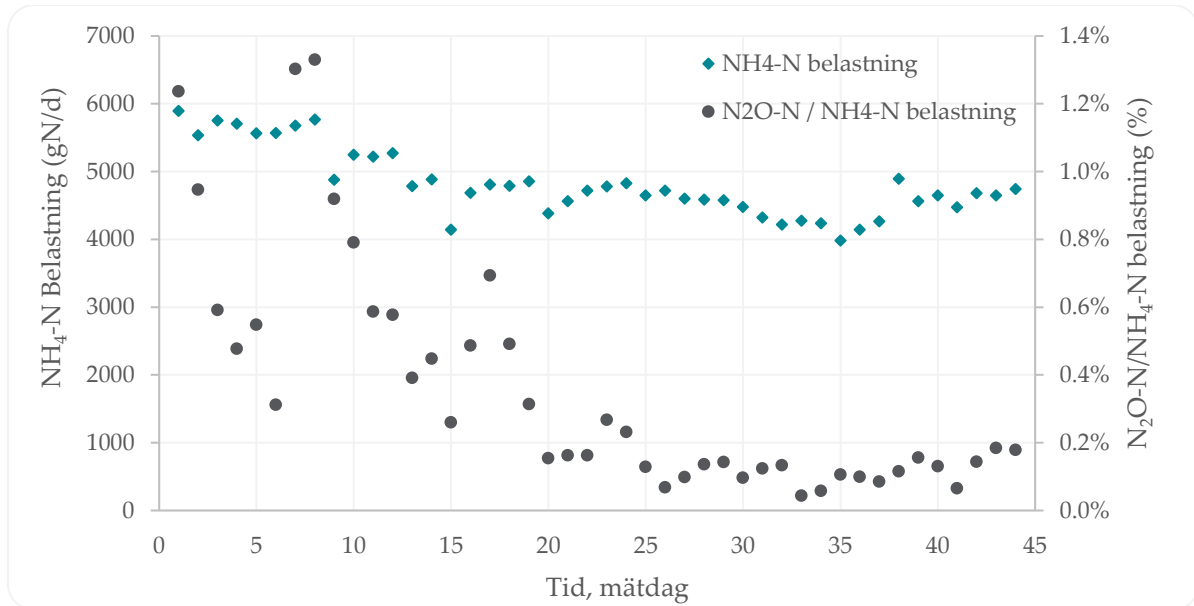
för både lustgas och metan sammanfaller med en kraftig ökning i luftningen. De små återkommande haltvariationerna stämmer bra överens med rapporterade syrehalter och beror därmed sannolikt på en intermittert ökande strippning orsakat av intermittert luftning av flexzoner.

För membrantanken (MBR1) ser haltvariationer för lustgas och metan lite annorlunda ut under samma tidsperiod. Eftersom endast två mindre zoner skiljer K3Z3 och MBR1 kan även här en påverkan av ändringen i metanoldoseringen observeras, om även mindre utpräglad. Toppen mellan den 14 och 15 juni sammanfaller tydligt med en kraftig luftning av membrantanken i samband med en membranrengöring (Leap-Hi). Generellt kan det noteras att metanhalter ligger ca 10 gånger över observerade lustgashalter. Det betyder att miljöpåverkan på grund av emissioner från processen ligger i samma storleksordning för dessa två växthusgaser då metan med 30 CO<sub>2</sub>ekv ligger tio gånger lägre än lustgas med 298 CO<sub>2</sub>ekv.



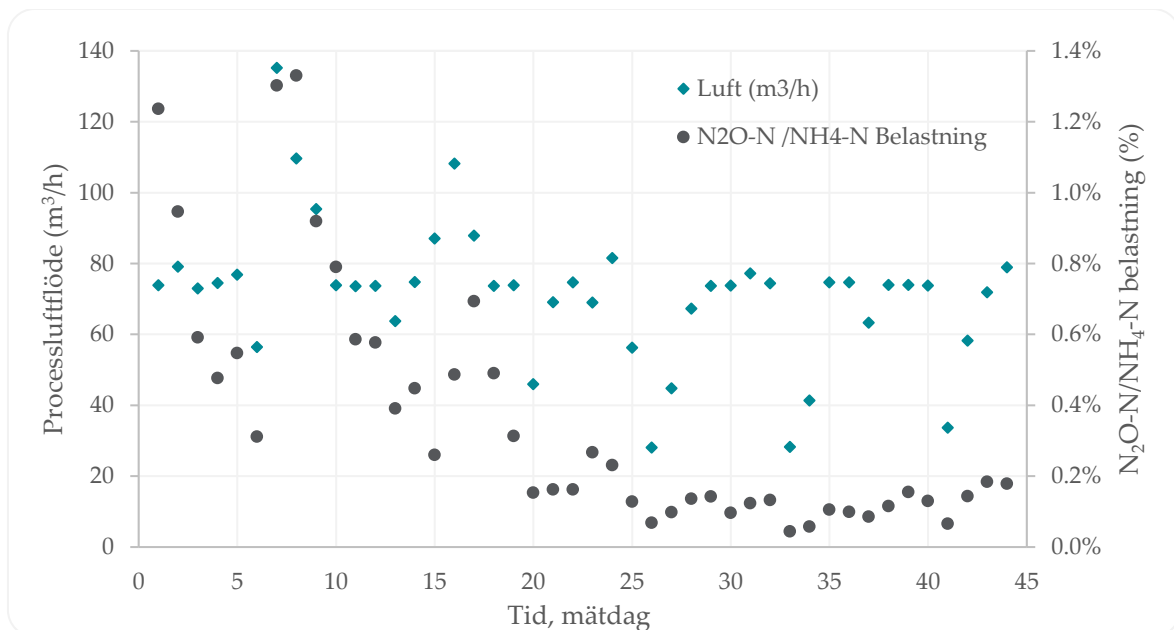
Figur 10. Uppmätta lustgas- och metanhalter i biologien (Kaskad 3 Zon 3) och från MBR1 11–15 juni 2021.

För mätperioden på 44 dagar under hösten 2021 skattades ett medelvärde för lustgasemissionsfaktorn på ca 0,36 % N<sub>2</sub>O-N/NH<sub>4</sub>-N-belastning med ett högsta värde på 1,33 % i början av mätningen (Figur 11). Enligt mätningarna framstår det som att en ammoniumkvävebelastning över 5000 g N/d resulterade i högre emissioner. Samtidigt indikerar Figur 11 att belastningen under de första 20 dagar av mätperioden, som sammanfaller med högre lustgasemissioner, har varit ojämn, som i sin tur påverkar bildning och avgång av N<sub>2</sub>O.



Figur 11. N<sub>2</sub>O emissions- och belastningsvariationer från MBR-piloten under hösten 2021 (27.10–09.12.2021).

Figur 12 visar att även luftflödet till MBR-piloten har varit mer ojämnt under de första 20 dagarna av mätperioden som också tyder på en mer instabil belastning och reningsprocess.



Figur 12. Utgående N<sub>2</sub>O-emissioner och inkommande processluftflöde (dygnsmedel) till MBR-piloten under hösten 2021 (27.10 - 09.12.2021).

Även om det på grund av saknade data för luftflödet till membrantanken inte går att dra några slutsatser än så tyder dessa initiala mätningar ändå på högre lustgasemissioner från MBR-piloten jämfört med mätningar i IVLs MBR-pilot vid Hammarby Sjöstadsvärk som visade, med ca 0,004 - 0,07 % N<sub>2</sub>O-N/NH<sub>4</sub>-N-belastning för hela pilotlinjen, väsentligt lägre utsläpp. Emissionerna ser även ut att vara högre än vid den nuvarande reningsprocessen vid Himmerfjärdsverket (Figur 6).

### 3.3.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk?

Vid biologisk kväverening finns det alltid risk att lustgas bildas och i takt med att kväveringskraven blir högre på reningsverk behövs också kunskapen om lustgasutsläpp bli bättre. Mätningar som denna på Himmerfjärdsverket leder till ökad förståelse och intresse för växthusgasavgång på reningsverk. Vid tidigare mätningar i MBR-processen (Baresel et al., 2022) visades att MBR-processen hade väsentligt mindre lustgasutsläpp än andra aktivslamprocesser. Genom flera mätningar av lustgasutsläpp från olika reningsprocesser ökar den allmänna kunskapen om denna miljöpåverkan och hur den kan minimeras.

### 3.3.4 Beskrivning av utfört arbete

Lustgashalter i processluften undersöktes under en vecka i juni 2021 samt under 44 dagar i membrantank 1 (MBR1) i MBR-piloten mellan den 27.10.2021 och 09.12.2021. Mätningarna utfördes i MBR1-tankens ventilationsrörledning (Figur 13). Mätningar gjordes även i aktivslamprocessdelen av MBR-piloten (Figur 13) men dessa mätningar stördes påtagligt av skum och flytslam och redovisas därför inte. Eftersom piloten tyvärr inte är utrustad med en luftflödesmätning till de olika processvolymerna har kvantifieringen av lustgasemissioner behövt baseras på ett uträknat ventilationsflöde från de olika processdelarna. Det innebär att de beräknade emissionerna är behäftade med stor osäkerhet och en komplettering av piloten för en bättre kvantifiering är planerat inför framtida emissionsmätningar.



Figur 13. Mätningar i kaskaden och membrantank 1.

## 3.4 MBR-GAK pilottester för rening av mikroföroreningar

I juni 2019 beviljades Syvab bidrag från Naturvårdsverket (NV-03803-19) för uppförande av en storskalig pilot med teknikkombinationen membranbioreaktor (MBR) och aktivt kol (GAK) för rening av mikroföroreningar med fokus på läkemedelsrester. Projektet genomfördes av Syvab i samarbete med Ramboll och IVL. Projekttiden varade från september 2019 till februari 2021 med idrifttagning av MBR-piloten i augusti och GAK-piloten i oktober 2020. Genom FoU-samverkan mellan IVL och Syvab har flera aspekter relaterat till pilottesterna kunnat undersökas och utvärderas inom projekttiden. Dessutom har Syvab och IVL inom ramen för FoU-samverkan

fortsatt drivit pilottesterna efter avslutningen av projektet med Naturvårdsverket i februari 2021. Samtliga resultat som togs fram under 2020 och jan–feb 2021 har inkluderats i en projektrapport till Naturvårdsverket (Lemström et al., 2021). Pilottesterna har dock förts vidare inom FoU-samarbetet mellan Syvab och IVL och resultaten fram till dec 2021 presenteras nedan.

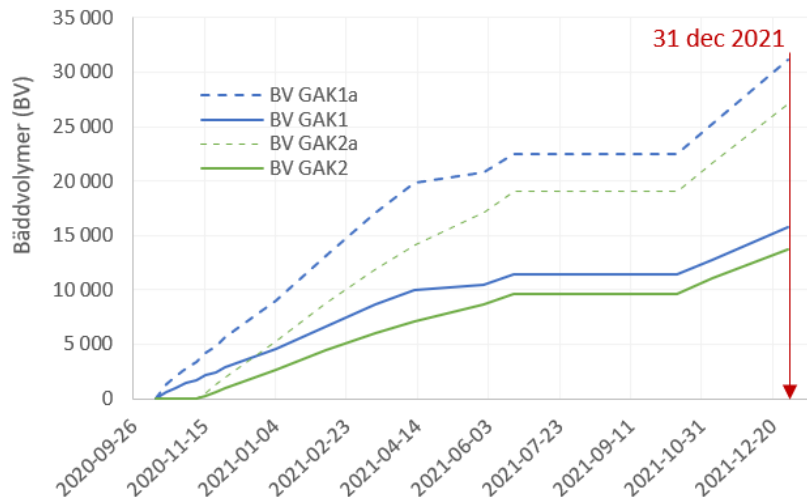
### 3.4.1 Vilken utmaning gäller det?

Ombyggnationen av Himmerfjärdsverket till ett modernt reningsverk med en MBR-process pågår för fullt. Hela ombyggnationen förväntas vara klar år 2026 och resulterar i att reningsverket får en hög reningskapacitet med avseende på organiskt material och näringsämnen. Att därtill lägga ett reningssteg för rening av läkemedel och andra mikroföroreningar ser Syvab som ett nästa steg. Under 2019 genomfördes därför en förstudie för läkemedelsrening med syftet att ta fram ett beslutsunderlag där nyttan med och kostnaderna för läkemedelsrening beskrivs. Projektet genomfördes av Syvab i samarbete med Ramboll, IVL Svenska Miljöinstitutet och Stockholms universitet.

Karteringen av läkemedelsrester och olika riskbedömningar som gjordes i förstudien (Baresel et al., 2019a; Syvab 2019) tydde på att en extra rening för läkemedelsrester vid Himmerfjärdsverket kan vara motiverad. Förstudien kom vidare fram med ett principförslag för filtrering av utgående vatten från den framtida MBR-anläggningen med granulerat aktivt kol (GAK) (Baresel och Malovanyy, 2019; Syvab 2019). Beslut togs även att utforma anläggningen med filter i två steg, eftersom detta bedöms öka livslängden på det aktiva kolet, och därmed reducera driftskostnaderna så mycket att det uppväger en ökad investeringskostnad. Nuvarande pilotprojekt baseras på detta principförslag vilket möjliggör till att bekräfta och vid behov förbättra designen enligt principförslaget inför en eventuell fullskaleimplementering.

### 3.4.2 Viktigaste resultat och slutsatser

Reningseffektiviteten av mikroföroreningar i GAK-filter är direkt relaterad till kolets kapacitet som avtar med ökande mängd vatten som har passerat filtren, uttryckt i antalet behandlade bäddvolym (BV). Figur 14 visar antal behandlade BV vid sista provtagning under v44 i 2021. BV för två filter i serie är lika stora eftersom samma vattenmängd går genom båda filtren. Behandlade bäddvolym för en helfilterlinje är därmed 50 % av BV för ett filter i varje serie. På grund av tekniska problem i starten av GAK2 är antal BV lägre vid respektive provtagning än för GAK1. GAK2a kördes dessutom som första filter till 1760 BV (880 BV för hela linjen) men driften ändrades sedan så att GAK2a sattes som andra filtret i linjen GAK2. Detta på grund av problem vid en backspolning som gjorde att kolet i GAK1b tappades och fick ersättas med nytt kol (Lemström et al., 2021). Att antal bäddvolym inte ökar under flera veckor sommaren 2021 beror på en temporär avstängning av piloten för underhåll och anpassningar i MBR-delen. Samtliga GAK-filter backspolades under denna tid regelbundet för att minimera påverkan av standby-tiden.

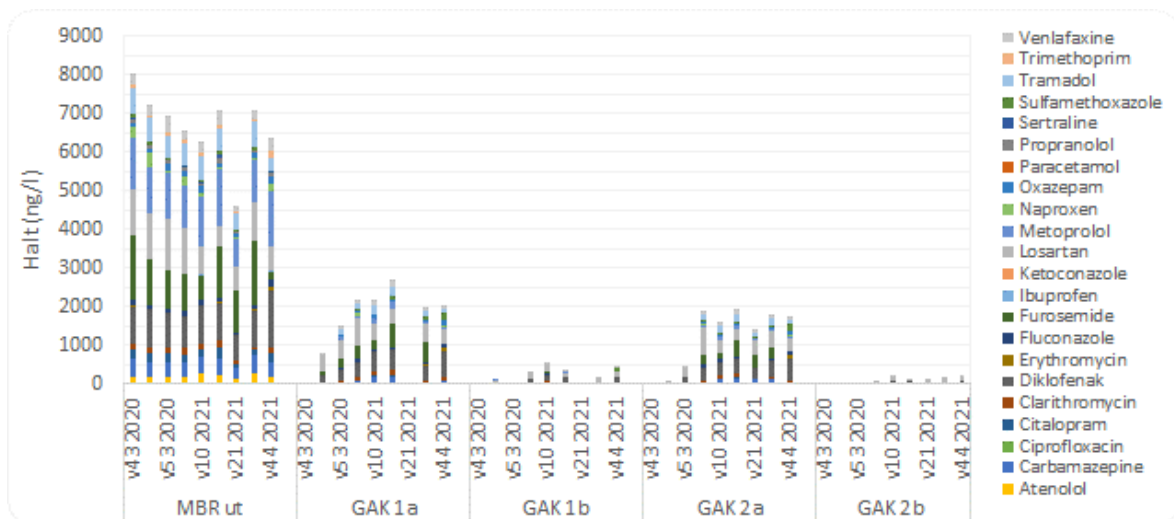


Figur 14. Antal behandlade bäddvolymer i de olika filtren samt för varje filterlinje.

### 3.4.2.1 Reningseffektivitet för läkemedelsrester

Halter för hormoner har inte undersökts vidare eftersom halter i inkommande avloppsvatten redan legat under detektionsgränsen i samtliga prover.

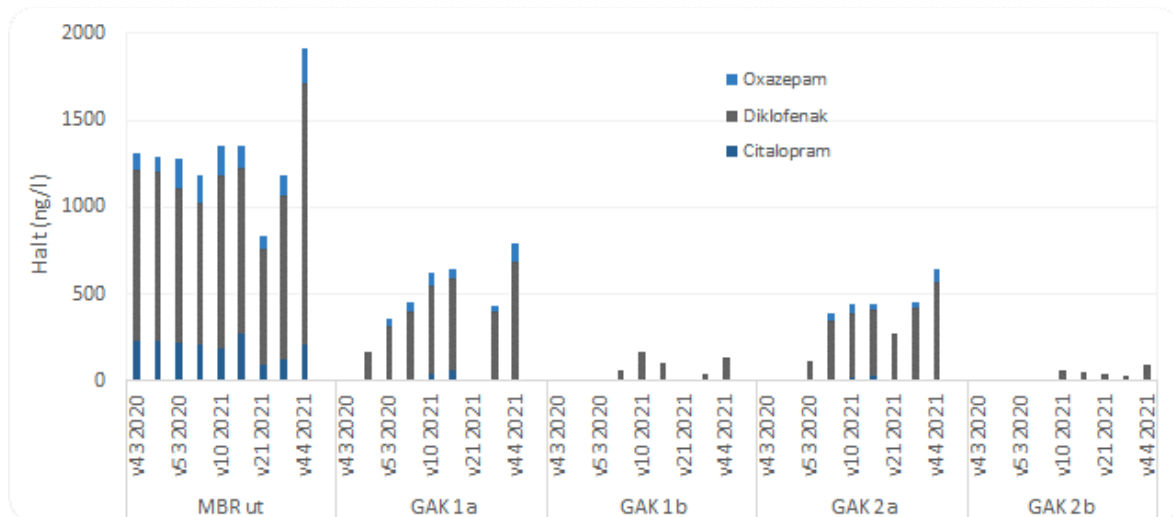
Figur 15 visar halter för de läkemedel som kunde kvantifieras i minst ett prov vid de 10 provtagningar som genomförts hittills i projektet. Halter ut från MBR-piloten ligger i samma storleksordning som för aktivslamprocessen i nuvarande Himmerfjärdsverket (Lemström et al., 2021) vilket också stämmer överens med resultaten från SVU-projektet  $\mu$ -pH2040 (Närhi et al., 2021). Som framgår från figuren så återfinns endast ett fåtal av de analyserade substanserna i utgående vatten från varje GAK-filterlinje (GAK1b och GAK2b). Efter första filtret i varje linje (GAK1a och GAK2a) detekteras flera substanser och för samtliga filter kan en trend med ökade antal substanser och halter ses.



Figur 15. Läkemedelsrester i MBR-permeat samt efter GAK-filtren (endast kvantifierbara halter visas).

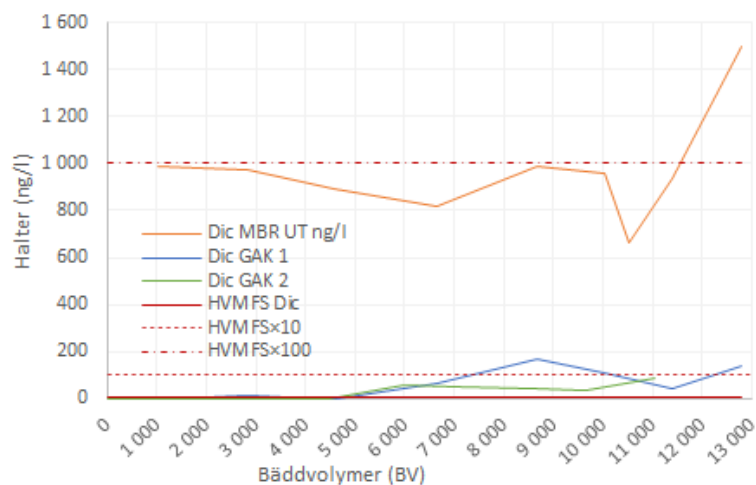
De läkemedelssubstanser som i första förstudien (Baresel och Malovanyy, 2019; Syvab, 2019) identifierades med högst risk för negativ recipientpåverkan visas i Figur 16. Som figuren indikerar så avskiljs de prioriterade substanserna väl i GAK-pilotanläggningen, så när som på diklofenak där en viss halt detekteras efter båda GAK-linjerna. I vattnet efter första GAK-filtret kvantifierades däremot även oxazepam och citalopram över detektionsgränsen vid några tillfällen.





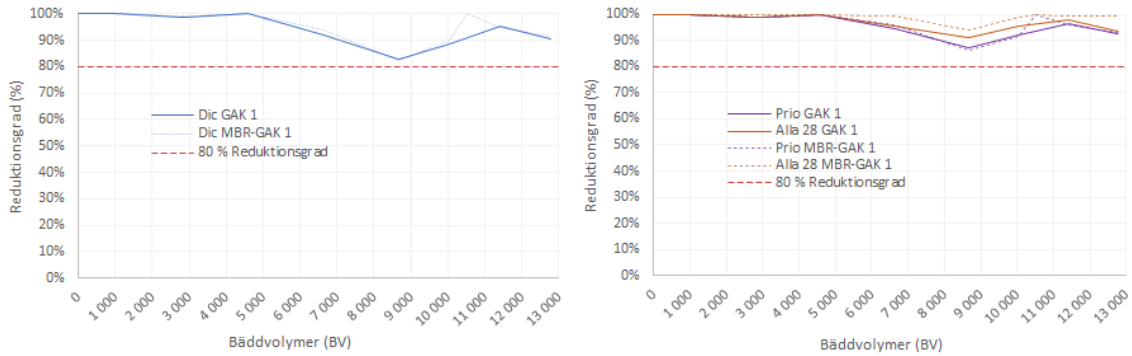
Figur 16. Halter av prioriterade läkemedel i MBR-permeatet samt efter fyra GAK-filtren (endast kvantifierbara substanser visas).

De halter av diklofenak som uppmätts efter GAK-pilotlinjen ligger över gränsvärdet enligt Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25) framför allt efter att 5000 bäddvolymeter har behandlats i båda filterlinjer (Figur 17). Med tanke på en absolut minsta utspädning på 10 ggr vid utloppsröret ligger dock de flesta analysvärden under detta tänkbara målvärde (HVMFS×10). Med den genomsnittliga utspädning på 100 ggr som bedömdes baserat på olika studier (Syvab 2019), ligger samtliga förväntade halter av diklofenak under målvärdet (HVMFS×100).



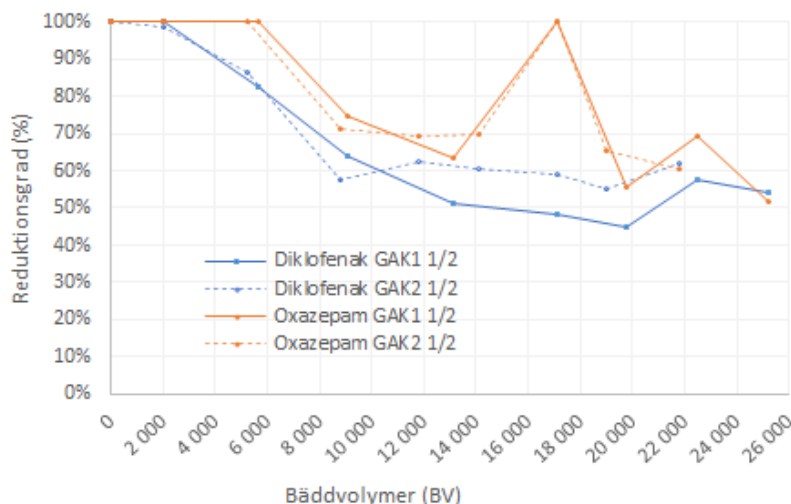
Figur 17. Halter för diklofenak i MBR-permeat samt efter de två GAK-filterlinjer, och olika målhalter.

Vänster graf i Figur 18 visar reduktion av diklofenak både över hela pilotlinjen bestående av MBR-processen och 2 GAK-filtren i serie. Det framgår tydligt att det är i GAK-piloten som diklofenak renas bort medan MBR-processen endast har en försumbar reningseffekt. Ett tänkbart reningsmål på en genomsnittlig 80 % reningsgrad har hittills uppfyllts. Samma trender kan observeras i grafen till höger i Figur 18 som visar reningsgraden för summan av de prioriterade läkemedelssubstanser och summan av samtliga 28 analyserade läkemedelsrester över första GAK-linjen samt hela piloten inklusive MBR-piloten (MBR-GAK1).



**Figur 18. Reduktion av diklofenak (vänster), summan av prioriterade läkemedelssubstanser och summan av samtliga 28 analyserade läkemedelsrester (båda till höger) över första GAK-linjen samt över hela piloten inklusive MBR-piloten (MBR-GAK1).**

För att bedöma när kolet i första filtret behöver bytas kan reduktionsgraden av t.ex. målsubstanserna diklofenak eller oxazepam användas. När ingen reningskapacitet finns kvar i första filtret är det lämpligt och byta filtermaterialet och byta driftföljd av de två filtren. Som Figur 19 indikerar har hittills ca 50 % av reningskapaciteten för både diklofenak och oxazepam förbrukats i första filtret i båda linjer. Även om det finns vissa skillnader så är det ännu för tidigt att kunna peka på skillnader mellan de två filterlinjer och generellt följer båda pilotlinjer samma trend. Vid en linjär trendprognos baserat på data i figuren skulle kolets kapacitet för diklofenak vara förbrukat vid ca 50 000 behandlade bäddvolymer i första filtret. Det skulle motsvara ca 25 000 behandlade BV för hela filterlinjen. Hur många BV som sedan kan behandlas innan även kolet i det andra filtret behöver bytas är ett av pilottesternas mål att utreda för en realistisk kostnadsbedömning av den extra reningen med aktivt kol. Eftersom kapaciteten i den andra filtret delvis redan har tagit i anspråk kan t.ex. 50 % av reningskapaciteten antas som möjligt scenario vid kolbyte i första filtret. Detta skulle i sin tur innebära att kolet i andra filtret behöver bytas vid ca 75 000 BV vilket skulle ge ca 37 000 BV för hela filterlinjen. Detta ligger närmare det "bästa" scenariot med 50 000 BV än ett "värsta" eller traditionellt scenario på 20 000 BV som antogs i principförslaget (Syvab 2019).

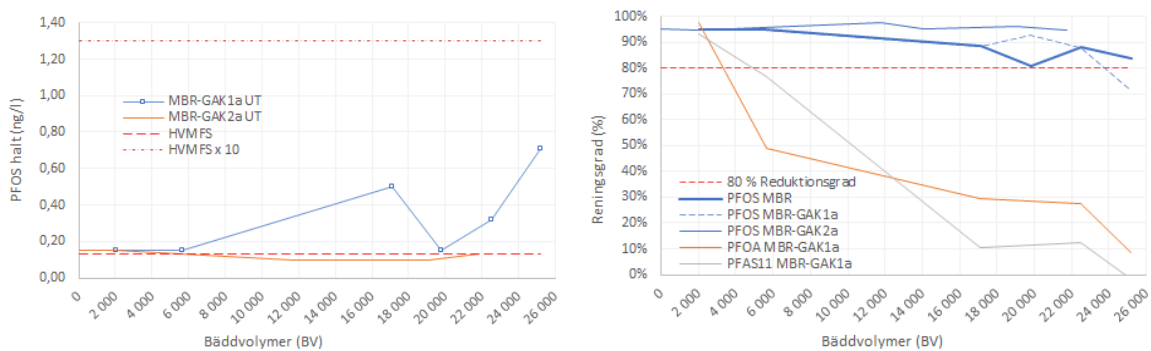


**Figur 19. Reningsgrad för diklofenak och oxazepam i första filtret för de två kolfilterlinjer.**

### 3.4.2.2 Per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS)

I tidigare studier har även PFOS-halter utpekats som eventuell risk då dessa låg i nivå med gränsvärdet enligt Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25; Baresel och Malovanyy, 2019). Figur 20 visar PFOS-halterna efter första kolfiltret samt gränsvärdet (årsmedelvärde) enligt HVMFS 2019:25 samt vid en minsta utspädning på 10 ggr. Som figuren indikerar ligger PFOS-halterna under gränsvärdet redan efter MBR-GAK2a. Reningen i första pilotlinjen är något sämre vilket leder till att PFOS-halterna ligger över gränsvärdet, dock under gränsvärdet i recipienten vid den minsta utspädningen på 10 ggr.

Figur 20 visar även PFOS-, PFOA- och PFAS11-reduktion över MBR-piloten respektive MBR-GAK1a och MBR-GAK2a. Medan reduktionen av PFOA respektive summan av PFAS och PFAS11 avtar avsevärt med ökande antal behandlade bäddvolymmer, så minskar reduktionen av PFOS endast marginellt. Figuren illustrerar att den största PFOS-reningen sker i MBR-piloten och att första kolfiltret i pilotlinje 1 inte ger någon extra rening medan den andra GAK-pilotlinjen ger en ytterligare rening av PFOS. Att en så kraftig reduktion sker i MBR-processen är positivt men något oväntat. Flera prover har tagits som alla bekräftar reningseffekten. Även prover från skummet som bildas i MBR-piloten och separata skumfraktioneringstester har utförts utan att kunna ge en tydlig förklaring till den höga och relativt stabila reningseffekten.

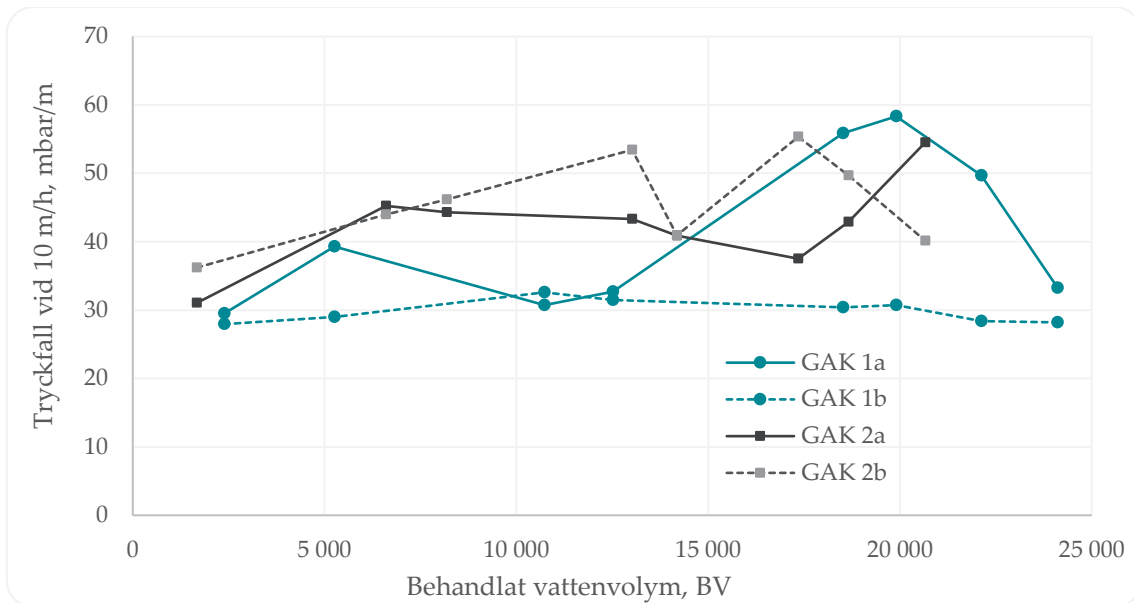


Figur 20. PFOS-halter (vänster) och PFOS-, PFOA- och PFAS11-reduktion över MBR-piloten respektive MBR-GAK1a och MBR-GAK2a (höger).

### 3.4.2.3 Belastningstester

Totalt har 9 belastningstester genomförts sedan starten av GAK-piloten och fram till dec 2021. På grund av driftstopp i filterpar 2 (GAK L2) genomfördes det första testet i oktober 2020 endast på filterpar 1 (GAK L1). Tryckfallet i de fyra GAK-filtren var generellt jämförbara vid samma hydrauliska belastning och stämde överens med det tryckfall som kolleverantören angett i produktdatabladet (Lemström et al., 2021).

Som förväntat var igensättning av filter högre i de filter som är placerade först i respektive serie (GAK 1a och GAK 2b) jämfört med de som ligger sist i serien. För linje GAK L1 kan det ses genom från Figur 21, där utveckling av tryckfall visas som funktion av behandlat vattenvolym. Tryckfall i filtret GAK 1b är stabilt lågt under hela driftperioden medan tryckfall i filtret GAK 1a varierar med tiden. Eftersom filtren i linjen GAK L2 backspolats endast vid behov kan inte liknande samband ses i figuren. Under perioden nov 2020–jun 2021 behövde dock GAK 2a backspolats 25 gånger medan GAK 2b backspolades endast en gång. Under samma period behövde filtren i linje GAK L1 backspolats 58 gånger vardera. Tryckfall i filtren i GAK L1 är generellt lägre än i GAK L2 tack vare den frekventa backspolningen. Skillnaden är dock inte stor, speciellt vid belastningsförsök som genomfördes vid liknande tider efter den senaste backspolningen.



Figur 21. Utveckling av tryckfallen i de fyra GAK-filtren över tid.

Belastningstesten visar att det kan vara möjligt att belasta GAK-filtren mer än vad föreslogs i principförslaget. Vid de flesta belastningstesterna var det möjligt att behålla ytbelastning på 14 m/h utan att bräddnivån uppnåddes. Dessa tester visar dock endast kapaciteten vid kortvarig belastning och det återstår att utreda hur tryckfallet och backspolningsfrekvens påverkas av en högre ytbelastning under längre tid.

#### 3.4.2.4 Backspolningsstrategins effekt på drift och reningskapacitet

Backspolningen av första filterlinjen GAK1 har körts enligt principförslaget (Syvab 2019) som baseras på traditionell design vilket innebär att båda filtren backspolas efter att 420 m<sup>3</sup> vatten har behandlats. I normaldrift betyder detta att backspolning sker två gånger per vecka i 15 min med start i GAK1a följt av GAK1b. Backspolning av filterparet i andra filterlinjen GAK2 gjordes endast när vattennivån i filtret nådde en nivå på 20 cm under bräddledningen. För denna filterserie backspolas enbart det filter som kräver backspolning, alltså vanligtvis det första filtret i serien.

Tabell 4 visar backspolningarna i de olika filtren för GAK-piloten. Under intrimningen av pilotlinjen samt avstängning under sommaren 2021 genomfördes flera tester och underhållsbackspolningar. Även om dessa inte har tagits med i sammanställningen så kan antalet backspolningar och mängden backspolvatten vara behäftat med viss osäkerhet. Speciellt i starten av pilotlinjen har backspolningar genomförts manuellt och mängden backspolvatten har därför varierat mellan tillfällena. Även om GAK L1 har varit i drift en längre tid och antalet behandlade bäddvolymer och backspolningar därför naturligt nog är högre än för GAK L2, så visar tabellen ändå på skillnader som de två olika backspolningsstrategierna medför. För GAK L1 kan ett backspolvattenbehov på ca 2,4 % av totalflödet genom GAK-linjen konstateras, vilket är nära de 2,5 % som beräknats enligt principförslaget. Detta betyder att för varje kubikmeter renat vatten returneras ca 24 liter till reningsprocessen och behöver behandlas. Backspolningsstrategin för GAK L2 innebär att endast 0,7 % av det behandlade vatten behöver användas för backspolning, vilket är mindre än en tredjedel jämfört med behovet i linje L1. Mindre backspolning betyder framför allt en högre återvinningsgrad och mindre driftstopp men också en viss energibesparing.

Tabell 4. Backspolningar i båda GAK-filterlinjerna fram till 31 dec 2021.

	GAK 1a	GAK 1b	GAK (L1)	GAK 2b	GAK 2a	GAK (L2)
Behandlade bäddvolymer	31 146	31 146	15 573	27 108	27 108	13 554
Antal backspolningar <sup>#</sup>	125	107	232	51	18*	69
Mängd backspolvatten m <sup>3</sup>	460	283	743	154	36	190
Andel backspolflöde	1,5 %	0,9 %	2,4 %	0,56 %	0,13%	0,7 %

# - Exklusive underhållsbackspolningar under avstängning sommaren 2021.

\* - Filtret har initialt varit först i serien men efter en omstart med nytt kol sattes 2a sist i serien.

Eventuella andra effekter som de olika strategierna för backspolning medför är i nuläge svåra att utvärderas och behöver kompletterande analyser i framtiden. En mindre frekvent backspolning även skapar negativa effekter p.g.a. igensättningar och kakkbildning. Sådana negativa effekter har dock inte observerats hittills i piloten. Det är å andra sidan tänkbart att en mindre frekvent backspolning har en positiv påverkan på kolonnverkan i filtren samt etablering och kapacitet av en biologisk nedbrytning av läkemedelsrester i filtermaterialet. Resultaten hittills för bl.a. rening av diklofenak (Figur 19) och PFOS (Figur 20) men även andra substanser indikerar i alla fall en något bättre reningskapacitet på ca 10 % i andra GAK-pilotlinjen, både i första och andra filtret av linjen.

En annan aspekt som kan diskuteras är nettoantal behandlade bäddvolymer. Eftersom ca 2,4 % av det behandlade vatten i GAK L1 återanvänds vid backspolning med en efterföljd återföring till huvudreningen, så passerar detta vatten GAK-filtren i princip 2 gånger. Även om detta i praktiken inte betyder att ett rent vatten passerar kolfiltren så är belastningen på GAK L1 dock mindre. Netto antal behandlade bäddvolymer i GAK L1 skulle således definieras som 2,4 % lägre (-375 BV) än de BV redovisat i Tabell 4. För GAK L2 blir netto antal behandlade bäddvolymer endast 0,7 % mindre jämfört med siffran i Tabell 4. I pilotanläggningen leds dock tvättvattnet ut till utloppet medan i fullskaleanläggningen skulle det återföras tillbaka till inloppet av reningsverket. Även om tvättvattnet innehåller mycket partiklar är det rent från lösta läkemedelsrester och skulle därför späda inkommande vatten. Det är därför svårt att definitivt konstatera hur återföring av backspolvattnet påverkar genombrott och förbrukning av GAK per m<sup>3</sup> inkommande avloppsvatten till reningsverket.

### 3.4.2.5 Påverkan på principförslaget

De designparametrar av principförslaget som togs fram under förstudien (Syvab 2019) som påverkas är framför allt kolets livslängd uttryckt som behandlade bäddvolymer (BV). Dessutom undersöktes i piloten backspolningsintervallet och ytbelastningen. Jämfört med traditionell design av GAK-filter som Ramboll använde som grund i principförslaget har IVL skissat på alternativa designparametrar baserat på sina erfarenheter från ett antal pilottester. Detta inkluderar både en behovsstyrd backspolning av GAK-filter, självfall mellan filter i serie, samt ett större utnyttjande av kolet kapacitet. Dessa parametrar påverkar både investerings- och driftkostnader genom en ändrad teknisk utformningen och mängden spolavlopp som behöver hanteras men framför allt p.g.a. hur ofta filtermaterialet behöver bytas.

Utifrån långtidsdrift och de genomförda belastningstesterna framstår det som att en aktiv pumpning mellan de två filter i serie inte behövs utan att seriedrift kan åstadkommas med självfall. Ifall detta även gäller vid filterbyte återstår att testas men resultaten hittills ger inte upphov till att problem skulle uppstå. För kostnader vid en framtida fullskaleanläggningen skulle det betyda att de 14 pumparna mellan de i principförslaget föreslagna 14 filterparen inte skulle behövas vilket påverkar både investeringen samt kostnaden för drift och underhåll. Alternativt kunde mellanpumpningen behållas men ytbelastning ökas och på det sättet skulle anläggningen bli

kompaktare och kräva en lägre investeringskostnad. Det skulle dock ge en kortare uppehållstid, vilket kunde påverka effektiviteten av kolutnyttjande.

Långtidsutvärderingen av backspolningsstrategierna tyder hittills inte på några negativa aspekter av den behovsstyrda backspolning i GAK-pilotlinje GAK2 jämfört med den traditionella backspolningsstrategin som tillämpats i filterlinje GAK1. Samtidigt ökar drifttiden av behovsstyrda filter och mängden spolavloppsvatten minskar från ca 2,4 % till 0,7 % vilket leder till en motsvarande mindre internbelastning av MBR-processen då spolavloppsvatten skulle återföras till huvudreningen. Hur mycket detta skulle betyda i en kostnadsreduktion är svårt att bedöma. Dock kan det generellt antas att kostnader kan minskas motsvarande andelen som spolavloppet minskat jämfört med standarddesignen. Kostnadsbesparingar som en eventuell utökade reningskapacitet i det aktiva kolet kan ge är det ännu för tidigt att svara på. Men vid en antagen kapacitetsökning enligt diskussionerna ovan skulle även antal bäddvolymen som kan behandlas ökas med 10 % vilket i sin tur skulle minska kolkostnader med motsvarande andel.

Störst kostnadspåverkan har dock en utökad utnyttjande av kolets kapacitet. Baserat på nuvarande resultat och trender bedöms kolet i genomsnitt kunna behandla ca 37 000 BV jämfört med basscenariot i principförslaget på 20 000 BV. Endast den minskade kolmängden som behövs per år skulle minska driftkostnaderna med ca 15 Mkr/år om samma kostnad för kolregenerering och påfyllning med nytt kol som i principförslaget kan antas. Även andra kostnader relaterat till kolbyte skulle minskas vid behov av färre byten. Med tanke på ökade kolpriser generellt bli kostnadsbesparingar p.g.a. en bättre utnyttjande av kolets kapacitet ännu viktigare.

#### 3.4.2.6 Realtidsövervakning och -styrning

Utvärderingen av övervaknings- och styrningsmöjligheter med hjälp av UVA eller DOC har fortsatt under hela drifttiden av piloten. Som Lemström et al. (2021) diskuterade så påverkar dock enstaka analyser och driftproblem utvärderingen som baseras på analys av veckoprover. Detta innebär att endast en begränsad dynamisk bild av variationer och trender kan ges. En utvärdering av trenderna och en eventuell tydlig koppling till när reningskapaciteten i filtermaterialet är förbrukat kommer dock följas upp vidare för att undersöka en potentiell enklare övervakning av processen och indikering för kolbyte.

### 3.4.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk?

De flesta genomförda aktiviteter har haft en tillämpning av resultaten vid en eventuell fullskaleimplementering vid Himmerfjärdsverket i åtanke. Resultaten för flera av de genomförda försöken kan dock hjälpa andra kommuner och reningsverk i sitt arbete med rening av mikroföroreningar. Detta dels på grund av att flera av de genomförda aktiviteter bidrar till att generera kunskap och lärdomar som trots sin specifika tillämpning för Himmerfjärdsverket är av generellt värde. Långtidsutvärderingen av 2-stegskolfilter har dessutom varit bland de första i Sverige och kan således ligga till grund för planering och implementering vid andra reningsverk.

#### 3.4.4 Beskrivning av utfört arbete

Aktiviteten baseras på en etablerad pilot vid Himmerfjärdsverket som dels är en miniatyr av den framtida MBR-processen på Himmerfjärdsverket med kaskadkvävering, följt av två parallella 2-stegsfilterpiloter enligt principförslaget från tidigare förstudieprojektet kombinerat med erfarenheter från långtidstester av GAK-filter efter MBR-piloten vid Hammarby Sjöstadsvärk. MBR-piloten motsvarar 0,18 % av den framtida bassängvolymen och har dimensionerats för ett medelflöde på 12 m<sup>3</sup>/h ( $Q_{\min} = 3,6 \text{ m}^3/\text{h}$  och  $Q_{\max} = 23,4 \text{ m}^3/\text{h}$ ). GAK-pilotlinjerna bygger på en genomsnittlig kontakttid per filter (empty bed contact time, EBCT) på 12,5 min, alltså 25 min per

filterlinje. Höjden för filterbädden är dimensionerat till 2 m vilket ger en ytbelastning på 10 m/h vid  $Q_{dim}$ . Det aktiva kolet som används är av typ Chemviron Filtrasorb 400 i samtliga filter. Figur 22 visar pilotanläggningen och en mer detaljerad teknisk beskrivning av piloten ges i Lemström et al. (2021).



Figur 22. MBR-GAK-pilotanläggningen med membrantankar till vänster och de fyra GAK-filtren till höger.

Pilotanläggningen är utrustad med ett flertal instrument för reglering och styrning av processen, samt ett antal online-mätinstrument för kontinuerlig processövervakning. För utvärdering av reningseffektiviteten för mikroföroreningar används i huvudsak veckosamlingsprover som tas ut med hjälp av stationära provtagare vid provpunkterna MBR IN och MBR UT. Samlingsprover efter varje GAK-filter tas ut via automatventiler och blandas till veckoprover. Portabla provtagare eller manuell provtagning används för insamling av samlings- respektive stickprov från t. ex. förbrukat spolvatten.

In till och ut från GAK-filtren analyseras veckoprover för  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , Tot-N,  $\text{PO}_4\text{-P}$ , Tot-P), TOC, turbiditet, UVA och DOC vid Himmerfjärdsverkets egna laboratorium. För provpunkterna MBR IN och MBR UT analyseras dygnsprover för  $\text{BOD}_7$  och COD av Synlab. Läkemedelsanalyserna och analyser för PFAS utfördes av IVL. För analysmetoder och andra detaljer kring provtagning och analys hänvisas till Lemström et al. (2021).

### 3.5 Skumbildning och åtgärdsutredning

Under 2021 har en kunskapssammanställning och utvärdering av skumproblematiken i MBR-processen generellt och framtida Himmerfjärdsverket i synnerhet genomförts (Karlsson och Baresel, 2021). Uppkomst av skum och flytslam är ett problem kopplat till MBR-tekniken som inte bara observeras i Syvabs MBR-pilot men även bl.a. i IVL och SVOAs gemensamma MBR-pilot vid Hammarby Sjästadsvärk, PAK-MBR piloten vid Hammarby Sjästadsvärk och i första fullskaliga MBR-linjen vid Henriksdal. Baserat på specifika rekommendationer från detta arbete har MBR-piloten under sommaren 2021 anpassats för att bättre kunna hanteras skummet som uppstår.

### 3.5.1 Vilken utmaning gäller det?

Baserat på observationer i MBR-piloten, erfarenheter från andra anläggningar, samt designen av Himmerfjärdsverket framtida MBR-process är bedömningen att det behöver räknas med kraftig skumbildning i den framtida fullskaleprocessen vid Himmerfjärdsverket. Detta kan förklaras utifrån flera aspekter som gynnar skumbildning inklusive den låga belastningen och belastningsvariationen vid Himmerfjärdsverket, generella MBR-processspecifika egenskaper, höga reningsgrader, lång slamålder, och specifika aspekter relaterat till den valda MBR-processlösningen vid Himmerfjärdsverket. Skumproblem i piloten som illustreras i Figur 23 orsakas dessutom av några pilotspecifika aspekter som samtidigt innebär att skumproblem i fullskaleprocessen kan falla ut i något mindre omfattning.



Figur 23. Skum och flytslam i MBR-piloten under våren 2021.

### 3.5.2 Viktigaste resultat och slutsatser

Baserat på kunskapssammanställningen, genomgång av data från MBR-piloten, erfarenheter från andra anläggningar även utanför Sverige, samt designen av Himmerfjärdsverket framtida MBR-process är slutsatsen att det behöver räknas med kraftig skumbildning i den framtida fullskaleprocessen samt fortsatta problem i MBR-piloten. Utifrån erfarenheter och kunskapsgenomgången bedöms också att skumproblem blir omöjliga att undvika enbart via förebyggande åtgärder. Även om vissa åtgärder rekommenderas för att om möjligt reducera skumuppkomst så ligger huvudfokus i rekommendationerna på tekniska åtgärder för att hantera skumbildning.

Förutom flera åtgärdsrekommendationer som tagits fram relaterade till fullskaleprocessen så inkluderar åtgärder relaterade till MBR-piloten en utökad dokumentation och mätning av slamkarakteristiken, skumbildning, -utbredning och dynamik för att kunna följa upp olika åtgärder. En mer representativ belastning även i piloten rekommenderades bl.a. genom dynamisk belastning, tillsatts av rejekt och en bra förbehandling.

Även om inte alla rekommenderade åtgärder har kunnat implementeras ännu och utvärderingen pågår så har ett minskat skumtäckte konstaterats. Ifall det beror på en minskad skumbildning eller ett effektivt avdrag av skummet har ännu inte utvärderats.





Figur 24. Skum och flytslam i MBR-piloten under januari 2022.

### 3.5.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk?

Skumproblematiken är inte unik för MBR-piloten vid Himmerfjärdsverket. Baserat på kunskaps-sammanställningen kring uppkomst/orsaker och erfarenheter från andra MBR-anläggningar samt specifika förutsättningar i Sverige bedöms skumbildning bli ett vanligt problem i MBR-processer i Sverige. Skumproblem blir dessutom omöjliga att undvika enbart via förebyggande åtgärder och således bli erfarenheter från MBR-piloten vid Himmerfjärdsverket av stor nytta även för andra VA-aktörer som planerar för en MBR-process. En lämplig hantering av skumbildning blir inte bara viktigt för att minimera de negativa effekterna på MBR-processen (inkl. membrandrift) utan även nedströms processer som ex. slamhanteringen och arbetsmiljön.

### 3.5.4 Beskrivning av utfört arbete

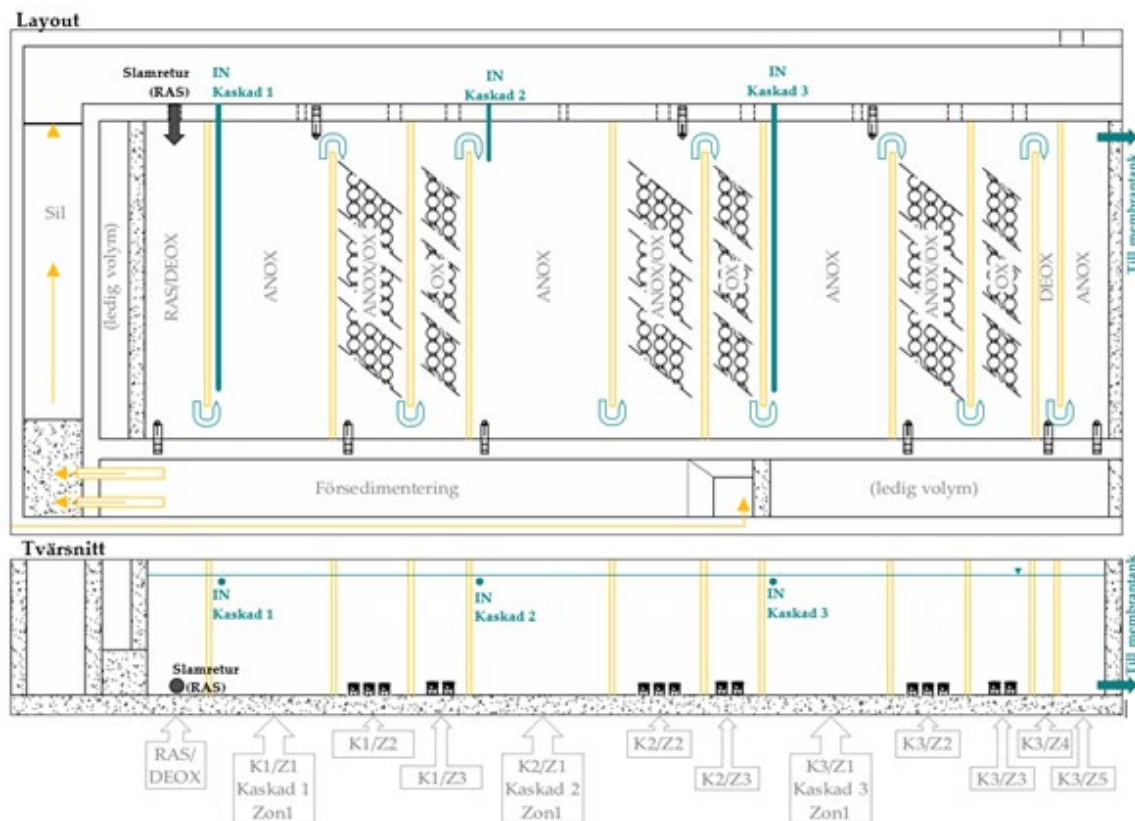
En skumutredning genomfördes under 2021 för att ta fram möjliga förklaringar till att flytslam och skum bildas samt föreslå lämpliga åtgärder för att minska uppkomst och hantera driftproblematik orsakad av skum och flytslam bestått av flera moment där både en litteraturgenomgång, intervjuer, analysgenomgång och annan kunskap har samlats.

Av de konkreta rekommendationer som relaterar till MBR-piloten har både en dynamisk belastning och en förbättrad förbehandling implementerats under uppgraderingsuppehållet sommaren 2021. Ett ytavdrag av slam och skum rekommenderades för tester i piloten. Även en behandling av avdraget skum och slam, skumtacket eller returslam rekommenderas att undersökas.



Figur 25. Ny förbehandling och luckor for ytavdrag.

Under sommaren 2021 anpassades MBR-piloten med en bättre utformning av öppningar mellan kaskaderna för en bättre transport av skum och flyttslam. Dessutom installerades ett ytavdrag av överskottslam via sänkbara överfall monterade i öppningar i kaskad 3 zon 2 (K3Z2) och kaskad 3 zon 5 (K3Z5) som skapades till tills dato inte nyttjade volymer (Figur 26). Ytavdraget står numrerera för hela uttaget av överskottslam och den tidigare styrningen av slamuttag efter MBR-tankarna har inaktiverats.



Figur 26. Layout och tvärsnitt av pilotanläggningen. Pilarna visar in- och utflöden, samt hur vatten cirkulerar genom öppningar i mellanväggarna.

Dessutom har en time-lapse-kamera monterats som möjliggör en kontinuerlig uppföljning av skumtäckets i piloten och hur olika driftsätt påverkar skumbildningen.

## 4 Vad ska göras härnäst?

Det finns ett antal aktiviteter som FoU-samarbetet mellan Syvab och IVL har för avsikt att undersöka. Främsta målet för samarbetet är att fokusera på FoU-frågor som berör Himmerfjärdsverkets verksamhet nu och i framtiden. Prioritering av framtida aktiviteter bestäms därmed utav aktuellt behov och kan anpassas under samarbetets gång.

Utav de fokusområden som parterna gemensamt har prioriterat är det framför allt aktiviteter som relaterar till rening av mikroföroreningar som under 2022 kommer att fokuseras på. Dessa aktiviteter har delvis redan påbörjats och inkluderar framför allt:

- Pilottester vid Hammarby Sjöstadsverk med en integrerad rening av mikroföroreningar med aktivt kol i MBR (PAK-MBR) och relaterad slambehandling och -hantering
- Långtidstester med MBR-GAK-piloten vid Himmerfjärdsverket med fokus på rening av läkemedelsrester och PFAS, samt uppdatering av principförslaget
- Uppföljande lustgasemissionsmätningar i nya DEMON-rejektvattenbehandlingen
- Kompletterande lustgasmätningar i MBR-piloten
- Produktion av intern kolkälla från organiska restprodukter
- Uppföljning av skumhantering i MBR-piloten samt eventuell separat skumbehandling
- Forskning kring återkommande hämningsproblem med hjälp av multivariat analys

## 5 Ekonomisk redovisning

Sydvästra stockholmsregionens VA-verksaktiebolag, Syvab, Himmerfjärdsverket har bidragit med 500 tkr per år som matchades av Stiftelsen IVL med 460 tkr per år. Detta då Stiftelsen IVL har till ändamål att främja de långsiktiga förutsättningarna för miljöforskning med särskild inriktning på tillämpade frågeställningar och ett tvärvetenskapligt och systemorienterat angreppssätt med tyngdpunkt på svenska förhållanden.

Av de totalt 960 tkr som stod till förfogande årligen har den största delen använts för analyser och arvodeskostnader men även för utrustning och material samt programlicenser och andra utlägg. Flera av de rapporterade aktiviteterna blev genomförda i samarbete med andra pågående aktiviteter vilket medförde flera synergieffekter och ett effektivt utnyttjande av tillgängliga resurser. Detta har framför allt varit möjligt på grund av Syvabs och IVL:s långa samarbeten inom olika områden och en fantastisk support av alla inblandade anställda vid Himmerfjärdsverket.

## 6 Referenser

- Andersson, S.L., Rahmberg, M., Nilsson, Å., Grundestam, C., Saagi, R., Nilsson, S. 2020. Utvärdering av framtida inflödesscenarier för svenska reningsverk – Vilken effekt har tillskottsvatten på miljöpåverkan och driftskostnad? IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2387.
- Baresel, C., Jingjing, Y., Niclas, B., Kåre, T., Linda, K., Klara, W. 2022. Direct GHG emissions from a pilot scale MBR-process treating municipal wastewater. *Advances in Climate Change Research* 13, 138–145. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2021.09.006>
- Baresel, C., Malovanyy, A., Bornold, N., Andersson, S., Yang, J., Lindblom, E. 2020. Resultat från FoU-samarbete Syvab-IVL – Årsredovisning för 2019. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2382.
- Baresel, C., Malovanyy, A., Walve, J., Kårelid, V. 2019a. Förstudie inför implementering av läkemedelsrening vid Himmerfjärdsverket - Provtagning, analys och bedömning av reningsbehov. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport U6194.
- Baresel, C., Malovanyy, A. 2019. Införande av läkemedelsrening vid Himmerfjärdsverket - Sammanställning av tidigare undersökningar vid Himmerfjärdsverket. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2239.
- Baresel, C., Bornold, N., Yang, J., Kanders, L., Eliasson, M. 2019b. Lustgasutsläpp från behandlingen av rejektivatten vid Slottshagens reningsverk i Norrköping - Exempel på kort- och långsiktiga åtgärder för att minska växthusgasutsläpp i reningsprocesser. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2238.
- Baresel, C., Ek, M., Ejhed, H., Allard, A.-S., Magnér, J., Dahlgren, L., Westling, K., Wahlberg, C., Fortkamp, U., Söhr, S. 2017a. Handbok för rening av mikroforenningar vid avloppsreningsverk - Planering och installation av reningstekniker för läkemedelsrester och andra mikroforenningar. Slutrapport SystemLäk projekt. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2288.
- Baresel, C., Magnér, J., Magnusson, K., Olshammar, M. 2017b. Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport C235.
- Baresel, C., Lüdtke, M., Berg, M., Åfeldt, E., Aronsson, A. 2017c. FoU-samarbete Syvab-IVL: Slamtorkning som en del av slamhantering vid Syvab Himmerfjärdsverket. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2276.
- Baresel, C., Yang, J., Tjus, K. 2016. FoU-samarbete Syvab-IVL Delprojekt: Tillämpning och resultat av ett statistiskt klimatberäkningsverktyg år 2016. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2270.
- Baresel, C., Tjus, K., Yang, J., Bergström, R. 2015. Utsläpp av växthusgaser från reningssteg på Syvab Himmerfjärdsverket. Emissionsmätningar 2014. IVL Rapport: NR U 5175.
- Baresel, C., Cousins, A.P., Hörsing, M., Ek, M., Ejhed, H., Allard, A.S., Magnér, J., Westling, K., Wahlberg, C., Fortkamp, U., Söhr, S. 2015. Pharmaceutical residues and other emerging substances in the effluent of sewage treatment plants - Review on concentrations, quantification, behaviour, and removal options. IVL Swedish Environmental Research Institute, Report 2226, Stockholm.

Batstone, D. J., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S. V., Pavlostathis, S. G., Rozzi, A., Sanders, W. T. M., Siegrist, H. & Vavilin, V. (2002). The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM 1). *Water Science & Technology* **45**(10), 65–74.

Bedaso, B. 2019. Volatile fatty acid production from co-fermentation of primary sludge and food waste without pH control. KTH exjobb.

Flores-Alsina, X., Arnell, M., Amerlinck, Y., Corominas, L., Gernaey, K. V, Guo, L., Lindblom, E., Nopens, I., Porro, J., Shaw, A., Snip, L., Vanrolleghem, P. A. & Jeppsson, U. (2014). Balancing effluent quality, economic cost and greenhouse gas emissions during the evaluation of (plant-wide) control/operational strategies in WWTPs. *The Science of the total environment* **466-467**, 616–24.

Henze, M., Gujer, W., Mino, T. & Loosdrecht, M. C. M. van. (2000). Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. IWA Publishing, London, UK.

Karlsson, L., Baresel, C. 2021. Skum på framtida Himmerfjärdsverket - Uppkomst och åtgärder. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport U 6463.

Lemström, H., Roberts, R., Grim, J., Baresel, C., Malovanyy, A. 2021. Förstudie läkemedelsrening Syvab - Uppförandet av en pilotanläggning med granulerat aktivt kol i kombination med Membran BioReaktor (MBR-GAK). SYVAB, Grödinge.

Malovanyy, A., Baresel, C. 2019. Ny slamtork på Himmerfjärdsverket: utredning av olika alternativ och utvärdering av offerter. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport U6155.

Naturvårdsverket 2017. Avancerad rening av avloppsvatten för avskiljning av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen - Behov, teknik och konsekvenser. Redovisning av ett regeringsuppdrag. Rapport 6766.

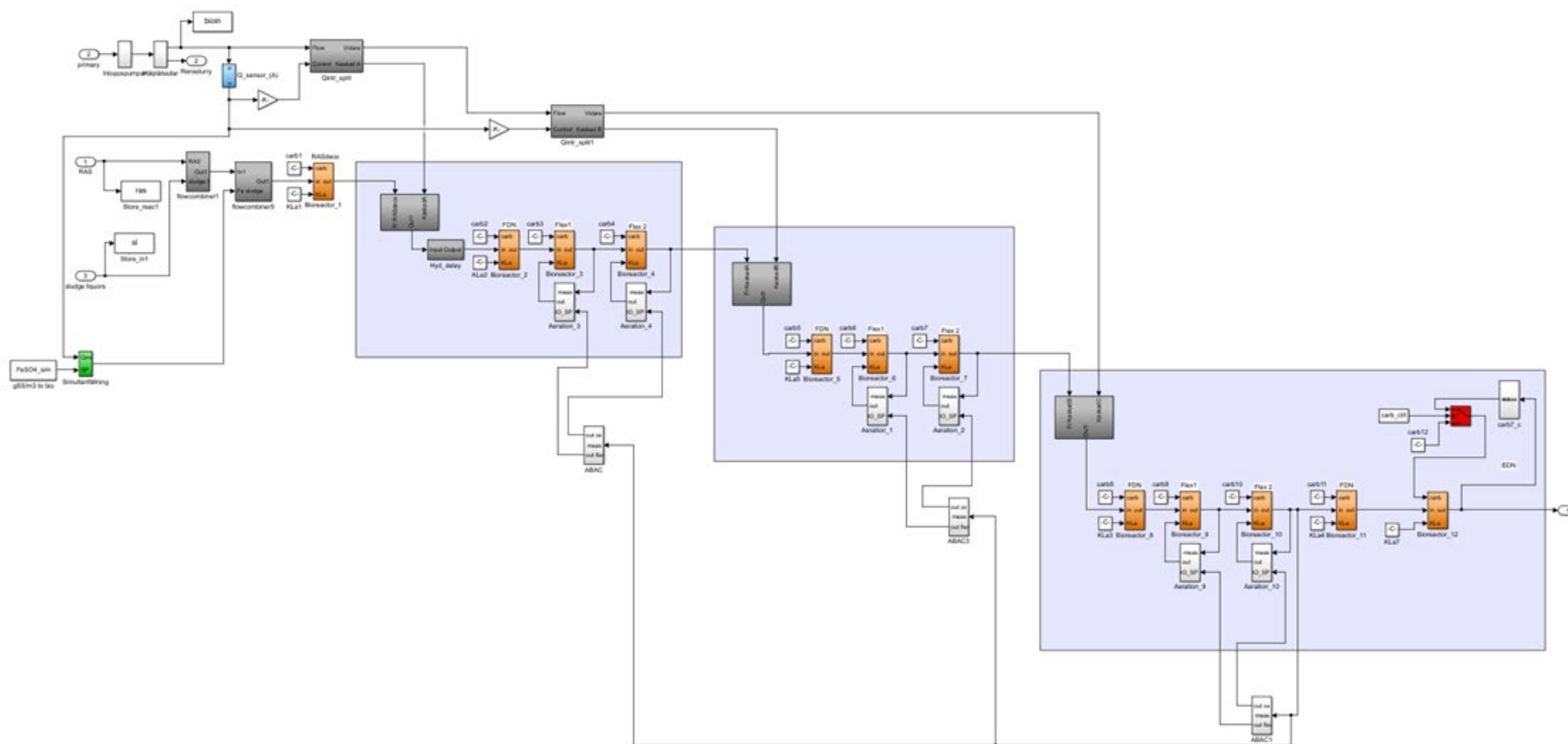
Närhi, K., Westling, K., Andersson, S., Baresel, C., Wahlberg, C. 2021. Mikroföroreningar i avloppsreningsverk med membranteknik - Jämförelse med konventionellt reningsverk och bedömning av recipientpåverkan. Pdf, 4.3 MB. SVU-report 2021-2.

Pan, C. 2019. Application of volatile fatty acids from waste as an external carbon source for the denitrification process. TRITA-ABE-MBT; 19682. KTH, Skolan för arkitektur och samhällsbyggnad (ABE), Hållbar utveckling, miljövetenskap och teknik.

Syvab 2019. Förstudie läkemedelsrening Syvab – Huvudrapport. Dokument/Uppdragsnr: 613T1356758-025.

Åmand, L., Andersson, S., Oliveira, F., Rahmberg, M., Junestedt, C., Arnell, M. 2016. Nya utsläppskrav för svenska reningsverk – effekter på reningsverkens totala miljöpåverkan. SVU-rapport 2016-12.





Figur 28. Översikt över den modellerade MBR-processen med tre kaskader och efterdenitrifikation.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm  
Tel 010-788 65 00 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)