

Beställargruppen för minskade utsläpp av läkemedelsrester, mikroplaster och andra föroreningar via avloppsreningsverk

# Sammanfattningar av rapporter för läkemedelsrening

Projekt finansierade av Naturvårdsverket för förstudier och investeringar i avancerad rening vid avloppsreningsverk

Hanna Östfeldt  
2024-11-15

# Innehållsförteckning –

## Sammanfattning läkemedelsrapporter

1	Inledning .....	4
2	Sammanfattningar av projektrapporter .....	4
2.1	Alingsås kommun, Nohaga avloppsreningsverk (förstudie) .....	4
2.2	Alvesta kommun, Alvesta avloppsreningsverk (förstudie) .....	5
2.3	Borlänge Energi Energi, Borlänge avloppsreningsverk (förstudie) .....	6
2.4	Borås Energi och Miljö, Sobacken avloppsreningsverk (förstudie nr 1) .....	7
2.5	Borås Energi och Miljö AB, Sobacken avloppsreningsverk (förstudie nr 2).....	8
2.6	Enköpings kommun, Enköping avloppsreningsverk (förstudie).....	9
2.7	Eskilstuna Strängnäs Energi och Miljö, Ekeby avloppsreningsverk (förstudie).....	10
2.8	Falu Energi och Vatten, Främby avloppsreningsverk (förstudie) .....	12
2.9	GRYAAB, Ryaverket (förstudie).....	13
2.10	Gästrikevatten, Duvbackens avloppsreningsverk (förstudie).....	16
2.11	Haninge kommun, Fors reningsverk (förstudie) .....	17
2.12	Hjo kommun, Hjo avloppsreningsverk (förstudie).....	18
2.13	Karlshamn Energi, Sternö avloppsreningsverk (förstudie) .....	19
2.14	Karlstad kommun, Sjöstadsverket (förstudie) .....	20
2.15	Klippans kommun, Klippans avloppsreningsverk (förstudie).....	21
2.16	Kristianstads kommun, Degeberga avloppsreningsverk (förstudie) .....	21
2.17	Kungsbacka, Kullaviks avloppsreningsverk (förstudie).....	22
2.18	Kungsbacka kommun, Hammargårds avloppsreningsverk (förstudie) .....	23
2.19	Käppalaförbundet, Käppalaverket (förstudie nr 1).....	24
2.20	Käppalaförbundet, Käppalaverket (förstudie nr 2).....	25
2.21	Laholmsbuktens VA, Västra stranden ARV (förstudie) .....	26
2.22	Luleå Miljöresurs, Uddebo avloppsreningsverk (förstudie).....	27
2.23	Lycksele Avfall & Vatten AB, Lycksele avloppsreningsverk (förstudie) .....	28
2.24	Mariestads kommun, Töreboda avloppsreningsverk (förstudie).....	28
2.25	Mittskåne Vatten, Ormanäs avloppsreningsverk (förstudie).....	30
2.26	Mittsverige Vatten & Avfall AB, kartläggning (förstudie).....	31
2.27	Mitt Sverige Vatten & Avfall, Fillan avloppsreningsverk (förstudie) .....	33
2.28	NSVA, Lundåkraverket (förstudie).....	33
2.29	NSVA, Öresundsverket (förstudie) .....	34
2.30	NSVA, Recolab (fullskala).....	34
2.31	NSVA, Kartläggning flera verk (förstudie).....	36
2.32	Norrälje Vatten och Avfall AV, Rimbo avloppsreningsverk (förstudie) .....	38

2.33	Norrhälje Vatten och Avfall AB, Lindholmens avloppsreningsverk (förstudie).....	39
2.34	Nybro Energi, Överstatorp avloppsreningsverk (förstudie).....	40
2.35	Nässjö Affärsverk AB, Nässjö avloppsreningsverk (förstudie).....	41
2.36	Region Gotland, Visby reningsverk (förstudie).....	42
2.37	Ronneby Miljö och Teknik AB, Bräkne-Hoby avloppsreningsverk (fullskala).....	43
2.38	Ronneby Miljö och Teknik AB, Rustorps avloppsreningsverk (förstudie).....	43
2.39	Roslagsvatten AB, Margaretelund avloppsreningsverk (förstudie).....	44
2.40	Simrishamn/Österlen VA AB, Kiviks nya ARV (fullskala).....	45
2.41	Simrishamns kommun/Österlen VA AB, St Olofs ARV, (fullskala).....	46
2.42	Sorsele kommun, Sorsele reningsverk (fullskala).....	46
2.43	Storumans kommun, Stensele avloppsreningsverk (fullskala).....	47
2.44	Strömsunds kommun, Strömsunds avloppsreningsverk (förstudie).....	48
2.45	SYVAB, Himmerfjärdsverket (förstudie nr 1).....	48
2.46	SYVAB, Himmerfjärdsverket (förstudie nr 2).....	49
2.47	SyvaB, Himmerfjärdsverket (förstudie nr 3).....	50
2.48	Tierps energi och Miljö AB, Tierps avloppsreningsverk (fullskala).....	51
2.49	Uddevalla Vatten, Skansverkets avloppsreningsverk (förstudie).....	51
2.50	Ulricehamn Energi AB, Ulricehamn framtida avloppsreningsverk (förstudie).....	53
2.51	Uppsala Vatten och Avfall AB, Kungsängsverket (förstudie nr 1).....	54
2.52	Uppsala Vatten och Avfall AB, Kungsängsverket (förstudie nr 2).....	55
2.53	VA-SYD, Sjölunda avloppsreningsverk (förstudie nr 1).....	56
2.54	VA SYD, Sjölunda avloppsreningsverk (förstudie 2).....	58
2.55	VA SYD, Klagshamns avloppsreningsverk (förstudie).....	59
2.56	VA-SYD, Kartläggning flera reningsverk (förstudie).....	61
2.57	VAKIN, Öns och Flurkmarks avloppsreningsverk, (förstudie med fullskala).....	62
2.58	Vatten och Avfall i Malung-Sälen, Sälkfällets avloppsreningsverk (förstudie).....	63
2.59	Vatten och Miljö i Väst AB, Ullareds avloppsreningsverk (förstudie).....	64
2.60	Vatten och Miljö i Väst AB, Getteröverket (förstudie nr 1).....	64
2.61	Vatten och Miljö i Väst, Getteröverket (förstudie nr 2).....	66
2.62	Vilhelmina kommun, Vilhelmina avloppsreningsverk (fullskala).....	66
2.63	Västervik Miljö & Energi AB, Lucerna avloppsreningsverk (förstudie).....	67
2.64	Växjö kommun, Sundets reningsverk (förstudie nr 1).....	68
2.65	Växjö kommun, Sundets reningsverk (förstudie nr 2).....	69
2.66	Åre kommun, Järpens avloppsreningsverk och Vikverket (förstudie).....	70
2.67	Örebro kommun, Skebäckverket (förstudie nr 1).....	70
2.68	Örebro kommun, Skebäckverket, (förstudie nr 2).....	71

2.69	Österlen VA, Rosendals reningsverk (förstudie) .....	72
3	Sammanfattande tabell av slutrapporterna .....	74

# 1 Inledning

Naturvårdsverket hade uppdrag att fram till 2023 fördela bidrag för att genomföra åtgärder som syftar till att förbättra vattenmiljön. Naturvårdsverket får använda 170 miljoner kronor för att ge bidrag till investeringar i:

- dagvattenåtgärder som minskar mikroplaster och andra föroreningar via dagvatten
- implementering av avancerad rening för avskiljning av läkemedelsrester vid avloppsreningsverk

Vid implementering av avancerad rening delas projekten in i:

**Förstudieprojekt** som omfattar framtagning av underlag för ett investeringsbeslut.

**Investeringsprojekt** som omfattar hela processen från förstudie, upphandling, genomförande av entreprenad, idrifttagning samt utvärdering. Ett investeringsprojekt gäller en anläggning.

I varje projekt sammanfattas resultaten i en slutrapport. Denna rapport sammanfattar varje slutrapport och kommer att vara ett levande dokument som uppdateras vartefter slutrapporterna lämnas in och kan refereras till som en leverans i beställargruppens redovisning av årets aktiviteter.

I slutet på detta dokument finns en sammanfattning av alla projekt, studerad teknik, eventuella prioriterade ämnen samt uppskattade kostnader.k

Rapporternas sammanfattningar är sammanställda av Jesper Olsson och Hanna Östfeldt (ledare för Beställargruppens sekretariat) under åren 2019–2024.

## 2 Sammanfattningar av projektrapporter

### 2.1 Alingsås kommun, Nohaga avloppsreningsverk (förstudie)

Nohaga avloppsreningsverk släpper sitt vatten i Sävån, 500 m från utloppet till sjön Mjörn. De båda recipienterna är viktiga för lax- och öringsbestånd samt fåglar. Det finns dessutom en uppskattad badplats nära utsläppspunkten i sjön. En tidigare studie har visat läkemedelshalterna i recipienten riskerar att ligga över effektnivåerna under vissa förhållanden som låga vattenflöden eller lågt vattenstånd i sjön. Nohaga reningsverk är i stort behov av renovering då belastningen förväntas fördubblas till 2070. Syftet med projektet var att få kunskap om vilka läkemedelsmängder och substanser som finns i inkommande avloppsvatten och hur de avskiljs i befintlig process samt hur dessa kan avskiljs med hjälp av avancerad rening. Det finns inga krav idag på läkemedelsrening men kommunen vill utreda förutsättningarna för sådan rening om det i framtiden beslutas att byggas. Därför ska pilotförsöket ligga till grund för utformning och dimensionering av framtida fullskaleanläggning.

Vid provtagning på inkommande vatten och utgående vatten visade att 44 av 97 analyserade ämnen återfanns i vattnet. Den totala mängden läkemedel som släpps varje år uppskattas till ca 24 kg och reduktionen av reningsverket uppskattas till 64% (paracetamol som reduceras i hög grad har exkluderats).

Alingsås kommun har tillsammans med Mellifiq genomfört ett pilotprojekt på Nohaga avloppsreningsverk. Pilotprojektet har bestått av att utvärdera två olika tekniker i containerlösning. Den ena tekniken (linje1) som utvärderades var sandfilter, ozon och GAK. Den andra tekniken (linje 2) bestod av ozon i låg koncentration och BAK. Pilotförsöket genomfördes sedan i tre faser – processutvärdering, processoptimering och långtidsutvärdering (3 månader). För linje 1 visade reningsgraden för de 97 analyserade läkemedelsparametrarna på >98% reduktion. För linje 2 visade en reduktion på 30% efter optimeringstillfället

och 70% efter långtidsutvärderingen. Vilket är förväntade resultat då det tar tid för mikrobiologin i BAK-filter att etablera sig.

Utifrån resultaten i pilotförsöken har ett förslag på dimensionering för en fullskalanläggning tagits fram som rekommenderas innehålla en förfiltrering med sandfilter, oxidationssteg med ozon samt GAK-filtrering.

Alingsås kommun har förutom de läkemedelsanalyser som gjorts i samband med piloten även tagit ytterligare prover som analyserats med så kallad effektbaserad analysmetoder. Detta eftersom de normala analyserna för läkemedelsrester inte ger svar för andra föroreningar eller om det kan bildas omvandlingsprodukter i de olika reningsstegen. De vanliga analyserna ger inte heller tydliga svar på hur läkemedel eller andra föroreningar i avloppsvattnet totalt sett påverkar vattenlevande organismer eller människors hälsa. Effektbaserade analyser har gjorts som ett komplement. Alingsås har även tagit extra prov på PFAS. De effektbaserade analyserna indikerar att toxiciteten i vattnet är lägre efter rening i pilotanläggningarna, samt att reduktionen i aktivitet (s.k. BEQ-värde) är i samma storleksordning, som den reduktion som läkemedelsanalyserna visar på. Detta resultat bedöms dock som osäkert, särskilt eftersom de effektbaserade metoderna generellt indikerade en väldigt låg aktivitet jämfört med tidigare studier. Analyserna visar i övrigt inte heller på någon tydlig korrelation mellan uppmätt toxicitet och de totala läkemedelshalterna. Analyser av 11 olika PFAS-ämnen indikerar att reningsgraden för dessa generellt var ganska låg i pilotanläggningarna (9–26 %).

## **2.2 Alvesta kommun, Alvesta avloppsreningsverk (förstudie)**

Alvesta kommun har tillsammans med Sweco utfört en förstudie för rening av läkemedelsrester och andra mikroföroreningar vid Alvesta avloppsreningsverk. Målet med förstudien var dels att klargöra behovet av rening utifrån en miljöriskbedömning, dels ta fram två processlösningar för kompletterande reningssteg. Till detta har investerings- och driftkostnadskalkyler tagits fram till respektive processlösnings samt vilket ytbehov som krävs.

Alvesta ARV har en anslutning på ca 7 000 pe och reningen består av mekanisk rening, biobädd och kemisk fällning i sedimenteringsbassänger följt av slutpolering med sandfilter. Recipienten för reningsverket är Hjortsbergaån/Salen. Även reningsverket Sundet (Växjö kommun) har Salen som recipient längre nedströms. Salens ekologiska status är inte tillfredsställande med framför allt höga fosforhalter som orsakar problem.

Tre provtagningar på utgående vatten utfördes under september-december 2021. Analyser från en provtagning nedströms reningsverket har använts. Förutom läkemedel provtogs även hormoner, PFOS och PFOA samt några andra mikroföroreningar. Utifrån provtagningen släpper reningsverket ungefär 0,9 g/pe, år.

Miljöriskbedömningen gjordes genom att jämföra PEC/PNEC-kvoten (PEC – predicted environmental concentration, PNEC – predicted no effect concentration). OM PEC/PNEC >1 föreligger risk för att organismer skadas. Två scenarier togs fram:

- 1) Medelscenario – utgående halter från ARV samt medelvattenföringen i Hjortsbergaån
- 2) Recipientprovtagning – baserat på ett recipientprov nedströms reningsverket

Utifrån miljöriskbedömningen för medelscenariot bedöms behovet av avancerad rening som lågt då endast ett ämne hamnade i kategorin hög risk (citalopram). Recipientprovtagningen visade dock att sex substanser hamnade i kategorin hög risk (citalopram, furosemid, oxazepam, ibuprofen, sertralin och östron). Slutsatsen blev att mer information om förekomsten av mikroföroreningar i recipienten behövs för att med större säkerhet kunna bedöma behovet av avancerad rening.

Analyser av vattenmatrisen (t.ex. bromid-, DOC- och SS-halt) utfördes under tre tillfällen för att studera om de kemiska parametrarna kan påverka valet av reningsteknik (ozon eller aktivt kol). Vattenmatrisen ser inte ut att utgöra något hinder för vare sig ozon eller GAK som reningsteknik vid Alvesta ARV. Höga halter av suspenderat material har dock uppmätts vilket kan påverka funktionen både för GAK och ozon. Vid eventuell fortsatt utredning eller projektering bör en uppföljning av ”suspen” göras.

Vid en jämförelse mellan GAK och ozon baserat på förväntad reduktionsförmåga för de sex identifierade hög risk-mikroföroreningarna (citalopram, furosemid, ibuprofen, oxazepam, sertralin och östron) kan ozon anses vara mer lämplig. Om PFOS inkluderas i ett framtida reningskrav bör GAK väljas framför ozon, alternativt ozon kombinerat med GAK.

Ett ozoneringssteg föreslås placeras framför befintliga sandfilter. Sandfiltren fungerar då som en biologisk efterbehandling vilket är nödvändigt för nedbrytning av både bi- och transformationsprodukter. En GAK-anläggning föreslås placeras efter sandfilter. Båda alternativen får plats på tillgänglig yta på tomten.

GAK:

- Ytbehov – 350 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad – 57 MSEK
- Driftkostnad – 1,4 MSEK/år
- 1,38 kr/m<sup>3</sup>

Ozon:

- Ytbehov – 185 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad – 34 MSEK
- Driftkostnad – 0,6 MSEK/år
- 0,45 kr/m<sup>3</sup>

## 2.3 Borlänge Energi Energi, Borlänge avloppsreningsverk (förstudie)

Denna rapport beskriver den förstudie som gjorts på Borlänge avloppsreningsverk (ARV) för att utreda möjligheter till rening av läkemedelsrester. Avloppsreningsverket behandlar vatten från Borlänge och är dimensionerat för 60 000 pe. Studien har utförts på uppdrag av AB Borlänge Energi med finansiering från Naturvårdsverket utfärdad enligt *Förordning 2018:495 om bidrag för rening av avloppsvatten från läkemedelsrester*.

Inkommande och utgående vatten till och från avloppsreningsverket, samt rejektvatten från slamför- tjockare och centrifug analyserades med avseende på 32 utvalda substanser. Halterna som detekterades var i paritet med vad som normalt kan förväntas vid kommunala avloppsreningsverk. Recipienten, Dalälven, har ett högt flöde (medel 300 m<sup>3</sup>/s) i förhållande till det uppskattade framtida flödet från reningsverket som motsvarar ca 0,3 m<sup>3</sup>/s (medel 17 000 m<sup>3</sup>/d). För att bedöma om koncentrationerna av substanserna i recipienten kan påverka organismerna i miljön gjordes en miljöriskbedömning genom att jämföra den beräknade koncentrationen av läkemedlen (*Predicted Environmental Concentration* – PEC) med den koncentration av läkemedlen som inte förväntas ha någon negativ effekt på organismerna i recipienten (*Predicted No Effect Concentration* – PNEC), så kallade PEC/PNEC-kvoter. PEC/PNEC-kvoterna var mindre än 1 för alla ämnen som det var möjligt att beräkna kvoter för. Detta innebär att det inte föreligger några stora risker för negativ påverkan på organismerna i miljön. Vissa av substanserna kan dock ackumuleras över tid och att därför ändå öka reduktionsgraden skulle vara ett steg i rätt riktning för att nå miljökvalitetsmålet *En giftfri miljö*.

I denna förstudie utvärderades en ny teknik för läkemedelsrening – MAK (magnetisk aktiverat kol). Den patenterade tekniken har utvecklats av Biokol Sverige AB. MAK är ett pulveriserat aktivt kol som har magnetiska egenskaper. Kolet tillsätts i utgående vatten från reningsverket varpå läkemedelsresterna adsorberas till materialet. Kolet extraheras från vattnet med hjälp av en magnetisk separator som både ger låga tryckförluster och låg energiförbrukning. Merparten av det MAK som avskiljs recirkuleras för att återanvändas i processen. En viss del förbrukad MAK tas ut ur systemet – Biokol uppskattar 2–5% – och motsvarande mängd nytt MAK tillsätts.

Försök utfördes i laboratorieskala där 50 ml av utgående vatten från Borlänge ARV behandlades. Försöken visade att MAK kan reducera ca 90 % av merparten av de substanser som undersökts vid en koncentration på

100 mg MAK/l och en kontakttid på 30–60 min. Efter laboratorieförsöken utfördes även pilotförsök i något större skala där 3 g MAK (koncentration 100 mg MAK/l) användes för att satsvis rena 5 x 30 liter av utgående vatten från Borlänge ARV. Upptaget av läkemedel i den första körningen överensstämmer väl med data från laboratorieförsöken och separationen av MAK från vattnet var visuellt 100 %. Reduktionsgraden avtog successivt mellan körningarna vilket kan förklaras av att en stor del av MAK (77 %) fastnade i magnetseparatorn och därför inte kunde recirkuleras för vidare rening. Pilotstudien visade att reningstekniken har potential men det var inte möjligt att avgöra vilka möjligheter till recirkulation av MAK som finns och vilken MAK-dosering som skulle behövas vid en fullskalig anläggning.

Ytterligare studier krävs för att utreda detta och hur den magnetiska separationen fungerar i större skala innan metoden kan användas i full skala.

Andra reningstekniker såsom GAK (granulärt aktivt kol), PAK (pulveriserat aktivt kol) och ozon har också bedömts och värderats utifrån andra försök. Dessa alternativ bedöms också vara möjliga att installera på Borlänge ARV. Det finns för- och nackdelar med alla reningstekniker. För närvarande är det oklart vilka krav som kommer att ställas på läkemedelsrening i framtiden för Borlänge ARV. Därför är det svårt att rekommendera en enskild lösning för anläggningen i detta skede. Om det beslutas att installera ett läkemedelsreningssteg vid Borlänge ARV är en rimlig förutsättning, oberoende av vald teknik, att basera denna teknik på en modulbaserad och flexibel lösning så att eventuella ytterligare reningssteg enkelt kan adderas eller kapaciteten ökas om det visar sig vara nödvändigt.

En teoretisk dimensionering av en fullskalig MAK-anläggning har genomförts i studien och jämförts med en motsvarande GAK-anläggning. Investeringsbehovet för den tänkta MAK-anläggningen bedöms vara 33 MSEK, motsvarande GAK-anläggning bedöms kosta 38 MSEK (utan förfiltering). Driftkostnaderna för MAK bedömdes till 1,8 MSEK/år (med en MAK-dosering på 5 % vilket motsvarar 5 mg MAK/l renat vatten vid Borlänge ARV) och för GAK 3,8 MSEK/år (kolbyte efter 15 000 filtervolymer). Det finns dock osäkerheter i både investerings- och driftkostnads-kalkylerna, framför allt för MAK-anläggningen, eftersom den ännu inte har testats i full skala och recirkulation av MAK (och MAK-dosering) inte har kunnat utvärderas än. Driftkostnaderna kan minskas genom att sänka MAK-dosen (öka recirkulationsflödet). Om MAK-doseringen sänks till 2 % (2 mg MAK/l renat vatten vid Borlänge ARV) minskar driftkostnaden till 0,9 MSEK/år. Ett uppströms filtersteg, exempelvis skivfilter eller sandfilter skulle öka investeringsbehovet med ca 16 MSEK. Den specifika kostnaden för en MAK-anläggning beräknades till 0,7–0,9 SEK/m<sup>3</sup> renat vatten, medan den för en GAK-anläggning uppskattas vara 1,1–1,3 SEK/m<sup>3</sup> renat vatten. I detta preliminära skede måste med nödvändighet många antaganden ske i beräkningarna, vilket gör att dessa siffror bör användas med försiktighet.

Det saknas krav och riktlinjer kring läkemedelsrening i Sverige, men en reningsgrad på ca 80 % för ett antal utvalda indikatorparametrar bedöms vara rimligt med hänsyn till tekniska, miljömässiga och ekonomiska aspekter. Detta synes vara i överensstämmelse med vad som hittills har angivits i internationella sammanhang. Kommuner/vattenbolag, konsulter och entreprenörer kommer alla att behöva preciserade svenska riktlinjer för att möjliggöra planering, projektering, byggande och drift av läkemedelsreningsanläggningar i full skala.

## **2.4 Borås Energi och Miljö, Sobacken avloppsreningsverk (förstudie nr 1)**

Borås Energi och Miljö har erhållit finansiering för att genomföra en förstudie kring läkemedelsrester i avloppsvattnet och reningstekniker för läkemedelsrening. Veolia Water Technologies har på uppdrag av Borås Energi och Miljö genomfört utredningsarbete inom ramen för denna förstudie. Avloppsreningsverket i Borås ligger på Sobacken och recipient för det behandlade avloppsvattnet är Viskan. Reningsverket är dimensionerat för 150 000 pe.

Borås Energi och Miljö fick prioritera ett antal utvärderingskriterier som de tyckte var viktigast för en framtida reningsanläggning för läkemedel. Utifrån dessa kriterier rekommenderades 3 olika tekniker – konventionella GAK-filtrer, Opacarb FL samt Actiflo Carb. Därefter beslutades i samråd mellan Borås Energi



och Miljö och Veolia att Opacarb FL var den lösning som man vill gå vidare med och ta fram drifts- och investeringskostnader för samt planera pilotförsök för.

Opacarb FL är en teknologi som bygger på att avloppsvattnet leds genom en fluidiserad bädd av aktivt kol – mikroCarb. Det är en kompakt och effektiv teknik som är lämplig för att nå det reningsmål som Borås Energi och Miljö önskar (>80% rening av läkemedelsrester som medelvärde).

Vidare togs dimensionerande underlag fram i form av dimensionerande flöden, temperatur etc. Baserat på dimensionerande data gjordes sedan en design på en anläggning med Opacarb FL. Driftskostnader och investeringskostnader beräknades för anläggningen. Anläggningskostnad: 176 MSEK och driftskostnad 6,6 – 13 MSEK/år (0,47 – 0,92 SEK/m<sup>3</sup>)

I nästa steg har Borås Energi och Miljö planerat att genomföra pilotförsök. Dessa kan sedan ligga till grund för mer detaljerade driftskostnadsberäkningar och användas för att validera den design som har tagits fram.

## **2.5 Borås Energi och Miljö AB, Sobacken avloppsreningsverk (förstudie nr 2)**

Borås Energi och Miljö AB har tillsammans med VA Ingenjörerna och Envidan AB har tillsammans bedrivit förstudie med pilotanläggning på Sobacken ARV. I tidigare förstudie (kap. 2.4) utreddes ett antal tekniker och tekniken Opacarb® FL valdes ut som mest fördelaktig. I denna förstudie genomfördes pilotförsök med Opacarb® FL som är en fluidiserad bädd med mikrogranulerat aktivt kol samt så gjordes en nulägesanalys med provtagning på inkommande, utgående avloppsvatten och rejektflöden på reningsverket samt provtagning i recipient.

Sobacken ARV är Borås största verk och togs i drift 2018. Verket är dimensionerat för 150 000 pe och består av mekanisk rening, försedimentering, biologisk rening med Bio-P och kväverening, mellansedimenteringar samt slutpolering i Actiflo och skivfilter. Verket har även rejektvattenrening med anammox. Recipient för det renade avloppsvattnet är Viskan. Delen av Viskan där utsläppspunkten ligger uppnår vare sig god ekologisk eller kemisk status. T.ex. uppnår diklofenak vid sträckan i Viskan för utsläppspunkten endast måttlig status. Resultaten från 7 flödesproportionella dygnsprover tagna på inkommande och utgående avloppsvatten visade att reduktionen av läkemedelsrester var  $15 \pm 11$  % som ett rakt medelvärde för perioden. Beräknat som total massreduktion var reduktionen  $79 \pm 4$  %. Den stora skillnaden mellan rakt medelvärde och total massreduktion beror på att paracetamol och ibuprofen som var vanligast förekommande (mellan 60–80 % av den totala mikroföroreningsbelastning) även var två av de ämnen som reducerades mest effektivt i den befintliga reningsprocessen.

Provtagningen på rejektvattenflöden visade att vissa ämnen förekom i betydligt högre koncentration där jämfört med i inkommande avloppsvatten. Några av dessa var sertralin, bisfenol A och ciprofloxacin. En förklaring till de höga halterna kan vara att dessa ämnen adsorberar till slam och inte bröts ned i betydande grad i röt-kammaren.

Risikkvoter för recipienten beräknades för olika substanser och resultatet som både baserades på teoretiskt framräknade koncentrationer och faktiskt uppmätta koncentrationer i recipient visade att oxazepam, sertralin och diklofenak utgör högst risk med en risikkvot kring 1. Med 80 % reduktion av diklofenak i en framtida läkemedelsreningsprocess så beräknades att risikkvoten skulle kunna hållas under 1 i Viskan vid alla flöden under året. Koncentrationen av PFOS i Viskan visade sig överskrida gränsvärdet för kemisk ytvattenstatus som finns angivet som ett årsmedelvärde (0,65 ng/l) i HVMFS 2019:25. Dock är bakgrundshalten så hög så att även om utsläppet från Sobacken skulle upphöra överskrids årsmedelvärdet.

Pilotförsök genomfördes från och med februari till och med december 2022. Provtagningen pågick från 10 000 till 37 000 bäddvolymeter. Resultaten visade att reduceringen över pilotanläggningen för de 6 utvalda substanser som ingår i förslaget till nytt avloppsdirektiv var 70 % när piloten drevs utan ozon och 78 % i kombination med ozon. Medelreduktion över pilotanläggningen för samtliga analyserade ämnen var 67 % utan ozon och 75 % med ozon.

Opacarb® FL:

- Investeringskostnad – 230 MSEK
- Driftkostnad – 10,5 MSEK/år
- 0,84 kr/m<sup>3</sup>

## 2.6 Enköpings kommun, Enköping avloppsreningsverk (förstudie)

Enköpings kommun har tillsammans med Sweco genomfört en förstudie för att utreda om det föreligger något behov för Enköping ARV av avancerad rening av mikroföroreningar. Enköping ARV är idag belastad med 23 400 pe men ska byggas ut till 45 000 pe (framtida reningsverket benämns Vappa ARV). Förstudien har tagit fram två lämpliga reningstekniker för avancerad rening, bedömt dem utifrån resultatet från provtagningen på utgående vatten och recipient samt utrett om vattenmatrisen utgör ett hinder för någon av teknikerna. Kostnadskalkyl och en livscykelanalys med avseende på klimatpåverkan har tagits fram.

Enköping ARV är idag belastad med 23 400 pe och består av förbehandling, försedimentering följt av en aktivslamprocess med mellansedimentering. Därefter sker kemisk fällning följt av slamavskiljning som äger rum i eftersedimenteringsbassänger. Enköping ARV har i sitt tillstånd inget kväverenkingskrav, men detta kommer att inkluderas för Vappa ARV som beräknas ha en belastning på 45 000 pe år 2040.

Analys av vattenmatrisen indikerade att granulärt aktivt kol (GAK) kan fungera väl. Att implementera ozon, däremot, är osäkert eftersom höga halter av bromid (0,32 mg/l) observerades. Bromid bildar cancerogent bromat vid ozonering. Höga bromidhalter påträffades även i dricksvatten i kommunen. För att kunna använda sig av ozon behöver bromidhalterna dels åtgärdas, dels utredas hur de varierar över året. Därefter kan nästa steg vara att utreda hur ozon kan doseras för att eventuellt stävja bildning av bromat, men med bibehållen nedbrytning av mikroföroreningarna.

Tre provtagningar har utförts under oktober - december 2021 på utgående vatten från reningsverket samt i recipienten. Totalt har 161 olika substanser analyserats. De analyserade substanserna utgjordes främst av läkemedel och hormoner, PFOS och PFOA samt några andra organiska mikroföroreningar. Enköping ARV släpper årligen ut 37,6 kg läkemedel (inklusive PFOA och PFOS) i recipienten. Detta motsvarar ungefär 1,7 g/pe, år.

Utifrån miljöriskbedömning (PEC/PNEC-kvoter) är slutsatsen att det inte går att utesluta att det finns ett behov av avancerad rening vid Enköping ARV. Av de totalt sex mikroföroreningar som kan utgöra en hög risk nära utsläppspunkten och de sju mikroföroreningar som kan utgöra en hög risk vid recipientprovtagningsplatsen finns det bedömningsgrunder för god status för inlandsytvatten för diklofenak och PFOS, vilka alltså inte uppfylls vid någon av provtagningsspunkterna. Detta betyder att reningsverket har en potentiell påverkan på sänkt ytvattenstatus för PFOS och diklofenak i Enköpingsån.

De ämnen som utgjorde hög risk var citalopram, sertralin och norsertralin, PFOS, venlafaxin, furosemid, ibuprofen och diklofenak. Skillnaden mellan teknikerna var inte signifikant när högfluorerade ämnen (PFAS) exkluderades från bedömningen. En slutsats från teknikbedömningen är att båda teknikerna kan fungera lika väl men att GAK eller ozon efterföljt av GAK är att föredra om PFAS-ämnen (t.ex. PFOS) också ska avskiljas innan utsläpp.

GAK är föreslaget att placeras sist i processen, efter skivfilter, och ozon följt av moving bed biofilm reactor (MBBR) är föreslagna att placeras efter slutsedimentering och innan skivfilter. Det kan förväntas att utgående vatten från Vappa ARV har en annan sammansättning än idag eftersom en total kväveavskiljning kommer att ingå. Tillgänglig yta på reningsverket är 770 m<sup>2</sup>.

GAK:

- Ytbehov – 680 m<sup>2</sup>

- Investeringskostnad –105 MSEK
- Driftkostnad – 4,3 MSEK/år

Ozon + MBBR:

- Ytbehov – 350 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad – 84 MSEK
- Driftkostnad – 1,4 MSEK/år

Klimatpåverkan från GAK landade på 310 g CO<sub>2</sub>-ekv per m<sup>3</sup> behandlat vatten, medan det från ozon + MBBR beräknades till 9 g CO<sub>2</sub>-ekv per m<sup>3</sup> behandlat vatten. Möjligheten att regenerera det aktiva kolet i stället för att använda primärt kol minskar klimatpåverkan med ca 70% till 94 g CO<sub>2</sub>-ekv per m<sup>3</sup> behandlat vatten.

Vid en jämförelse av de båda teknikvalen avseende teknikmöjlighet, riskämnen, process och kostnad, blir det tydligt att ett teknikval med ozon är kopplat till två osäkerheter: (i) risk för hög bromatbildning vid ozonering, och (ii) om ett krav på avskiljning av PFOS kommer att införas eftersom ozon inte oxiderar PFOS. Det mest kvalificerade teknikalternativet för Vappa ARV när PFAS-ämnen ska ingå i bedömningen blir följaktligen GAK eller ozon efterföljt av GAK.

## **2.7 Eskilstuna Strängnäs Energi och Miljö, Ekeby avloppsreningsverk (förstudie)**

Sweco har tillsammans med Eskilstuna Energi och Miljö (ESEM) genomfört en förstudie med pilot- och bänkskalestudier för avancerad rening av mikroföroreningar för Ekeby ARV (dimensionerat för 150 000 pe). Målet med förstudie var att se om de finns ett behov av avancerad rening för reningsverket., föreslå två reningstekniker samt göra en bedömning av kostnaden och klimatpåverkan. Inom ramen för projektet har både bänkskaletester och pilotstudier genomförts. Målet för dessa har varit att närmare utreda platsspecifika förutsättningar och i den mån det har varit möjligt, den reningspotential som befintlig våtmark kan erbjuda.

Den befintliga reningsprocessen på Ekeby ARV består av förbehandling i form av rens-galler, sandfång samt kemisk fällning. Den biologiska reningen som följer efter den kemiska fällningen utgörs av aktivslambassänger där returslam avskiljs i biosedimenteringen som är nästa processteg. Ytterligare en fällning sker efter mellansedimenteringen och innan slutsedimentering. Därefter når vattnet våtmark och slutligen recipienten Eskilstunaån.

Analys av vattenmatrisen indikerade att det inte fanns några större hinder för att implementera varken granulärt aktivt kol (GAK) eller ozon.

Fem provtagningar utfördes på utgående vatten under september till december 2021 på utgående vatten från reningsverket. Totalt har 161 olika substanser analyserats. De analyserade substanserna utgjordes främst av läkemedel och hormoner, PFOS och PFOA samt några andra mikroföroreningar. Ekeby ARV släpper årligen ut 110,7 kg läkemedel (inklusive PFOA och PFOS) i recipienten. Detta motsvarar ungefär 1,1 g/pe, år.

Miljöriskbedömningen, baserad på PEC/PNEC-beräkningar, visade att riskkvoterna för citalopram och PFOS hamnade över ett kvotvärde på 1, dvs hög risk. Baserat på underlaget från denna studie, är det lite som talar för att avancerad rening av mikroföroreningar behöver införas på Ekeby ARV. Men studien skulle behöva kompletteras med bl.a. recipientprovtagning.

Utifrån beräknade PEC/PNEC-kvoter har samtliga ämnen som identifierades med måttlig och hög risk för utgående vatten i Eskilstunaån bedömts avseende potentiell avskiljning som kan erhållas genom antingen GAK eller ozon. De ämnen som utgjorde hög risk var oxazepam, ibuprofen och PFOS vid ett torrscenario. GAK kan

eventuellt anses vara något mer kraftfullt i jämförelse med ozon men skillnaden mellan teknikerna var marginell när PFAS-ämnen exkluderades från bedömningen.

Bänkskaletesterna genomfördes översiktligt på sex kommersiellt tillgängliga GAKprodukter från tre stora kolleverantörer i Sverige. Dessa var Cyclecarb 401, Aquasorb 5000, 630 och CS, samt Carbsorb 40 och P1000. Cyclecarb 401 som är ett regenererat kol presterade marginellt bäst.

Modelleringen av ozon genomfördes med hjälp av ett samarbete med AM-team i Belgien. Modelleringen utgick från batchförsök på Ekebys avloppsvatten och sedan byggdes en modell upp. Resultaten utvärderades därefter på 21 utvalda mikroföroreningar. Som förväntat visade modelleringsresultaten att högst ozondos gav högst genomsnittlig reduktion av mikroföroreningarna. Först vid en dos på 0,6 g O<sub>3</sub>/g DOC kunde en medelreduktion på 78% respektive 88% observeras för mikroföroreningar inklusive respektive exklusive PFOS/PFOA.

Utifrån resultaten från modelleringen beslutades det att: 1. Pilotprocessen ska undersöka tre olika ozondoser efterföljt av MBBR: 0,4, 0,6 och 0,8 g O<sub>3</sub>/g DOC. 2. Två kontakttider om 10 respektive 20 minuter ska ingå för pilotförsöken.

Snabbtester med Chemvicon 401 gjordes för en kontakttid på 15 respektive 25 min. Snabbtesten nådde aldrig genombrott vid körning upp till 30 000 bäddvolymmer och de båda kontakttiderna indikerade inte på någon signifikant skillnad avseende reduktionsgrad, som visade ca 90% för den utvärderade testperioden.

Från pilotstudierna kunde vi fastställa att en ozondos på 0,8 g O<sub>3</sub>/g DOC gav högst reduktion av de studerade mikroföroreningarna (91%) och en kontakttid på 12 min var tillräcklig. Ingen ytterligare reduktion av mikroföroreningarna i MBBR-steget kunde påvisas. Däremot, och vid analys genom non-target screening, observerades helt eller delvis avskilda transformationsprodukter från oxidation av vattenmatris och mikroföroreningar, bäst avskildes dessa när MBBR-steget kördes vid 120 min.

Placeringen av GAK-anläggningen och ozon efterföljt av MBBR (rörlig biofilmsreaktor med bärare) är båda föreslagna att vara sist i processen, efter kemisk rening, men innan befintlig våtmark på Ekeby ARV.

GAK:

- Ytbehov – 1 300 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad –208 MSEK
- Driftkostnad – 14,1 MSEK/år

Ozon + MBBR:

- Ytbehov – 600 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad –128 MSEK
- Driftkostnad – 3,7 MSEK/år

Klimatpåverkan från GAK med 25 min kontakttid landade på 200 g CO<sub>2</sub>-ekv per m<sup>3</sup> behandlat vatten. För ozon efterföljt av MBBR var klimatpåverkan betydligt lägre: 2,5 g CO<sub>2</sub>-ekv per m<sup>3</sup> behandlat vatten.

Utifrån både bänk- och pilotstudier för GAK och ozon följt av MBBR visar denna rapports resultat att båda teknikerna har god förmåga att fungera tillfredsställande. När detta vägs samman med kostnaden för reningsteknikerna, deras respektive klimatpåverkan, utvärderat från en platspecifik LCA analys samt med hänsyn till de platsförutsättningar som råder på Ekeby ARV, är det ozon efterföljt av MBBR som kan konstateras vara den mer fördelaktiga tekniken när PFOS inte inkluderas i utvärderingen.

## 2.8 Falu Energi och Vatten, Främby avloppsreningsverk (förstudie)

Under år 2019 genomförde Falu Energi & Vatten (FEV) en förstudie om läkemedelsrening på Främby reningsverk. Projektet finansierades till stor del av ett bidrag på drygt tre miljoner kronor från Naturvårdsverket. Syftet med projektet var att utreda behovet och förutsättningarna för en fullskalanläggning för läkemedelsrening på reningsverket. I projektet genomfördes pilotförsök där avloppsvatten filtrerades genom granulerat aktivt kol (GAK). I projektet ingick också en kartläggning av läkemedelsrester och andra organiska mikroföroreningar i avloppsvattnet, samt en riskbedömning av utsläpp till recipienten. Läkemedelsprojektet var en del i FEV:s större projekt Fördjupad Förstudie Framtidens Främby, som är en förberedande studie inför en uppgradering av hela reningsverket och ansökan om ett nytt miljötillstånd.

FEV valde att testa GAK eftersom det var en mer oprövad teknik jämfört med pulveriserat aktivt kol (PAK) och ozonering samtidigt som det fanns goda förutsättningar att testa den i pilotskala på plats på reningsverket. Dessutom förväntades reningseffektiviteten för läkemedelsrester vid rening med GAK vara hög.

Främby reningsverk är FEV:s största reningsverk som renar avloppsvatten från motsvarande 42 000 personer från Faluns innerstad och några närliggande samhällen. Reningsprocessen består av mekanisk, kemisk och biologisk rening och reningskrav finns för fosfor och BOD (organiskt material). Det renade avloppsvattnet släpps ut i Främbyviken i sjön Runn. Faluns historia av gruvdrift och industrier har gjort att Runn är påverkad av många olika föroreningar. Vid tidigare kartläggningar har bland annat flera läkemedelssubstanser påträffats i sjön, vilket tyder på att läkemedelsrening på reningsverket skulle kunna medföra positiva effekter för Runn.

I projektet samarbetade FEV med IVL Svenska Miljöinstitutet, som har tidigare erfarenhet av liknande projekt. IVL byggde upp en pilotanläggning inuti en container som placerades i slutet av reningsprocessen på Främby reningsverk. En liten del av avloppsvattnet som renats färdigt på det befintliga reningsverket leddes in i pilotanläggningen, där det renades ytterligare. Först renades vattnet från suspenderade partiklar genom mikrofiltrering, i syfte att skydda GAK-filtren från igensättning. En del av vattnet renades också i en luftad reaktor med biobärare (MBBR) för att efterlikna kväverening som kan bli aktuellt på Främby i framtiden. Slutligen leddes vattnet genom fyra parallella GAK-filtre med olika uppehållstider (7,5, 14, 16 och 30 min). Pilotförsöket pågick i 36 veckor mellan april och december 2019 och under denna tid utfördes analyser på avloppsvattnet på reningsverket och i pilotanläggningen vid sex tillfällen och på ytvatten i recipienten vid två tillfällen.

Läkemedelsrester i avloppsvatten består till stor del av använda läkemedel som gått igenom kroppen och utsöndrats vid toalettbesök. I kartläggningen ingick ett fyrtiotal läkemedelssubstanser, inklusive flera hormoner och antibiotika. Dessutom analyserades högfluorerade ämnen (PFAS), siloxaner, fenoler och bromerade difenyletrar (BDE). De senare ämnesgrupperna består av olika organiska mikroföroreningar som används som bland annat impregneringsmedel, flamskyddsmedel och tillsatser i textilier, plaster och hygienprodukter. Ämnena är miljöskadliga och har vid tidigare kartläggningar påträffats i avloppsvatten och/eller i recipienten.

De flesta undersökta läkemedelssubstanserna kunde uppmätas i halter över detektionsgränsen i det inkommande vattnet till reningsverket, men endast ett fåtal renades bort på det befintliga reningsverket. Nitrifikationen bidrog inte heller till att rena bort läkemedelsrester. Vid filtrering med GAK reducerades de flesta läkemedelssubstanser till en början med minst 90 %, oavsett uppehållstid. Efter åtta månaders drift fungerade reningen fortfarande bra för GAK-filtret med uppehållstid på runt 30 minuter, medan reningen försämrats avsevärt för GAK-filtret med runt 7,5 minuters uppehållstid. En jämförelse mellan GAK-filtrering av dagens utgående vatten och nitrifierat vatten visade inga tydliga skillnader.

För de övriga organiska mikroföroreningarna varierade resultaten. Koncentrationerna av siloxaner i det inkommande vattnet till reningsverket var höga, men dessa renades bort med upp till 99 % redan på det befintliga reningsverket, och därefter ytterligare med GAK-filtrering. Nästan alla högfluorerade ämnen (PFAS) kunde uppmätas både i inkommande och utgående vattnet på reningsverket. Resultaten varierade mycket mellan olika ämnen och olika provtagningstillfällen, men totalt sett minskade koncentrationerna av

PFAS något både på det befintliga reningsverket och vid nitrifikation. Vid filtrering med GAK reducerades ungefär hälften av PFAS-ämnena konsekvent, med upp till 80 %. De fenoler som kunde uppmätas i det inkommande vattnet renades också till viss del bort på det befintliga reningsverket och vid nitrifikation. Tre fenoler reducerades även bra vid GAK-filtrering. Däremot kunde endast tre av åtta bromerade difenyletrar (BDE) uppmätas i det inkommande vattnet till reningsverket vid samtliga provtillfällen. I det utgående vattnet var koncentrationerna av alla BDE under kvantifieringsgränsen, och därför kunde ingen vidare rening av BDE utvärderas.

De flesta PFAS, de cykliska siloxanerna samt oktylfenol och nonylfenol kunde uppmätas i recipienten vid minst ett tillfälle. För fenolerna var halterna högst nära reningsverkets utlopp, medan halterna av siloxaner var högre uppströms och PFAS uppvisade liknande halter i båda provpunkterna. De uppmätta halterna var lägre än gällande gränsvärden för ytvatten. Drygt tio av de undersökta läkemedelssubstanserna kunde uppmätas i recipienten och alla dessa påträffades nära reningsverkets utlopp i Främbyviken. En riskbedömning baserad på utsläppen från reningsverken visade att utsläppen av det antidepressiva läkemedlet citalopram och det lugnande medlet oxazepam hade störst risk för oönskade miljöeffekter.

Rapporten diskuterar också en optimering av GAK-filterlösningen vid implementering i fullskala. En första grov kostandsskattning för en fullskaleimplementering baserat på pilotresultat och nuvarande vattenflöde ger en indikation på en total årskostnad på 6,5 Mkr och en specifik kostnad på 1,25 kr/m<sup>3</sup>.

## 2.9 GRYAAB, Ryaverket (förstudie)

Gryaab har under 2019 och 2020 utfört föreliggande förstudie för att utreda möjligheterna för införande av läkemedelsrening på Ryaverket. Förstudien är finansierad av Naturvårdsverket som delat ut bidrag för antingen investering eller förstudier för läkemedelsrening på avloppsreningsverk. Gryaab sökte och beviljades bidrag år 2019. Anledningen att bidrag söktes var för att vara förberedda på ett eventuellt kommande krav på läkemedelsrening i framtiden. Det finns inga planer eller myndighetskrav på att införa läkemedelsrening i dagsläget.

I denna förstudie jämförs tre olika tekniker för läkemedelsrening och hur dessa skulle kunna införas på Ryaverket vid ett konstaterat behov, eller krav:

1. Ozonering
2. Pulveriserat aktivt kol (PAK)
3. Granulerat aktivt kol (GAK)

Var och ett av dessa bedöms vara möjligt att införa till processen på Ryaverket. GAK kräver dock väldigt stor yta, vilket är en brist på Ryaverket. Huvudförslaget för införande av GAK är därför att utöka Gryaabs nuvarande område åt väster, till en del av Rya skog som inte är fredad. En alternativ placering i nuvarande slambyggnad har också övergripande utretts.

Förslagen för både PAK och ozon innebär att de befintliga MBBR-processerna (reningsprocesser med rörlig biofilmsbärare, på engelska; moving bed biofilm reactor) begränsar maxflödet över läkemedelsreningen. Därför sätts maxflöde för samtliga processlösningar till 4,5 m<sup>3</sup>/s. Detta bedöms innebära att ca 80 % av förväntat avloppsvattenflöde ett normalår kring år 2050 kommer att kunna behandlas i läkemedelsreningen.

I denna förstudie antas samtliga processlösningar ge samma reduktion av läkemedelsrester, omkring 80 - 90 % reduktion över reaktorn. I praktiken ger troligen de föreslagna teknikerna olika kvalitet på utgående vatten. Det finns dock osäkerheter för samtliga processer varför pilottestning på Ryaverket av aktuell teknik rekommenderas innan slutgiltigt processval görs vid ett konstaterat behov eller krav infaller. Sammantaget innebär flödesbegränsningen till läkemedelsreningen (80 %) och den förväntade reduktionen i läkemedelsreningen (80 - 90 %) en total reduktion av läkemedelsmängden med 65–70 %.

Ozonering: För ozonering är grundförslaget att placera reaktorn före MBBR för efternitrifikation (EN). Detta betyder att både EN och MBBR för efterdenitrifikation (ED) nyttjas som biologisk efterbehandling för

ozoneringen. Vid ett studiebesök på ozoneringsanläggningen i Linköping noterades att en likartad placering orsakade driftproblem, varför alternativ B för ozon introducerades i denna förstudie. Alternativ B innebär att reaktorn i stället placeras sist i processen, efter skivfilteranläggningen. Under förstudiens gång har det framkommit en del uppgifter som talar för att driftproblemen i Linköping borde kunna undvikas om lärdom tas ifrån deras problem. Dessutom innebär byggnationen av alternativ B större kostnader och att avsaknad av efterbehandling måste hanteras. Slutsatsen är att alternativ A (före EN) rekommenderas före alternativ B.

Ozon förslås produceras på plats med hjälp av en ozongenerator som använder syrgas som råvara. Ozongeneratorn omvandlar syre till ozon med hjälp av elektricitet. Syret kan antingen köpas in från en extern leverantör eller produceras på plats från omgivande luft och elektricitet. En intern syrgasfabrik rekommenderas i denna förstudie, både för att det ekonomiskt verkar vara något bättre och för att slippa transporter och hantering av flytande (kryogen) syrgas inne på Gryaabs område.

Ozongenereringen använder stora mängder el och producerar mycket spillvärme med låg temperatur. Värmen kan antingen kylas bort med avloppsvatten eller återvinnas med en värmepump. Detta kan även förbättra effektiviteten ytterligare genom att det håller generatoren vid en lägre temperatur. Nackdelen med en värmepump är att det går åt el för att driva den. Värmepump rekommenderas ändå då det innebär att Gryaabs värmebehov kommer att täckas helt under ca 7 månader/år och under övriga 5 månader reduceras behovet av extern värmeförsörjning kraftigt.

Ozonering ger en stark oxideringsreaktion och det finns risk att bilda nya föreningar som är oönskade. Bromid i avloppsvatten kan omvandlas till bromat, som är cancerogent, vid ozonering. Utgående och eftersedimenterat vatten på Ryaverket innehöll vid analys ca 0,2 - 0,3 mg/L bromid, vilket innebär att det finns risk för bromatbildning. Labförsök av ozonering på vatten från Ryaverket visar att halten bromat i utgående vatten är ca 30 µg/L vid föreslagen ozondos. Det finns idag inget gränsvärde för utgående halt av bromat, men ekotoxgruppen vid forskningsinstitutionen Eawag i Schweiz har föreslagit ett gränsvärde på 50 µg/L för utgående avloppsvatten från avloppsreningsverk i Schweiz.

PAK: Pulveriserat aktivt kol föreslås doseras till EN vilket skulle innebära att både EN och ED blir kombinerade reaktorer för både konventionell kväverening och läkemedelsrening. Kolpulvret skulle sedan avskiljas från vattnet genom befintliga skivfilter och slammet från skivfiltret (SF) behandlas separat i en ny slamhantering.

För att PAK ska anses gångbart får inte de nuvarande processerna i EN och ED störas, dessa processer får i sin tur inte heller störa läkemedelsavskiljningen och avskiljning av slam med aktivt kol i skivfilter måste fungera. Enligt genomförda labförsök så påverkar eller påverkas varken nitrifikationen eller denitrifikationen signifikant. Dock visar försöken att adsorptionstiden är avgörande för reduktionen av läkemedel, därför rekommenderas att recirkulera avskilt slam från SF tillbaka till EN för att öka uppehållstiden för kolet. Nackdelen med detta är att partikelbelastningen på skivfilteranläggningen ökar eftersom partiklarna måste avskiljas ytterligare en gång. Avskiljning i skivfilter har testats ett fåtal gånger i labskala (innan försöken avbröts pga. pandemin) med positiva resultat, men i praktiken är detta fortfarande en mycket stor osäkerhet.

Slammet från SF föreslås behandlas i en ny separat slambehandling. Detta för att inte påverka slamkvaliteten på det övriga slammet som idag till stor del används för jordbruk. Slamförtjockning föreslås ske med gravitationsförtjockare och därefter avvattning med hjälp av skruvpressar. I denna förstudie har dessa metoder inte testats och innebär en stor osäkerhet. Det avvattnade slammet innehållandes kol med läkemedelsrester och bioslam från MBBR-processerna måste hanteras separat. Föreslagen metod är förbränning vilket innebär en mycket stor kostnad eftersom slammängden beräknas bli ca 21 000 ton/år. Även om PAK enligt föreslagen layout ger en låg investeringskostnad så blir driftkostnaden väldigt hög.

GAK: Granulerat aktivt kol fungerar som ett sandfilter där sanden är utbytt mot granuler av aktivt kol. Granulerna behöver således inte avskiljas från vattnet utan ligger kvar i filtret. Det aktiva kolet i GAK har fördelen jämfört med PAK att det kan regenereras och återanvändas i processen. Nackdelen är att processen är väldigt ytkrävande och investeringskostnaden hög. Eftersom Ryaverket har ont om plats rekommenderas att anläggningen placeras i Rya skog, dvs väster om skivfilterbyggnaden utanför Gryaabs nuvarande tomt. Detta

anses vara den bästa placeringen. Som alternativ har även en skiss över hur GAK skulle kunna placeras i slambyggnaden tagits fram. Det skulle i så fall innebära omfattande ombyggnader och omlokalisering av slambehandling.

Avgörande för driftkostnaden för en GAK-anläggning är hur länge kolet kan användas innan det behöver bytas ut och ersättas med nytt eller regenererat kol. Denna förstudie utgår ifrån att kolet behöver bytas efter 20 000 bäddvolymeter. Regenerering av kol är den överlägset största driftkostnaden för GAK. Idag finns ingen anläggning för regenerering av kol från reningsverk i Norden utan kolet antas i den här studien transporteras till Belgien för regenerering.

Kostnader: Investeringskostnaden för ozonering på Ryaverket förväntas bli ca 520 miljoner kr med år 2020 kostnadsnivå, för GAK blir investeringen ca 730 miljoner kr. Investeringen för PAK är dock mycket lägre med en investering omkring 160 miljoner. Samtliga kostnads kalkyler är utförda med succesiv kalkyleringsmetoden och kostnaden som redovisas är medelkostnad + 3\*standardavvikelse. Det innebär att sannolikheten för att klara budget är 99 %.

Avskrivningstiden för de stora kostnadsposterna för GAK är längre än för ozon så avskrivningskostnaden för GAK är nästan i nivå med ozon. Driftkostnaden för GAK är dock klart högre än för ozon men klart lägre än för PAK. Sammanfattningsvis är ozon det mest kostnadseffektiva alternativet och uppgår till en kostnad på 36 MSEK per år, inklusive kapital och driftkostnader (se Tab. 1).

Tab. 1 Totala kostnader

	Ozon	PAK	GAK
Drift (kkkr/år)	14 000	96 000	51 000
Kapital (kkkr/år)	22 000	6 000	24 000
Summa (kkkr/år)	36 000	102 000	75 000
kr/m <sup>3</sup>	0,28	0,80	0,59

Tidplan: GAK är den mest omfattande byggnationen och bedömningen är att byggnation kommer att pågå i 4 - 5 år, därtill kommer projektering, upphandling och besiktning – totalt bedöms införande av GAK ta ca 7,5 år. Ozon innebär mindre byggnation, bedömning är att det skulle kunna införas på ca 6 år. PAK är den minst omfattande ombyggnaden och kan troligen införas på ca 5 år.

Hållbarhetsanalys: Hållbarhetsanalys har gjorts i form av en multikriterieanalys med följande kriterier i de tre hållbarhetsdimensionerna:

- Miljö: växthuspåverkan, el-användning, användbar värmeproduktion, kemikalie-användning, mängd slam som kan användas till jordbruk,
- Social: Organisation/juridik, uppfattning i samhället, arbetsmiljö, säkerhet
- Ekonomisk: årskostnad för Gryaab, referenser/etablerad teknik, pålitlighet i drift/teknisk funktion, underhåll, flexibilitet.

I analysen fick ozonering högst totalpoäng (3,2), GAK något lägre totalpoäng (2,9) och PAK tydligt lägst totalpoäng (1,9), med ursprunglig betygsättning och viktning. PAK fick även lägst totalpoäng i alla känslighetsanalyser och förslaget är att förkasta PAK med den här föreslagna utformningen.



Ozonering får sin högsta totalpoäng om växthuspåverkan värderas maximalt och sin lägsta om elanvändning värderas högt eller vid en sämre typ av el. Flera känslighetsanalyser, som byte till förnybart aktivt kol eller kolreakivering på Ryaverket, höjer GAK:s totalpoäng, likaså om elanvändning eller säkerhet värderas maximalt. Skillnaden i totalvärdering mellan GAK och ozon är så liten att en fördjupad studie av båda alternativen behöver göras innan ett slutligt val kan göras. Fokus bör vara på de osäkerheter som påverkar hållbarhetsvärderingen mest.

Riskbedömning recipient: Under denna förstudie har inga nya analyser gjorts på läkemedelsrester i inkommande eller utgående avloppsvatten. Däremot har tidigare karteringar sammanställts och jämförts med gällande PNEC-värden (Predicted No Effect Concentration). Det är dock fortfarande oklart vilken utspädning i recipienten som ska användas för att beräkna koncentrationen av läkemedel i recipienten. Det beror på vilket och hur stort område de organismer som eventuellt påverkas negativt av läkemedlen rör sig inom och hur stor utspädningen av avloppsvatten är i det kritiska området. Om 10 ggr utspädning används överskrider 6 ämnen PNEC och om 100 ggr utspädning används överskrider fortfarande 3 ämnen PNEC. Två av dessa tre ämnen har dock väldigt hög säkerhetsfaktor vilket sänker PNEC med 1 000 respektive 2 000 ggr, dessa säkerhetsfaktorer kan sänkas genom kompletterande effektstudier. Konsulten IVL rekommenderar i sin riskbedömning att en ordentlig kartering genomförs som består av minst 3–4 provtagningstillfällen som täcker in olika årstider och som sker vid representativa flödesbelastningar. Provtagning bör göras på inkommande och utgående avloppsvatten samt i recipienten.

## **2.10 Gästrikevatten, Duvbackens avloppsreningsverk (förstudie)**

Gästrikevatten har tillsammans med konsultbolaget Sweco gjort en förstudie för att utreda behovet av avancerad rening och om lagkravet att inte försämra statusen i Inre Fjärden uppfylls. Vattenmyndigheten har tidigare gjort en bedömning att reningsverket har en potentiell påverkan på sänkt status för framför allt PFOS och 17 $\beta$ -östradiol. Möjligheterna till avancerad rening har utretts utifrån teknik, kostnad och klimatpåverkan. För att kunna värdera reningstekniker mot varandra har en multikriterieanalys använts i syfte att kunna välja ut två tekniker för vidare utredning.

Duvbackens ARV har idag en belastning på ca 91 400 pe och verket är uppbyggt med förbehandling, försedimentering samt en aktivslamprocess med biologisk fosforreduktion. Kemisk fällning kan tillsättas vid behov innan vattnet leds genom ett polersteg. Reningsverket ska byggas ut för belastning på 150 000 pe.

Mikroföroreningar provtogs åtta gånger på inkommande och utgående vatten från avloppsreningsverket samt på slamprover och i recipienten. De analyserade substanserna utgörs av läkemedel, antibiotika, hormoner, per- och polyfluorerande ämnen (PFAS26) och fenoler. Kategorierna PFAS, övriga läkemedel och fenoler reduceras i låg grad. Smärtstillande/antiinflammatoriska substanser reduceras mest, men även den totala reduktionen är hög. Generellt går det ut större andel mikroföroreningar med vattenfasen till recipient än vad som hamnar i slammat. Ca 130 kg läkemedel släpps till recipient varje år, vilket motsvarar 1,4 g/pe, år.

Miljöriskbedömningar har gjorts genom att analysera PEC/PNEC-kvoter för mikroföroreningar (PEC – predicted environmental concentration; PNEC – predicted no effect concentration). Om PEC/PNEC >1 – föreligger en risk att organismer skadas. För utsläppspunkten visade fem ämnen på riskkvoter >1 (citalopram, diklofenak, oxazepam, sertralin/norsetralin och PFOS). Vid recipientprovtagning var det endast citalopram och PFOS som hamnade i kategorin hög risk. Det går därmed inte att utesluta behov av avancerad rening av mikroföroreningar vid Duvbackens reningsverk.

Genom multikriterieanalys har möjliga tekniker för avancerad rening jämförts (som har valts utifrån PEC/PNEC-kvoter). De fyra analyserade teknikerna var GAK, ozon följt av GAK, ozon följt av sandfilter och ozon följt av MBBR. Utifrån analysen föll GAK samt ozon följt av MBBR ut som tekniker att utreda närmare.

GAK eller ozon följt av MBBR är föreslagna att placeras sist i processen efter kemisk fällning och filtersteg. Eftersom det framtida reningsverket i Gävle inte planeras med fullständig kväverening utan endas

ammoniumreduktion bör kombinationen av detta med ett ozonsteg utredas närmare. Det uppskattade ytbehovet för GAK och ozon följt av MBBR är 1540 respektive 540 m<sup>2</sup>.

Investerings- och driftskostnader har beräknats till:

- GAK 219 MSEK i investering samt 16,7 MSEK i driftkostnader (om regenererat kol – 11,6 MSEK i stället)
- Ozon följt av MBBR 138 MSEK i investering och 3,9 MSEK i driftkostnader

LCA-analysen visade att GAK-anläggning medför långt högre klimatpåverkan än en ozonanläggning. 300 g CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>3</sup> respektive 10 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Om regenererat GAK 70 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

Vid jämförelse mellan ozon och GAK med avseende på teknikmöjlighet, riskämnen, process och kostnad konstaterades det att en ozon-anläggning som mer fördelaktig än GAK-anläggning men det blev tydligt att ozon ändå är ett osäkert teknikval då det är behäftad med två osäkerheter:

- Hur reningen med ozon fungerar när ARV inte har kväveavskiljning?
- Om krav på avskiljning av PFOS kommer att införas?

## 2.11 Haninge kommun, Fors reningsverk (förstudie)

Fors reningsverk i Haninge ska byggas om och har reserverat plats i sin nybyggnation för en eventuell läkemedelsrening. Denna förstudie har syftat till att ta fram ett principförslag för en framtida investering om sådan blir aktuell. Förstudien har gjorts i samarbete med Ramboll, IVL Svenska miljöinstitutet och B2 Processteknik. Fors reningsverk släpper sitt vatten till ett känsligt åsystem (Vitsån) med en begränsad vattenföring. Detta gör att till exempel sommartid står reningsverket för uppemot hälften av vattenflödet, vilket i sin tur innebär en begränsad utspädning av läkemedelsrester. Vitsån hyser dessutom ett skyddsvärt reproducerande bestånd av havsöring.

Tre provtagningar utfördes i recipientvattnet i Vitsån vilket indikerar på höga nivåer av läkemedel. Däremot detekterades inte feminiserande hormoner men däremot i en nationell kontext höga koncentrationer av diklofenak, ca 20 gånger högre än mätningar gjorda i Mälaren, Vänern och Vättern. Koncentrationen av läkemedelsrester var generellt hög i Vitsån jämfört med andra undersökningar gjorda i Sverige och beror dels på den låga utspädningen, dels på höga inkommande halter.

Reningen vid Fors ARV är god för dagens villkorade ämnen, men svårnedbrytbara ämnen såsom många läkemedelsrester avskiljs i genomsnitt till mindre än 50% enligt två provtagningar utförda under år 2020. Riskbedömningen som gjorts visar att många av de undersökta läkemedelsresterna idag utgör en risk för vattenlevande organismer i Vitsån. I sammandrag medför dagens rening att 10 substanser en utgör hög risk av de 50 studerade läkemedelssubstanserna, sju substanser utgör medelhög risk, 12 substanser medför låg risk och 19 substanser medför försumbar risk i recipienten. Utförda beräkningar tyder på att antalet högrisksubstanser efter införande av läkemedelsrening minskar till en (Citalopram).

Pilotförsöken utfördes på utgående vatten från reningsverket och de läkemedelsrenade vattnet leddes sedan till container med akvarium där öringsmol under 28 dygn exponerades för de läkemedelsrenade vattnet samt utgående avloppsvatten utan avancerad rening som referens.

Pilotanläggningen som användes innehöll behandlingsenheter i form av förbehandling, läkemedelsavskiljning med GAK respektive ozonering, samt olika efterbehandlingar till ozoneringslinjen. På grund av tillfälliga driftsproblem på reningsverket kompletterades enheten med ett nitrifierande försteg för att få ned ammoniumhalten inför exponeringsförsöken med havsöring. Utvärderingen visade att avskiljningen i utgående vatten från piloten var minst 95% med GAK och 90% med ozonering med en ozondos på 4,5–5 g O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>. Försök gjordes även med PAK och för 80% reduktion krävdes en dos på 17 g/m<sup>3</sup> och för 90% reduktion krävdes en dos på 22 g/m<sup>3</sup>. Dessa doser är relativt höga men läkemedelskoncentrationen i utgående vatten var

under undersökningen ca fem gånger så hög som Henriksdals reningsverk. Som efterbehandling jämfördes sandfilter med förlängd efterreaktionstid i uppehållsvolymer, dock gav det sistnämnda mindre effekt än sandfilter mätt i UVA 254 nm.

Även om huvudfokus i projektet varit att studera läkemedelsrester så har några övriga mikroföroreningar följts upp och analyser utförts. Denna uppföljning omfattade nonylfenol, PFAS-11 (11 poly- och perfluorerade alkylsubstanser), Microtox, bromidkoncentration och YES (Yeast Estrogen Screen). Resultatet från pilotförsöket visade att nonylfenol låg under detektionsgränser för både utgående vatten från reningsverket och från samtliga pilotlinjer. Vad gäller PFAS-11 gav GAK, följt av PAK, den bästa avskiljningen, medan avskiljningen vid ozonering var lägre. Inte vid något tillfälle kunde östrogen effekt detekteras i utgående vatten från pilotlinjerna, medan det hittades i de två av tre utgående avloppsvattenprover där ingen läkemedelsrening fanns installerad.

Resultatet från fiskundersökningen visar att det konventionellt behandlade avloppsvattnet (mekanisk-biologisk-kemisk rening) påverkade fisken genom till exempel sämre allmäntillstånd, avvikelser i röda blodkroppar samt höga nivåer av diklofenak i lever. De fiskar som exponerades för läkemedelsrenat vatten uppvisade inte dessa symptom.

Efter pilotstudien gjordes en workshop där resultaten från piloten och fiskförsöken vägdes samman med andra faktorer som till exempel klimatavtryck och transporter. Utfallet från workshopen blev att ozon med sandfilter skulle vara den lämpligaste tekniken för Fors reningsverk. Ett principförslag togs fram för en tekniklösning med ozonering, kontaktbassäng med plugflöde och efterföljande sandfilter. Den reserverade platsen för reningen är tre bassänger som inte kommer vara i bruk när det nya reningsverket är klart med en total yta på 600 m<sup>2</sup>.

## **2.12 Hjo kommun, Hjo avloppsreningsverk (förstudie)**

Hjo kommun har tillsammans med Mellifiq utrett möjligheten av rening av läkemedel och hormoner vattnet som släpps i Vättern från Hjos avloppsreningsverk. Syftet med studien var att göra en nulägesanalys av Vättern och läkemedelshalter i avloppsvattnet som passerar Hjos avloppsreningsverk. Nå minst 85% reduktion av de läkemedelsrester som reningsverket idag släpper ut. Utvärdera kolets förbrukning och uppskatta förbrukning i en fullskalig installation samt undersöka om ett sandfilter behövs i en fullskalig anläggning.

Hjo ARV har i dagsläget en belastning på 6000–7000 pe och reningsstegen är i dagsläget mekanisk, biologisk och kemisk rening med aktivt slam samt efterpolering med sil. Recipienten Vättern är en Natura 2000-områden med bevarandeplaner för fiskarter. Samtidigt är omsättningstiden i sjön lång vilket gör att tillförda ämnen ackumuleras.

För att undersöka reningsverkets naturliga avskiljningsförmåga av läkemedelsrester har flertalet provtagningar genomförts över verket samt i recipienten. Analyser gjordes på 99 aktiva läkemedelssubstanser, varav 35 av dessa kunde identifieras på reningsverket. Halten vid utlopp innebär att ungefär 1,6 kg detekterbara läkemedel årligen lämnar Hjo reningsverk. 18 av de 35 läkemedelssubstanserna kvarstod i utgående vatten från verket varav Diklofenak hade högst halt men även de antidepressiva ämnena Mirtazapin och Citalopram fanns i höga halter. I recipienten uppmättes tre av de analyserade läkemedelstyperna – Tramadol, Trimetoprim och Oxazepam.

Piloten för läkemedelsrening bestod av sandfilter, ozonrening och aktivt kolfilter och använde sig av renat vatten från slutsedimenteringen. Resultatet av pilotstudien visar att läkemedelsreduktionen når höga nivåer upp till 98 %. Det överträffade målet att uppnå 85 % reduktion. Den höga reduktionen kan bero på att utgående vatten från Hjos reningsverk håller en relativt hög kvalitet vilket kan bidra till att avlasta läkemedelsreningsprocessen.

Sandfiltrering rekommenderas som första steg i reningsprocessen för att minska belastning på övrig processutrustning, minska driftkostnader samt risk för driftstopp. Sandfiltret bidrar enligt resultatet i studien även till viss läkemedelsreduktion. Ozoneringen har uppnått en konsekvent hög reduktion av läkemedel under

hela försöksperioden. Därför rekommenderas ozonering som huvudsteg för en eventuell framtida fullskalig anläggning för läkemedelsrening. Målet med pilotstudien var att nå över 85%, vilket har överträffats med marginal med läkemedelsreduktion upp till 98%. GAK-filtrering visar på en reduktion av de kvarvarande läkemedlen. Trots att denna läkemedelsreduktion är relativt liten i relation till ozoneringsstegets reduktion, så ger GAK-filtret en redundans i reningssystemet vid variation på inkommande läkemedelshalter och annat organiskt innehåll samt skapar en ytterligare barriär mot eventuella transformationsprodukter.

## 2.13 Karlshamn Energi, Sternö avloppsreningsverk (förstudie)

Karlshamn Energi har tidigare utrett utsläpp från Sternö avloppsreningsverk (35 000 pe) gällande läkemedelssubstanserna diklofenak, östradiol och etinylöstradiol i enlighet med miljöprövningsdelegationens tillståndsbeslut från 2017. Första delen i utredningen gjordes med en behovsanalys baserat på risken för negativ miljöpåverkan i recipienten (Karlshamnsfjärden). Sammantaget visade utredningen att det inte finns något behov av att rena verkets avloppsvatten från de aktuella läkemedlen.

Nästa steg i utredningen, dvs. denna förstudie som Karlshamn Energi gjort tillsammans med Sweco, var att göra en jämförelse mellan olika tekniska lösningar samt uppskatta kostnaderna för att implementera dessa på anläggningen. De olika teknikalternativen som undersöktes var GAK eller ozon följt av biologisk efterbehandling.

Undersökning av kemiska egenskaper har gjorts för eventuell påverkan av val av reningsteknik. Bromidhalten är något förhöjd (troligtvis inträngning av havsvatten) vilket kan göra att bromat bildas vid ozonering. Halten av suspenderat material är låg både innan och efter befintliga sandfilter vilket ger goda förutsättningar för både GAK och ozonering.

Både GAK och ozonering förväntas ha en hög reningseffekt (>80%) på de tre ämnena (diklofenak, östradiol och etinylöstradiol).

För- och nackdelar med GAK och ozon:

GAK:

- Fördel: att det inte finns någon risk för att det bildas farliga nedbrytnings- och transformationsprodukter.
- Nackdel: utförda kalkyler är dyrare ur både investerings- och driftsynpunkt samt kräver en betydligt större yta.

Ozon:

- Fördel: har en desinficerande funktion och sänker utgående bakteriehalt, tar mindre yta i anspråk, kräver mindre yta.
- Nackdel: risk för farliga nedbrytnings- och transformationsprodukter.

Uppskattade kostnader:

GAK:

- Ytbehov – 400 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad – 48 MSEK
- Driftkostnad – 1,6 MSEK/år
- ~0,5 kr/m<sup>3</sup>

Ozon:

- Ytbehov – 150 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad – 38 MSEK
- Driftkostnad – 1,1 MSEK/år
- ~0,3 kr/m<sup>3</sup>

## 2.14 Karlstad kommun, Sjöstadsverket (förstudie)

Naturvårdsverket har i uppdrag att ge bidrag till projekt som bland annat bidrar till att öka kunskapsuppbyggnad kring avancerad rening av läkemedelsrester. Inom dessa ramar har Karlstads kommun ansökt om bidrag för en förstudie. På uppdrag av kommunen har Norconsult genomfört aktuell förstudie och undersökt behovet av avancerad rening för läkemedelsrester på Sjöstadsverket i Karlstad, samt identifierat vilka reningstekniker som är mest lämpliga.

Förekomst av läkemedel och dess metaboliter i ytvatten härstammar till stor del från utsläpp från avloppsreningsverk. Halterna är generellt högre vid reningsverkens utsläppspunkter, framför allt när flödet från reningsverket är stort jämfört med flödet i recipienten, för att sedan minska nedströms pga. utspädning, nedbrytning och omfördelning till exempelvis luft, sediment, flora och fauna. Hur läkemedlen beter sig i miljön beror på läkemedlets fysiokemiska egenskaper.

Rening av avloppsvatten i Sverige styrs av ramdirektivet för vatten, underordnat avloppsdirektiv och avloppsföreskrifterna. Dagens avloppsreningsverk är designade för rening av organiskt material, kväve och fosfor, inte för rening av läkemedel, såsom antibiotika, hormoner, antiinflammatoriska och antidepressiva, eller läkemedelsrester (nedan ”läkemedel”). Läkemedlets nedbrytbarhet samt fysiokemiska egenskaper (vattenlöslighet, persistens) avgör vad som händer med dem i reningsverken, total reduktion är inte möjlig. Reduktion av läkemedel varierar mellan olika reningsverk och olika substanser. Det är framför allt den biologiska reningen som binder och renar läkemedel. Mer hydrofoba läkemedel binder till slammet och suspenderat material.

Sjöstadsverkets process består av mekanisk, biologisk och kemisk rening. Reningsresultaten är bra med avseende på organiskt material, kväve och fosfor. Reduktionsfaktorn för i denna förstudie undersökta läkemedel varierar mellan -13 och 100%, med 52 % som medianvärde. Utgående vatten innehåller oxazepam och ciprofloxacin i halter som överskrider predicted no effect concentrations (PNEC). Behovet av avancerad rening för läkemedelsrester är inte fastställt ännu. Vänerns Vattenvårdsförbund har sett en endast marginell förhöjning av halter av läkemedel och andra mikroföroreningar efter reningsverket. Utökad recipientprovtagning inklusive ekotoxikologiska tester behövs för att identifiera behovet av avancerad rening för läkemedelsrester. Då det varken finns krav på läkemedelsrening eller tydlighet gällande det faktiska behovet läkemedelsrester vid Sjöstadsverket har det antagits att avancerad rening behövs för oxazepam och ciprofloxacin.

Det finns många olika tekniker för avancerad rening för läkemedelsrening, bland annat membranfiltrering, oxidativa reningstekniker (ozonering och avancerade oxidativa processer såsom ozon/UV, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV eller Fenton-processen), adsorptiva tekniker (granulerat aktivt kol, pulveriserat aktivt kol) och kombinationer av dessa. Baserad på det eventuella behovet av avancerad rening för läkemedelsrester och förutsättningar specifik för Sjöstadsverket har ozonering och GAK identifierats som de två alternativa tekniker som passar bäst för avancerad läkemedelsrening. Dessa har en medelgod till god reningseffektivitet för oxazepam, ciprofloxacin och de övriga ämnen som överskrider PNEC-värden vid några enstaka tillfällen eller klassas som särskilt förorenande ämnen. Fullskaliga anläggningar finns i dagsläget.

Ozonering är den vanligaste tekniken för läkemedelsrening. Tekniken är kompakt, billig och ger en bra rening för många läkemedelsrester och andra mikroföroreningar. Den konfigurationen som har undersökts i denna förstudie är multiple point ozonation, bestående av integrerad ozonering i biosteget och ozonering som slutpolering. Den specifika kostnaden för rening av en kubikmeter avloppsvatten är ca 0,2 SEK för en anläggning på 100 000 pe. Hänsyn måste tas till arbetsmiljö då syrgas och framför allt ozon är kraftfulla oxidationsmedel.

GAK har en bra reningseffekt på många läkemedel och andra mikroföroreningar. GAK har en bättre reningseffekt för ciprofloxacin och några ämnen som förekommer i halter >PNEC vid några enstaka tillfällen än ozonering. De filter som har undersökts är av typen DynaSand (Nordic Water). Dessa filter är platseffektiva och klarar en kontinuerlig drift. Den specifika kostnaden för rening av en kubikmeter avloppsvatten är ca. 0,35 – 0,6 SEK. Energibehovet är mycket låg, men koldioxidfotavtrycket är högre än för ozon. Inga farliga restprodukter bildas. Aktivt kol kan leda till dammbildning och det finns en risk att en explosiv blandning uppstår, åtgärder för att minska dammbildning måste undersökas och utvärderas.

Pilotförsök behövs för att utvärdera vilken teknik passar bäst för Sjöstadsverket, för att dimensionera anläggningar, samt, vid ozonering, bildning av eventuella toxiska bi- och nedbrytningsprodukter.

## **2.15 Klippans kommun, Klippans avloppsreningsverk (förstudie)**

Klippans kommun har tillsammans med Mellifiq utfört en förstudie i två delar, en inledande förstudie samt sedan en pilotstudie med ozonering, GAK och membranfiltrering. Målet med projektet var att med pilotstudien uppnå 80% reduktion samt skapa underlag för dimensionering av ett fullskaligt läkemedelsreningsystem.

Klippans avloppsreningsverk består av gallerrening, försedimentering, hydrolysbehandling, biologisk rening samt eftersedimentering. Vattnet släpps i Bäljane å som är ett biflöde till en av Skånes största åar, Rönne å. Antalet anslutna är ca 15 000 personer.

Under förstudien genomförde Mellifiq rening av läkemedelsrester i en mindre pilot med ozonering och GAK. Ca 97% av läkemedelsresterna kunde renas, varav endast venlafloxin inte kunde renas till under detektionsgränsen. Pilotstudien kördes sedan med två linjer för utvärdering under två månader. En linje med sandfilter, ozonering och GAK. Den andra linjen med sandfilter och sedan membransystem.

Resultatet blev att de två olika reningslinjerna kunde rena till minst 95 % av de mätbara läkemedelsresterna. Energibehovet i respektive reningsprocess (ozon-GAK respektive nanofiltrering) är likartad på ca 1 kWh/m<sup>3</sup>.

Om en dimensionering för ett ozon-GAK-steg ska göras blir rekommendationen för att uppnå minst 90% reduktionsgrad att ha minst 9 min reaktionstid för ozon och en ytbelastning på 8–9 m/h för GAK.

Om nanofiltrering ska användas behöver denna drivas med minst 3 bars tryck men kräver inga särskilda förreningssteg förutom sandfiltrering. Det koncentrat som bildas behöver tas om hand, antingen med hjälp av ozonering och/eller GAK, alternativt återföra koncentratet till reningsverkets inlopp.

## **2.16 Kristianstads kommun, Degeberga avloppsreningsverk (förstudie)**

I enlighet med villkoren för det beviljade statsbidraget för läkemedelsrening i Degeberga avloppsreningsverk i Kristianstads kommun lämnas följande information som en slutrapport avseende rubricerat projekt. Förstudien resulterade i det genomförande av projektet som nu är avslutat. Den valda tekniken bygger på efterpolering i filter med granulerat aktivt kol. Detta i två parallella filter (5,5 m<sup>3</sup> vardera) som klarar halva flödet (11 m<sup>3</sup>/h) vardera, vilket ger en uppehållstid på ca 30 minuter. Det ena filtret har fyllts med aktivt kol baserat på stenkol och det andra med ett aktivt kol med förnyelsebart ursprung (kokosnötskol). Detta för att kunna utvärdera två olika kol inom ramen för projektet.

Den nya anläggningen kopplades in i serie efter ett sedan tidigare existerande sandfilter som tidigare var slutsteg i reningsverket och som också utvärderats med avseende på rening av ett antal läkemedelsrester och andra mikroföroreningar i denna uppföljning.

Byggstart skedde vid månadsskiftet augusti-september 2019 och kommunicerades via en pressträff. Byggnationen av läkemedelsreningsanläggningen pågick sedan till april 2020 och slutbesiktning påbörjades den 17 april. Återstående punkter i efterbesiktningen var klara till den 18 juni 2020.

Läkemedelsreningen på Degeberga ARV driftsattes den 16 april 2020 kl. 11:30, och har gått problemfritt sedan dess. (Undantaget tiden mellan 6 maj till 14 maj då verket var avstängt och vattnet transporterades till Centrala reningsverket i Kristianstad på grund av byte av skrapa i mellansedimenteringen i Degeberga.)

Anläggningen fungerar så här långt över förväntan och renar både diklofenak och många andra ämnen till mer än 95 %. Hur länge reningen kommer att ligga över denna nivå återstår att följa upp och kommunen har kvar att avgöra vid vilken reningsgrad det granulerade aktiva kolet i kolfiltren ska bytas ut eller regenereras.

Totalt 38 olika ämnen har analyserats efter det att läkemedelsreningsanläggningen togs i drift. Flertalet av dessa ämnen analyserades även för bakgrundsdata i utgående vatten och uppströms och nedströms reningsverket.

Förutom på utgående halter märks det även på de nu betydligt lägre halterna av många ämnen nedströms reningsverket att läkemedelsreningen kommit på plats.

## 2.17 Kungsbacka, Kullaviks avloppsreningsverk (förstudie)

En förstudie gällande avskiljning av läkemedelsrester och andra mikroföroreningar har genomförts vid Kullaviks avloppsreningsverk i Kungsbacka kommun. Avskiljningen över den befintliga biologiska processen med både aktivt slam och biofilmsbärare (Hybas™) utvärderades under en två veckors provtagningskampanj. Kompletterande efterbehandling av det biologiskt behandlade avloppsvattnet undersöktes i pilotskala med avseende på biologisk behandling med en biofilmsprocess, behandling med pulvriserat aktivt kol (PAK) samt en kombinerad behandling med PAK och ozon.

Utvärderingen av den befintliga reningsprocessen med 14 flödesproportionella dygnsprover visade en spridning i reduktionsgrad för olika mikroföroreningar från obefintlig avskiljning, för t.ex. citalopram, flukonazol och tramadol, till över 90 % för t.ex. ibuprofen, naproxen och paracetamol. Medelreduktionen var 39 % beräknad som ett rakt medelvärde av reduktionsgraderna och 89 % beräknad på sammanlagda massflöden. En jämförelse med tidigare publicerade studier för svenska aktivslamanläggningar visade att de uppmätta reduktionerna för Kullaviks avloppsreningsverk var relativt höga.

I försök i laboratorieskala undersöktes den biologiska reningsprocessen närmare genom satsförsök med tillsatta mikroföroreningar. I dessa försök jämfördes aktivt slam och bärare som tagits ut från reningsverket samt även kombinationen av slam och bärare. Det visade sig att för 22 av de 30 undersökta substanserna var nedbrytningshastigheten högre för kombinationen slam och bärare än med endast aktivt slam, eller för 10 av substanserna efter normalisering för mängden biomassa. Reduktion av diklofenak skedde endast med biofilmsbärare närvarande.

I en pilotanläggning (8 liter) testades efterbehandling med MBBR-processen eXeno™ där utgående sedimenterat avloppsvatten behandlades huvuddelen av tiden. Obehandlat avloppsvatten tillsattes under 6 timmar vartannat dygn (12,5 % av flödet) för att upprätthålla en aktiv biofilm. I MBBR-piloten kunde 11 av 23 substanser ytterligare reduceras vid 2 timmars uppehållstid med i medeltal 8 – 62 %. Med förlängd uppehållstid (4 timmar) ökade reduktionen signifikant för dessa substanser. Satsvisa försök med bärare uttagna från både piloten och fullskalan visade på biologisk nedbrytbarhet för ytterligare några substanser vars koncentrationer var under detektionsgränsen i det sedimenterade vattnet. Efterbehandling i en MBBR-process sker med begränsad och selektiv reduktion men har samtidigt potential att ske resurseffektivt jämfört med andra alternativ. Ett förslag på hur processen som studerades i pilotskala skulle kunna implementeras som efterbehandling vid Kullaviks avloppsreningsverk presenterades. Enligt detta förslag sker implementeringen så att när obehandlat avloppsvatten behandlas i eXeno, skickas det sedan tillbaka för biologisk behandling i befintlig process.

Pilotanläggningen för efterbehandling med PAK (Actiflo® Carb) bestod av en process med tillsats av koagulant (järnklorid), flocculant (polymer) och ballast i form av mikrosand. Utan PAK är denna process snarlik den befintliga högflödesreningen på reningsverket. Tillsatsen av mikrosand leder till hög sedimenteringshastighet vilket medger en hög belastning på anläggningens lamellsedimentering. Denna

pilotanläggning behandlade 3,8 m<sup>3</sup>/h biologiskt behandlat avloppsvatten och hade en total processvolym på 1,6 m<sup>3</sup> (uppehållstid 25 min) plus lamelledimentering (0,125 m<sup>2</sup>). Behandling med olika doser av PAK (0–50 mg/l) liksom med och utan samtidig tillsats av en låg dos ozon (1,5 mg/l) utvärderades.

Pilotanläggningen uppvisade god driftsstabilitet och de resultat som erhöles var i nivå med andra studier baserade på läkemedelsrening med PAK. Med dosering av 15 mg/l PAK uppnåddes 73 % reduktion av mikroföroreningar (rakt medelvärde) vilket ökade till 83 % vid samtidig dosering av 1,5 mg/l ozon. Den senare nivån var likvärdig med vad som uppnåddes vid dosering av 30 mg/l PAK utan ozon men kostnaden för dosering av 15 mg/l PAK och 1,5 mg/l ozon blir signifikant mycket lägre. Kombinationen av PAK och dosering av en låg dos ozon direkt före PAK-tanken syftar till att delvis regenerera kolet och därigenom antingen öka reningseffekten eller minska förbrukningen av PAK. Resultaten visar att denna effekt är påtaglig. Bromidhalten i ingående vatten var tillräckligt hög för att risk för bromatbildning skulle föreligga men utgående koncentration av bromat var mycket låg (<2 µg/l) vilket visar att processens uppbyggnad inte gynnar bromatbildning.

Ett förslag utarbetades för hur en av de två befintliga Actiflo-linjerna på Kullaviks reningsverk skulle kunna byggas om till en Actiflo Carb. En sådan anläggning skulle kunna behandla flöden upp till 150 m<sup>3</sup> /h vilket motsvarar 67 % av årsflödet. Baserat på resultaten från pilotförsöken och den befintliga biologiska anläggningen beräknas en sådan anläggning bidra till att den totala reduktionen av mikroföroreningar över reningsverket blir 73 % (rakt medel). Reduktionsgraden bedömdes kunna bli högre om exempelvis recirkulering av använd PAK till den biologiska behandlingen tillämpas.

Driftskostnader och investeringskostnader beräknades för anpassning av en befintlig Actiflo® till en Actiflo® Carb. Resultatet av drifts- och investeringskostnadsberäkningen redovisas i Tab. 2. Driftskostnaden motsvarar 0,49 SEK/m<sup>3</sup> (totalt vattenflöde) eller 0,72 SEK/m<sup>3</sup> (vatten som behandlas i Actiflo® Carb).

Tab. 2 Total investering och driftskostnad

	Anpassad Actiflo® carb
Investeringskostnad	16 MSEK
Driftkostnad	0,85 MSEK/år

## 2.18 Kungsbacka kommun, Hammargårds avloppsreningsverk (förstudie)

Kungsbacka kommun har tillsammans med Mellifiq utfört pilotstudie för läkemedelsrening på Hammargårds ARV. Syftet med pilotstudien var:

- Kan man optimera reningen av läkemedelsrester och andra mikroföroreningar från avloppsvattnet genom ett containerbaserat pilotsystem?
- Utvärdera om det reade vattnet har tillräckligt vattenkvalitet för återanvändning i form av tekniskt vatten.
- Dimensionera en fullskalig implementation av läkemedelsrening vid reningsverket.

Hammargårds ARV har tillstånd för 52 000 pe, men pga. kraftig befolkningstillväxt har kommunen fått beviljat ett nytt tillstånd. Anslutningen är både kommunalt och industriellt vatten. Det nuvarande reningsverket omfattar mekanisk, biologisk och kemisk processrening. Den biologiska reningen sker genom processen Quattro Denipho, där organiskt material och kväve reduceras. Den kemiska reningen sker genom simultan- och efterfällning. Det reade vattnet från Hammargårds ARV släpps ut i recipienten Kungsbackaån, som mynnar ut i Kungsbackafjorden. Kungsbackaån har en ekologisk status som klassas som måttlig och en kemisk ytvattenstatus klassificerad som uppnår ej god.



I samband med den initiala förstudien gjordes provtagningar vid totalt tre olika platser i reningsverket. Vid kartläggningen identifierades 35 av 98 analyserade substanser, varav 32 återfinns i reningsverkets utlopp. Med hänsyn till årsmedelbelastningen på 5.2 Mm<sup>3</sup>/år avseende 2015–2019, beräknas därav 97 kg detekterbara läkemedel lämna Hammargård ARV varje år. Sammanfattningsvis kan det ses att majoriteten av de detekterbara substanserna inte reduceras fullständigt med nuvarande reningsprocess. För flera av substanserna återstår >65% av den initiala koncentrationen vid reningsverkets utlopp (flecainide, irbesartan, citalopram, desloratidin, memantine och oxazepam).

Pilotanläggningen bestod av två containers innehållande ozonering, GAK-filter, sandfilter och ett membransystem med nanofilter (NF). Vattenreningsystemet utvärderades genom att variera två processparametrar – vattenflödet genom systemet och ozoneffekt, vilket resulterade i sju olika driftscenarion.

Det kan observeras att reningseffekten som förväntat minskar linjärt med den ökande flödes hastigheten genom systemet, vilket bland annat kan förklaras med en kortare reaktionstid för ozonet. Det kan dock noteras att reduktionsgraden inte minskar linjärt med ett ökande flöde efter processteget adsorption med GAK.

Sammanfattningsvis visade resultaten att den avancerade vattenreningsanläggningen renade och avskilde mellan 91.3% och 100% av de detekterbara läkemedelsresterna vid alla varierande systeminställningar som utvärderades.

För att utvärdera möjligheten för att använda tekniskt vatten har vattnet analyserats för ytterligare mikroföroreningar som per- och polyfluorerade alkaliska substanser (PFAS) och olika typer av mikrobiologiska parametrar. Sammanfattningsvis visar resultaten att det avancerade reningssystemet effektivt reducerar även de mikrobiologiska parametrarna koliforma bakterier, *Escherichia coli* och somatiska kolifager. Förekomsten av *E.coli* uppfyller även vattenkvalitetskravet för den högsta klass A, efter att ha passerat det avancerade reningssystemet. Alla uppmätta mätvärden för biokemisk syreförbrukning är inom riktvärdena för den högsta vattenkvalitetsklassen, A, vilket indikerar att vattnet är lämpligt för återanvändning inom jordbruk. NF reducerar även PFAS till under detekterbarhet. Utifrån resultatet skulle det kunna gå att dimensionera reningssystemet för produktion av tekniskt vatten även med endast ozonering och GAK.

## 2.19 Käppalaförbundet, Käppalaverket (förstudie nr 1)

Käppalaförbundet har tillsammans med IVL Svenska Miljöinstitutet genomfört en förstudie med huvudsakligt syfte att göra en behovsanalys för rening av läkemedel vid Käppalaverket (fas 0). Målet med projektet var att undersöka behovet av läkemedelsrening vid Käppalaverket genom att identifiera prioriterade läkemedel och hormoner samt utvärdera deras recipientpåverkan. Behovet av läkemedelsrening utvärderas genom att jämföra uppmätta halter i utgående vatten med miljökvalitetsnormerna (MKN) i Havs- och vattenmyndighetens föreskrift (HVMFS 2019:25) samt den koncentration som utifrån toxikologiska studier inte anses ha en negativ påverkan på den akvatiska miljön, ”predicted no effect concentration” (PNEC). Utöver det samlades även data in för de fenoler och poly- och perfluorerade alkylsubstanser (PFAS) som finns med i miljökvalitetsnormerna (MKN).

Inkommande och utgående avloppsvatten samt vatten uppströms och nedströms Käppalaverkets utsläppspunkt i recipienten provtogs. Mikroföroreningar i proverna analyserades med utgångspunkt från Naturvårdsverkets lista med rekommenderade ämnen (Naturvårdsverket u.å.) och prioriterade ämnen samt särskilt förorenande ämnen (SFÄ) i Havs- och vattenmyndighetens föreskrift (HVMFS 2019:25).

Det går inte att fastslå med säkerhet att Käppalaverket har en negativ påverkan på recipienten gällande läkemedel, hormoner eller östrogena effekter. Därmed går det inte att styrka ett behov av en läkemedelsrening. Reduktionen av hormoner och östrogena effekter över Käppalaverket är idag hög. Inga halter av hormoner eller östrogena effekter över detektionsgräns kan mätas i det renade avloppsvatten eller i recipienten. Detektions- och kvantifieringsgränserna för hormonerna ligger dock betydligt högre än bedömningsgrunderna i miljökvalitetsnormen (MKN) och PNEC-värdena vilket gör att dessa ämnen har identifierats för vidare bevakning. Tre läkemedel identifierades för vidare bevakning: Diklofenak, Citalopram och Oxazepam. Trots en

hög koncentration av Diklofenak i utgående avloppsvatten Diklofenak understiger halten i Askrikefjärden bedömningsgrunden i MKN, där flera värden ligger under detektions-/kvantifieringsgränsen. Riskbedömningen av fenoler och PFAS visade ingen risk för något av ämnena utom PFOS, ett PFAS ämne, som utifrån de genomförda mätningarna överskrider gränsvärdet i MKN.

## 2.20 Käppalaförbundet, Käppalaverket (förstudie nr 2)

Käppalaförbundet har tillsammans med IVL Svenska Miljöinstitutet kompletterat tidigare projekt (fas 0) med ett nytt projekt (fas 1) där Käppalaverkets påverkan på dess recipient riskbedömts samt genomfört en teknikutredning för vad ett införande av ett avancerat reningssteg skulle innebära.

Det har varit svårt att dra slutsatser om Käppalaverkets påverkan på dess recipient, Askrikefjärden, då det förekommer komplexa strömningsförhållanden och bakgrundhalten är svårt att fastställa. Det som kan konstateras utifrån resultaten i denna studie är att halten PFOS överskrider gällande gränsvärde enligt gällande miljö kvalitetsnormer, som baseras på EU-prioämnesdirektiv (2008/105/EG). Skulle förslaget på reviderat prioämnesdirektiv antas skulle även gränsvärden för Östron, Azitromycin, Diklofenak, Bisfenol A, Nonylfenol och ΣPFAS24PFOAekv överskridas i Askrikefjärden.

Ett förslag till uppdaterat avloppsdirektiv finns framtaget, det ålägger alla reningsverk över 100 000 pe att införa en avancerad rening. Kravet på den avancerade reningen är 80 % avskiljning över reningsverket för sex av tolv givna indikator substanser. Dagens avskiljning av mikroföroreningar över Käppalaverket varierar kraftigt beroende av substans men även mellan provtagningarna. Medel avskiljningen av alla tolv indikator substanser i förslaget till uppdaterat avloppsdirektiv är uppmätt till - 5 %, väljs de sex substanser med högst avskiljning blir medelvärdet 25 %.

Eftersom det finns stora osäkerheter i vilken effekt som miljö kvalitetsnormerna kommer att få på Käppalaverket valdes dimensioneringen i detta projekt att utgå från förslaget till reviderat avloppsdirektiv. En bred screening av olika teknislösningar genomfördes och tre alternativ valdes ut utifrån för projektet uppsatta bedömnings- och utslagskriterier. Ett utslagskriterium var att Käppalaverkets slam inte får påverkas.

Den fördjupade teknislösningen inkluderade processlösningar med pulvriserat aktivt kol (PAK), granulerat aktivt kol (GAK) och ozon. Resultatet blev att ozoneringsalternativet är det mest fördelaktiga för Käppalaförbundet om man ser till kostnader, emissioner och även ytbehov i berget. Placeringen av denna anläggning skulle mest fördelaktigt placeras i en av eftersedimenteringsbassängerna (ES11), hur detta påverkar kapaciteten för den biologiska reningen har inte värderats. Ozonering är en väl etablerad teknik och arbetsmiljön anses kunna hanteras. Dock har ozon ingen effekt på PFAS-ämnen. Skulle detta bli ett krav skulle en annan teknik behöva väljas eller kompletteras med.

GAK är det alternativ som är näst mest fördelaktigt, denna teknik renar även bort PFAS delvis. En stor osäkerhet gällande denna teknik är livslängden för kolet. Den livslängd som använts i denna studie är konservativ. Studier har visat att det livslängden kan vara betydligt längre, men att det är väldigt platsspecifikt och behöver utredas. Skulle livslängden på kolet vara överskattad skulle GAK kunna vara ett alternativ då det är den enskilt största faktorn för kostnad och emission.

GAK:

- Ytbehov – 2 070 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad –233,3 MSEK
- Driftkostnad – 31,9 MSEK/år
- 0,63 kr/m<sup>3</sup>

PAK med MF/UF:

- Investeringskostnad –340,6 MSEK

- Driftkostnad – 56,9 MSEK/år
- 0,79 kr/m<sup>3</sup>

Ozon:

- Investeringskostnad –69,8 MSEK
- Driftkostnad – 18,7 MSEK/år
- 0,26 kr/m<sup>3</sup>

## 2.21 Laholmsbuktens VA, Västra stranden ARV (förstudie)

Laholmsbuktens VA har tillsammans med Envidan, DHI Sverige, Akvedikt, Miljö och Media på Kivik samt Medins Havs och Vattenkonsulter utfört en förstudie med syfte att, baserat på recipientens status och avloppsreningsverkets utsläpp av läkemedelsrester, generera underlag för beslut om behovet av läkemedelsrening på Västra strandens avloppsreningsverk samt lämplig teknik för ett eventuellt avancerat reningssteg.

Till Västra strandens ARV leds avloppsvatten från Halmstad tätort och ett antal mindre närliggande orter och ca 80 000 personer är anslutna. Förutom det kommunala spillvattnet är ett antal verksamheter anslutna till reningsverket, t.ex. Hallands sjukhus Halmstad samt en av Försvarsmaktens brandövningsplatser som dock inte längre används. Recipienten, som tar emot renat avloppsvatten från Västra strandens avloppsreningsverk, är Nissans mynning som därefter rinner vidare ut i Laholmsbukten. Laholmsbukten har under lång tid visat tydliga tecken på mänsklig påverkan och har måttlig ekologisk status samt ej god kemisk status enligt VISS.

Avloppsvattnet på Västra strandens avloppsreningsverk genomgår mekanisk rening i form av galler, sandfång och försedimentering. Därefter renas det biologiskt i en aktivslamprocess (inklusive Bio-P) följt av sedimentering. Kemisk polering sker i ett efterföljande slutsteg utformat som ett flotationssteg. Vattnet slutpoleras i ett dammsystem.

Mellan augusti 2021 och juli 2022 genomfördes provtagning och analys på inkommande och utgående avloppsvatten en gång per månad samt kvartalsvis provtagning på slam och i recipienten för analys av 39 olika mikroföroreningar, där både läkemedelsrester och andra typer av ämnen ingick. Resultaten visade också att det från Västra strandens avloppsreningsverk varje dygn släpps ut mellan 0,2 och 0,5 kilo mikroföroreningar i Laholmsbukten. Dessa mikroföroreningar består av ämnen som sedan tidigare är kända som svårnedbrytbara i konventionella reningsverk, så som oxazepam, karbamazepin och diklofenak.

En riskbedömning för recipienten har gjorts genom provtagning samt modellerad utspädning. Modelleringen av provtagningstillfällena visade att utsläppet från Västra strandens avloppsreningsverk står för en signifikant andel av mikroföroreningshalten i Nissans mynning. Modelleringen har också använts för att ta fram bakgrundshalterna som spelar en viktig roll för att skapa en helhetsbild av recipientpåverkan. Riskbedömningen visade att ämnena citalopram, oxazepam och diklofenak innebär hög risk (riskkvot högre än 1) medan ämnena sulfametoxazol, klaritromycin, erytromycin, sertralin och furosemid innebär måttlig risk (mellan 0,1 och 1).

Utifrån en primär bedömning av reningstekniker ansågs ozon- och GAK-filter-baserade tekniker mest lämpliga för Västra strandens avloppsreningsverk och processdesign gjordes för tre teknikkombinationer; ozon följt av sandfilter, enbart GAK-filter och ozon följt av GAK-filter. Dessutom beräknades de kvantitativa utvärderingsparametrarna koldioxidutsläpp under driftfas, energiförbrukning, investerings- och driftkostnader samt ytbehov.

GAK:

- Ytbehov – 1 100 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad –39,6 MSEK
- Driftkostnad – 4,8–6,3 MSEK/år

- 0,33–0,43 kr/m<sup>3</sup>

Ozon + GAK:

- Ytbehov – 1 270 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad –53,5 MSEK
- Driftkostnad – 5,4–8,3 MSEK/år
- 0,37–0,57 kr/m<sup>3</sup>

Ozon + sandfilter:

- Ytbehov: 830 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad –27,1 MSEK
- Driftkostnad – 3,6–5,7 MSEK/år
- 0,25–0,4 kr/m<sup>3</sup>

De olika teknikkombinationerna poängsattes i en utvärderingsmatris samt viktats utifrån betydelsen för Laholmsbuktens VA. Resultatet från denna multikriterieanalys visar att GAK-filter och ozon följt av GAK-filter är de två mest fördelaktiga teknikerna. Mellan de två alternativen finns det aspekter som att driften av anläggningen och eventuellt bromatbildning skiljer sig från varandra. GAK-filter har som fördel att tekniken är enkel att drifta, låg direkt energiförbrukning, ingen risk för bromatbildning samt något lägre investeringskostnad jämfört med ozonering och GAK-filter. Nackdelen för GAK-filter är att anläggning har mindre flexibilitet och färre möjligheter för driftoptimering. Ozonering följt av GAK-filter har som fördel den redundans och flexibilitet det medför att ha två tekniker för rening av mikroföroreningar från avloppsvatten. Risken för bromatbildning minimeras också på grund av att en lägre ozondos kan användas. Nackdelen blir en högre investeringskostnad och en mer komplex anläggning med fler komponenter som kan kräva större tillsyn och underhåll.

## 2.22 Luleå Miljöresurs, Uddebo avloppsreningsverk (förstudie)

Luleå Miljöresurs har tillsammans med Mellifq genomfört en förstudie för avancerad rening av läkemedel vid Uddeboverket. Projektet har dels bestått av en läkemedelskartläggning, dels drift av en pilotanläggning.

Uddeboverket har ett dimensionerat flöde på 2000 m<sup>3</sup>/h och består av ett mekaniskt reningssteg, biologiskt steg för reducering av organiskt material samt ett avslutande kemsteg. Ca 65 000 personer är anslutna. Uddeboverkets recipient är Luleälven med utsläppspunkten i Svartösundet.

Kartläggningen av läkemedlen utfördes under ett provtagningstillfälle och togs på inkommande vatten, efter varje reningssteg samt på utgående vatten. Även ett prov i recipienten togs. 101 aktiva läkemedelssubstanser analyserades samt COD, DOC och TOC. Totalt identifierades 34 substanser varav 24 kvarstod vid utflödet. Av totalmängden läkemedel renar verket idag 40%. Läkemedel som identifierades med högst halt var diklofenak, losartan och rosuvastatin, varav de två sistnämnda fanns kvar i utflödet. I recipienten identifierades endast två substanser tramadol och trimethoprim.

Pilotanläggningen dimensionerades för 10 m<sup>3</sup>/h samt med målet att uppnå 90% reduktion av inkommande läkemedelssubstanser. En 20 fot containerbaserad anläggning installerades innehållande tre reningstekniker: sandfilter, ozonsystem samt aktivt kolfiltersystem.

Reningsresultaten har skiljt sig något i detta projekt mot andra projekt som Mellifq har deltagit i. Läkemedelsavskiljningen varit avsevärt högre i sandfiltersteget men lägre över ozonreningen och GAK-rening jämfört med andra studier och anläggningar. Oklart vad det kan bero på, men det kan vara relaterat till de DOC-, TOC- och COD-nivåer som uppmätts vid reningsverkets utlopp. I övrigt ligger halterna läkemedelsrester i linje med övriga reningsverk i Sverige.

## 2.23 Lycksele Avfall & Vatten AB, Lycksele avloppsreningsverk (förstudie)

Lycksele Avfall & Vatten AB (LAVAB) har tillsammans med Envix Nord AB utfört en pilotstudie för en nu form av avancerad rening av läkemedelsrester i avloppsvattnet – avancerad oxidationsprocess. Förstudien pågick under 1,5 år. Lycksele ARV är dimensionerat för 14 000 pe och är utbyggt med biologisk rening med MBBR-process. Recipienten är Umeälven.

Det övergripande syftet i projektet var att implementera en ny avancerad oxidationsprocess, elektro-peroxon (E-peroxone) som tilläggsrening till konventionella reningssteg vid Lycksele avloppsreningsverk och rena ett delflöde avloppsvatten från att oönskade läkemedelsrester. Reningsförsöken har utförts under fyra säsonger (vår, sommar, höst och vinter) för att undersöka reningsgraden under varierande omgivningsförhållanden, flöden och kvalitet på inkommande avloppsvatten. Som jämförelse har tilläggsreningens effekt jämförts mot behandling med ozon, en annan mer vanlig avancerad oxidationsprocess för läkemedelsrening.

Utvärdering har baserats på analyser för ett relevant urval av 98 olika läkemedelssubstanser och 2 benzotriazoler med analys på både obehandlat och behandlat avloppsvatten för beräkning av reningseffekt. Vidare har behandlingseffekten från den avancerade oxidationsprocessen utvärderats med biologiska analysmetoder för att ge integrerade svar på eventuella oönskade effekter från exponering för obehandlat och behandlat avloppsvatten. Analys av både akut toxicitet och subletala effekter har undersökts på genregleringsnivå där grad av störning har studerats för ett urval av relevanta biologiska funktioner rörande reproduktion, hormonell och immunologisk störning samt olika typer av kända stressresponser som aktiveras vid exponering för olika substanser och främmande ämnen. Biologiska analyser har utförts både in vivo och in vitro.

Av 100 analyserade substanser detekterade 45 st vid något tillfälle i renat avloppsvatten efter de konventionella reningsprocesserna. Baserat på medelvärden uppskattas ca 0,71 kg läkemedelsrester avrinna till recipienten varje dag vilket motsvarar ca 260 kg per år.

Resultaten från förstudien visar att E-peroxon uppnår en reningsgrad för detekterade läkemedelssubstanser i spannet 90–95 % för alla säsonger. Metoden fungerade robust under alla förhållanden med mycket hög reningsgrad och hade i alla jämförelser högre reningsgrad än enbart ozonbehandling. Ingen bromatbildning kunde noteras varken vid E-peroxone eller ozonbehandling.

Den akuta toxiciteten sjönk väsentligt genom e-peroxonbehandling jämfört med enbart konventionellt behandlat avloppsvatten. 100 % mortalitet uppmättes i obehandlat vatten vilket reducerade till ca 10–15 % genom E-peroxonbehandling vilket innebär 85–90 % minskning i toxicitet. Även med ozonbehandling minskade som förväntat akut toxicitet, men reduktionen var inte lika stor och gick ner till 30 % (70 % reduktion). Vid analys av upp- och nedreglering av specifika gener som utgjorde biomarkörer för att påvisa subletala effekter uppvisade obehandlat avloppsvatten uppreglering av markörsgener som påvisar närvaro av dioxinlika eller andra främmande ämnen (t.ex. PAHer). Den effekten försvann helt efter behandling med E-peroxone och även med ozon vilket ytterligare underbyggde nyttan med behandlingen.

Sammantaget uppvisar förstudien mycket hög reningsgrad för den implementerade tekniken. Energiåtgången beräknas inte heller skilja sig väsentligt jämfört med ozonbehandling utan det har i förstudien uppvisats uppenbara fördelar med E-peroxone jämfört med ozonering. Den nya tekniken bedöms helt skalbar och nästa steg är att implementera rening i full skala vid lämpligt avloppsreningsverk med behov av läkemedelsrening.

## 2.24 Mariestads kommun, Töreboda avloppsreningsverk (förstudie)

Mariestads kommun har tillsammans med IVL Svenska Miljöinstitutet genomfört en kartläggning av mikroföroreningar för att bedöma risker och åtgärder som kan bli aktuella för Töreboda ARV i framtiden avseende avancerad rening av mikroföroreningar såsom antibiotika, läkemedel och hormoner. En riskbedömning har gjorts för hur ARV påverkar recipienten. I och med förslaget till nytt avloppsdirektiv kan

även mindre reningsverk (10 000–100 000 pe) få krav för avancerad rening beroende på dess recipients känslighet.

Töreboda ARV är ett mindre reningsverk med 13 600 pe anslutning, varav 4 700 personer är anslutna och 5 700 pe är från en större livsmedelsindustri. Även en nedlagd deponi är ansluten. Recipienten är Friaån som ingår i Göta Älvs avrinningsområde. Reningsverket består av mekanisk rening med galler och försedimentering, biologisk rening med IFAS (aktivt slam med bärare), mellansedimentering samt slutsedimentering.

Tidigare undersökningar av vattenkvaliteten i Friaån har vid ett provtillfälle indikerat höga koncentrationer av mikroföroreningarna diklofenak, östradiol och perfluorooktansyra (PFOS). För de kvantifierade ämnena gällde särskilt att de påträffats vid halter som överstiger bedömningsgrunder för godkänd ekologisk status för inlandsytvatten enligt Havs- och vattenmyndighetens författningssamling.

Kartläggningen av mikroföroreningar har genomförts genom provtagning vid fyra tillfällen under ett års tid vid i) reningsverket och ii) i recipienten. Inkommande och utgående avloppsvatten vid reningsverket provtogs genom veckoprover. Recipientprover uppströms och nedströms reningsverkets utsläppspunkt togs som stickprover. Analyser inom projektet har avsett läkemedelsrester, hormoner, antibiotika, fenoler, östrogen effekt samt PFAS-ämnen. Utöver ARV och recipient, har analys av lakvattenprover också genomförts avseende PFAS-ämnen, som ett led i att utvärdera påverkan från källor uppströms ARV.

För att bedöma recipientpåverkan har två tillvägagångssätt använts. Dels har recipienthalten predikerats genom en beräknad utspädning av halten i utgående avloppsvatten, dels har uppmätta halter i recipienten nyttjats. Beräkning av utspädningen i recipienten gjordes med hjälp av aktuellt flöde ut från ARV och aktuellt flöde i recipienten. Recipientbedömning har genomförts genom att beräkna riskkvoter (PEC/PNEC-kvoter).

Kartläggningen av mikroföroreningar från Töreboda ARV samt upp- och nedströms i recipienten visade att halterna av mikroföroreningar, i tre fall av fyra, var högre nedströms jämfört med provpunkten uppströms reningsverkets utsläppspunkt. Halterna av PFAS-ämnen in och ut från reningsverket indikerade också att de låg relativt högt vid jämförelse med medelhalten för andra svenska reningsverk. Uppströmskällor till Töreboda ARV som kan bidra med PFAS-ämnen är den nedlagda deponin i Borreboda, som bidrar med lakvatten motsvarande ca 1 % av det årliga inflödet. PFAS-belastningen från lakvattnet visade sig motsvara ca 12,1 % av den totala årsbelastningen in till reningsverket.

Recipientbedömningen indikerade att det råder hög miljörisk för citalopram, diklofenak, furosemid, oxazepam, venlafaxin, PFOS och östrogena effekter nedströms recipienten, som det finns nationella bedömningsgrunder för god status för. PFOS återfanns dock både upp- och nedströms Töreboda ARV och det finns därmed uppströms källor för denna förekomst. Sammantaget, och sett till aktuella bedömningsgrunder, kan det därmed inte uteslutas att det finns ett behov av avancerad rening vid Töreboda ARV. PFOS-förekomsten bör dock åtgärdas vid källan och inte primärt vid Töreboda ARV. När förslaget till nytt EQS-direktiv beaktas utgör även bisfenol A en risk för recipienten, samt PFAS<sub>24</sub>, uttryckt som PFOA-ekvivalenter, vilka observeras med hög risk både upp- och nedströms Töreboda ARV. Även diklofenak tillkommer som ett ämne som utgör hög risk eftersom det befintliga gränsvärdet föreslås att sänkas i nya EQS-direktivet.

Sett till befintliga och möjliga tekniker för Töreboda ARV fungerar både i) ozon efterföljt av efterbehandling i form av exempelvis GAK-filtrering, och ii) GAK som ett ensamt reningssteg. Ett avancerat reningssteg föreslås placeras sist i den befintliga reningsprocessen och kan med fördel föregås av ett filtersteg såsom sandfilter och/eller mikrosil för att minska risken för att partiklar går in i det avancerade reningssteget. Om ozon efterföljs av GAK-filtrering kan fler mikroföroreningar avskiljas jämfört med när ozon efterföljs av sandfilter. Det behövs ca fyra GAK-filter om de dimensioneras med en volym på 50 m<sup>3</sup> och årligen uppskattas det att ca 52 ton aktivt kol förbrukas.

## 2.25 Mittskåne Vatten, Ormanäs avloppsreningsverk (förstudie)

Mittskåne Vatten har tillsammans med Envidan utfört en förstudie för att göra en bedömning av miljönyttan och behovet av avancerad rening vid Ormanäs ARV.

Ormanäs ARV innefattar mekanisk (galler, sandfång och försedimentering), biologisk (kväve rening med mellansedimentering) och kemisk rening. Som poleringsteg finns flotation och slutligen fyra sandfilter. Recipienten är Västra Ringsjön. I samband med en planerad ombyggnation då reningsverket inte klarar så mycket högre belastning finns beslut om att ansluta fler abonnenter samt nedläggning av tre mindre reningsverk. Reningsverket har en prognosticerad belastning till år 2055 på 18 800 pe.

För kartläggningen av mikroföroreningar gjorts genom 12 provtagningar på inkommande och utgående vatten på Ormanäs ARV och 3 provtagningar före sandfilter, 2 provtagningar i slammet från Ormanäs ARV, 2 provtagningar på 3 mindre reningsverk (Norra Rörum ARV, Snogeröd ARV och Tjörnarps ARV) på inkommande och utgående vatten, samt 4 provtagningar i 4 olika punkter i recipient Ringsjön.

Utvärderingen av resultatet visar att reduktionen av mikroföroreningar över Ormanäs ARV är begränsad och endast 11 av 36 ämnen uppvisade en reduktionsgrad högre än 80 %, samt nästan hälften av de analyserade ämnena uppnår endast 50 % reduktion. Sandfilter bidrar med ytterligare rening för vissa ämnen som atenolol, metoprolol, trimetoprim och imidaklopid. Reduktionen över verket resulterar i att  $9,3 \pm 5,9$  kg mikroföroreningar/år släpps ut till Ringsjön och  $2,9 \pm 1,1$  kg mikroföroreningar/år följer med slammet. Nedläggning av de små reningsverken och ledning av spillvatten till Ormanäs skulle innebära en ytterligare belastning av mikroföroreningar till Ormanäs ARV på 15,2 kg mikroföroreningar/år i genomsnitt, vilket motsvarar en ökning på ca 13%.

Provtagningar i recipienten Ringsjön visade högsta koncentrationer på ämnena tramadol, paracetamol och karbamazepin. Särskilda förorenande ämnen som omfattas av HVMFS 2019:25 och miljökvalitetsnormer i förslaget för det nya vattendirektivet uppvisade koncentrationer lägre än respektive gränsvärde. Riskbedömningen resulterade dock i att oxazepam, ett svårnedbrytbart ämne, utgör måttlig risk för Ringsjön och övriga ämnen utgör en förhållandevis låg risk. Däremot kan kvartär rening innebära miljönytta och skydd av ytvatten genom minskad belastning av miljöfarliga ämne till Ringsjön, vilket är reservvattentäkt för dricksvattenproduktion.

Efter en genomgång av bästa möjliga tekniker för rening av avloppsvatten från mikroföroreningar och en kvalitativ utvärdering valdes det att gå vidare med 1 - ozonering och sandfilter, 2 - GAK och 3 – ozon och GAK.

Utvärderingen visade att av de tre teknikkombinationerna erhåller GAK-filter högst betyg på alla utvärderingsparametrar förutom flexibilitet och de andra två teknikerna erhåller jämförbara betyg. Processalternativ 2# GAK har relativt låg energiåtgång jämfört med ozoneringsprocesser som är mer energikrävande, vilket också påverkar ekvivalenta koldioxidutsläppen. En känslighetsanalys visade att vid användning av grönare el, blir poängsättningen mer jämförbar mellan alternativ 1# O3+SF och 2# GAK. De två alternativen med ozonering (1# O3+SF och 3# O3+GAK) resulterade i högre investeringskostnader, kopplade till ytterligare utrustning och bassänger för ozoneringssteget. Trots att alternativen med ozon erhåller jämförbara betyg, har 3# O3+GAK två reningssteg för rening av avloppsvatten från mikroföroreningar, vilket ger extra säkerhet i behandlingen. Driftkostnaderna vid alternativ 3# O3+GAK är lägre än för 1# O3+SF, och kan ytterligare minskas vid optimering av dosering av ozon och bäddvolymerna för aktivt kol. Ifall något av de processalternativen som inkluderar ozonering blir aktuellt för Ormanäs ARV, rekommenderas en fortsatt uppföljning av bromidhalter i avloppsvattnet.

Ett parallellt projekt pågår om Ormanäs ARV där utbyggnad av befintligt reningsverk utreds och där processvalet kan påverka valet av teknik för rening av avloppsvatten från läkemedelsrester och andra mikroföroreningar. I de flesta fall kan de tre föreslagna teknikkombinationerna kopplas till utgående vatten från vald process för huvudrening. Det är dock viktigt att säkerställa låga SS-halter in till det kvartära reningssteget,

oavsett vad det blir för processalternativ för rening av mikroföroreningar. Om utbyggnadskonceptet för framtida Ormanäs ARV inkluderar sandfilter efter den biologiska reningen, kan dessa även fungera som förfiltrering för 2# GAK och 3# O3+GAK. Även andra filtreringsteg kan vara fördelaktiga för dessa två processalternativ. Sandfilter kan också användas för efterbehandling av ozonerat vatten vid 1# O3+SF, vilket kan minska den totala investeringen men ställer krav på partikelseparation efter det biologiska steget.

GAK:

- Investeringskostnad –106 MSEK
- Driftkostnad – 1,87 MSEK/år
- 0,79 kr/m<sup>3</sup>

Ozon + GAK:

- Investeringskostnad –151 MSEK
- Driftkostnad – 2,95 MSEK/år
- 1,25 kr/m<sup>3</sup>

Ozon + sandfilter:

- Investeringskostnad – 142 MSEK
- Driftkostnad – 2,42 MSEK/år
- 1,02 kr/m<sup>3</sup>

## 2.26 Mittsverige Vatten & Avfall AB, kartläggning (förstudie)

Under 2019 - 2020 genomförde Mittsverige Vatten & Avfall i samarbete med WSP Environmental och IVL Svenska Miljöinstitutet en förstudie med syfte att utreda behovet av läkemedelsrening vid de tre största reningsverken i Sundsvall samt vid ett nytt centraliserat reningsverk och om behovet fanns utreda förutsättningar för att bygga ut för avancerad rening vid antingen tre reningsverk eller vid ett stort. Projektet genomfördes med finansiellt stöd av Naturvårdsverket.

Inom projektet genomfördes en påverkansanalys för ytvatten vid utsläpp av läkemedelsrester från avloppsreningsverken (ARV). Omfattningen av påverkan från de tre befintliga reningsverken ställdes mot påverkan av beräknade utsläpp från ett nytt centraliserat reningsverk (Kubikenborg ARV). För detta genomfördes en kartering av läkemedel vid de tre existerande avloppsreningsverken Tivoli, Fillan och Essvik ARV samt ett antal punkter i Sundsvallsfjärden och uppströms ytvatten. Recipientpåverkan beräknades och en riskbedömning för att identifiera de läkemedel som en potentiell avancerad rening behöver ta bort genomfördes. Förutsättningar, dimensionering och kostnader för att bygga ut för avancerad rening vid antingen tre reningsverk eller vid ett nytt stort reningsverk togs fram som beslutsunderlag för framtida beslut.

Karteringen av läkemedelsrester i inkommande och utgående avloppsvatten till Tivoli, Fillan och Essvik ARV visade att reningsgraden är på samma nivå som vid andra svenska reningsverk för de flesta läkemedelssubstanser. Vissa läkemedel renas bort nästan fullständigt och andra mer persistenta substanser tas inte bort eller tas endast bort i väldigt begränsad omfattning. Som kan förväntas av reningsverk som inte har kväverening ligger några hormonhalter i utgående vatten på en högre nivå än för anläggningar med kväverening. Uppströmsprovtagningen visade på signifikant högre halter i sjukhusets avloppsvatten för några läkemedel än vid tillhörande reningsverk. Mängden läkemedel i sjukhusets avloppsvatten är dock lägre än inkommande till reningsverket. Prover indikerade också att älvar kan bidra med läkemedelssubstanser som transporteras från uppströms källor till Sundsvallsbukten.

Den fördjupade recipientutredningen visade att de flesta läkemedelsrester förekommer i så låga halter i utgående avloppsvatten från de befintliga reningsverken att de inte har någon större påverkan på recipienten även vid låga utspädningsgrader. Utifrån tidigare genomförda riskbedömningar baserat på både



effektkoncentration som inte bör överskridas i recipienten (PNEC) samt bedömningsgrunder som är definierade som en del av klassningen av ekologisk status i vattenförekomster (HVMFS 2019:25) identifierades dock fyra läkemedel som en eventuell avancerad rening bör prioritera; etinylöstradiol, östron, oxazepam och diklofenak.

Utifrån den fördjupade recipientutredningen och befintliga miljökrav bedöms omfattningen av utsläpp av läkemedelssubstanser från Fillan, Essvik ARV eller ett framtida centraliserat reningsverk vid Kubikenborg inte leda till en försämring av miljöstatus i recipienterna, varför läkemedelsrening utifrån recipientpåverkan inte bedöms som nödvändig. Resultaten från påverkansanalysen visade att Tivoli ARV står för det största utsläppet av behandlat avloppsvatten i den, av de fyra undersökta, minst tåliga recipienten. Det medför att Sundsvallsfjärden är den vattenförekomst som har mest att vinna på införande av läkemedelsrening eller centralisering till ett nytt ARV. Modellberäkningar av spridning och utspädning av uppmätta utsläppshalter av hormonet etinylöstradiol visade att halter ligger över bedömningsgrunden (HVMFS 2019:25) i stora delar av Sundsvallsfjärden och att det således kan föreligga en risk för negativa biologiska effekter vid dagens utsläpp från Tivoli ARV. För reduktion av etinylöstradiol räcker kväverening långt, men de största vinsterna avseende volymmässig recipientpåverkan för substansen etinylöstradiol beräknades finnas med ett nytt, centraliserat ARV jämfört med att installera kväve- eller kväve- och läkemedelsrening på Tivoli ARV. Oxazepam är inte upptagen i HVMFS 2019:25 men är inom projektet utvald utifrån sitt identifierade PNEC-värde. Modelleringsvisade att vid nuvarande drift riskerar PNEC att överskridas i 8 - 14 % av vattenvolymen i Sundsvallsfjärden. Med läkemedelsrening och en reduktion av oxazepam med 80 % i utgående vatten så minskar denna volym till under 0,05 %.

Målet för implementering av en avancerad rening för reduktion av läkemedelsrester som beskrivs i rapporten har definierats av projektets styrgrupp och är baserad på en genomsnittlig minskning av de uppmätta läkemedlen i utgående avloppsvatten från de befintliga reningsverken med 80 % för 80 % av årsflödet (exkl. bräddningar). Eftersom det antas att kväverening kommer att implementeras (och därmed erhålls en reduktion av hormonerna etinylöstradiol och östron) har oxazepam och diklofenak använts som indikatorsubstanser vid den föreslagna dimensioneringen.

För Fillan, Essvik och Kubikenborg ARV rekommenderas antingen kolfilter (GAK) som avslutande reningssteg eller ozonering som näst sista reningssteg som kompletterande avancerad rening för reduktion av läkemedelsrester och svårnedbrytbara föroreningar. På grund av platsspecifika kriterier rekommenderas inte ozonering vid Tivoli ARV, utan endast en behandling med avslutande GAK-filter anses var relevant vid anläggningen om en läkemedelsrening ska implementeras.

Kostnadsuppskattningar för de olika alternativen visar tydligt att en implementering av läkemedelsrening kan åstadkommas till väsentligt lägre investering om den görs vid ett nytt centraliserat reningsverk. Vid installation av läkemedelsrening vid samtliga avloppsreningsverk blir det mest kostnadseffektiva att installera läkemedelsrening med ozon vid Fillan och Essvik ARV och GAK-filter vid Tivoli ARV (vid befintlig struktur) alternativt ozonering vid Kubikenborg ARV (vid centralisering av avloppsvattenreningen). Investeringskosten uppskattas till ca 70 Mkr för installation av ozonering vid Fillan och Essvik ARV samt GAK-filter vid Tivoli ARV och till >25 Mkr för ozonering vid Kubikenborg ARV. Här utgör framför allt kolfiltret vid Tivoli ARV en signifikant kostnadspost (>40 Mkr). Även driftkostnaderna per år beräknas vara högre för de tre befintliga verken (>5,5 Mkr/år) än för Kubikenborg ARV (>2,8 Mkr/år) på grund av kolfiltret vid Tivoli ARV (ca 3,9 Mkr/år). Den stora besparingen vid implementering av ozonering vid Kubikenborg ARV kommer således både från en lägre investeringskostnad och från en lägre driftkostnad.

De specifika kostnaderna för en avancerad rening som inkluderar både investerings- och driftkostnader vid de tre befintliga reningsverken respektive ett centraliserat verk beräknas till 0,8 kr/m<sup>3</sup> respektive 0,4 kr/m<sup>3</sup>. Jämfört med kostnader för huvudreningen (konventionell rening) så utgör investeringen för en avancerad rening <2 % av totalinvesteringen för Kubikenborg ARV och 9 - 13 % av nyinvesteringen vid de tre befintliga reningsverken, samtidigt som driftkostnaden beräknas öka med 9 - 27 % vid de olika anläggningarna.

## 2.27 Mitt Sverige Vatten & Avfall, Fillan avloppsreningsverk (förstudie)

MSVA har tillsammans med IVL Svenska Miljöinstitutet kompletterat en pågående MBBR-pilot vid Fillan ARV för kväverening (i kallt klimat) med en förstudie i hur en sådan rening skulle påverka rening av hormoner och hormonstörande effekter. Det övergripande målet har varit att öka kunskapen om kväverening och nedbrytning av hormoner vid låga temperaturer och identifiera kunskapsluckor. Denna kunskap ska stödja planering och implementering av reningsprocesser vid höga hormonhalter i avloppsvatten. Sundsvall kommun har i ett tidigare samarbete med IVL utrett förutsättningarna för fullskaleinstallation för rening av läkemedelsrester vid sina tre största reningsverk.

Genomgående under projektperioden observerades det att kväve kunde reduceras med mer än 70 % i genomsnitt. Veckovisa analyser av hormoner och hormonstörande effekter, samt månadsvisa analyser av läkemedelsrester, visade däremot på en stor variation av inkommande halter och reningrader. En genomgående, och förväntad trend, var att halterna av östrogena effekter följde detekterade halter av både östron och östradiol. Halten av etinylöstradiol, däremot, detekterades inte i något av de analyserade proverna under hela projektperioden.

Vid de tillfällen där en reduktionsgrad av hormonerna var närmare 80 %, var det fortfarande höga halter av hormoner i utgående avloppsvatten, vilket bland annat kunde förklaras med höga inkommande halter. Inga tydliga samband mellan höga reduktionshalter av hormoner och kväve eller andra processrelaterade aspekter kunde observeras. Detta resultat föreslår att reduktion av hormoner och kväverening i huvudsak utförs av skilda grupper av mikroorganismer. En högre reduktion av hormoner kunde däremot observeras i filtrerade prover relativt ofiltrerade, något som delvis kan förklara en låg hormonreduktion efter MBBR-processen som vid dessa försök saknade en partikelavskiljning.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att hypotesen kring att kväverening effektivt kan rena bort hormoner i kalla klimat med en MBBR-teknik inte kan bekräftas vid de betingelser som utvärderats i denna rapport. Det kunde inte heller bekräftas när temperaturen ökade med 4 °C i processen eftersom ingen signifikant påverkan på reningsgraden för varken hormoner, hormonstörande effekter eller läkemedelsrester kunde observeras. Utifrån data från denna rapport kan det därför konstateras att vid anläggningar i norra Sverige, där höga hormonhalter utgör huvudproblemet avseende påverkan på recipient, kan en avancerad rening för att ta bort hormoner och deras effekter behövas, åtminstone i de fall där biofilmsprocesser såsom MBBR implementeras.

## 2.28 NSVA, Lundåkraverket (förstudie)

Sweco har på uppdrag av Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp AB (NSVA) genomfört en utredning för ett kompletterande reningssteg på Lundåkraverket i Landskrona för avskiljning av läkemedelsrester från avloppsvattnet. De grundläggande förutsättningarna för uppdraget har varit att förprojektera en anläggning med ozonering och ett efterföljande biologiskt reningssteg. Syftet med förprojekteringen har varit att hitta en lämplig lokalisering och dimensionering av en anläggning, samt ta fram preliminära bygghandlingar och flödesscheman för att kunna kostnadsuppskatta läkemedelsreningen. Kostnadsuppskattningen kommer ligga till grund för ett framtida investeringsbeslut.

För att avskilja läkemedelsrester på Lundåkraverket rekommenderar Sweco att ett ozoneringssteg placeras efter befintligt kemsteg. Ozon rekommenderas att produceras från syre som lagras i tankar på Lundåkraverkets fastighet. Ozonet tillsätts med diffusorer till avloppsvattnet i en kontakttank. Det ozonbehandlade vattnet genomgår sedan en biologisk rening för avskiljning av nedbrytningsprodukter i en MBBR som ligger i anslutning till kontakttanken. Utgående vatten passerar befintlig provtagare för renat avloppsvatten innan det släpps till recipienten. Dimensioneringen av den föreslagna reningsprocessen presenteras i tabellen nedan. Eftersom det finns relativt lite erfarenhet från etablering och drift av denna typ av rening i Sverige har den föreslagna anläggningen dimensionerats utifrån referensanläggningar i Tyskland och Schweiz.

Kostnaderna för anläggningen har beräknats till 45 MSEK. Driftskostnaderna per år för anläggningen har uppskattats till 1,2 MSEK (0,22 kr/m<sup>3</sup>) med dagens belastning på reningsverket och 1,7 MSEK för den

prognostiserade belastningen 2035. Anläggningen förväntas förbruka 380 MWh/år med den nuvarande belastningen och 520 MWh/år 2035. Syreförbrukningen har beräknats till 330 ton/år i dagsläget och 520 ton/år 2035.

Under utredningen har flera frågeställningar dykt upp och lösts med en iterativ design-approach. Detta har resulterat i att lokaliseringen har setts över och ändrats ett flertal gånger. Det finns kvarstående frågeställningar som fortfarande inte är helt utredda och dessa behöver hanteras innan en anläggning handlas upp. De viktigaste frågeställningarna som återstår att lösa behandlar risken för bromatbildning vid ozonering, vilken typ av styrning som är mest kostnadseffektiv, och huruvida en efterföljande MBBR-process är tillräcklig för att bryta ner eventuella transformationsprodukter. Då svenska krav och riktlinjer på läkemedelrening saknas idag går det inte att garantera att den föreslagna anläggningen kommer uppfylla framtida sådana. Det är dock troligt att svenska krav baseras på erfarenheter från Schweiz och Tyskland, såsom denna dimensionering.

## 2.29 NSVA, Öresundsverket (förstudie)

Sweco har på uppdrag av Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp AB (NSVA) genomfört en utredning för ett kompletterande reningssteg på Öresundsverket i Helsingborg för avskiljning av läkemedelsrester från avloppsvattnet. De grundläggande förutsättningarna för uppdraget har varit att förprojektera en anläggning med ozonering och ett efterföljande biologiskt reningssteg. Syftet med förprojekteringen har varit att hitta en lämplig lokalisering och dimensionering av en anläggning, samt ta fram preliminära bygghandlingar och flödesscheman för att kunna kostnadsuppskatta läkemedelsreningen. Kostnadsuppskattningen kommer ligga till grund för ett framtida investeringsbeslut.

För att avskilja läkemedelsrester på Öresundsverket rekommenderar Sweco att ett ozoneringssteg placeras efter befintliga sandfilter. Ozon rekommenderas att produceras från syre som lagras i tankar på Öresundsverkets fastighet. Ozonet tillsätts med diffusorer till avloppsvattnet i två parallella kontakttankar. Det ozonbehandlade vattnet genomgår sedan en biologisk rening för avskiljning av nedbrytningsprodukter i en MBBR för respektive kontakttank. Utgående vatten passerar befintlig provtagare för renat avloppsvatten innan det släpps till recipienten. Dimensioneringen av den föreslagna reningsprocessen presenteras i tabellen nedan. Eftersom det finns relativt lite erfarenhet från etablering och drift av denna typ av rening i Sverige har den föreslagna anläggningen dimensionerats utifrån referensanläggningar i Tyskland och Schweiz.

Kostnaderna för anläggningen har beräknats till 110 MSEK (5,7 kr/m<sup>3</sup>). Driftskostnaderna per år för anläggningen har uppskattats till 4,2 MSEK (0,22 kr/m<sup>3</sup>) med dagens belastning på reningsverket och 5,3 MSEK för den prognostiserade belastningen 2035. Anläggningen förväntas förbruka 1,6 GWh/år med den nuvarande belastningen och 2,1 GWh/år 2035. Syreförbrukningen har beräknats till 1 400 ton/år i dagsläget och 1 900 ton/år 2035.

Under utredningen har flera frågeställningar dykt upp och lösts med en iterativ design-approach. Detta har resulterat i att lokaliseringen har setts över och ändrats ett flertal gånger. Det finns kvarstående frågeställningar som fortfarande inte är helt utredda och dessa behöver hanteras innan en anläggning handlas upp. De viktigaste frågeställningarna som återstår att lösa behandlar risken för bromatbildning vid ozonering, vilken typ av styrning som är mest kostnadseffektiv, och huruvida en efterföljande MBBR-process är tillräcklig för att bryta ner eventuella transformationsprodukter. Då svenska krav och riktlinjer på läkemedelrening saknas idag går det inte att garantera att den föreslagna anläggningen kommer uppfylla framtida sådana. Det är dock troligt att svenska krav baseras på erfarenheter från Schweiz och Tyskland, såsom denna dimensionering.

## 2.30 NSVA, Recolab (fullskala)

NSVA (Nordöstra Skånes Vatten och Avlopp AB) har genom Naturvårdsverket fått bidrag för investering för Recolab i en teknik som har till huvudsakligt syfte att avskilja läkemedelsrester från avloppsvatten. I Recolab behandlar man källsorterat avloppsvatten och vid installation av läkemedelsreningen behövde man ta beslut ifall man skulle behandla enbart klosettvalet (som innehåller majoriteten av läkemedelsresterna) eller om behandlingen skulle allt källsorterat avlopp. En konsult undersökte ett koncept på en integrerad anläggning där

rejekt från matavfalls- och klosettavvattenbehandling behandlas tillsammans med gråvatten med en kombinerad membranfiltrering och ozonering. Konceptet visade sig billigare att drifva än referensalternativet (ozonering av hela avloppsvattnet ihop med biologisk behandling eller ultrafiltrering). Kostnadsreduktionen berodde på läkemedelsrester koncentreras upp med en volymreduktionsfaktor på 4–5 varpå koncentratet behandlas med ozon. Vidare produceras ett permeat av dricksvattenkvalitet. NSVA valde därför att gå vidare med konstruktion av en kombinerad nanofiltrerings- och ozoneringsanläggning.

NCC utförde den pågående byggnationen av Recolab och fick därför i uppdrag att handla upp den valda processlösningen. Den nederländska firman Landustrie fick uppdraget att leverera processutrustning. Leveransen inkluderade en membranlösning i steg vilket möjliggör att testa olika flödesbelastningar samt olika membranförhållanden. Detta ger en god lösning där NSVA har möjlighet att vidareutveckla tekniken för att finna olika behandlingstekniker beroende på önskad kvalitet på permeat, reningsgrad av läkemedelsrester samt energiförbrukning. Koncentratet behandlas med ozon (15 min) innan det återsänds till den biologiska behandlingen.

Installationen påbörjade våren 2020 och skulle vara klart till årsskiftet, men på grund av pandemin blev överlämningen förskjuten till mars 2021. Då driftstarten skjutits fram samt att kostnaderna för installation ökat valde NSVA senarelägga utredning av relationen av TOC mot reduktion av läkemedelsrester (för att kunna styra anläggningen mot TOC).

Kraven på anläggningen kommer vara enligt nedanstående tabeller:

Tabell 1 - Tillåtna utsläppskoncentrationer i dygnsmedelprov.

	<b>Gränsvärde</b>
Turbiditet	≤0,5 NTU
E. coli	0 CFU/100 ml
Enterococcus	0 CFU/100 ml
Coliforms	≤10 CFU/100 ml

Tabell 2. Organiska föroreningar som skall mätas avseende reduktion på 80% massa (48 h medelprov enligt schweiziska riktlinjerna).

<b>Substans</b>	<b>Beskrivning</b>	<b>Kategori</b>
Amisulprid	Läkemedel	1
Karbamazepin	Läkemedel	1
Citalopram	Läkemedel	1
Klaritromycin	Läkemedel	1
Diklofenak	Läkemedel	1
Hydroklortiazid	Läkemedel	1
Metoprolol	Läkemedel	1
Venlafaxin	Läkemedel	1

Bensotriazol	Korrosionsinhibitor	2
Kandesartan	Läkemedel	2
Irbesartan	Läkemedel	2
4-eller 5-metylbensotriazol	Korrosionsinhibitor	2

På grund av önskemål från Helsingborgs stad har NSVA gått vidare med frågan att återvinna vatten av dricksvattenkvalitet från det membranfiltrerade permeatet. Helsingborgs stad önskar utnyttja det återvunna vattnet till en lokal simhall som ska byggas mitt emot anläggningen Öresundsverket och byggnaden Recolab. Under våren 2020 sökte NSVA medel från Länsstyrelsen för säkrad dricksvattenförsörjning för att kunna genomföra en mikrobiologisk barriäranalys samt projektera för utökning av reningssteg i anläggningen för att nå säkerställt skydd. Detta resulterade i ett principförslag som ska projekteras- det nanofiltrerade vattnet ska genomgå ett kompletterande behandlingssteg av ozonering, filtrering genom aktivt kol och behandling av UV-ljus.

### 2.31 NSVA, Kartläggning flera verk (förstudie)

Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp (NSVA) driver 14 reningsverk som tar emot avlopp från totalt 250 000 personer. NSVA har tillsammans med IVL Svenska miljöinstitutet bedömt hur NSVA:s reningsverk påverkar recipienterna avseende utsläpp av mikroföroreningar, samt tagit fram förslag på lämpliga åtgärder för att minska en negativ miljöpåverkan.

Projektet inleddes med en kartläggning av belastning och avskiljning av mikroföroreningar på respektive reningsverk samt vilka halter som återfinns i tillhörande recipienter. Provtagning har genomförts på inkommande och utgående avloppsvatten, samt nedströms i recipienterna och vid behov uppströms. Vattenproven har analyserats för läkemedel, hormoner, fenoler, PFAS11 och östrogena effekter.

Utifrån kartläggningen har en riskbedömning gjorts som visar hur NSVA:s reningsverk påverkar recipienterna med utsläpp av mikroföroreningar. För de reningsverk där en stor risk för negativ recipientpåverkan har identifierats har insatser för att minska miljöpåverkan tagits fram. Dessa åtgärder består både av tekniska insatser, såsom tillbyggnad med avancerade reningssteg, uppströmsarbete och övriga åtgärder, t ex bevakning av den juridiska och vetenskapliga utvecklingen.

De reningsverk där risken för en negativ recipientpåverkan bedömdes som betydande är i fallande ordning (störst risk först): Nyvångsverket, Ekeby reningsverk, Perstorps reningsverk, Ekebro reningsverk, Svalövs reningsverk, Lundåkraverket och Öresundsverket. För dessa reningsverk har konceptuella förslag på avancerade reningssteg tagits fram tillsammans med schablonkostnader och klimatpåverkan. För reningsverken i Torekov, Örkelljunga, Skånes Fagerhult och Kågeröd har icke-tekniska åtgärder föreslagits på grund av ett otydligt underlag eller för att icke-tekniska åtgärder, såsom uppströmsarbete, bedömdes som mer lämpliga.

I rapporten presenteras ett förslag till strategi för NSVA:s fortsatta arbete med att minska påverkan från mikroföroreningar i reningsverkens recipienter. I denna strategi har kostnadseffektiva åtgärder prioriterats, såsom uppströmsarbete på Skånes Fagerhults reningsverk. Även de reningsverk som från ett recipientperspektiv är i störst behov av en ombyggnad, t ex Nyvångsverket, har prioriterats. För de reningsverk där framtida lagstiftning kan påverka kraven, som för Öresundsverket och eventuellt Lundåkraverket, är bevakning av den juridiska utvecklingen en lämplig första insats. I strategiförslaget har även hänsyn tagits till planerade verksamhetsförändringar så att arbete med att minska utsläppen av mikroföroreningar tas med i urvalskriterierna när t ex ett reningsverk byggs om.

<b>Reningsverk</b>	<b>Åtgärdsförslag</b>	<b>Kostnader</b>
Perstorps ARV	Ozonering innan befintlig kemsteg och våtmark	Inv. kost. 6,1 MSEK. CAPEX + OPEX uppgår till 1,0 MSEK vilket ger en kostnad på 1,0 kr /m3 behandlat avloppsvatten.
Oderljunga ARV	Ingen åtgärd	
Örkelljunga ARV	1. Om ombyggnation el annan större förändring – utökad recipientbedömning. 2. Utifrån 1) => förstudie, labb/pilotförsök => tillståndsansökan =>ombyggn.	
Skånes Fagerhults ARV	Initierar en provtagningskampanj där prover tas på reningsverket samtidigt som en genomlysning av påkopplade industrier genomförs avseende användning av kemikalier och hur de internt hanterar spillvatten. I provtagningen bör YES analyseras tillsammans med utvalda ämnen som kan misstänkas förekomma på de påkopplade industrierna.	
Ekebro ARV	1. Tar ett helhetsgrepp kring sammanslagningen med Nyvångsverket. 2. Bevakar utvecklingen av nytt avloppsdirektiv och huruvida Ekebro utifrån detta kan behöva installera ett avancerat reningssteg. 3. Beroende på resultatet från ovan punkt går vidare med en förstudie av behov för och möjligheter med ett avancerat reningssteg utifrån en utökad recipientbedömning. 4. Beroende på ovan resultat går vidare med labbtest eller pilotförsök, tillståndsansökan/ändringsanmälan, projektering och byggnation.	Inv. kost. 11 MSEK. CAPEX + OPEX uppgår till 1,6 MSEK vilket ger en kostnad på 1,4 kr /m3 behandlat avloppsvatten.
Ekeby ARV	1. Om ombyggnation el annan större förändring – utökad recipientbedömning. 2. Utifrån 1) => förstudie, labb/pilotförsök => tillståndsansökan =>ombyggn. Ozon följt av GAK	Inv. kost. 15 MSEK. CAPEX + OPEX uppgår till 2,1-2,6 MSEK vilket ger en kostnad på 5,0-5,9 kr /m3 behandlat avloppsvatten.
Kågeröd ARV	Inkluderar reduktion av hormoner och östrogena effekter i behovsbedömningen vid en framtida ombyggnation. Fler prov på utgående avloppsvatten och eventuellt i recipienten bör då tas för att förbättra underlaget.	
Nyvångsverket	1. Minska PFOS uppströms 2. Helhetsgrepp sammanslagning Ekebro 3. Bevaka nytt avloppsdirektiv 4. Flytt av utsläppspunkt alt. installera avanc. Rening Ozon följt av GAK	Inv. kost. 30 MSEK. CAPEX + OPEX uppgår till 4,4-5,4 MSEK vilket ger en kostnad på 3,0-3,7 kr /m3 behandlat avloppsvatten.
Lundåkraverket	1. Följ nytt avloppsdirektiv 2. Vidare utreda recipient 3. beroende på resultat från 2. installera avanc.rening.  Ozon följt av GAK	Inv. kost. 50 MSEK. CAPEX + OPEX uppgår till 8,3 MSEK vilket ger en kostnad på 1,8 kr /m3 behandlat avloppsvatten.
Röstånga reningsverk	Ingen åtgärd	
Svalövs ARV	1. Om ombyggnation el annan större förändring – utökad recipientbedömning.	Inv. kost. 3,8 MSEK. CAPEX + OPEX uppgår till 0,70 MSEK vilket ger en kostnad

	2. Utifrån 1) => förstudie, labb/pilotförsök => tillståndsansökan => ombyggn. Ozon följt före sandfilter	på 2,35 kr /m3 behandlat avloppsvatten.
Öresundsverket	1. Följ nytt avloppsdirektiv 2. beroende på resultat från 1. installera avanc.rening GAK	Inv. kost. 92 MSEK. CAPEX + OPEX uppgår till 21 MSEK vilket ger en kostnad på 1,2 kr /m3 behandlat avloppsvatten.

## 2.32 Norrtälje Vatten och Avfall AV, Rimbo avloppsreningsverk (förstudie)

Norrtälje Vatten och Avfall AB har i samarbete med Ramboll, IVL Svenska Miljöinstitutet, Sveriges Lantbruksuniversitet och Björleinius Lab AB utrett recipientpåverkan, behov av avancerad rening och integrering av sådan i Rimbos framtida avloppsrening. Avsikten med förstudien var att ta fram beslutsunderlag och en teknisk lösning inför en eventuell investering i rening av läkemedelsrester på Rimbo ARV.

Rimbo ARV har ett tillstånd för 13 200 pe och är dimensionerat för 10 000 pe. Ingående avloppsvatten består av hushållsspillvatten, spillvatten från industrier i området samt vatten från ett större tvätteri. De renade avloppsvattnet leds ut till Vallbyåns strand som rinner ut till Kundbysjön. Befintlig process på Rimbo ARV är mekanisk rening (galler, sandfång och försedimentering), biologisk rening (fördenitrifikation, biobädd och mellansedimentering), biobädd, slutsedimentering och dynasandfilter.

Projektet omfattade en utredning av reningstekniker för läkemedel och olika mikroföreningar på en övergripande nivå för att få fram de tekniker som var mest intressanta för Rimbo ARV. Baserat på teknikutredningen genomfördes pilotförsök med olika tekniska lösningar där utgående avloppsvatten från Rimbo ARV användes som inkommande vatten till pilotanläggningarna. Pilotanläggningen fungerade bra och resultaten bedöms som relevanta som underlag för dimensionering och bedömning av resultat för en fullskaleanläggning. Pilotförsöken gjordes på GAK, ultrafiltermembran (UF) med GAK, ozon med/utan sandfilter samt ozon med efterföljande GAK.

Utvärderingen visar att avskiljningen av kvarvarande läkemedelsrester i dagens utgående vatten kunde uppgå till 95% med aktiverat kol och 90 % med ozonering. Kombinationsprocesser UF+GAK och Ozon+GAK testades i kontinuerlig större labbskala och visade att ultrafilter avlastade kolfiltret från suspenderad substans och minskade TOC- respektive DOC- belastningen med 15%. GAK-filtret behövde inte backspolas. Spolvolymen för UF-enheten var 60% lägre än spolvolymen för ett motsvarande kolfilter utan föregående UF. Avskiljningen av läkemedelsresterna var i samma höga storleksordning som GAK-filtret som inte föregicks av ultrafilter. Kombinationen ozonering + GAK-filter avlastade GAK-filtret från läkemedelsrester och avskiljningen av läkemedelsrester ökade med runt 5% genom kombinationen ozonering + GAK jämfört med enbart aktivt kolfiltrering (GAK). Kombinationsprocessen hade en fördel gentemot enbart GAK-filtrering genom att avskiljningen av oxazepam, klarithromycin och flukonazol förbättrades märkbart, vilket kan vara en fördel om specifika ämnen måste tas bort.

I samband med pilotförsöken genomfördes även recipientundersökning och biologiska försök. Föroreningssituationen i recipienten studerades genom provtagningar på områden upp- och nedströms från Rimbo ARV med vattenprover samt att mäta halter mikroföroreningar i kräfta, abborre, gädda och sarv. De biologiska testerna baserades på ekotoxikologiska tester på zebrafisk, större dammsnäcka samt exponeringsförsök med arter representerandes olika trofnivåer. Risk för negativ påverkan på organismer bedömdes, via beräknade riskkvoter, kunna föreligga avseende exponering för framför allt citalopram och oxazepam. Koncentrationerna av diklofenak och ciprofloxacin, vilka har bedömningsgrunder, låg dock under tillåtna max- och medelkoncentrationer.

Baserat på resultaten från pilotförsöken samt mätning av biologiska effekter hölls en för att besluta om teknikval inför principförslaget. Under workshopen valdes ett antal parametrar ut och betygsattes baserat på resultaten från pilotförsöken, biologiska effekter samt tidigare utredningar inom projektet.

Ozonering med efterföljande sandfiltrering ansågs som mest passande alternativet bl.a. för det lägre klimatavtrycket och det lägre transportbehovet till och från Rimbo ARV (i jämförelse med aktiv kolhantering). Samt lägre specifik kostnad (kr/m<sup>3</sup> behandlat vatten) i jämförelse med de andra teknikerna.

Ozon + sandfilter:

- Investeringskostnad – 33 MSEK
- Driftkostnad – 2,81 MSEK/år
- 1,07 kr/m<sup>3</sup>

### **2.33 Norrtälje Vatten och Avfall AB, Lindholmens avloppsreningsverk (förstudie)**

Norrtälje Vatten och Avfall (NVAA) har utfört en förstudie med mål att ta fram en teknisk lösning för en avancerad rening av läkemedel för möjlig installation vid utbyggnaden av Lindholmens reningsverk. Förstudien bestod av en litteraturstudie, pilotförsök med PAK/GAK och ozon, biologiska tester med fisk och snäcka, utvärdering och fastställande av dimensioneringsparametrar, design- och layoutförslag, investerings- och driftkostnader, samt beräkningar av läkemedelskoncentrationer i recipienten utan och med läkemedelsrening.

Lindholmens reningsverk fick under 2021 utökat tillstånd från 34 000 p till 50 000 pe. Processen består idag av mekanisk, biologisk och kemisk rening. En relativt stor del av belastningen består av septiskt slam från enskilda anläggningar. Förstudien inleddes med provtagning på reningsverket utan någon form av avancerad rening. Den genomsnittliga reduktionen låg på 34%, vilket var något under den förväntade reduktionsgraden på ca 50%.

Pilotförsöken utfördes på utgående vatten från reningsverket med teknikerna ozonering, GAK och PAK. Det kompletterades med ett extra nitrifikationssteg för att i första hand oxidera ammonium så att de ekotoxikologiska testerna inte skulle störas av höga ammoniumhalter. Pilotanläggningen kompletterades även med ultrafilter och UV-enhet för utvärdering av desinfektion. God desinfektion av utgående avloppsvatten kunde uppnås med ozonering, ultrafilter och UV-ljus i fallande resultatordning. Avskiljningen var i medeltal >80% av de analyserade läkemedelsresterna från utgående avloppsvatten renat med GAK eller PAK alternativt ozonering följt av sandfilter. Förbrukning av GAK var 30g/m<sup>3</sup>, PAK 27–33 g/m<sup>3</sup> och ozondosen 7 g O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>. Flukonazol kunde inte avskiljas med ozonering och sulfametoxazol inte kunde avskiljas med aktivt kol. För elva PFAS-substanser reducerades 30–80% beroende på ämne i GAK men ökade upp till 150% med ozonering.

I de ekotoxikologiska testerna (zebrafisk och större dammsnäcka) kunde ingen betydande förbättring ses med avancerad rening (ozonering respektive GAK). Kompletterande celltester på lab påvisade inte heller någon betydande förbättring med avancerad rening, då förekomsten av biologiskt aktiva ämnen kunde uppmätas även efter avancerad rening.

Recipienten för reningsverket är Norrtäljeviken (del av Östersjön). Utspädningen av det renade avloppsvattnet är stor och vid fyra olika provtagningar kunde bara ett par ämnen detekteras och det i en punkt nära utsläppet. Recipientmodellering visade att den största risken för att uppnå effektkoncentrationer av läkemedelsrester finns i några lokala vatten belastade med enskilda avlopp. De ämnen som bör följas upp vidare har de flesta mycket låga effektkoncentrationer: citalopram och venlafaxin. Dessutom bör diklofenak, furosemid, oxazepam och sertralin följas noggrant.

En multikriterieanalys med parametrar som funktion, implementering och drift samt resultat från lab- och pilotdata genomfördes för att finna den mest fördelaktiga tekniken. Även kostnadsbedömningar gjordes. Resultat blev att GAK blir huvudalternativet (dock tätt följt av ozon).

Utifrån multikriterieanalysen samt pilotförsöken togs ett principförslag fram med GAK som reningsalternativ. Inom principförslaget har underlagsdata tagits fram och en dimensionering utförts som grund till ett förslag till utformning av reningssteget, likväl har beräkningar av drift-, investerings- och totalkostnader utförts och redovisats.



Kostnadsbedömning för GAK (2022):

- Investeringskostnad 120 MSEK.
- Driftkostnad: 8,1 MSEK
- Årskostnad (inkl. internränta och avskrivning): 13,2 MSEK vilket motsvarar ca 2,2 kr/m<sup>3</sup>

### **2.34 Nybro Energi, Överstatorp avloppsreningsverk (förstudie)**

Nybro Energi har tillsammans med Sweco utfört en förstudie för Överstatorp ARV för att dels reda ut behovet av rening av mikroföroreningar utifrån en miljöriskbedömning, dels tagit fram två platsspecifika processlösningar.

Överstatorp ARV ligger i Nybro och har en anslutning på 9 000 pe. Reningsprocessen omfattar rengaller, sandfång, biologisk behandling med fosfor- och kvävereduktion, mellansedimentering, flockning och slutsedimentering. Recipienten är S:t Sigfridsån.

En miljöriskbedömning gjordes baserat på tre prov tagna på utgående vatten och analyser av 39 substanser (läkemedel och hormoner samt PFOS och PFOA). Enligt provtagningen släpper Överstatorp ARV ut ungefär 2,0 g läkemedel/pe år. Miljöriskbedömningen utfördes genom att jämföra PEC med PNEC. PEC baserades på analyserna på utgående vatten från avloppsreningsverket till ån och två scenarier för spädning i ån:

- 1) Medelflödescenario – 12 gångers spädning
- 2) Worst case-scenario – ingen spädning (inträffar då och då under sommaren)

Baserat på miljöriskbedömning för medelflödescenariot bedöms behovet av avancerad rening som lågt då endast två ämnen citalopram och oxazepam hamnade i kategorin hög. För worst case-scenariot hamnar sju mikroföroreningar i kategorin hög risk (citalopram, diklofenak, furosemid, oxazepam, sertralin, venlafaxin och PFOA). Av dessa ämnen finns det ett nationellt värde för god status för diklofenak som överskrids i detta scenario. Det rekommenderas därför att en uppföljande studie görs där recipientprovtagning vid olika vattenföringsförhållanden ingår för säkrare underlag.

Vattenmatrisen har analyserats på tre utgående dygnsprover med avseende på kemiska parametrar (t.ex. bromid-, DOC- och SS-halt) som skulle kunna påverka valet av reningsteknik (ozon eller aktivt kol). Analyserna visade att vattenmatrisen fungerar för de båda reningsteknikerna. Gällande den bedömning som gjorts avseende identifierade riskämnen som utgör hög och måttlig risk kan både teknikerna användas, dock är ozon eventuellt mer framgångsrikt om PFAS-ämnen exkluderas.

Den processmässiga placeringen av ett avancerat reningssteg föreslås vara efter slutsedimenteringen. Ozon föreslås kombineras med en biologisk efterbehandling i form av MBBR.

GAK:

- Ytbehov – 520 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad – 67 MSEK
- Driftkostnad – 3,8 MSEK/år
- ~1,3 kr/m<sup>3</sup>

Ozon:

- Ytbehov – 170 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad – 36 MSEK
- Driftkostnad – 0,7 MSEK/år
- 0,24 kr/m<sup>3</sup>

## 2.35 Nässjö Affärsverk AB, Nässjö avloppsreningsverk (förstudie)

Nässjö Affärsverk AB har tillsammans med Sweco utfört en förstudie för att dels uppskatta miljörisk från läkemedelsrester för Nässjö ARVs recipient Nässjöån utifrån en miljöriskbedömning, dels uppskatta miljöriskbedömning för framtiden med utgångspunkt i att ett avancerat reningssteg implementeras. Dessutom har två processlösningar för läkemedelsrening tagits fram inklusive investerings- och driftkalkyler.

Belastningen till Nässjö ARV är ca 23 000 pe. I reningsverket renas vattnet mekaniskt (galler och sandfång), biologiskt (en biobäddslinje och en aktivslamlinje) och kemiskt. Biobäddslinje har försedimentering och mellansedimentering. Aktivslamlinje har endast mellansedimentering. Efter mellansedimenteringarna går vattenflödena ihop och slutrenas i flockningsbassänger och lamellsedimentering.

Provtagning av mikroföroreningar på utgående renat avloppsvatten och nedströms i Nässjöån har utförts under fyra tillfällen mellan november 2022 och februari 2023. Proverna inkluderade analyser av mikroföroreningar, hormoner och PFAS-ämnen. Enligt analyserna uppskattas det årliga utsläppet av de uppmätta mikroföroreningar till ca 60 kg/år inklusive PFAS-ämnen och hormoner vilket motsvarar ca 2,7 g/pe, år (vilket är högre än de normala värdena i Swecos utredningar 0,9–2 g/pe, år). Angående PFAS-ämnen var halten av PFAS11 ca 290 ng/l i utgående avloppsvatten, en svensk studie med 16 ARV hade motsvarande halter mellan 11–101 ng/l, Nässjö ARV ligger således avsevärt högre än de ARV som medverkade i den studien.

Vattenmatrisen har studerats med hänsyn till de kemiska parametrar som kan påverka val av reningsteknik (ozon eller aktivt kol), t.ex. bromid-, DOC och SS-halt. Analyserna visade att vattenmatrisen inte utgör något hinder för vare sig ozon eller GAK. Dock är bromidhalterna något förhöjda vilket medför att det är viktigt att designa processen för att stävja bromatbildningen. Detta kan göras bl. a. genom att använda dysor för inblandningen av ozon i reaktortanken för att undvika höga koncentrationer av ozon. Rekommendation är att följa upp halterna bromid i avloppsvattnet vid verket.

Miljöriskbedömningen utfördes genom PEC/PNEC-kvoter. Flödet i Nässjöån varierar kraftigt och är väldigt lågt under vissa delar av året, främst sommarmånaderna. Detta gör att utspädningen i ån periodvis är låg, ibland är det i stort sett ingen spädning alls, vilket resulterar i höga halter av ett flertal mikroföroreningar i ån. Miljöriskbedömningen visade att de nio mikroföroreningarna azitromycin, citalopram, diklofenak, oxazepam, sertralin, östron, PFOA, PFOS och bisfenol A (BPA) kan utgöra en hög risk för vattenlevande organismer i Nässjöån. Av de mikroföroreningar som kan utgöra en hög risk i Nässjöån finns det bedömningsgrunder/gränsvärden för diklofenak, östron och PFOS, som alltså överskrids i samtliga scenarier för alla ämnen. Det finns även en bedömningsgrund för BPA, men den överskrids inte. Däremot överskrids det föreslagna, ej antagna EU EQS-värdet för BPA, vilket innebär att ämnet kan utgöra en hög risk i Nässjöån.

För att undersöka hur ett reningssteg med ozon eller GAK kan komma att påverka miljörisken för Nässjöån har nya koncentrationer i Nässjöån beräknats där reningen med ozon respektive GAK beaktats. Nya PEC/PNEC-värden har därefter beräknats. Resultaten visar att både ozon och GAK minskar antal ämnen som utgör hög risk eller måttlig. Dock är det fortfarande flertalet ämnen som även efter rening med ozon eller GAK utgör hög risk för recipienten, dessa inkluderar oxazepam, citalopram, hormonerna östron och östradiol, PFOA, PFAS samt bisfenol A, baserat på den nya föreslagna miljö kvalitetsnormen. Att dessa ämnen fortfarande utgör en risk beror dels på höga utkommande koncentrationen, dels på den låga utspädningen i Nässjöån.

Förutom kemiska analyser utfördes även effektbaserade analyser i celler på utgående avloppsvatten och recipienten. Uppmätt östrogen aktivitet (ER-aktivitet) i Nässjöån visar värden som ligger långt över riktvärdet för ER-aktivitet (400 pg E2-ekv/L) och nuvarande bedömningsgrund för östradiol för inlandsytvatten (400 pg östradiol/L) vid alla provtagningar. Jämförelse mellan kemisk analys av ämnen med östrogen effekt och ER-aktivitet visar att endast 0–12 % av de uppmätta ER-aktiviteterna i utgående avloppsvatten från Nässjö ARV respektive 1–6 % i recipientproverna kan förklaras med kemisk analys.

Dimensionering av ett reningssteg för läkemedel och andra mikroföroreningar har utgått från att någon av två etablerade teknikerna ozonering eller aktivt kol med GAK används. Nässjö ARV håller etappvis på att byggas

om för att klara ökad belastning och nya krav. Eftersom det ännu inte är bestämt exakt hur den nya processen kommer att se ut efter ombyggnationen är det svårt att avgöra vart i processen det är mest fördelaktigt att placera ett ozoneringssteg. Det kan antingen placeras direkt efter den biologiska reningen och innan lamellsedimenteringen, förutsatt att susp-halterna ut från det biologiska reningssteget är tillräckligt låga. Om ett efterpoleringssteg i form av ett filtersteg tillkommer föreslås ozoneringen placeras efter lamellsedimenteringen och innan flockning och filtersteg. En GAK-anläggning placeras efter det sista partikelavskiljande steget, i detta fall lamellsedimenteringen så som anläggningen ser ut idag. Om ett filtersteg skulle tillkomma placeras GAK-filter efter filtersteget.

GAK:

- Ytbehov – 500 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad –87 MSEK
- Driftkostnad – 4,4 MSEK/år
- 1,03 kr/m<sup>3</sup>

Ozon:

- Ytbehov: 200 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad –48 MSEK
- Driftkostnad – 1,5 MSEK/år
- 0,36 kr/m<sup>3</sup>

## 2.36 Region Gotland, Visby reningsverk (förstudie)

Region Gotland har tillsammans med IVL Svenska Miljöinstitutet gjort en förstudie för att utreda förutsättningarna för en fullskaleinstallation för att minska utsläppen av läkemedelsrester till recipienten samtidigt som avloppsvatten kan recirkuleras. Behovet av att kunna recirkulera vatten är stort på Gotland då vattentillgång inte är tillräcklig och tidvis finns det behov av att förstärka med ytterligare vattenresurser.

För projektet användes en pilotinstallation med avancerad membranteknik vid Visby reningsverk för återvinning av renat avloppsvatten. Retentatet som uppstod vid piloten var då koncentrerad med läkemedelsrester och det i sin tur behandlades i olika piloter vid reningsverket och vid Hammarbysjöstadsverk för analys av lämpligast metod. Fördelen med att behandla retentatet är att volymen är betydligt mindre än det ursprungliga vattenflödet och koncentrationen av mikroföroreningar som läkemedel är betydligt högre.

För återcirkulering av vatten användes först en MBR-pilot som följdes av omvänd osmos (RO), men efter problem med MBR-piloten byttes den ut mot ultrafiltrering. De undersökta teknikerna för behandling av retentat i syfte att reducera läkemedelsrester var GAK, ozonering och väteperoxid i kombination med UV (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV). Testerna visade att läkemedelsresterna kunde effektivt reduceras från retentatet med H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV och GAK samtidigt som ozonering inte visade samma positiva resultat. Utifrån pilottesterna kunde en grov kostnadsuppskattning göras som visade på att en GAK-lösning skulle vara mest kostnadseffektiv.

Vid en hög H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV-dos renades minst 60% av resterna bort, de flesta över 90%. Totalmängden läkemedelsrester reducerades med 98% vid den högsta dosen. Resultaten visade också att reningseffekten ökade signifikant med ökande dos H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> medan ökningen av reduktion av ökad UV-dos var mindre signifikant. För ozonering krävdes höga ozon-doser på 20 mg O<sub>3</sub>/l för att få hög reduktion. För vissa substanser som till exempel Oxazepam, Atenolol och Metoprolol krävdes doser över 30 mg O<sub>3</sub>/l för att kunna uppnå en betydande reduktion. För GAK som utfördes genom kolonnstest med tre kolonner i serie visade resultaten att i mätbara halter kunde detekteras efter andra och sista kolonnen. För den första kolonnen kunde en reduktion på ca 80% för 18 av 23 substanser. För några substanser som Clarithromycin, Erythromycin, Fluconazole, Losartan och Sulfamethoxazole var reduktionen lägre än 80% över den första kolonnen. Vid användning av filter i serie kan reduktionen låtas sjunka till 50–60% av den första kolonnen för att få en genomsnittlig reduktion på 80% över

alla filter över tid. Retentat är mer koncentrerat men med filter i serie skattas kolbehovet till ca 20 g/m<sup>3</sup> för 2-filter-serie och ca 13 g/m<sup>3</sup> för 3-filter-serie.

Förstudien har visat att det går att återvinna vatten av dricksvattenkvalitet samtidigt som det går att få en effektiv rening av läkemedelsrester från RO-retentat.

### **2.37 Ronneby Miljö och Teknik AB, Bräkne-Hoby avloppsreningsverk (fullskala)**

En fullskaleanläggning för rening av läkemedelsrester samt PFAS/PFOS har installerats vid Bräkne-Hoby ARV. Anledningen till att installera en fullskaleanläggning vid Bräkne-Hoby ARV i Ronneby kommun är att dels har läkemedelsrester påvisats i avloppsvattnet, dels är recipienten Hanöbukten en viktig naturresurs med betydande fiske och sandstränder för rekreation. Bukten har dokumenterade miljöproblem

Utgående behandlat avloppsvatten från reningsverket leds till reningsanläggningen där reningen av läkemedelsrester sker genom följande steg: vattnet passerar först ett sandfilter varefter det pumpas vidare till en reaktortank för ozonering (dos 3–5 g/m<sup>3</sup>) och slutligen passerar vattnet ett aktivt kol-filter. Anläggningen har varit i bruk sedan december 2020 och provtagning på vatten före och efter reningsanläggningen för läkemedelsrester har utförts under perioden januari till oktober 2021. Ronneby Miljö och Teknik AB har även installerat en pilotanläggning vid avloppsreningsverket i Rustorp för utvärdering. Arbetet vid anläggningarna är två olika projekt men vissa slutsatser och lärdomar har använts vid arbetet med den fullskaliga anläggningen.

Målet för anläggningen är att uppnå en reduktionsgrad på 80 % för utgående halter av läkemedelsrester. Från analysresultaten under perioden januari till oktober 2021 går det att konstatera att halterna av läkemedelsrester är ökande i utgående vatten under den andra delen av undersökningen (ca juli till oktober). En anledning till detta kan bero driftproblem vid ordinarie reningsverk pga. slamflykt och försämrad biorening. De läkemedelsrester som annars skulle ha bundits till slammet hamnar i anläggningen för läkemedelsrening i stället. Liknande resultat kan ses för PFAS/PFOS men med en skillnad i sammansättningen avseende inkommande/utgående vatten då det i vissa provtagningssomgångar påvisats högre halter i utgående vatten än i inkommande vatten.

I princip reducerades läkemedelsresterna till 100 % för samtliga analyserade parametrar. För PFAS/PFOS kunde en tydlig rening ses men ej lika hög som för läkemedelsresterna. Detta beror dels på då vissa PFAS-parametrar var under detekteringsgränsen på både inkommande och utgående vatten. Två typer av fenoler (4-nonylfenol samt 4-tert-oktylfenol) analyserades vid anläggningen men kunde inte påvisas varken på inkommande eller utgående vatten.

### **2.38 Ronneby Miljö och Teknik AB, Rustorps avloppsreningsverk (förstudie)**

Ronneby Miljö och Teknik AB har haft ett pilotprojekt under 12 veckor för behandling av avloppsvatten med ozon och GAK i syfte att undersöka möjligheten till läkemedelsrening.

Rustorps ARV har sitt utlopp i Hanöbukten som är en viktig naturresurs med betydande fiske och sandstränder för rekreation. Bukten har dock dokumenterade miljöproblem som är omfattande och pågående. Bland annat syns detta på halter av miljögifter som påvisats i infångad fisk och läkemedelsrester har pekats ut som en möjlig orsak till detta.

Inkommande vatten till pilotanläggningen pumpades från avloppsreningsverket utgående vatten som efter flotationsanläggning släpps till recipient. Pilotanläggningens första steg var ett trumfilter för att minska mängden suspenderade ämnen innan ozonbehandling och GAK. Det visade sig svårt för trumfiltret att nå ned till målvärdet på 5 mg/l. Efter trumfiltret pumpas vattnet vidare till ozonanläggningen som bestod av en statisk mixer, kompressor, syregenerator, ozongenerator samt reaktortank. Efter att vattnet passerat ozonsteget leds vattnet vidare till kolfiltret som är det sista steget innan vattnet går vidare till slutsedimenteringsbassängen. Uppehållstiden i kolfiltret dimensionerades till ca 10 min.

Målet med ozonbehandlingen är att ca 60% av läkemedelsresterna ska vara nedbrutna. För hela anläggningen var målet ca 80% av läkemedelsresterna ska brytas ner.

Provtagningen över pilotanläggningen skedde på fyra olika punkter. Vattenproverna har sedan analyserats främst med avseende på läkemedelsrester och PFAS men även COD och turbiditet då dessa påverkar reningsanläggningens funktion. Reningen i pilotanläggningen har visat sig vara effektiv främst för läkemedelsrester vid en tillförd ozonhalt på ca 7 g/m<sup>3</sup>.

Då trumfiltret inte renade ned till önskad halt suspenderade ämnen har detta högst troligt påverkat mängden ozon som behövs och kolets förmåga att absorbera läkemedelsrester och PFAS. Drifterfarenheter från pilotanläggningen till en eventuell fullskalig anläggning är att använda sandfilter i stället för trumfilter samt kontinuerliga GAK.

Pilotanläggningen nådde till önskat resultat på 60% reduktion efter ozon och 80% reduktion efter GAK.

Investeringskostnader för en fullskalig anläggning (med sandfilter i stället för trumfilter):

Ozon+GAK:

- Investeringskostnad – 84 MSEK
- Driftkostnad – 1,5–3,0 MSEK/år

### **2.39 Roslagsvatten AB, Margaretelund avloppsreningsverk (förstudie)**

Roslagsvatten AB har i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet och DHI genomfört en förstudie med huvudsakligt syfte att utreda förutsättningarna för en fullskalig installation av avancerad rening vid Margaretelund ARV.

Projektet har baserats på provtagningar vid reningsverket under ett helt år samt provtagningar och modellering av recipienten Trälhavet. Resultaten har visat att belastningen av mikroföroreningar varierar över året. Även variationer i reningseffekten för dessa olika föroreningar kunde observeras och ämnen som inte kan tas bort tillräckligt i dagens reningsverk identifierats. Förstudien indikerar dessutom tydligt att Trälhavet inte verkar påverkas negativt av emissioner från Margaretelund ARV med avseende på läkemedel, hormoner och hormonstörande effekter eftersom inga av dessa föroreningar kunde detekteras i recipienten. Existerande och eventuella framtida gränsvärden för recipientklassningen överskrids inte heller. För PFAS kan dock en tydlig negativ recipientpåverkan konstateras med bl.a. tydliga överskridande av miljökvalitetsnormen för PFOS. Dock kunde projektet även konstatera att reningsverkets bidrag med PFAS endast utgör en mindre del av PFAS-tillförseln till recipienten. Även för Bisfenol A kunde en viss negativ påverkan av recipienten observeras som dock också beror på andra bidrag av Bisfenol A än via utloppet från reningsverket. Både för PFAS och Bisfenol A kunde Åkers kanal identifieras som en viktig transportväg till Trälhavet utan att specifika källor för mikroföroreningarna kunde pekats ut. För hormoner är påverkan till viss del osäker eftersom dagens analysmetoder inte tillåter en analys i relevanta haltområden. Med den antagna minsta utspädningen av utgående avloppsvatten och uppmätta halter bedöms dock en negativ påverkan som relativt liten.

Den modellerade andelen av läkemedel som Margaretelund ARV bidrar med i de två mest påverkade områden i recipienten ligger på <15 %. Den största delen av den uppmätta halten läkemedel i området utgörs således av andra källor. Även för PFOS visar modelleringen att reningsverkets bidrag till halten i recipienten är försumbar. Modelleringen för ett framtidsscenario med ett eventuellt lägre gränsvärde för diklofenak i vattenförekomsten indikerar något högre risk att totalhalten av diklofenak i vattenförekomsten överskrids.

Baserat på recipientbedömningen och utvärderingen av mikroföroreningar över reningsverket bedöms inte heller ett tydligt behov för implementering av en avancerad rening vid anläggningen föreligga. Ifall en avancerad rening ändå kommer att övervägas för att avlägsna mikroföroreningar bedöms två teknikalternativ

mest relevanta ihop med den framtida processlösningen med MBR-teknik – kompletterande tvåstegs GAK alt. en dosering av PAK till MBR-processen.

PAK:

- Investeringskostnad –3,5 MSEK
- Driftkostnad – 2,25 MSEK/år
- 0,22 kr/m<sup>3</sup>

GAK:

- Ytbehov: 750 m<sup>2</sup> (area GAK-filter 200 m<sup>2</sup>)
- Investeringskostnad –35 MSEK
- Driftkostnad – 4,7 MSEK/år
- 0,46 kr/m<sup>3</sup>

## 2.40 Simrishamn/Österlen VA AB, Kiviks nya ARV (fullskala)

Österlen VA AB har fått bidrag för investering av läkemedelsrening i samband med byggnationen av Kiviks nya avloppsreningsverk.

Simrishamns kommuns VA-organisation, nuvarande Österlen VA AB, hade fått tillstånd för reningsverket redan 2017 men i och med erfarenheter av avancerad rening vid Stengårdens reningsverk samt att organisationen ville ställa om tankesättet av ett reningsverk – går från avfallsanläggning till produktionsanläggning - hade man fått in nya drivkrafter för det nya reningsverket. Samtidigt tog kommunfullmäktige beslut om cirkulär vattenrening.

För att kunna installera avancerad rening drogs två parallella delar i gång – projektering av reningsverket och bearbetning av Länsstyrelsen så att en rad anmälningsärenden kunde göras i stället för att söka ett nytt tillstånd. Bland annat innebar ändringarna nya villkor för verksamheten (och de två aktiva kolfiltren):

*Provtagning av föreslagna 15 ämnen, Estrone, Estradiol, Etinyestadiol, Clarithromycin, Trimethoprim, Ciprofloxacin, Citalopram, Carbamazepine, Tramadol, Oxazepam, Venlafaxine, Diclofenac, Naproxen, Atenolol och Metoprolol (3 hormoner, 3 st antimikrobiella, 5st neurologiska, 2 smärtstillande och 2 kardiovaskulära se bilagor) valda utifrån persistens, biologiska- och kemiska egenskaper, samt att det visat sig att de förekommer i relevanta halter. Provtagning i fråga ska ske sex gånger jämnt fördelat över året, av inkommande spillvatten till reningsverket samt utgående renat spillvatten till recipient. För att bedömning av kolfiltrets kapacitet och utbytesbehov av filtermassa och dess egenskaper ska kunna möjliggöras, kan provtagningsfrekvensen behöva höjas då förekomsten av mikroföroreningar påtagligt ökar. Frekvensen på den utökade provtagningen ska stämmas av med sakkunnig.*

Systemlösningen för reningsverket blev MBR + 2 aktivkolfiltre. Andemeningen för Österlen VA AB är att ha tre fullskaleanläggningar med olika avancerad rening för att möjliggöra testbäddar för forskning och utveckling. Organisationen valde att detaljprojektera själva för att ha kontroll och styrning av process och produkter. För utförandeentreprenaden handlades en entreprenör upp (Malmberg Water AB) och arbetena påbörjades hösten 2019. Våren 2020 slog pandemin till men projektet kunde utföras bra ändå med lite fördröjningar i tid på sluttampen då material och personal från Tyskland blev kvar på hemmaplan. När idrifttagning närmade sig hittades två fel i underlaget, dels hade två bassänger skiftat namn på ritning, dels krockade två huvudmatningar med en befintlig takstol. Detta orsakade tidsförskjutning på fyra veckor för åtgärder. Anläggningen stod ändå i sig klar enligt plan och alla kostnader var upparbetade förutom de 5% av entreprenadsumman som hölls till slutbesiktning.

Anläggningen är nu i fullt bruk. Dock kommer vissa justeringar behöva göras. Utbildning av bolagets personal är gjord men det kommer troligen att behöva anställas ytterligare personal för att köra enbart detta reningsverk. Analyspaketet har växt pga. Huber levererat krav på analyser för att deras garantier ska upprätthållas. Under byggnationsåret har bakgrundsanalyser gjorts varje månad och ska fortsätta att tas ett år för att kunna möjliggöra jämförelse mellan innan och efter byggnation.

Utöver denna bidragsfinansierad investering ingår Kiviks ARV i ett antal studier:

- SVU-projekt: Kan avloppsvatten bli vårt framtida dricksvatten? – en utvärdering av processkombination MBR+GAK
- SVU-projekt: Juridiska utmaningar när avloppsvatten blir tekniskt vatten
- Projekt Region Skåne om lärdomar och utarbete underlag för testbäddar.
- Doktorandprojekt (Lunds universitet, Linköpings universitet och RISE) – cirkulära lösningar i smart symbios där Simrishamn är ett case för cirkulär vattenanvändning- och hantering
- Linköpings universitet – projekt för sistaårsstudenter om förutsättningar för cirkulära vattenflöden, en fallstudie i Simrishamns kommun gällande regionens vattenproblematik.

## **2.41 Simrishamns kommun/Österlen VA AB, St Olofs ARV, (fullskala)**

Då Simrishamn redan har två reningsverk med läkemedelsrening valdes en reningsprincip för St Olofs ARV som inte fanns på någon av de andra reningsverken. Då St Olofs sedan tidigare ingått i forskningsprojektet KASK/LUSKA kunde utredning för val av teknik använda sig av denna bakgrundsdata. Recipienten är dessutom viktig att skydda ur känslighetssynpunkt. Ingen tillståndprocess behövdes göras utan endast en ändring till Ystad-Österlenregionens Miljöförbund.

Projektet handlades upp som en totalentreprenad där Österlen VA själva upprättade förfrågningsunderlag med handlingar och kravspecifikation utifrån tidigare erfarenheter. Den upphandlade entreprenören stod för detaljprojekteringen. April 2021 påbörjades entreprenaden och projektet har flutit på enligt plan och anläggningen är nu i fullt bruk. Reningsanläggningen består av ett sand- och kolfilter.

Bakgrundanalyser har gjorts varje månad under byggnationsåret och analyserna kommer fortsätta en gång i månaden ett år efter färdigställande för att analysera före och efter. Då det finns så pass mycket analysdata historiskt är analyspaketet utökat för att matcha bakgrundsdata samt så har två ytterligare analyspunkter lagts till, upp- och nedströms reningsverket.

## **2.42 Sorsele kommun, Sorsele reningsverk (fullskala)**

Med hjälp av Mellifiq har en fullskaleanläggning anlagts vid Sorsele reningsverk. Recipienten till reningsverket är Vindelälven som nedströms, inkl. biflöden, leder till ett antal vattenskyddsområden samt så ligger älven under ett flertal direktiv som t.ex. ”Riksintresse för vattendrag” och ”Fiskevattendirektivet”.

En kartläggning av läkemedelshalterna i reningsverket innan implementation och efter rening i pilotskala har utförts. 51% av den totala mängden läkemedel renas bort i reningsverket (totalt 1,26 kg/år). Fullskaleanläggningen dimensionerades utifrån förstudien med visionen att reducera läkemedel till 80%.

Medelflödet genom reningsverket är 16 m<sup>3</sup>/h med en markant flödestopp under sommarmånaderna pga. smältvatten. Fullskaleanläggningen som implementerades vid reningsverket är dimensionerat med hydraulisk kapacitet för samtliga årstidsbundna flödesvariationer (med möjlighet till bräddning).

Det installerade systemet består av pumpning av renat vatten efter slutsedimentering till sandfilter, sedan vidare pumpning till ozonering och som slutsteg poleras vattnet i GAK-filter.

Kartläggning av läkemedelshalter efter installation visade på en 96% reningsgrad. I inkommande vatten till reningsverket återfanns tre högrisk-läkemedel - oxazepam, metoprolol och trimetoprim. Efter läkemedelsreningen återfanns endast oxazepam som inte kunde renas helt.

## **2.43 Storumans kommun, Stensele avloppsreningsverk (fullskala)**

Storumans kommun har tillsammans med Mellifqi drivit ett investeringsprojekt för implementering av en fullskalig läkemedelsrening vid Stensele avloppsreningsverk. Projektets första del bestod av en kartläggning av läkemedelsrester vid reningsverket. Därefter dimensionerades, installerades och integrerades läkemedelsreningssteg som komplement till reningsverkets befintlig processteg. En ny processbyggnad för det nya reningssteget uppfördes.

Stensele ARV behandlar avloppsvatten från Storuman och Stensele samhällen, med en tillståndsgiven belastning på 4 000 pe. Reningsverket är ett så kallat direktfällningsverk, med andra ord finns inget biologiskt steg i reningsprocessen. Efter grovrening med roterande sil går rensat till förbränning och avloppsvattnet behandlas kemiskt med fällningskemikalien ALG. Avloppsvattnet fördelas på två parallella flockningsbassänger och som sista steg förs vattnet vidare till två parallella flotationsbassänger. Det renade vattnet leds slutligen till recipienten. Vid behov kan även klorering med natriumhypoklorit utföras.

I SMED rapport nr 7 2018 uppskattades Stensele ARVs utsläpp av t.ex. diklofenak utifrån inköpta läkemedel i länet, reningsverkets storlek samt en schablonsiffra på reningsgraden. Enligt uppskattningen skulle koncentrationen av diklofenak ligga på 913 ng/l i utgående avloppsvatten. Avsaknaden av ett biologiskt steg kan påverka reningsverkets upptagning/nedbrytning av läkemedel negativt.

Den projekterade anläggningen för läkemedelsrening bestod av sandfiltrering som förbehandling (för avskiljning av partiklar), ozonering samt GAK.

Innan byggandet av läkemedelsrening kartlades läkemedel vid reningsverket. 31 av 101 analyserade läkemedelssubstanser identifierades. Den totala mängden vid inloppet var 144 135 ng/l och vid utloppet var halten 17 018 ng/l. Detta innebär att reningsverket släppt ut ca 9 kg läkemedel till recipienten varje år. Denna mängd är hög i jämförelse med tidigare kartläggning och projekt, men inte oväntat då Stensele ARV saknar ett biologiskt reningssteg. Läkemedel med högst utgående halter var metoprolol, ceterizine och losartan.

Efter kartläggningen/förstudie projekterades läkemedelsreningssystemet samt även en ny byggnad för att hysa den nya reningen. Efter godkänt bygglov och tekniskt samråd påbörjades byggandet. På grund av långa leveranstider och kostnadsökningar till följd av Corona-pandemin och kriget i Ukraina samt att utvändiga VA-installationer för att koppla ihop befintligt ARV med läkemedelsreningen inte blev klart innan tjäleperioden försenades idrifttagningen och utvärderingen av den nya reningsprocessen.

Dimensioneringen genomfördes i huvudsak med avseende på reningsgrad och flöde. Målsättningen var 80% reningsgrad av läkemedelssubstansinnehåll. Maximalt flöde som systemet skulle kunna ta var 80 m<sup>3</sup>/h. Befintligt verks dimensionerade flöde är 75 m<sup>3</sup>/h, vilket innebär att ca 70% av det totala årsflödet kan behandlas i läkemedelsreningen.

I samband med implementeringen av ytterligare läkemedelsreningssteg uppdaterades även miljötillståndet för reningsverket. Då ändringarna vid Stensele innebär en positiv påverkan på miljö erhöles uppdaterat miljötillstånd.

Diskussionspunkter från projektet:

- Entreprenadform – börjades som en utförandeentreprenad med omvandlades i slutet av projekteringen till en totalentreprenad.



- Uppsatta tider och kostnader blev svåra att hålla på grund av det osäkra marknadsläget till följd av covid19-pandemin samt Ukrainakriget. Även att allt markarbete inte hann klarts innan tjäle försenade projektet ytterligare.
- På grund av tidsförseningen har ingen utvärdering av reningseffektivitet för läkemedel hunnits göra innan rapportinlämning.

## 2.44 Strömsunds kommun, Strömsunds avloppsreningsverk (förstudie)

Strömsunds kommun har tillsammans med teknikleverantören Envix Nord AB utfört en pilotstudie med en oxidationsprocess – elektro-peroxon (*E-peroxon*) för att behandla utgående avloppsvatten från oönskade läkemedelsrester.

Strömsunds ARV renar avloppet från 7 000 pe och reningsverket består mekanisk rening, sandfång och biologisk rening med MBBR samt eftersedimentering. Det dimensionerade flödet är 150 m<sup>3</sup>/h och den installerade piloten kunde ta ett flöde på 9 m<sup>3</sup>/h. Piloten på gick under fyra säsonger för att undersöka reningsgraden under varierande omgivningsförhållanden, flöden och kvalitet på inkommande avloppsvatten. Som jämförelse har resultaten från E-peroxon jämförts med ozon-behandlat vatten.

Utvärderingen har baserats på analyser för ett relevant urval av 98 olika läkemedelssubstanser och 2 benzotriazolier med analys på både obehandlat och behandlat avloppsvatten för beräkning av reningseffekt. Utvärderingen har även bestått i biologiska analysmetoder (analys av både akut toxicitet och subletala effekter) för att utreda eventuella oönskade effekter av obehandlat och behandlat avloppsvatten.

Av 100 analyserade substanser detekterades 43 st vid något tillfälle i orenat avloppsvatten efter de konventionella reningsprocesserna. Baserat på medelvärden uppskattas ca 0,11 kg läkemedelsrester avrinna till recipienten varje dag vilket motsvarar ca 40 kg per år. Skulle alla typer av läkemedel som försäljs i Sverige (ca 1200 substanser) analyseras på motsvarande sätt skulle mängden utsläppta läkemedel öka betydligt, men går i dagsläget inte att kvantifiera.

Resultaten från förstudien visar att E-peroxon uppnår en reningsgrad för detekterade läkemedelssubstanser i spannet 86–94 % för alla säsonger. Små säsongsvisa variationer påvisades och metoden fungerade robust under alla förhållanden med mycket hög reningsgrad. Ingen bromatbildning kunde noteras varken vid E-peroxone eller ozonbehandling.

Den akuta toxiciteten sjönk väsentligt genom E-peroxonbehandling jämfört med enbart konventionellt behandlat avloppsvatten. Ca 55 % mortalitet uppmättes i obehandlat vatten vilket reducerade till ca 25 % genom E-peroxonbehandling. Akut toxicitet minskade även som förväntat genom ozonbehandling, men reduktionen var inte lika stor. Vid analys av upp- och nedreglering av specifika gener som utgjort biomarkörer för att påvisa subletala effekter var det svårt att utläsa signifikanta skillnader mellan obehandlat avloppsvatten och behandlade prover. Sammantaget uppvisar förstudien mycket hög reningsgrad för den implementerade tekniken. Energiåtgången beräknas inte heller skilja sig väsentligt jämfört med ozonbehandling utan det har i förstudien uppvisats uppenbara fördelar med E-peroxon jämfört med ozonering.

## 2.45 SYVAB, Himmerfjärdsverket (förstudie nr 1)

Syvab genomförde under december 2018-november 2019 en förstudie för läkemedelsrening på Himmerfjärdsverket, till stor del finansierad av Naturvårdsverket. Syftet med projektet var att ta fram beslutsunderlag inför en eventuell investering i rening av läkemedelsrester på Himmerfjärdsverket samt att sprida kunskap om rening av läkemedelsrester.

Projektet inleddes med en teknikutredning, där ett antal tekniker utreddes översiktligt med avseende på bland annat teknikmognad, ekonomi (i grova drag), reningseffekt, logistik, miljö samt kompatibilitet med det framtida Himmerfjärdsverket. Här ingick även erfarenheter från tidigare pilotförsök vid Himmerfjärdsverket. I

detta skede fastslogs även dimensionerande flöde för läkemedelsreningen. Utifrån teknikutredningen fattade projektets styrgrupp beslut om att gå vidare med ett principförslag för filtrering av utgående vatten från den framtida MBR-anläggningen med granulerat aktivt kol (GAK). Beslut togs även att utforma anläggningen med filter i två steg, eftersom detta bedömdes öka livslängden på det aktiva kolet så mycket att det uppväger en ökad investeringskostnad. Principförslaget omfattar en ny anläggning öster om befintligt bassängblock. Anläggningen är utformad som gravitationsfilter i två steg med mellanpumpning. Placeringen innebär behov av pumpning till anläggningen. Investeringskostnaden för GAK-filteranläggningen bedöms till 433 MSEK. Den totala årskostnaden bedöms till 58–89 MSEK eller 1,0–1,5 kr/m<sup>3</sup> (stort spann pga. osäkerhet kring livslängd för aktivt kol). Detta innebär en ökning med ca 20–30 % jämfört med Syvabs framtida kostnader med utbyggd MBR (5,0 kr/m<sup>3</sup>).

Förekomsten av läkemedelssubstanser och andra mikroföroreningar i Himmerfjärdsverketsutgående avloppsvatten samt recipienten analyserades under projektet. Provtagningar genomfördes vid tre tillfällen under februari-juli 2019 i inkommande och utgående avloppsvatten samt i två punkter i recipienten. En utspädningsfaktor i storleksordningen 100 från reningsverket till Himmerfjärden definierades i projektet baserat på flödesbalanser, vattenutbyte i fjärden med yttre skärgården och på provtagningar i recipienten under projektet.

Olika riskbedömningar som gjordes, delvis baserat på ny kunskap som sammanställdes inom projektet, tyder på att en extra rening för läkemedelsrester vid Himmerfjärdsverket kan vara motiverat.

Den riskbedömning som genomförts och baserats på riskkvoter i recipienten visade på att samtliga analyserade substanser, förutom fyra, hade en riskkvot under 0,1 i recipienten, vilket indikerar låg risk. För att uppnå en riskkvot <1 för samtliga analyserade substanser skulle det krävas ytterligare 98% reduktion med avseende på Citalopram, 53% med avseende på Oxazepam och 20% med avseende på Ranitidine. Avsaknaden av kroniska effektstudier för Citalopram och Ranitidine innebär dock väldigt höga säkerhetsfaktorer, och att försöka uppnå en riskkvot <1 för dessa substanser kan därmed inte vara motiverat med dagens kunskapsläge och kompletterande effektstudier rekommenderas. En riskbedömning baserad på klassningen av ekologisk status av recipienten visar att halten av Diklofenak i recipienten efter utspädning ligger väldigt nära gränsvärdet. Beräknad halt i recipient efter utspädning är 0,00913 µg/l och gränsvärdet i kustvatten enligt HVMFS 2013:19 är 0,01 µg/l (årsmedelvärde). Detta indikerar att Syvab skulle kunna få krav på utökad rening av Diklofenak, redan med dagens krav på utsläppshalter, oavsett om det skulle införas särskilda krav för rening av läkemedelsrester eller inte.

## **2.46 SYVAB, Himmerfjärdsverket (förstudie nr 2)**

I juni 2019 beviljades Syvab (Sydvästra stockholmsregionens va-verksaktiebolag) 10 784 124 kr i bidrag från Naturvårdsverket (NV-03803-19) inom anslag 1:11, ap. 1 (utgiftsområde 20) för en förstudie med huvudsakligt syfte att utreda förutsättningar för en fullskalig installation av teknik för rening av läkemedelsrester från avloppsvatten.

Projektet genomfördes av Syvab i samarbete med Ramboll och IVL Svenska Miljöinstitutet. Projektiden varade från september 2019 till februari 2021 efter att en ansökan om förlängning med fyra månader p.g.a. Corona-pandemin under 2020 godkändes

Huvudmålet med projektet: att anlägga en pilotanläggning vid Himmerfjärdsverket med processkombinationen MembranBioReaktor och granulerat aktivt kol (MBR-GAK), har kunnat uppnås. Pilotstudier för att samla erfarenheter för en eventuell framtida implementering av läkemedelsrening på Syvab och vid andra reningsverk har också kunnat startas upp. Piloten kunde visa att Nya Krav Himmerfjärdsverket (NKH) kan uppnås med MBR-tekniken, att fullskaledesignen/principförslaget för framtida läkemedelsrening kan behöva anpassas, samt att en effektiv reduktion av läkemedelsrester, PFAS och andra föroreningar kan åstadkommas. Det har funnits utmaningar, främst under 2020, som påverkat installation, idrifttagning, och intrimning av piloten. Utvärderingen som sammanställts i denna rapport har varit begränsad till att endast omfatta knappt fyra månader och antalet provtagningar och analyser som ingår är därför få. Projektet kommer dock att

fortsätta även efter avslutat projektstöd från Naturvårdsverket, och fler resultat kommer att rapporteras framöver.

Under uppstart och intrimning av MBR-GAK pilotanläggningen har värdefull information samlats in, t.ex. angående teknisk utformning, driftsätt och styrning. Även praktiska driftsätt avseende bl.a. backspolning av GAK-filter vid olika backspolningsstrategier har kunnat tas fram. Detta kommer att hjälpa Syvab och andra anläggningar vid en eventuell fullskaleimplementering, t.ex. genom att uppdatera och anpassa principförslaget.

De resultat som hittills kunnat tas fram visar en bra reningseffekt i GAK-piloten avseende läkemedelsrester och PFAS. Mot slutet av den initiala testperioden kunde även kvantifierbara halter av några få substanser observeras efter GAK-piloten vilket tyder på en avtagande kapacitet. Det är dock ännu för tidigt att kunna göra en relevant bedömning av när kolet behöver bytas i de första filtren och därmed en helhetsbedömning över processutformningen med t.ex. kostnadsberäkningar.

## **2.47 Syvab, Himmerfjärdsverket (förstudie nr 3)**

Syvab och IVL Svenska Miljöinstitutet har tillsammans uppfört en PAK-MBR-pilot, det vill säga en kombination av pulveriserat aktivt kol och membranbioreaktor. Etableringen av piloten skedde vid Hammarby Sjöstadverk (FoU-anläggning i Stockholm). Piloten bestod av två identiska MBR-pilotlinjer varav till den ena doserades PAK.

Resultatet visade på effektiv borttagning av studerade läkemedelsrester med >80 % redan vid PAK-doser på ca 15 mg/L, men även hormonstörande effekter kunde avlägsnas vid de flesta undersökta PAK-doser. Även PFOS kunde renas bort mycket effektivt med >98 % av PAK-MBR teknikkombinationen. PFOS kunde dock även reans bort mycket effektivt i referenslinjen utan PAK-tillsats. För andra PFAS har reningseffekten inte varit lika tydligt även om PAK-MBR pilotlinjen visade en något bättre reningseffekt än MBR pilotlinjen utan PAK-tillsats.

En initial bedömning av miljöpåverkan och kostnader jämför framför allt PAK-MBR med den andra teknikkombinationen MBR-GAK som för närvarande testas i pilotskala av Syvab och IVL och som det 2019 togs fram ett principförslag av Ramboll. Resursförbrukningen och kostnader bedöms generellt vara avsevärt mindre då inga extra processvolymmer behövs och endast en PAK lagring och dosering krävs. Från pilottesterna framgår dessutom att en mindre eller jämförbart mängd aktivt kol som i MBR-GAK alternativet skulle behövas. PAK-MBR tillåter jämfört med andra tekniker en belastningsstyrd resursförbrukning och öppnar för framtida biobaserade aktiva kol som t.ex. biokol tillverkat från avloppsslam och andra substrat som initialt redan testats av Syvab och IVL. En positiv effekt av PAK på slamavvattningen och rötning som kan ge ytterligare resursbesparingar.

Sammanfattningsvis framstår teknikkombinationen PAK-MBR som den mest resurseffektiva avancerade reningsteknik för avloppsreningsverk med en MBR-reningsprocess. Förutom att investeringskostnader kan hållas på en låg nivå och en inlåsning i en omfattande infrastruktur som vid eventuella framtida krav inte ger en tillräcklig reningseffekt, uppnår PAK-MBR teknikkombinationen en mycket bred reningseffekt för många olika mikroföroreningar. Det inkluderar utöver läkemedelsrester även en mycket effektiv och delvis komplett rening av hormonstörande effekter, mikroplaster, PFOS, bakterier inklusive antibiotikaresistenta bakterier. Utöver dessa mikroföroreningar har MBR-tekniken visat kunna åstadkomma den mest effektiva reningen av vanliga föroreningar som närsalter, partiklar och biologiskt nedbrytbart material.

Potentiella nackdelar med tekniken som överföring av mikroföroreningar till slammet behöver inte nödvändigtvis utgöra ett hinder för teknikimplementering utan med tanke på att en ökad ackumulering av många mikroföroreningar i slammet kan framtida slamhantering åstadkomma en avsevärd reduktion av dessa och därmed utfasning från en återrecirkulering av dessa föroreningar till samhället och miljön. Flera kompletterande tester med PAK-MBR tekniken rekommenderas för att utforska potentialen av tekniken,

synergier med MBR-processen, samt för att upptäcka eventuella andra bieffekter som ännu inte har identifierats.

## **2.48 Tierps energi och Miljö AB, Tierps avloppsreningsverk (fullskala)**

TEMAB ansökte i september 2018 till Naturvårdsverkets anslag om implementering av läkemedelsrening vid Tierps reningsverk. Ansökan fullföljdes med syfte att rena så mycket som möjligt av dessa mikroföroreningar i full skala. Tillsammans med dedikerad partner Mellifiq har TEMAB under 2019 och 2020 installerat och levererat ett fullskaligt läkemedelsreningssteg bestående av sand- och GAK- filter samt ozoneringsystem.

Under våren 2019 presenterades en förstudie bestående av en fullständig kartläggning av läkemedelshalterna i nuvarande anläggning samt en rening av läkemedel i pilotskala utförd av Mellifiq.

Kartläggning av läkemedelshalterna visade i förstudien att den nuvarande reningsanläggningen i Tierp renar cirka 20 - 25 % av alla mätbara läkemedel. Det skall tilläggas att paracetamol, som står för den större delen av läkemedel från svenska reningsverk tas bort fullständigt men endast 20 – 25 % av övriga läkemedelsrester.

Vid tidpunkten för genomförandet av förstudien mättes totalt 5605 ng/L efter slutsedimentering. Det resulterar i cirka 9,8 kg aktiva substanser årligen från Tierps reningsverk, förutsatt att massflödet av läkemedel är ungefär detsamma över hela året. Detta är helt i linje med kartläggningar från Sveriges övriga reningsverk.

Det är denna totala koncentration som installerade system och pilotkörning har utgått ifrån med vision om fullständig borttagning med en målsättning på 80 % borttagning vid körning i full skala.

En del av förstudien var att rena vatten från reningsverkets utlopp i Mellifiqs pilotanläggning i syfte att effektivt analysera ozonets och kolfiltrets påverkan på läkemedelshalterna över tid i en pilotanläggning som genererar samma förhållanden som reningen vid en fullskalig drift vid den anläggning som projekteras

Pilotprojektet visade på en fullständig läkemedelsreducing med ozonering baserat på 5–6000 ng/L enligt förstudien, utöver ett ozonsteg projekteras även ett initialt sandfiltersteg för att säkerställa att partiklar av större storlek inte kan passera igenom ozoneringssteget för att undvika driftproblem vid eventuella underhåll eller tillfällig bristfällig sedimentation uppströms i reningsverkets primär- eller slutsedimentering. För att säkerställa fullständig eliminering och för att på ett energieffektivt sätt kunna köra anläggningen med en lägre uteffekt projekteras även ett GAK-filtersteg som avslutande rening innan vattnet når recipient.

Mellifiq har under 2020 levererat en tertiärreningsanläggning med syfte att fullständigt eliminera läkemedelsresterna från Tierps reningsverk. Denna anläggning består av ett av Mellifiqs systemlösningar för vattenrening med flera tekniker i kombination.

## **2.49 Uddevalla Vatten, Skansverkets avloppsreningsverk (förstudie)**

Uddevalla Vatten har tillsammans med Sweco genomfört en förstudie för att utreda och klargöra behovet av rening av organiska mikroföroreningar. Syftet var även få fram en kostnadsbild och miljömässiga effekter som implementering av ett framtida fullskaligt reningssteg skulle innebära. Resultaten från förstudien utgör beslutsunderlag för hur Uddevalla Vatten ska arbeta vidare i frågan kring eventuellt införande av läkemedelsrening i framtiden.

Skansverket har idag en anslutning på ca 38 000 pe. Den befintliga processen består av grovrening, försedimentering, kväverening och Bio-P med aktivt slam, mellansedimentering och slutligen slutsedimentering. Innan slutsedimenteringen kan fällning med aluminium appliceras ifall det behövs för slutpolering av utgående fosfor. Utgående vatten går via utloppsledning ut i recipienten Båveån.

Projektet har omfattat provtagning och analyser, teoretiska utredningar samt mer praktiskt orienterade simuleringstester av reningsteknikerna ozonering och filtrering med granulerat aktivt kol (GAK).

Simuleringstesterna har ersatt pilotförsök för att inom projektets tidsspann få fram relevant vägledande underlag för dimensionering och kalkyler av de utvalda reningsteknikerna i full skala.

I modellsimuleringen undersöktes sex olika scenarier vid en kontakttid på 12 min, där följande parametrar varierades: ozondos, antal injektionspunkter för ozonet och tillsats av väteperoxid (för att begränsa bromatbildning), samt högflödes- och torrvädersförhållanden. Vid medelflöde gav en relativt hög specifik ozondos (0,6 g O<sub>3</sub>/g DOC) en något högre genomsnittlig reduktion än vid en lägre dos (0,3 g O<sub>3</sub>/g DOC). För de 30 ämnen som simulerades gav den högre dosen en genomsnittlig reduktion på ca 86% och den halverade dosen gav en genomsnittlig reduktion på 79%. Specifika ämnen som bröts ned något sämre än genomsnittet var ibuprofen (som dock bryts ned snabbt i recipienten) och oxazepam. Därtill reducerades citalopram med maximalt ca 40% vid hög ozondos, medan ingen reduktion kunde påvisas av PFOS och PFOA. Förväntade koncentrationer av bildad bromat i recipienten ligger dock med god marginal under de senast uppdaterade PNEC-värdet. En riskkvot under 0,1 skulle generellt sett underskridas i dagsläget.

För att utvärdera filtrering med GAK utifrån Skansverkets förutsättningar utfördes s.k. snabbtester eller ACT (accelerated column tests) på två utvalda GAK-produkter i samarbete med Chemviron Carbon. Vid testerna jämfördes reningsprestandan på en reaktiverad och en jungfrulig (från nytt kol) GAK-produkt från två olika leverantörer. Testerna genomfördes på utgående vatten från Skansverket med en kontakttid på 24 min upp till 30 000 behandlade bäddvolym. Båda produkterna gav god genomsnittlig avskiljning på 90–95% av de analyserade mikroföroreningarna. Vid försöket med den reaktiverade produkten observerades dock en betydligt högre avskiljning av PFAS-ämnena. Reningsresultaten indikerade att byte av filtermaterialet tidigast behöver ske efter 30 000 bäddvolymers<sup>2</sup> behandlat utgående avloppsvatten.

Utifrån beräknade PEC/PNEC-kvoter gjordes en bedömning huruvida GAK-filter respektive ozonering kan reducera miljöriskerna av de ämnen som uppvisade måttlig eller hög risk i Bäveån. GAK-filter bedöms kunna sänka miljörisken för alla ämnen förutom bisfenol A från hög till måttlig eller låg risk; PFOS och PFOA utgör de ämnen som stannar vid måttlig risk (PFOA reduceras dock tillfredsställande i medelflödesscenariot). Ozonering bedöms som något mindre effektiv för att sänka miljörisken. Reningstekniken klarar t ex inte av att reducera vare sig citalopram eller PFOS från hög till måttlig risk, även vid hög ozondos. Dessutom kunde risken för ibuprofen, oxazepam och PFOA inte sänkas från måttlig till låg oavsett använd dos.

I den Klimatkalkylen som gjordes bedöms ozonering som alternativet med klart lägre klimatavtryck. Påverkan från ozonering uppskattas till 1,9 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> behandlat avloppsvatten, medan påverkan från GAK uppskattas till 48,9 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Den sammantagna klimatpåverkan från GAK är således 26 gånger högre än för ozonering.

Vid en jämförelse av de utvärderade reningsteknikerna blir det tydligt att ozonering är kopplat till fler osäkerheter än GAK: (i) begränsad reduktion av framför allt citalopram och PFOS, och (iii) risk för hög bromatbildning. Samtidigt framstår ozonering som det både mer kostnadseffektiva och mer klimatvänliga alternativet (om el från fossilfri källa används).

#### GAK:

- Ytbehov: 850 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad – 100 MSEK
- Driftkostnad – 13 MSEK/år
- 2,0 kr/m<sup>3</sup>

#### Ozon:

- Ytbehov: 1 100 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad – 89 MSEK
- Driftkostnad – 8,6 MSEK/år
- 1,3 kr/m<sup>3</sup>

## 2.50 Ulricehamn Energi AB, Ulricehamn framtida avloppsreningsverk (förstudie)

Ulricehamn Energi AB har tillsammans med Sweco utfört en förstudie för läkemedelsrening vid Ulricehamn framtida ARV. Målet med denna förstudie har dels varit att uppskatta miljörisk från läkemedelsrester för Ulricehamn framtida ARV:s recipient Åsunden utifrån en miljöriskbedömning, dels att uppskatta en miljöriskbedömning för framtiden med utgångspunkt i att ett reningssteg för mikroföroreningar implementeras. Dessutom har två processlösningar för läkemedelsrening, som är möjliga utifrån platsspecifika egenskaper för vattnet presenterats. Investering- och driftkalkyler för de båda förslagen har tagits fram samt det ytbekov som föreligger. Den kunskap som genererats inom projektet kommer att vara grunden för fortsatt arbete.

Ulricehamns ARV är gammal och slitet och för att klara framtida belastning och krav har kommunen beslutat att bygga ett nytt reningsverk på annan plats. I samband med nybyggnationen och omlokaliseringen av reningsverket kommer även Timmele ARV att läggas ned och avloppsvattnet ledas till det nya reningsverket. Det framtida reningsverkets recipient kommer vara Åsunden som är recipient redan idag för det befintliga verket. Reningen av avloppsvatten vid Ulricehamns framtida ARV planeras att ske med mekanisk, biologisk och kemisk rening. I ett första steg byggs anläggningen med två biostegslinjer, med en kapacitet på 18 000 pe. Anläggningen förbereds för att senare kompletteras med en tredje biostegslinje så att den totala kapaciteten blir på 27 000 pe. Förbehandling, kemisk rening och filtrering kommer att byggas för 27 000 pe från början.

Provtagning av mikroföroreningar på utgående renat avloppsvatten vid Ulricehamns och Timmeles ARV samt nedströms i Åsunden har utförts under fyra tillfällen mellan november 2022 och februari 2023. Proverna inkluderade analyser av mikroföroreningar, hormoner och PFAS-ämnen. Enligt analyserna uppskattas det årliga utsläppet av de uppmätta mikroföroreningar till ca 11,6 kg/år inklusive PFAS-ämnen och hormoner vilket motsvarar ca 1,3 g/pe, år. I de förstudier för rening av mikroföroreningar som Sweco tidigare utfört ligger motsvarande siffra mellan 0,9 och 2,0 g/pe, år. Ulricehamn och Timmele ARV ligger alltså relativt lågt i jämförelse. Vattenmatrisen har studerats med hänsyn till de kemiska parametrar som kan påverka val av reningsteknik (ozon eller aktivt kol), t.ex. bromid-, DOC och SS-halt. Analyserna visade att vattenmatrisen inte utgör något hinder för vare sig ozon eller aktivt kol.

Miljöriskbedömningen utfördes med hjälp av PEC (MEC)/PNEC-kvoter. Baserat på utförd miljöriskbedömning bedöms behovet för avancerad rening som lågt med avseende på spädning i Åsunden. För uppmätta halter vid recipientprovtagningsspunkten i Åsunden var det inga ämnen som utgjorde hög risk. Om man tittar på uppskattade halter ut från Ulricehamn framtida ARV vid full belastning (27 000 pe) är det endast bisfenol A (2) som utgör hög risk. Denna bedömning är baserad på en föreslagen, ej antagen bedömningsgrund. Ett antal mikroföroreningar uppskattas dock utgöra medelhög risk i framtiden vid fullbelastat verk, dessa var citalopram, diklofenak, ibuprofen, oxazepam, sertralin, PFOS och östron. Beräknade PEC/PNEC-kvoter för mikroföroreningar vid utsläppspunkten visar däremot att flera ämnen ger hög- och medelhög risk. Vid utsläppspunkten är utspädningen låg och visar endast på förhållandet precis vid utloppet och är således inte representativt längre ut i recipienten. Förutom kemiska analyser utfördes även effektbaserade analyser i celler på utgående avloppsvatten och i Åsunden. Effekter som kan mätas i celler är till exempel aktivering eller blockering av receptorer, oxidativ stress eller genotoxicitet. Uppmätt östrogen aktivitet (ER-aktivitet) i recipientprovtagningsspunkten i Åsunden ligger under riktvärdet för ER-aktivitet (400 pg E2-ekv/L) och nuvarande bedömningsgrund för inlandsytvatten (400 pg östradiol/L) vid alla provtagningar. Det är dock värt att notera att bedömningsgrunden för östradiol föreslås sänkas till 180 pg östradiol/L och om så blir fallet riskerar tre av fyra recipientvärden att hamna över den nya bedömningsgrunden.

GAK:

- Ytbekov: 320 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad – 72 MSEK
- Driftkostnad – 9,1 MSEK/år
- 35<sup>1</sup> kr/m<sup>3</sup>

Ozon:

- Ytbehov: 110 m<sup>2</sup>
- Investeringskostnad –52 MSEK
- Driftkostnad – 6,2 MSEK/år
- 51<sup>1</sup> kr/m<sup>3</sup>

<sup>1</sup> inklusive kapitalkostnader

## 2.51 Uppsala Vatten och Avfall AB, Kungsängsverket (förstudie nr 1)

En förstudie har genomförts för att utreda möjligheterna att implementera ett avancerat reningssteg för rening av mikroföroreningar vid Kungsängsverket (Uppsalas största kommunala avloppsreningsverk). Rapporten sammanfattar förstudien och beskriver resultaten.

Första delen av förstudien var en litteraturstudie som omfattade regelverk och bestämmelser och där aktuella mikroföroreningar identifierades. Utgångspunkten för de ämnen som ingår i förstudien är Naturvårdsverkets lista på rekommenderade läkemedelsrester för analys (Naturvårdsverket, 2019) och de ämnen som klassas som SFÄ (Särskilt Förorenande Ämnen) i Havs- och Vattenmyndighetens föreskrifter. Olika reningstekniker, lämpliga för rening av mikroföroreningar vid Kungsängsverket, identifierades och beskrevs (aktivt kol (GAK), anjonbytare, ozonbehandling med efterföljande biologisk rening, och skumfraktionering).

En riskbedömning kring recipientpåverkan genomfördes utifrån tillgängliga data, och PEC/PNEC-beräkningar har utförts baserade på årsmedelflöde. Åtta mikroföroreningar i utgående vatten från Kungsängsverket identifierades som ämnen som kan, eller kan komma att, utgöra en potentiell risk för recipienten (Fyrisån): citalopram, diklofenak, flukonazol, ibuprofen, metoprolol, propranolol, PFOS (PerFluorOktansulfonSyra) och 4-nonylfenol. Det rekommenderas att genomföra ytterligare provtagning av mikroföroreningar, både i utgående vatten från Kungsängsverket och i Fyrisån, med fokus på mikroföroreningarna på Naturvårdsverkets lista och SFÄ:er, som inte finns med i denna studie samt att kontrollera PEC/PNEC-beräkningarna med det större underlaget.

Fem olika förslag för rening av de identifierade mikroföroreningarna vid Kungsängsverket togs fram. Två av dessa valdes ut som mest lämpliga för Kungsängsverket: GAK och ozonbehandling i kombination med anjonbytare. Varje förslag redovisas i två varianter: med befintligt kemsteg, och med ett nytt reningssteg som ersätter befintligt kemsteg:

- Scenario a: befintligt kemsteg ersätts med nytt processteg
  - Alternativ 1a: skivfilter + GAK-filter
    - Investeringskostnad: cirka 240 MSEK
    - Driftkostnad: cirka 10–27 MSEK/år
  - Alternativ 4a: ozon + fällning + sandfilter + anjonbytare
    - Investeringskostnad: cirka 205 MSEK
    - Driftkostnad: cirka 13–19 MSEK/år
- Scenario b: befintligt kemsteg behålls
  - Alternativ 1b: GAK-filter
    - Investeringskostnad: cirka 115 MSEK
    - Driftkostnad: cirka 9–25 MSEK/år
  - Alternativ 4b: ozon + sandfilter + anjonbytare
    - Investeringskostnad: cirka 145 MSEK
    - Driftkostnad: cirka 13–19 MSEK/år

Anjonbytare (fokuserad rening av PFOS) som inkluderats i alternativ 4a och 4b är en oprövad teknik för avloppsvatten men det finns storskaliga referenser vid till exempel dricksvattenverk. Denna teknik har ändå valts ut som intressant då det finns farhågor att PFOS-avskiljning med GAK kan vara problematiskt och jonbytare kan ge en fokuserad rening av PFOS. Vidare undersökning krävs för att kontrollera applikation av tekniken vid ett reningsverk.

Utifrån de identifierade mikroföroreningarna, ses flukonazol och PFOS som potentiella utmaningar. Flukonazol är hydrofilt, och tros därför adsorbera dåligt till kol. Vid ozonbehandling krävs en högre ozondos (1g/g DOC) för att sönderdela flukonazol. Om GAK ska implementeras bör flukonazol utredas vidare för att kontrollera om denna mikroförorening utgör en risk för recipienten. Om så är fallet bör det utredas om GAK kan reducera flukonazol tillräckligt effektivt.

För PFOS finns ingen referens för riktad rening av PFOS vid ett kommunalt reningsverk och det är oklart om sådan rening är kostnadseffektiv då det finns referenser som tyder på att PFOS bryter igenom (mättar kolet) snabbare än andra mikroföroreningar vid användning av aktivt kol. Det rekommenderas att en noggrann massbalans för PFOS tas fram för Uppsalas vattenkretslopp tillsammans med andra aktörer. Denna kan sedan ligga till grund för framtida beslut angående rening av PFAS-ämnen i Uppsalaområdet. Om ozon ska implementeras bör bromat, kväveoxider och andra ozoninducerade nedbrytningsprodukter utredas vidare.

Kostnads kalkyler genomfördes för de alternativ som bedömdes mest lämpliga för Kungsängsverket och investerings- och driftkostnader redovisas ovan. En känslighetsanalys visar att olika dimensionerings- och driftparametrar leder till en variation av både investerings- och driftkostnader. De breda intervallen för driftkostnader för GAK orsakas av osäkerhet i hur ofta kolet kommer att behöva bytas/regenereras (efter rening av 8 000 - 20 000 bäddvolym).

Osäkerhet i dimensioneringsförutsättningar som kommer gälla för det avancerade reningssteget, till exempel maxflöde och reningsgrad, identifierades och därför bedöms efterföljande pilotstudie som kritisk för att ge svar på dessa frågor inför en eventuell implementering. Det rekommenderas också att vidare utreda hållbarhetsfrågor för projektet, till exempel hur klimatpåverkan för GAK är beroende av källan till ursprungsmaterialet (stenkol eller kokosnötter).

## **2.52 Uppsala Vatten och Avfall AB, Kungsängsverket (förstudie nr 2)**

Uppsala Vatten och Avfall AB har i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet bedrivit pilotstudier för avskiljning av läkemedelsrester och PFAS. Pilotstudien syftar till att genom långtidsutvärdering av tekniker för avskiljning av läkemedelsrester och PFAS utgöra underlag för framtagandet av förslag till utformning av ett nytt reningssteg på Kungsängsverket. Kungsängsverket är Uppsalas största avloppsreningsverk och står inför omfattande om- och tillbyggnationer de kommande åren för att möta behovet av ökad reningskapacitet och mer långtgående reningskrav.

Pilotstudien är en fortsättning på den tidigare gjorda förstudien (kap. 2.51) där GAK respektive ozonering i kombination med anjonbytare (AIX) lyftes fram som möjliga teknikkombinationer. I inledningen av pilotstudien fattades beslut om att inte gå vidare med ozonering i pilotstudien p.g.a. höga bromidhalter i vattnet och en begränsad avskiljning av PFAS samt ett behov av att prioritera och göra ett urval av tekniker inför byggnationen av pilotcontainer p.g.a. kostnads- och utrymmesskäl.

Pilotstudien inleddes med kolonnförsök med granulerat aktivt kol och anjonbytare. Målet med försöken var att utvärdera drift med olika typer av GAK, jonbytarmassa samt en kombination av GAK och jonbytarmassa i serie. Baserat på de inledande kolonnförsöken, erfarenheter från tidigare projekt och Kungsängsverkets förutsättningar byggdes en pilotanläggning. Kolonnförsöken har fortsatt under hela projektet. Såväl kolonndrift samt drift av pilotcontainer syftar till att utöver utvärdering av reningseffektivitet för läkemedelsrester och PFAS-ämnen även få ökad kunskap och drifterfarenhet av tänkbara driftuppställningar, t ex olika adsorbenter, singel- och seriedrift och uppströms- respektive nedströmsfilter. Anjonbytare (AIX) för



rening av spillvatten är en obeprövad teknik och långtidsutvärderingen ger värdefull kunskap om drift av en kombination med GAK och AIX.

Kungsängsverkets framtida ombyggnation har medfört att pilotstudien har genomförts med ett antagande om vilken förbehandling som bäst representerar den framtida efterpoleringen för att få så representativa resultat som möjligt. Inledningsvis användes en trumsil som förbehandling vilket gav viktiga drifterfarenheter eftersom det var tydligt att användning av polymer i förbehandlingen ledde till ökad igensättning av både GAK-filter och anjonbytare med ett kraftigt ökat behov av backspolning. I samband med att valet att ha sandfilter som efterpolering i projekteringen av ombyggnationen av reningsverket byttes trumfiltret i piloten ut mot ett kontinuerligt spolat sandfilter för att så långt som möjligt drifva och utvärdera pilotcontainern utifrån ett troligt framtidsscenario.

De viktigaste resultaten och slutsatserna från pilotstudien:

- Valfungerande förbehandling är en avgörande faktor för stabil kolonn- och pilotdrift. Polymer i förbehandling medför ökat behov av backspolning av GAK-filter.
- Pilotstudien har analyser av 21 läkemedel och 32 PFAS- och andra mikroföroreningar genomförts. I utvärderingen av analysdata och reningseffektivitet har fokus legat på de prioriterade substanser som identifierats vid riskbedömning av Fyrisån. Dessa ämnen är citalopram, diklofenak, oxazepam, metoprolol och PFOS.
- Kolonnförsöken visar att oxazepam visade på störst försämring i reduktion som efter 31 000 behandlade bäddvolymter hade en momentan avskiljningsgrad på 50%.
- Kolonnförsöken visar att för PFOS och PFAS-ämnen hade GAK en snabbt avtagande reningseffektivitet som dock kompensades av efterföljande anjonbytare vilket resulterade i en hög och stabil reningsgrad. Efter 180 000 behandlade bäddvolymter för AIZ är reningseffektiviteten över GAK och AIX över 90% för PFOS.
- Piloten har inte driftats tillräckligt länge för att kunna dra långtgående slutsatser men resultaten ser ut att följa kolonnförsöken med snabbt avtagande reningseffektivitet för oxazepam och PFOS över GAK-filter. De preliminära resultaten visar på att tvåstegs GAK-filte rär mer effektivt än enstegs GAK-filter vid samma kontaktid.
- Analysen visade att den lägsta driftkostnaden för samtliga tänkbara reningsmål som undersöktes uppnåddes med 2-stegsfilter av reaktiverat aktivt kol (Cyclecarb). Kombinationen av 2-stegsfilter med reaktiverat aktivt kol och anjonbytare gav också den lägsta klimatpåverkan om reningsscenarioet inkluderade reduktion av PFOS eller både PFOS och diklofenak. För övriga reningsscenarioer resulterade 2-stegsfilter med reaktiverat aktivt kol utan efterföljande jonbytare i den lägsta klimatpåverkan.

### **2.53 VA-SYD, Sjölunda avloppsreningsverk (förstudie nr 1)**

Sjölunda avloppsreningsverk (ARV) tar emot avloppsvatten från större delen av Malmö stad samt från Burlövs kommun och delar av Lomma, Staffanstorp och Svedala kommun. Reningsverket är dimensionerat för 550 000 personekvivalenter och anläggningen renar i dag omkring 40 miljoner m<sup>3</sup> avloppsvatten årligen och är därmed ett av Sveriges största reningsverk. På grund av befolkningsökningen i upptagningsområdet planerar VA SYD att bygga ut och modernisera reningsverket. Det finns även planer på att lägga ner Källby ARV i Lund och överföra avloppsvattnet till Sjölunda ARV och i samband med det erbjuda ytterligare grannkommuner att ansluta sig till reningsverket. I Sjölundas recipient Lommabukten finns ett antal områden med naturvärden, tre av områdena utgörs av Natura 2000-områden och fem av områdena utgörs av naturreservat. I de skyddade områdena är vattenkvaliteten viktig för att inte påverka området negativt. Inom vattenförekomsten Lommabukten finns det även fem badplatser som omfattas av badvattendirektivet.

Denna förstudie gällande avancerad rening är ett delprojekt i det större projektet om utbyggnaden av Sjölundaverket i sin helhet. Förstudien har genomförts som ett samarbete mellan Maria Jonstrup och Lennart

Höglind på VA SYD, Michael Cimbritz, Ola Svahn och Erland Björklund. Michael Cimbritz är forskare vid Lunds tekniska högskola och har ansvarat för omvärldsbevakning gällande tekniska lösningar, kostnadsuppskattningar och översiktlig dimensionering. Ola Svahn och Erland Björklund är forskare vid Högskolan i Kristianstad inom analys av läkemedelsrester. De driver det organiska spåranalyslaboratoriet MoLab (Krinova Sciencepark, Högskolan Kristianstad) och har utfört analyser av läkemedel och andra mikroföroreningar. Förstudien har möjliggjorts genom finansiering från Naturvårdsverket. Därtill har DHI anlåtits för modellering av recipientpåverkan och NIRAS för Ames test och YES-testet samt tolkning av resultaten.

Syftet med förstudien var att utreda teknikval för avancerad rening av mikroföroreningar på Sjölunda ARV. För att få en så bred nytta av den avancerade reningen som möjligt gjordes en behovsanalys både avseende utgående läkemedelshalter och bedömda riskkvoter, risk för smittspridning, risk för spridning av antibiotikaresistens samt eventuella krav vid återanvändning av renat avloppsvatten.

Provtagning av läkemedelsrester och ett antal ytterligare mikroföroreningar genomfördes vid sex olika punkter: vid inkommande och utgående provpunkt från Sjölunda ARV samt vid fyra punkter i recipienten på olika avstånd från utsläppspunkten. Provtagningen genomfördes en gång per månad under ett års tid vid reningsverket, samt under vår, sommar och höst i recipienten för att kunna studera säsongsvariationer. Dessutom genomfördes intensivprovtagning på inkommande och utgående vatten från Sjölunda ARV varannan timme under ett dygn för att studera variationer över dygnet.

33 av 35 analyserade ämnen, estradiol och etinylestradiol undantaget, kunde kvantifieras i utgående avloppsvatten och femton ämnen visade utsläppsmedelvärden över 100 ng/L. Högst koncentration visade genomgående mikroföroreningen benzotriazol.

23 av de analyserade ämnena reducerades till mindre andel än 80 % i den nuvarande reningsprocessen. 13 av ämnena reducerades mindre än 20 % och sex av dessa ämnen visade negativ reduktion. Av de 16 ämnen som förekom i högst koncentration, >100 ng/L, i det renade utgående avloppsvattnet visade 10 stycken en reduktion som understeg 40 %. Sammantaget visade resultaten att reningsverket i sin nuvarande utformning endast har begränsad förmåga att hindra mikroföroreningarna från att nå recipienten. Resultaten visade även att framtida avancerad rening är adekvat under dygnets samtliga timmar då belastningen är relativt jämn över dygnet, även om något högre halter observerades mitt på dagen.

21 av de analyserade ämnena detekterades även i recipienten. Halterna i recipienten varierade mellan provtagningstillfällena både tidsmässigt och spatialt. En riskklassning gjordes baserat på kvoten EC/PNEC (halten i recipienten/förväntad nolleffektshalt) för de läkemedel där det fanns PNEC-värden tillgängliga i litteraturen. Klassningen visade att en miljörisk i första hand fanns för halten av citalopram, men också för halten av diklofenak, oxazepam och sertralin i recipienten. Detta gällde vid ett eller flera tillfällen under provtagningsperioden och på en eller flera av provpunkterna.

Avloppsvattnet innehöll östrogenliknande ämnen och ämnen med mutagena egenskaper. Detta konstaterades utifrån resultaten från YES-testet och Ames test. Baserat på att det sker en spädning med 100 gånger av avloppsvattnet i recipienten, så kommer, utifrån EU:s riskbedömningsmodell, halten av östrogenliknande ämnen ligga under det föreslagna effektgränsvärdet.

Vid bedömning av eventuell hälsorisk på grund av antibiotikaresistenta bakterier vid utsläpp från Sjölunda ARV konstaterades det att den modellerade maximala halten vid badplats av E. coli understeg det intag som krävs för att skapa en kolonisering av ESBL-bildande bakterier.

Med det renade vattnet följer även smittämnen som eventuellt skulle kunna påverka badplatserna i närområdet. Modelleringar av de intestinala indikatorbakterierna som ingår i badvattendirektivet visade emellertid att Sjölundas utsläpp inte utgör någon risk för att gränsen för tjänligt vatten överskrids.

Än så länge är ozonering och behandling med aktivt kol de tekniker som funnit flest praktiska tillämpningar i stor skala, vilket hänger samman med både renings- och kostnadseffektivitet. Under senare år märks ett allt större intresse för granulerat aktivt kol (GAK).

Då slutsatsen utifrån genomförd status- och kapacitetsbedömning är att större delarna av Sjölunda avloppsreningsverk behöver byggas om eller rivs finns det i nuläget endast ett fåtal processmässiga förutsättningar att ta hänsyn till vid utvärdering av alternativ för avancerad rening och anpassning av avancerad rening till befintlig process. VA SYDs slamstrategi förordar fortsatt spridning på åkermark så länge det är tillåtet. Detta innebär att dosering av pulveriserat aktivt kol (PAK) för avskiljning tillsammans med biologiskt överskottsslam inte är aktuellt så länge slammet ska spridas på åkermark.

En helt ny, ännu inte fastställd, processutformning för reduktion av BOD samt kväve och fosfor innebär också att det inte finns någon process att förhålla sig till för utformning av avancerad rening. Samtidigt innebär det en stor möjlighet att på ett tidigt stadium integrera den avancerade reningen med kommande processutformning. Vissa överväganden kan också göras tidigt. Med utgångspunkt i ozonering och aktivt kol som huvudalternativ finns det möjlighet att bestämma om man vill satsa på en teknik som separerar de organiska mikroföroreningarna eller en teknik som bryter ner dem. Genomförda bromidanalyser för utgående avloppsvatten från Sjölunda visar emellertid att bromidhalterna är betydligt högre än de haltgränser som rekommenderas för ozonering. Variationerna bör undersökas genom fler prover, och bromatbildning som funktion av ozondosering bör undersökas, men tills vidare är en rimlig utgångspunkt att ozonering bör undvikas.

En översiktlig GAK-filterdimensionering baserad på ett framtida flöde motsvarande 305 l/p\*d har tagits fram. En mer precis bedömning förutsätter en närmare analys av flödesvariationer och en uppfattning om uppströms processer och det flöde som kommer att ledas genom den biologiska reningen och den tänkta filteranläggningen.

## 2.54 VA SYD, Sjölunda avloppsreningsverk (förstudie 2)

VA SYD har tidigare gjort en förstudie på Sjölunda ARV (se kap. 2.45) där läkemedelsrester på reningsverket kartlades. Denna förstudie gjordes för att svara på några kompletterande frågor som behövde svar innan lämplig processlösning för kvartär rening vid Sjölunda ARV kunde göras. Syftet med förstudien var att besvara följande frågor:

1. Är ozonering lämplig teknik trots höga halter bromid i inkommande avloppsvatten?
  - a. Vilket PNEC-värde för bromat och citalopram bör användas som underlag för bedömning om risk för påverkan på miljön?
  - b. Kan driften av en ozoneringsanläggning genomföras på ett sätt som gör att utsläppet av bromat till recipienten inte medför betydande risk ur miljösynpunkt?
2. Hur kan en ekonomiskt och miljömässigt hållbar regenerering av det aktiva kolet i en GAK-anläggning på Sjölunda ARV se ut?

För att utreda riskerna med en ökad halt bromat från verkets utsläpp vid ozonering har följande gjorts:

- Framtagande av en försöksplan till kompletterande testning för att ta fram nya ekotoxikologiska data för bromat.
- Revidering av PNEC-värde med målet att reducera riskkvoten för bromat – Riskkvoten är PEC/PNEC.
- Framtagande av gränsnivå för halten bromat i utgående avloppsvatten med avseende på miljörisk.

Med kompletterande testning med avseende på kronisk toxicitet mot fisk samt ostron och sjöborre resulterade i att säkerhetsfaktorn för bromat kunde sänkas från 500 till 10. Den högsta halten bromat i recipienten som inte ger negativa effekter för miljön (PNEC) kunde således revideras till 0,11 mg/l. Detta innebär en låg risk (riskkvot <0,1) att negativa miljöeffekter vid EU:s schablonspädning på 100 gånger för en bromathalt under 1,1

mg/l i utgående avloppsvatten. På samma sätt bedöms risken som måttlig 0,1–1 att negativa miljöeffekter uppkommer vid 100 gånger spädning då bromathalten i utgående avloppsvatten ligger under 11 mg/l.

Vid studiens start fanns endast ett mycket begränsat underlag för riskbedömning för citalopram i saltvatten. På samma sätt som för bromat har därför kompletterande testning med avseende på kronisk toxicitet mot alg, kräftdjur och fisk samt för två marina grupper (blötdjur och tagghudingar) resulterat i att säkerhetsfaktorn för citalopram kunde sänkas till 20 och PNEC kunde revideras till 7,5 ng/l.

För att utreda möjligheten till drift av en ozoneringsanläggning på ett sätt som gör att utsläppet av bromat till recipienten inte medför betydande risk ur miljösynpunkt har dosresponsförsök gjorts för ozonering av avloppsvattnet från Sjölunda ARV. På detta sätt har bromatbildning kopplats till ozondosering i ozoneringen som i sin tur relaterar till reduktionen av olika läkemedelsrester som har analyserats under försöken. Studien visar exempelvis att en reduktion på minst 80% av oxazepam och en reningseffekt som är större än 60 % för övriga ämnen inte bör medföra någon betydande risk för skador på miljön från avloppsvattnet från Sjölunda ARV. Ozoneringsförsöken visar att en riskkvot på under 1 uppnås vid en spädning på 100 gånger vid en ozondos på minst 0,4 mg O<sub>3</sub>/mg DOC för att uppnå dessa reduktioner. Denna ozondos motsvarar en bromatbildning på långt under 0,1 mg bromat / mg bromid, vilket motsvarar en maximal bromatkoncentration i utgående vatten för de bromidhalter som har uppmätts på Sjölunda ARV på maximalt 0,34 mg bromat/l. Denna koncentration medför ingen betydande miljörisk i recipienten vid en spädning på 100 gånger och det finns god marginal även för lägre spädningar eller högre inkommande bromidkoncentrationer.

Projektet visar därmed att ozonering är en lämplig teknik för reduktion av mikroföroreningar i avloppsvattnet på Sjölunda ARV och att de höga bromidkoncentrationerna i inkommande avloppsvattnet inte medför något hinder för val av denna teknik. Det är även viktigt att komma ihåg att processen kan optimeras ytterligare, t.ex. genom en smart styrstrategi av ozondoseringen för att maximera reduktionen av mikroföroreningar och samtidigt minimera bromatbildningen. Denna optimering har inte gjorts inom denna studie.

För att undersöka hur en ekonomisk och miljömässig hållbar regenerering av aktivt kol kan se ut har olika alternativ undersökts - regenerering vid en befintlig extern reaktiveringsanläggning, vid en nyetablerad anläggning på Sjölunda ARV respektive vid en regional svensk anläggning.

För scenarierna med etablering av en ny reaktiveringsanläggning i Sverige har det valts att undersöka den termiska reaktiveringsprocessen med hjälp av en flervåningsugn på grund av teknikens mognad och robusthet. Termisk reaktivering är för närvarande den enda tekniken som är implementerad i full skala och används på flera stora reaktiveringsanläggningar idag.

Studien indikerar att det finns både klimatmässiga och ekonomiska besparingar med etablering av en reaktiveringsanläggning på Sjölunda ARV eller en regional svensk anläggning jämfört med att transportera det mättade GAK för reaktivering i en extern anläggning. Resultaten är dock starkt beroende av de olika variablerna i studien och besparingarna kan minskas i verkligheten. Det förväntas finnas stordriftsfördelar med att etablera en regional anläggning, vilket understryks av studiens ekonomiska analys.

## **2.55 VA SYD, Klagshamns avloppsreningsverk (förstudie)**

VA SYD har tillsammans med LTH, MoLab, NIRAS Sweden AB och DHI samt Sweco utfört en förstudie med syfte att kartlägga belastningen av läkemedelsrester på Klagshamns ARV samt utreda teknikval för avancerad rening. För att få en så bred nytta av den avancerade reningen som möjligt gjordes en behovsanalys både avseende på utgående läkemedelshalter och bedöma riskkvoter samt eventuella krav vid återanvändning av renat avloppsvatten.

Klagshamns ARV tar emot avloppsvatten från sydvästra delen av Malmö stad samt från Vellinge kommun. Reningsverket är dimensionerat för 90 000 pe. Vid kusten som utgör recipient för verket finns fyra Natura 2000-områden och fyra naturreservat.

Provtagning och analys av läkemedelsrester och ett antal andra mikroföroreningar gjorde vid åtta olika punkter – inkommande och utgående avloppsvatten från Klagshamns ARV, fyra olika punkter i recipienten samt vid två punkter i naturreservaten. Provtagning gjordes även på delsteg på avloppsreningsverket samt på slamprover vid två tillfällen för att få en uppfattning om avskiljningen vid de olika reningsstegen. Provtagningen av inkommande och utgående avloppsprover genomfördes en gång per månad under ett års tid vid reningsverket, samt vid höst, vinter, vår och sommar i recipienten för att kunna studera säsongsvariationer.

33 av 35 analyserade ämnen, 17-alfa-etinylöstradiol (EE2) och 17-beta-östradiol (E2) undantaget, kunde kvantifieras i utgående avloppsvatten och 15 ämnen visade utsläppsmedelvärden över 100 ng/L. Högst medelkoncentration visade läkemedelsresten metoprolol, följt av losartan och diklofenak. Ciprofloxacin, sertralin och ketokonazol återfanns i det analyserade slammet. Sammantaget visade resultaten att reningsverket i sin nuvarande utformning endast har begränsad förmåga att hindra mikroföroreningarna från att nå recipienten.

14 av de analyserade 35 ämnena detekterades även i recipienten. Halterna i recipienten varierade inte i någon större omfattning mellan provtagningstillfällena. Vid alla provtagningstillfällena i recipienten kunde högre halter i ytan än i botten noteras. Detta kan förklaras av att utsläppet stiger upp till ytan på grund av skillnaden i salthalt mellan det utgående vattnet och recipienten.

Resultatet från recipientprovtagningen visade en bakgrundshalt i recipienten motsvarande uppmätta haltnivåer i spridningsplymen. En riskklassning gjordes baserat på kvoten EC/PNEC (halten i recipienten/förväntad nolleffektshalt) för de läkemedel som det fanns PNEC-värden för. PNEC-värden för havsvatten användes vilket utgår från en 10 gånger lägre PNEC-värden för sötvatten. Recipienten till Klagshamns reningsverk är dock brackvatten. Därför kan risken undervärderas om man använder PNECsötvatten på samma sätt som risken övervärderas genom att använda PNECsaltvatten. Detta gör värderingen av riskkvoterna problematiska eftersom det inte finns något som säger att det ena är mer rätt än det andra.

Riskklassningen utifrån PNEC<sub>saltvatten</sub> visade att en hög miljörisk i första hand fanns för halten av citalopram och oxazepam samt måttlig miljörisk för diklofenak och sulfametoxazol. Inkommande och utgående vatten genomgick YES- och Ames testning. Proverna på inkommande avloppsvatten uppvisade östrogenicitet medan ingen östrogenicitet noterades i proverna på utgående avloppsvatten från Klagshamns ARV, varför risken för östrogena effekter i recipienten kan betraktas som låg. ”

Spridningsmodellen över recipienten har kontrollerats mot uppmätta halterna av ämnen (diklofenak, karbamazepin, metoprolol och benzotriazol), som kan betraktas som stabila i recipienten och visar att spridningsmodellen stämmer bra med analyserade halter. Modelleringen över året visar att halten av läkemedelsrester varierar under året och tillfälliga toppar med kraftigt förhöjda halter kan antas förekomma, bland annat vid höga flöden ut från reningsverket

Ozonering, GAK-filtrering samt en kombinationsprocess med ozon och GAK framstår i dagsläget som tänkbara lösningar för rening från läkemedelsrester. Avseende ozon finns stora osäkerheter kring bromatbildning då inkommande vatten till Klagshamn ARV innehåller betydligt högre halter bromid än de haltgränser som rekommenderas för ozonering.

Slutsatsen utifrån genomförd status- och kapacitetsbedömning på Klagshamns ARV är att den biologiska reningen måste kompletteras för att klara den framtida belastningsökningen till verket. I övrigt är befintlig anläggning i gott skick och förväntas kunna drivas en längre tid. Idag sker slutpolering av behandlat vatten på Klagshamn via sandfilter vilket är en lämplig förbehandling till ozonering i kombination med kolfilter. Det har inte tagits beslut om vilket processlösning som kommer väljas för ett utbyggt Klagshamn ARV.

En översiktlig dimensionering av rening baserad på ozon och aktivt kol, med ett prognosticerat flöde för 2050 har gjorts.

Ozon-GAK:

- Investeringskostnad – 164 MSEK
- Totalkostnad – 16,2 MSEK/år
- 1,3 kr/m<sup>3</sup>

Ozon:

- Investeringskostnad – 72 MSEK
- Totalkostnad – 7,7 MSEK/år
- 0,6 kr/m<sup>3</sup>

GAK:

- Investeringskostnad – 92 MSEK
- Totalkostnad – 12,8 MSEK/år
- 1,0 kr/m<sup>3</sup>

## 2.56 VA-SYD, Kartläggning flera reningsverk (förstudie)

VA SYD har tillsammans med IVL Svenska Miljöinstitutet har tillsammans gjort en förstudie för att bedöma påverkan från fem av VA SYD:s reningsverk. För denna bedömning har halter analyserats av läkemedel, hormoner, östrogena effekter, fenoler och PFAS i inkommande och utgående avloppsvatten, samt uppströms och nedströms avloppsreningsverket i recipienten. Provtagningen har gjorts vid fyra tillfällen utspritt över ett år för att fånga variationer som beror på årstiderna.

Uppmätta och beräknade halter i recipienten har jämförts med effekthalter, för vissa ämnen finns gränsvärden och bedömningsgrunder och för andra har PNEC-värden använts. I de recipienter där koncentrationen överskrider effekthalten har en bedömning gjorts om överskridandet beror på utsläpp från avloppsreningsverket. Om det är det renade avloppsvattnet som orsakar överskridandet av effekthalter har åtgärder föreslagits för att minska överskridandet. Dessa åtgärder kan ske antingen uppströms reningsverket i upptagningsområdet, genom förändringar i befintlig process eller med installation av ett reningssteg för avskiljning av mikroföroreningar. För de tekniska åtgärderna har kostnader för investering och drift bedömts samt klimatpåverkan beräknats.

I tre av recipienterna, Höje å, Bråån och Sularpsbäcken, överskrider uppmätta halter av flera ämnen effekthalterna. Orsaken till detta är utsläpp av renat avloppsvatten från Källby, Ellinge respektive Södra Sandbys avloppsreningsverk. För att underskrida effekthalterna i Höje å och Bråån behöver Källby och Ellinge avloppsreningsverk byggas ut med reningssteg för avskiljning av organiska mikroföroreningar. För Höje å behövs det även åtgärder för att minska belastningen uppström för att samtliga effekthalter ska underskrivas i recipient. Sådana åtgärder kan vara att minska utsläppen av organiska mikroföroreningar från Staffanstorps avloppsreningsverk. Både Källby och Ellinge avloppsreningsverk omfattas också av krav på reningssteg för avskiljning av organiska mikroföroreningar enligt förslaget till nytt avloppsdirektiv. Det pågår dock en politisk process gällande Källbys framtid, om det ska fortsätta drivas och byggas ut eller om det ska läggas ner och avloppsvattnet överförs till Sjölunda ARV. Det som redovisas i denna rapport gäller i scenariot om Källby ARV skulle fortsätta sin verksamhet. För att underskrida effekthalterna i Sularpsbäcken är det lämpligt att flytta Södra Sandbys utsläppspunkt till Kävlingeån. Med Kävlingeån som recipient bedöms att inget av de ämnen som har analyserats kommer återfinnas i en koncentration över respektive effekthalt. Detta gäller även för ett framtida scenario strax efter 2030. För Södra Sandby avloppsreningsverk finns en sådan utloppsledning och den planeras att tas i bruk i samband med ombyggnation av reningsverket.

I Blegelsbäcken, som är recipient till Stehag avloppsreningsverk, återfinns två läkemedel, ett hormon och den östrogena effekten i koncentrationer över respektive effekthalt. Om åtgärder hade genomförts på avloppsreningsverket hade halterna av de utpekade ämnen kunnat reduceras i recipienten. Utifrån att påverkansområdet är begränsat till en mindre bäck som inte är klassad som vattenförekomst bör VA SYD inte

prioritera insatser på Stehags avloppsreningsverk för att minska påverkan i Blegelsbäcken. I Silvåkrabäcken finns det en indikation på att halterna av hormoner kan överskrida effekthalterna. Med samma resonemang som för Stehags avloppsreningsverk bör heller inte åtgärder prioriteras på Torna Hällestads avloppsreningsverk för att minska påverkan på Silvåkrabäcken.

Teknik lösning för avancerad rening för Källby avloppsreningsverk föreslås en kombinationsprocess med ozonering följt av GAK-filter och för Ellinge avloppsreningsverk föreslås även där en kombinationsprocess.

Källby ARV

Ellinge ARV

Ozon-GAK:

Ozon-GAK:

- |                                  |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| - Investeringskostnad – 119 MSEK | - Investeringskostnad – 68,4 MSEK |
| - Totalkostnad – 22,3 MSEK/år    | - Totalkostnad – 12,6 MSEK/år     |
| - 2,1 kr/m <sup>3</sup>          | - 2,5 kr/m <sup>3</sup>           |

## 2.57 VAKIN, Öns och Flurkmarks avloppsreningsverk, (förstudie med fullskala)

VAKIN:s projekt har varit uppdelat i ett antal delprojekt och utförts tillsammans med Mellifig (före detta Ozonetech) samt Umeå universitet:

1. Förstudie: kartläggning av Flurkmarks och Öns ARV med hjälp av provtagning och analys av läkemedelsrester.
2. Dimensionering av reningssteg: kapacitetsbestämning av reningssteg och rening i lab-skala.
3. Beställning och leverans av reningssteg.
4. Installation och driftsättning av rening i fullskala
5. Utvärderingsfas

*Förstudiens* mål var få information och kunskap om olika reningstekniker för läkemedelsrening och utreda vilken metod som skulle fungera bäst vid reningsverken och recipienterna. Öns reningsverk är Umeås största reningsverk och behandlar vatten från ca 100 000 personer och har sitt utsläpp i Umeälven. Flurkmarks reningsverk släpper sitt renade avloppsvatten i Fällforsån som flyter samman med Tavelån. Den sistnämnda ån har bestånd av den utrotningshotade arten flodpärlmusslan. I förstudiens första fas genomfördes en kartläggning av läkemedelshalterna vid både Öns och Flurkmarks reningsverk samt närliggande recipienter. Analyser av 101 läkemedel utfördes samt även analyser av PFOA och PFOS. I inloppet till Öns reningsverk återfanns 35 av de 101 läkemedlen och vid utloppet 33 av 101, och halten hade totalt sjunkit med 18% genom reningsverket. Omräknat släpper Öns reningsverk ut ca 88 kg läkemedel per år. Två stickprov togs i recipienten både uppströms och nedströms reningsverket, dock var alla analyserade läkemedel under kvantifieringsgränsen. För Flurkmarks reningsverk kunde 19 av 101 läkemedel detekteras i inloppet och i utloppet 22 av 101. Utsläppet beräknas till ca 354 g/år. Två stickprov togs i Fällforsån, ett uppströms och ett nedströms. Uppströms var den totala läkemedelshalten 80 ng/l (främst Klonazepam, Cyproheptadin och Trihexyfenidyl) och nedströms var den totala halten 42 ng/l (främst Cyproheptadin och Sotalol). PFOS och PFOA uppmättes vid Öns reningsverk 3,1 ng/l respektive 2,7 ng/l och vid Flurkmarks reningsverk var de båda ämnena under kvantifieringsgränsen.

Två pilotstudier genomfördes för respektive reningsverk, en längre reningsfas med enbart ozon (för att studera kinetiken) samt en kortare pilotstudie med ozon i kombination med GAK-filter. För pilotstudien vid Öns reningsverk visade enbart ozonering på 80% reduktion av läkemedel och vid ozon i kombination med GAK visade 15 min ozonering 55% reduktion och efter GAK vara alla läkemedel under kvantifieringsgränsen. Motsvarande för Flurkmarks reningsverk visade ozonering på 92% reduktion och efter 15 min ozonering följt av GAK-filter var alla läkemedel under kvantifieringsgränsen. För Flurkmarks reningsverk hade pilotstudien en visuellt förbättrande effekt på färgen på avloppsvattnet som gick från gulaktigt till helt klart.

*Fullskala* – För implementering av fullskala valdes Flurkmarks reningsverk för dess mindre flöde. Två containerlösningar har installerats. Container 1 innehåller ett sandfilter som renar hela flödet samt ett BAK-filter som renar halva flödet. Det andra halvan av flödet går till container 2 där det renas först genom en avancerad oxidationsprocess (möjlighet till olika kombinationer av ozon, UV och väteperoxid) och sedan genom ett GAK-filter. Uppföljningen av de olika reningsstegen visade att den mest effektiva av oxidationsprocesserna var ozonering med en reningsgrad på mellan 90–95%. För BAK-filtreringen nåddes 72% och 98% reduktion vid olika provtagningar. Det var dock svårt att avgöra om det bildats en mikrobiologisk kultur i filtret.

Installationen av fullskaleanläggningen vid ett litet reningsverk som Flurkmarks reningsverk har inneburit en del problem i form av problem med vattenkvaliteten och flöden, för litet elförsörjningssystem och låg bemanning då det endast besöks vid rondering. Anläggningen har även haft problem med frostsador. Dock kommer anläggningen att fortsättas att köras för att få värdefull kunskap om läkemedelsrening samt drift- och underhållskostnader. Detta är särskilt viktigt för en eventuellt framtida installation vid Öns reningsverk.

## **2.58 Vatten och Avfall i Malung-Sälen, Sälkfällets avloppsreningsverk (förstudie)**

VAMAS har tillsammans med Mellifiq utfört en förstudie med pilotanläggning för rening av läkemedelsrester. Syftet med förstudien och piloten var att utvärdera hur turistsäsongen påverkar belastningsvariationerna av läkemedelsrester, optimera reningen av läkemedelsrester och andra mikroföroreningar genom en containerbaserad pilotanläggning samt dimensionera en fullskalig implementation av läkemedelsrening vid Sälkfällets ARV (utifrån om byggnation av reningsverket).

Sälkfällets ARV är beläget i Malung-Sälen kommun och tar hand om spillvatten från fastigheter i närliggande skidort. Verket har stora säsongsvariationer avseende näringsbelastning och flöde beroende på turism (vintersäsong och sommarsäsong i fjällen). VA-verksamheten är därför omfattande i förhållande till invånarantalet. Reningsverket är dimensionerat för 36 000 pe i nuvarande omformning men VAMAS har fått nytt tillstånd godkänt för utbyggnad av reningsverket till 55 000 pe (påbörjas hösten 2023). Under utbyggnaden förbereds även ytterligare kapacitetsökning till 70 000 pe och utrymme förbereds för en möjlig framtida implementation av kväverening och läkemedelsrening. Reningen idag består av mekanisk rening, MBBR, kemiskt reningssteg med PIX samt slutpolering sandfilter. Det reade vattnet släpps i Natura 2000-klassade recipienten Västerdalälven (som nedströms sammanflödar med Östedalälven och bildar Dalälven).

Totalt detekterades det 29 av 98 läkemedelsrester i det utgående flödet från reningsverket. Sju av de 29 läkemedelren ingår i Läkeemedelsverkets lista på miljöindikatorer: citalopram, clarithromycin, diklofenak, metoprolol, sertralin, tramadol och trimetoprim. Förutom analysen av läkemedelsrester gjordes även ett antal analyser av parametrarna TSS, DOC och TOC.

Pilotanläggningen bestod av en containerbaserad lösning med förfiltrering av sand, ozonering och GAK-filter. Piloten har haft fyra provtagningspunkter – ingående vatten, efter sandfilter, efter ozon och efter GAK (utgående). Piloten kördes med åtta olika driftscenarion – fyra olika flöden under högsäsong och fyra olika flöden under lågsäsong.

Totalkoncentrationen av läkemedelsrester varierade kraftigt mellan provtagningarna – med högre koncentrationer under högsäsong än under lågsäsong. Reduktionsgraden minskade med ökande flödes hastigheter genom system. När flödet genom ozoneringstanken var minst 1 min och EBCT (empty bed contact time) var min 4 min gav systemet en reduktionsgrad på >80 % oavsett hög- eller lågsäsong (lågsäsong 98–100%).

Inför en fullskalig reningslösning rekommenderas en dimensionering baserat på främst ozonering, eftersom det är den metod som kemiskt bryter ned läkemedelssubstanserna utan tillförsel av konsumtionsmaterial. Detta är i kontrast med GAK-filtrering, där substanserna adsorberas och filtermedia kontinuerligt behöver bytas ut. Det rekommenderas dock att ett adsorptionssteg finns installerat i processen, för redundans vid systemunderhåll av



ozonsystemet, samt ytterligare adsorption av eventuella kvarvarande läkemedelsrester och möjliga transformationsprodukter.

## **2.59 Vatten och Miljö i Väst AB, Ullareds avloppsreningsverk (förstudie)**

I enlighet med förordning (2018:495) från Miljö- och Energidepartement har VIVAB fått bidragsstöd från Naturvårdsverket för en utförande av förstudie för läkemedelsrening i Ullareds avloppsreningsverk. Ullareds avloppsreningsverket (ARV) har en särskild sammansättning av inkommande avloppsvatten eftersom den mest betydande belastningen härrör från verksamheter som är knutna till handelsverksamheten vid Gekås och därmed ett större antal av besökarna enbart vistas under kortare tidsperioder inom avrinningsområdet. Dessutom tillhör recipienten (Högvadsån) till ett av regeringens godkända Natura 2000-områden enligt EU:s art och habitatdirektiv vilket utgör en betydelsefull motivering för Naturvårdsverkets beslut om bidrag.

Förstudien utfördes i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet och kan indelas i 3 olika faser. Under den första fasen utfördes kartering av mikroföroreningar med fokus på Läkemedel, antibiotika, hormoner, bakterier och mikroplaster. Karteringen begränsades inte enbart till reningsverket utan utvidgades till reningsverkets primära (Högvadsån) och sekundära (Ätran) recipienter. Vidare utfördes riskanalyser och riskbedömningar baserat på den s.k. EC/PNEC -kvoten i primärrecipienten samt baserat på miljökvalitetsnormer och sekundärrecipienten. I den andra fasen utvärderades och jämfördes olika fristående tekniker och teknikkombinationer utifrån reningsverkets specifika förutsättningar. Under den tredje fasen utfördes pilotstudier med en trumfiltersanläggning som kompletterades med koagulering för att höja avskiljningsgraden, samt med en ozonanläggning som införskaffades från Ozontech.

Flera försök utfördes under pilotstudierna. Koaguleringsförsök utfördes runt trumfiltret för att kunna bestämma den optimala koaguleringsdosen. Tre olika ozoneringsstester utfördes för att få fram den verkliga ozoninlösningen vid olika flöden. Ozoneringsstesterna utfördes med dricksvattnen, nitritlösning samt med ORP. För att försäkra sig att inga cancerogena bromatprodukter produceras från ozonanläggningen, undersöktes halterna av bromider och bromater in och ut från pilotanläggningarna. Ozonerings och trumfiltrets effekt på reducering av mikroföroreningar undersöktes med veckoprover i två olika omgångar. Vidare undersöktes ozoneringseffekten på reducering av mikroföroreningar genom en stickprovkampanj vid olika ozondoser. Pilotester med ozonerings kunde visa att en effektiv rening (>90%) av många substanser kan uppnås vid väldigt låga ozondoser motsvarande 0,17 mg O<sub>3</sub>/mg DOC. Förutom Citalopram och Oxazepam har samtliga undersökta substanser enligt den genomförda riskbedömningen en riskkvot under 0,1 i recipienten vilket medför låg risk. Endast Citalopram ligger över en rikskvot motsvarande 1,0.

Förstudien har visat att halter av inkommande vatten till Ullared ARV är högre för många läkemedelssubstanser jämfört med andra svenska anläggningar. Framför allt Gekås köpcentrum står för en signifikant andel av belastningen. Men utifrån genomförda riskbedömningar baserat på den väldigt effektiva avskiljning av mikroplaster i dagens reningsprocess samt recipientens höga spädningseffekt kan det konkluderas att det inte finns behov för extra rening vid Ullared ARV. Däremot rekommenderar projektgruppen att utföra liknande karteringar och recipientundersökningar på VIVAB:s stora verk, Smedjeholmen och Getteröverket inom snar framtid.

## **2.60 Vatten och Miljö i Väst AB, Getteröverket (förstudie nr 1)**

VIVAB har tillsammans med IVL Svenska miljöinstitutet undersökt förutsättningarna för en fullskaleinstallation för rening av läkemedelsrester men även andra mikroföroreningar. Utredningen av förutsättningarna har inneburit en kartering av mikroföroreningar över reningsverket, potentiella uppströms punktkällor samt mottagande ytvatten. En påverkansbedömning av recipienter och behovsanalys för en avancerad rening utfördes. Samtidigt genomfördes pilottester med teknikkombinationen ultrafiltrering och aktivt kol (UF-GAK) vid Getteröverket.

Getteröverket har idag en belastning på 56 700 pe och har inget läkemedelskrav däremot finns det utredningskrav på diklofenak, 17-alfa-etinylestradiol, 17-beta-östradiol och PFOS i utgående vatten. Utloppet från reningsverket sker i ett dike, Monarkbäcken, med låg vattenströmning. Bäckens flöde består främst av

dräneringsvatten från järnvägsbangård samt dagvatten från centrala delar av Varberg. Monarkbäcken mynnar ut i den inre delen av Farehammarsviken. Precis före utflödet till viken ansluter till Monarkbäcken även dagvatten från ytterligare bostads- och industriområde samt dräneringsvatten från järnvägsområdet och Lassabackadeponin via Lassabackadiket. I Monarkbäcken har de senaste sju åren minst fem händelser av fiskdöd rapporterats. Mynningen i Inre Farehammarsviken och stora delar av viken utgör fågelreservat. Området är klassat som skyddsvärd vårmård och är rikt på fågelliv med ett flertal rödlistade djur.

För karteringen skedde provtagning vid 12 punkter, en punkt på ledningsnätet vid sjukhuset, fyra punkter på reningsverket, en punkt i bäcken innan reningsverkets utlopp, en punkt för vattnet som kommer från deponin och industriområdet, en punkt i bäcken efter reningsverkets utlopp samt fyra punkter i recipienten. Reningsverket uppvisade en väldigt bra reningseffektivitet i avseende på hormoner för övrigt analyserade läkemedel varierar reduktionen kraftigt. Bortsett från ibuprofen, Naproxen och paracetamol som har en reduktion över 80% samt fyra andra ämnen tex Losartan som reduceras över 40% låg övriga läkemedel under 40% reduktion och för flera substanser kunde en negativ reduktion konstateras. För fenoler och PFAS blev resultatet att nonylfenol hade en negativ reduktion samt negativ eller liten reduktion för de flesta PFAS samt PFAS11.

Monarkdiket - innan och efter reningsverket, Lassabackadiket samt när Monarkdiket mynnar i Inre Farehammarsviken låg hormonhalterna under detektions- eller kvantifieringsgränsen förutom för Lassabackadiket som i två provomgångar hade kraftigt förhöjda halter. I övrigt kunde provtagningen visa att Getteröverket leder till en avsevärd ökning av flera läkemedelshalter i recipienten som också kunde ses i utflödet till Inre Farehammarsviken.

För provtagningen vid Varbergs sjukhus stack vissa läkemedel utan som högre än inkommande vatten till reningsverket – antibiotika Ciprofloxacin, Clarithromycin, Sulfamethoxazole och Trimethoprim m.m. Andra läkemedel förekommer i lägre halter än i inkommande avloppsvatten. Detta förklaras med vilka läkemedel som används på sjukhuset samt utspädning.

Utifrån gränsvärden för statusklassning (HVMFS 2019:25) kan efter provtagningen konstateras att diklofenak och PFOS ligger över gränsvärden. Bisfenol A överskrider medelvärde i provpunkten uppströms Getteröverket. Vid analys av recipientpåverkan utifrån toxikologiska studier och riskkvoter. För sex läkemedel (t.ex. ibuprofen) bedöms det inte föreligga någon negativ påverkan på recipienten. För ytterligare sju läkemedel fanns en måttlig risk. Halter för Citalopram, Clarithromycin, Diklofenac, Erythromycin, Furosemide, Oxazepam, Sertraline och Sulfamethoxazole ger en hög risk för miljöpåverkan i nästan samtliga provtagningspunkter. För närrecipienterna ligger effekthalterna för Citalopram på akuttoxiska halter. Omfattningen av påverkan tyder på att även om en avancerad rening tog bort 99,9 % av de prioriterade läkemedlen skulle risken för miljöpåverkan i mottagande recipienter inte kunna tas bort helt.

Valet att använda sig av UF-GAK-pilot berodde på flera anledningar, t.ex. bromidhalter på ca 0,11 mg/l i utgående vatten, VIVAB hade redan erfarenhet av ozon-pilot sen förstudien vid Ullared samt att de äger en UF-pilot som kunde modifieras och användas. UF möjliggör även i framtiden för cirkulär användning av vatten. Innan UF-piloten installerades man en ett mikrofilter och efter UF placerades GAK-piloten som bestod av olika typer av kol. Pilottesterna visade en kraftig reduktion av läkemedelsrester och andra föroreningar i utgående avloppsvatten samt att en stabil drift bör kunna åstadkommas med motsvarande teknik i fullskala. Det är framför allt GAK i piloten som stod för reduktionen av läkemedelsrester. För uppföljning av PFAS gav Filtrasorb bäst resultat. Där sjunker reduktionsgraden under 80% först efter 10 000 BV. För läkemedelsrester visade GPP-20 och Filtrasorb en effektiv rening. För de läkemedel med hög riskkvot kunde ingen av de prioriterade substanserna observeras efter GAK-linjerna med GPP 20 och Filtrasorb 400, förutom för Oxazepam vid den sista provtagningen efter GPP-20 filtret (som då hade något fler BV än Filtrasorb).

Projektet har kommit fram till att en utökad kartering av mikroföroreningar bör göras för att få en bättre bild av den faktiska föroreningssituationen samt en mer grundlig påverkansanalys i recipienterna för att identifiera eventuella föroreningsskällor. I förstudien har endast en teknikkombination kunnat utredas. Eftersom förstudien tydligt visat att det finns behov av en mycket kraftig reduktion av läkemedelsrester i utgående avloppsvatten vid Getteröverket kan dock även andra kompletterande reningstekniker komma i fråga. Även en potentiell

koppling till en mer cirkulär vattenhantering, där en långtgående avancerad rening vid Getteröverket kan utgöra en viktig del, kan vara motiverad att utreda vidare för en resurseffektiv och hållbar helhetslösning för Varberg och den enormt viktiga och skyddsvärda våtmarksmiljön i Inre Farehammarsviken.

## 2.61 Vatten och Miljö i Väst, Getteröverket (förstudie nr 2)

VIVAB har tillsammans med IVL Svenska Miljöinstitutet utfört en förstudie som kompletterar en tidigare gjort förstudie (kap. 2.60). Den tidigare studien utredde förutsättningarna för en fullskaleinstallation. Denna förstudie kompletterar genom kompletterande screeningar av mikroföroreningar, potentiella uppströms punktkällor samt mottagande ytvatten. Vidare fortsatte de tidigare startade långtidsförsöken med teknikkombinationen ultrafiltrering och granulerat aktivt kol (UF-GAK) samt kompletterande pilottester med teknikkombinationen ozonering och GAK (O<sub>3</sub>-GAK).

Resultat för den kompletterande karteringen av mikroföroreningar över Getteröverket, bidragande källor och olika recipientpunkter visar tydligt att Getteröverket är den dominerande transportvägen för läkemedelsrester till mottagande ytvatten inkl. Inre Farehammarsviken. För andra mikroföroreningar som PFAS och fenoler finns även andra källor än Getteröverket. Lakvattnet från Bösarp deponi bidrar endast en mindre del av PFAS-belastningen till Getteröverket. Utifrån HVMFS 2019:25 överskrider diklofenak tydligt gränsvärdet för inlandsvatten nedström Getteröverket. Oktylfenol överskrider vid första provtagning. Gränsvärdet för PFOS överskrids i samtliga recipientprov. Tas även hänsyn till ändringsförslaget av ämnesdirektivet för prioriterade ämnen så kommer diklofenak, östron, ibuprofen, bisfenol A, oktylfenol innebära överskridanden. Även PFOA-ekvivalenter kan bli problematiskt. Från riskbedömning (PEC/PNEC) har citalopram och oxazepam hög riskkvot.

De genomförda pilottesterna med de olika teknikkombinationer visade att en mycket bra reduktion av läkemedelsrester och andra mikroföroreningar kan åstadkommas. Långtidsförsöken visade också att detta kan åstadkommas med en signifikant mindre resursförbrukning i UF-GAK lösningen jämfört med traditionell design. Principförslaget som togs fram för UF-GAK teknikkombinationen inklusive dimensionering och tekniskt utförande visar en möjlig fullskaleimplementering. Även om projektgruppen valde att fokusera på teknikkombinationen UF-GAK i principförslaget eftersom denna teknislösning utforskades mest i långtidsförsöken samt att den ger ökade möjligheter även för en återanvändning av vatten, så gjordes även en enkel bedömning av O<sub>3</sub>-GAK alternativet.

UF-GAK:

- Investeringskostnad – 210 MSEK
- Driftkostnad – 15,6 MSEK/år
- 2,3<sup>1</sup> kr/m<sup>3</sup>

<sup>1</sup> inkl. avskrivningar m.m

## 2.62 Vilhelmina kommun, Vilhelmina avloppsreningsverk (fullskala)

Vilhelmina kommun har installerat en fullskalig läkemedelsrening med hjälp av Mellifiq vid Vilhelmina ARV.

Vilhelmina ARV som renar avloppsvatten från Vilhelmina tätort samt byn Lövliden är dimensionerat för 5000 personer samt ytterligare 200 m<sup>3</sup>/d industriavlopp från mejeri och slakteri. Reningsverket består av mekanisk rening, försedimentering, flockningsbassänger och eftersedimenteringsbassänger. Recipienten är Volgsjön. Volgsjön utgör en buffertvolym innan vattenflödet når Ångermanälven, som är Sveriges tredje vattenrikaste älv.

Innan tillkommande rening visade provtagningar att reningsverket släpper ut ungefär 100 µg/l läkemedel, vilket innebär att årligen släpps ca 60,5 kg läkemedel ut. Paracetamol utgör en stor del som sedan bryts ned i

recipienten. Halten ut från reningsverket är hög jämförbart med andra reningsverk men beror troligtvis på avsaknaden av ett biologiskt reningssteg. I recipienten uppmättes ungefär 486 ng/l läkemedel och framför allt fyra substanser kunde detekteras: diklofenak, citalopram, tramadol och trimetoprim.

Det befintliga reningsverket bedömdes i ett tidigt skede inte ha tillräckliga ytor tillgängliga för att installera ytterligare reningssteg i befintlig byggnad. Av praktiska och tekniska skäl bedömdes sedan inte heller en utbyggnad av befintlig reningsverksbyggnad vara passande. Ett reningsssystem projekterades därför först med utgångspunkten att en ny byggnad skulle uppföras på en markyta i anslutning till Vilhelmina ARV. På grund av kostnadsskäl beslutades det sedan att ett containerbaserad reningsystem skulle implementeras.

Reningssystemet består av partikelavskiljning med sandfilter, oxidation med ozonering och adsorption med GAK-filter. Samtlig reningsutrustning anpassades och integrerades till ett containerbaserat system bestående av 2 st 40-fots containers. Reningsanläggningen är dimensionerad för en reduktionsgrad på minst 80%. Flödesprofilen för reningsverket varierar kraftigt över året pga. stora volymer smältvatten. Reningsverket dimensionerades därför för 80 m<sup>3</sup>/h, vilket är något högre än medelflödet på 69 m<sup>3</sup>/h.

I samband med implementeringen av det ytterligare läkemedelsreningssteget uppdaterades det befintliga miljötillståndet att inkludera ett ytterligare reningssteg.

På grund av förseningar i projektet (covid-pandemin och Ukraina-kriget) kunde endast en inledande provtagning efter installation presenteras i rapporten. Det tillkommande reningssteget hade en positiv effekt på organiskt innehåll (TOC, COD och BOD) som reducerades med ca 60%. Halten totalfosfor sjönk med ca 40% över sandfiltersteget. Reningsgraden med avseende på totalhalt aktiva substanser och läkemedel uppmättes till 96 % exklusive metformin vars reningsgrad särskilde sig betydligt från alla övriga substanser. Av de 27 substanser som uppmättes på inkommande flöde till reningsystemet kvarstod sex substanser efter kolfiltret ovan kvantifieringsgränsen. Avseende de av EU utsedda indikatorsubstanser ingick sex av de 13 listade substanserna i det genomförda analyspaketet. Av de sex som ingick i analyspaketet uppmättes samtliga substanser ovan kvantifieringsgränsen på inkommande vatten till reningsystemet men reducerades till under kvantifieringsgränsen efter systemet.

Containerbaseras lösning ledde till ett förenklat installationsförfarande på plats i och med att merparten av installationsarbetet kunde genomföras externt, även om det ställde särskilda krav på framtagning av tekniskt installationsunderlag och planering av installationsytor.

Valet av reningsteknik med tryckfilter möjliggjorde en kompakt filterlösning. En grundläggande förutsättning för att kunna använda denna reningsteknik är att behovet av en tillräckligt dimensionerad och trycksatt renvattenkälla är tillgodosedd.

Inom av ramen för detta projekt har energibesparande åtgärder införts bl.a. genom att återcirkulera varmluft från kompressorenheten samt att utnyttja det kalla processvattnet för att kyla ozonsystemet. Enbart dessa två åtgärder beräknas leda till energibesparingar om ca 26 000 kWh/år. Ett exempel på ytterligare optimeringar med avseende på energieffektivitet skulle kunna vara att införa en flödesreglerad oxidationsbehandlingsprocess.

## **2.63 Västervik Miljö & Energi AB, Lucerna avloppsreningsverk (förstudie)**

Västervik Miljö & Energi AB (VME) har tillsammans med Sweco gjort en förstudie för att dels utreda behovet för rening av mikroföroreningar utifrån en miljöriskbedömning, dels att ta fram två för reningsverket möjliga processlösningar inklusive investerings- och driftkalkyler samt vilket ytbehov och klimatpåverkan som processlösningarna för med sig.

Lucerna ARV belastas idag med 24 000 pe och verket består av mekanisk, biologisk och kemisk rening. VME planerar att rusta upp reningsverket och öka kapaciteten till 40 000 pe. Detta beräknas stå klart under 2024/2025. VME vill undersöka behov och möjligheter att för avancerad rening i samband med ombyggnationen.

En karaktärisering av mikroföroreningar och vattenmatrisen på Lucerna ARV har utförts med avseende på läkemedel, hormoner, PFOS och PFOA samt några andra mikroföroreningar. En miljöriskbedömning utfördes genom att jämföra den beräknade koncentrationen av mikroföroreningar i recipienten (PEC) med den högsta koncentrationen av mikroföroreningar som inte förväntas ha någon negativ effekt på organismer i recipienten (PNEC). Om PEC/PNEC-kvoten är större än 1 i recipienten föreligger en risk att organismer kan skadas. Vid worst-case-scenariot när endast en spädning på sex gånger sker i recipient finns en hög risk vid utsläppspunkten av sex ämnen. Vid recipientprovtagningsspunkten hamnar tre ämnen i kategorin hög risk. Av dessa ämnen finns det nationella värden för god status för diklofenak som överskrids både i worst case-scenariot för utsläppspunkten och i recipientprovtagningen, och PFOS som överskrids vid utsläppspunkten.

Vattenmatrisen har studerats med hänsyn till de kemiska parametrar som kan påverka val av reningsteknik (ozon eller aktivt kol), t.ex. bromid-, DOC- och SS-halt. Sammanfattningsvis kan konstateras att vattenmatrisen inte indikerade på någon risk med att använda GAK som reningsteknik vid Lucerna ARV. Att använda ozonering som metod för rening av mikroföroreningar vid Lucerna ARV bedöms dock som olämpligt så länge bromidhalterna ligger kvar på höga nivåer.

Ett ozoneringssteg föreslås läggas framför de sandfilter som anläggs i samband om ombyggnationen. En GAK-anläggning kan i stället placeras efter sandfiltren. Ytbehovet för en ozonanläggning har bedömts till cirka 200 m<sup>2</sup> och för en GAK-anläggning till cirka 600 m<sup>2</sup>.

Uppskattade kostnader:

Ozon:

- Investering: 39 MSEK (51 500 kr/kg rena mikroföroreningar i årlig kapitalkostnad)
- Driftkostnad: 0,9 MSEK (0,3 kr/m<sup>3</sup>)

GAK:

- Investering: 80 MSEK (106 000 kr/kg rena mikroföroreningar i årlig kapitalkostnad)
- Driftkostnad: 3,6 MSEK (1,3 kr/m<sup>3</sup>)

Den genomförda LCA:n visar att en GAK-anläggning medför en långt högre klimatpåverkan än en ozonanläggning. Klimatpåverkan har beräknats till:

- Ozon: 6 g CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>3</sup>
- GAK: 306 g CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>3</sup> för jungfruligt kol och 72 g CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>3</sup> för regenererat kol.

Sammanfattningsvis kan konstateras att en ozonanläggning är mer fördelaktig än en GAK-anläggning med avseende på ytbehov, kostnader och klimatpåverkan. Ozon kan dessutom vara mer framgångsrikt i hantering av de riskämnen som framkommit i miljöriskbedömningen (exklusive PFOS/PFOA). De höga bromidhalterna vid Lucerna ARV medför dock att ozon i nuläget måste anses vara ett olämpligt val av reningsteknik.

## 2.64 Växjö kommun, Sundets reningsverk (förstudie nr 1)

Avloppsreningsverkens förmåga att ta hand om läkemedelsrester är begränsad. De är inte utformade för att ta hand om denna typ av föroreningar och därmed passerar stor del av läkemedelsresterna genom verken och släpps helt opåverkade ut i recipienten.

I denna rapport redovisar Växjö kommun resultaten av sin förstudie som Naturvårdverket beviljade bidrag till i november 2018. Syftet med förstudien var att ge Växjö kommun en klarare bild av nuläget med avseende på läkemedelsrester för avloppsvattnet som renas vid kommunens största reningsverk, Sundet samt att utföra olika försök i pilotskala för att klargöra vilken reduktionsgrad som kan uppnås och till vilken kostnad. Första delen av förstudien bestod av en nulägesanalys med provtagning uppströms (sjukhus, äldreboende och

hushåll), över verket och nedströms samt en riskanalys för primärrecipienten Norra Bergundasjön. Både vatten och slam har provtagits.

Provtagning utfördes vid tre tillfällen under 2019. Höga halter av flera läkemedelsrester återfanns i sjukhusets avloppsvatten, men andelen läkemedel från sjukhuset är i förhållande till totala mängden läkemedel till reningsverket relativt liten, förutom antibiotika och hormoner. I jämförelse med andra reningsverk är halten oxazepam i inkommande avloppsvatten upp till 10 gånger högre till Sundets reningsverk. Oxazepam är en lugnande och ångestdämpande substans som även återfanns i hög halt i avloppsvattnet från äldreboendet.

Sundets reningsverk har sedan starten 1994 och löpande genom åren investerat i olika reningstekniker såsom väl tilltagna biobassänger för aktiv slam där vissa är utbyggda med bärarzoner (IFAS/HY- BAS), efterpolering i Dynasandfilter, Anammox rejektvattenbehandling, samrötning för slamstabilisering och biogasproduktion samt termisk hydrolys (THP/CAMBI). Totalreduktionen av de analyserade substanserna uppmättes i medel till 54 % över verket med befintlig process, men det är många substanser som inte reduceras alls. Studien visar att biologisk rening med bärare IFAS/HYBAS i snitt ger 10 % högre reduktion av läkemedelssubstanser än traditionell aktivslamprocess. Det är samma substanser som reduceras, men i högre grad. Fortfarande går många substanser opåverkade genom reningsverket. I slam uppmättes låga halter, i många fall under rapporteringsgräns. Riskerna med spridning av slam på åkermark med avseende på läkemedelssubstanser bedöms små utifrån studiens resultat och annan litteratur.

I riskanalysen för recipienten jämfördes halter i utgående avloppsvatten med substansernas NOEC- värden (No Effect Concentration). Hänsyn togs också till utspädning i recipienten och osäkerheten i NOEC-värdet. För Norra Bergundasjön, primärrecipient, fick åtta substanser (oxazepam, östron, diklofenak, propranolol, amlodipine, fluoxetine, carbamazepin och erythromycin) en riskkvot över 1,0 och innebär således en hög risk för oönskade effekter i recipienten. På grund av väldigt låg utspädning och höga halter främst av oxazepam i utgående avloppsvatten erhöles höga riskkvoter. För denna substans är också osäkerheten i NOEC-värdet stor.

Andra delen av förstudien bestod av pilotförsök. De utvalda behandlingsteknikerna var ozon och UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (väteperoxid). Pilotförsöken visar att båda teknikerna har god reduktionsförmåga med avseende på läkemedelsrester och de visar ett tydligt samband mellan dos och reduktionsgrad. Alla detekterade substanser svarade bra på behandling oavsett teknik. Inga ekotoxikologiska testresultat tyder på att det bildas några toxiska bi- eller transformationsprodukter från någon av de två teknikerna vid de testade doserna.

Kostnadsberäkningar visar att behandling med UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> är avsevärt mycket dyrare än ozonbehandling både för investerings- och driftskostnader, men främst är det energiförbrukningen som skiljer sig åt. Ozonbehandling förbrukar 0,033 kWh/m<sup>3</sup> och behandling med UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> förbrukar 0,36 kWh/m<sup>3</sup>. En installation av UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-behandling skulle öka Sundets energiförbrukning med cirka 50 % jämfört med cirka 5 % ökning med ozonbehandlingen.

## **2.65 Växjö kommun, Sundets reningsverk (förstudie nr 2)**

Växjö kommun har tidigare gjort en förstudie (kap. 2.64) i vilket det redovisades en nulägesanalys med riskanalys för primärrecipienten Norra Bergundasjön samt utvärdering av två tekniker, ozon och ultraviolett ljus/väteperoxid, för reduktion av läkemedelsrester. Denna förstudie är fortsättning vars syfte var att utvärdera ytterligare en teknik, kolfiltrering (granulerat aktivt kol, GAK), i pilotskala för att få ett så bra beslutsunderlag som möjligt.

Växjö kommuns största reningsverk, Sundet, är dimensionerat för 95 000 pe (Q<sub>dim</sub> 1500 m<sup>3</sup>/h). Det tar emot och renar avlopp från Växjö tätort inklusive befintlig industri och har en höggradig rening avseende fosfor och organiska ämnen samt väl utbyggd nitrifikation.

Under perioden maj-augusti 2020 har filtrering med granulerat aktivt kol i DynaSand-filter (DynaSand Carbon) utvärderats i en pilotanläggning på reningsverket. Ett av syftena med pilotanläggningen var att se om det gick att ersätta sanden med aktivt kol i verkets befintliga DynaSand-filter och erhålla en kombinerad fosfor- och

läkemedelsavskiljning som slutpolering. Kolfiltret klarade inte den hårda belastningen då den kontinuerliga tvättningen inte hann med att rengöra filtermassan och filtret satte igen. Resultatet visar tydligt att förfiltrering krävs före kolfiltrering.

För utgående avloppsvatten uppvisade aktivt kol (AquaSorb CS) i DynaSand Carbon bra reduktionsförmåga med avseende på läkemedelsrester. Den totala reduktionen av de 40 analyserade substanserna var 91–92 %. Diclofenac var den substans som hade lägst reduktionsgrad (78 %) av de substanser som detekteras i högre halt i utgående avloppsvatten. DynaSand Carbon fungerade bra även driftsmässigt för utgående avloppsvatten.

Grova beräkningar visar att kostnaden för behandling med DynaSand Carbon storleksmässigt hamnar mellan ozon och UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-behandling.

GAK-filer:

- Investeringskostnad – 13,1 MSEK
- Driftkostnad – 3,9 MSEK/år
- 0,74 kr/m<sup>3</sup>

## **2.66 Åre kommun, Järpens avloppsreningsverk och Vikverket (förstudie)**

Åre kommun har genomfört ett projekt bestående av ett flertal delprojekt med syfte att undersöka behovet och förutsättningarna för läkemedelsrening på avloppsreningsanläggningarna Vik och Järpen. Syftet var också att erhålla tillräckligt med beslutsunderlag för eventuella investeringar i fullskaleanläggningar. Kommunen har fått bidrag av Naturvårdsverket för att genomföra projektet.

Projektet har delats upp i sex delar för respektive reningsverk; Utredning av nuläget och förutsättningar i form av en provtagningskampanj, sammanställning och utvärdering av provtagningsresultatet, skrivbordstudie över tillgängliga tekniker för avancerad läkemedelsrening, förprojektering samt kalkyl för att kunna implementera läkemedelsrening på Järpen och Vikverkets avloppsreningsverk. Slutligen har ett utkast till beslutsunderlag för framtida investering för respektive verk tagits fram. Samtliga förstudier redovisas i korthet i föreliggande rapport och i respektive avsnitt hänvisas det till bilagor i vilka resultaten från studierna återfinns i sin helhet.

Genomförda insatser, uppnådda resultat i projektet, utvärdering av resultat samt upparbetade kostnader redovisas i rapporten. Sammanfattningsvis är bedömningen att de flesta av de undersökta ämnena kunde detekteras, i delvis höga halter, både i det inkommande och utgående vattnet. I recipienten har dock endast ett fåtal av de undersökta ämnena detekterades. Utspänningsförhållandena i recipienten är över året mycket höga, endast vid lågt flöde i recipienten bedöms två ämnen, paracetamol och ibuprofen, kunna uppnå så pass höga koncentrationer att en miljöpåverkan inte kan uteslutas.

Med hänsyn till den låga recipientpåverkan är bedömningen att ingen avancerad rening behöver implementeras. I stället rekommenderas det att fokusera på implementering av biologisk rening på Järpens ARV. Vid Vikverket rekommenderas det att det befintliga biologiska reningssteget optimeras.

Om förutsättningarna ändras och behov av avancerad rening uppstår, exempelvis på grund av framtida lagkrav eller ackumulation av svårt nedbrytbara föroreningar i recipienten, så identifierades behandling med ett biologiskt aktivt filter med granulerat aktivkol vid Järpens RV respektive ozon vid Vikverket som de föredragna teknikerna. Anläggningarna har förprojekterats och kostnader för implementering av de nya reningsstegen uppskattas till 32 Mkr för Järpens ARV respektive 55 Mkr för Vikverket.

## **2.67 Örebro kommun, Skebäcksverket (förstudie nr 1)**

Örebro kommun har erhållit finansiering från Naturvårdsverket för att genomföra en förstudie som skall generera underlag för beslut om behov, omfattning och kostnad för läkemedelsrening vid Skebäcksverket. Veolia Water Technologies har på uppdrag av Örebro kommun genomfört denna förstudie.

Skebäcksverket ligger i Örebro kommun och recipient för utgående avloppsvatten är Svartån som vidare mynnar ut i Hjälmarén. Provtagningar i både inkommande och utgående avloppsvatten vid Skebäcksverket visar på förekomst av läkemedelsrester. Halterna överensstämmer med vad som rapporterats från flera andra kommunala avloppsreningsverk. En provtagning som genomfördes 2019 visar dessutom att halten av flertalet substanser ökar i recipienten efter reningsverkets utsläppspunkt jämfört med före. Rapporter finns på förhöjda halter av PFOS i fisk och VISS föreslår åtgärder vid reningsverket för att minska utsläppen av PFOS.

Man har kommit fram till att den mest lämpliga placeringen av en framtida läkemedelsrening är efter slutsedimenteringarna eftersom vattnet där är så rent som möjligt vilket bland annat har den fördelen att det leder till lägst driftskostnader. Historiska data på utgående vatten har analyserats för att få fram en dimensionerande avloppssituation som kan användas för att dimensionera framtida läkemedelsrening.

Efter förstudie har två metoder bedömts varit mest intressanta att arbeta vidare med i detalj och ta fram drifts- och investeringskostnader för. Dessa lösningar är:

- Ozonbehandling följt av adsorption i granulerade aktivt kolfilter
- Actiflo® Carb med integrerad tillsats av ozon

Riskbedömning för att ta fram prioriterade läkemedelssubstanser har inte genomförts i denna studie. Provtagning som genomförts 2019 i utgående spillvatten från reningsverket visar på förekomst av ciprofloxacin, claritromycin, diklofenak, karbamazepin, metoprolol, oxazepam och trimetoprim. Nedströms utsläppspunkt i Svartån kunde man konstatera förekomst av ciprofloxacin, claritromycin, karbamazepin, metoprolol, oxazepam och trimetoprim.

I HVMFS 2013:19 finns bedömningsgrunder för särskilda förorenande ämnen i inlandsytvatten. För ytvatten finns gränser för årsmedelvärden och/eller maximal tillåten koncentration (avses enheten µg/l). Värdet maximal tillåten koncentration för ciprofloxacin i Svartån (recipient för Skebäcksverket) är 0,1 µg/l och årsmedelvärde för diklofenak 0,1 µg/l.

I utgående spillvatten från Skebäcksverket var halten ciprofloxacin 0,0013 µg/l och diklofenak 0,66 µg/l vid provtagning 2019. I proverna 2019 nedströms reningsverkets utlopp var halten ciprofloxacin 0,0017 µg/l medan inget diklofenak kunde detekteras.

## **2.68 Örebro kommun, Skebäcksverket, (förstudie nr 2)**

Örebro kommun har utfört en förstudie för att få en nulägesbeskrivning på läkemedelsrester för Skebäcksverket och dess påverkan på recipienten (Svartån och Hjälmarén). Syftet har varit att projektets resultat ska kunna visa vilken miljönytta en fullskalig läkemedelsrening skulle ge i recipienten och eventuella förbättringar i recipienten. Det finns en tidigare förstudie som utförts med förslag på två olika processlösningar för läkemedelsrening. I den förstudien rekommenderades det att göra pilottester och göra undersökningar i recipienten. Kommunen valde att gå vidare med undersökningar i recipienten.

Provtagning analys har gjorts på tre punkter (inkommande, utgående samt blandslam innan beskickning till röt-kammare) i Skebäcksverket för att kartlägga hur och i vilka reningssteg som läkemedelsrester reduceras. Även i recipienten har provtagning och analys gjorts på tre punkter (Svartån före reningsverkets utlopp, Svartån efter reningsverkets utlopp samt Åssundet, Hemfjärdens utlopp till Mellanfjärden (Hjälmarén)). Årstidsvariationerna i Skebäcksverkets process samt i recipienten har undersökts.

För reningsverket visar resultaten att endast en liten del av läkemedelsresterna hamnar i slammet och anses därmed inte intressant att titta vidare på. För många parametrar visar högre halter i utgående vatten än i inkommande vatten, vilket är ett känt fenomen. Inga årstidsvariationer kunde ses. Inte heller i Svartån kunde några årstidsvariationer ses. Däremot varierade halterna i ån med flödet.



I provpunkten Ässundet i Hjälmaran kan man ana årstidsvariation för några parametrar, med högre halter vinterhalvåret. Detta kan betyda att nedbrytningen ökar i Hjälmaran under sommarhalvåret då temperaturen och därmed den biologiska aktiviteten är högre.

För bedömning av recipientens status har Havs- och vattenmyndighetens föreskrift Klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten (HVMFS 2019:25) använts. Av de parametrar som analyserats i förstudien återfinns två i föreskriften – Ciprofloxacin och diklofenak, varav endast den sistnämnda har detekterats i recipienten. Nivån för god status har för diklofenak i föreskriften angivits till <100 ng/l som årsmedelvärde. Detta underskrids som årsmedelvärde i Svartån uppströms Skebäcksvverkets utlopp (15,8 ng/l), i Svartån nedströms Skebäcksvverkets utlopp (82,2 ng/l) och i Ässundet i Hjälmaran (23,0 ng/l).

Baserat på bedömningen av recipientens status (diklofenak) samt det låga kunskapsläget om hur övriga parametrar påverkar recipienten gör att det är långt ifrån självklart att gå vidare med en fullskalig läkemedelsrening för Skebäcksvverket. Ett ytterligare avancerat reningssteg kostar såväl energi och andra resurser som VA-abonnenternas pengar, och det är därför av yttersta vikt att nogsamt utreda om detta kommer att ge en reell miljönytta. Ytterligare litteraturstudier och kunskapsinhämtning kommer därför att fortsätta och ligga till grund för ett beslut om införande av läkemedelsrening.

## 2.69 Österlen VA, Rosendals reningsverk (förstudie)

Österlen VA har tillsammans med Akvedikt AB och Miljö och Media på Kivik AV tagit fram en förstudie som omfattar utsläppsproblematiken av mikroföroreningar, främst läkemedelsrester, vid Rosendals ARV i Tomelilla. Förstudiens syfte har varit att utreda behovet och förutsättningarna kring ett fjärde reningssteg samt föreslå lämpliga och möjliga tekniklösningar för att avskilja läkemedelsrester.

Rosendals ARV är dimensionerat för 16 500 pe och ca 7 850 personer är anslutna. Österlenmejeriet är anslutet till verket och står för en betydande del av belastningen. Verket består av mekanisk, biologisk (aktivslamprocess med fördenitrifikation) och kemisk rening. Det renade vattnet leds därefter till poleringsdammar innan vattnet når Vålabäcken och vidare till Örupsån.

De månatliga matningarna visade att 35 av 39 analyserade ämnen kunde kvantifieras i det inkommande avloppsvattnet under året. Vissa läkemedel reduceras i hög utsträckning i reningsverket, som ibuprofen och paracetamol, andra i mycket mindre omfattning, som till exempel metoprolol och diklofenak, vilka hade medelkoncentration 1043 ng/L respektive 475 ng/L i utgående avloppsvatten. Reningsverkets biologi klarar de av EU föreslagna recipientkraven för ibuprofen, men inte för diklofenak.

I projektet har, genom analyserna av inkommande och utgående avloppsvatten, sju lämpliga indikatorer identifierats för utvärdering av avancerad rening. Ämnena har valts ut med tanke på analyserbarhet, EU:s kategoriindelning och att det är ämnen vi hittar i stabila halter i Tomelillas avloppsvatten.

Recipientanalyserna visar att gränsvärdet för miljö kvalitetsnormer för diklofenak. I förslaget till nya gränsvärdet överskrivs även östrogen.

Både ozonering och filtrering genom granulerat aktivt kol utgör möjliga tekniklösningar för en utbyggnad på Rosendals ARV. De bägge alternativen kan installeras på den plats som finns tillgänglig och kommer i jämförelse med andra reningssteg inte att ta särskilt mycket utrymme i anspråk (<200 m<sup>2</sup>).

GAK-filtrering med förfiltrering är en enkel och stabil processlösning som kräver ett minimum av tillsyn. Det finns goda erfarenheter inom Österlen VA från närliggande kolfilteranläggningar vilket skapar goda grunder för dimensionering och uppskattning av livslängd för kol. En fördel med GAK-filtrering är att ämnen i huvudsak avskiljs genom adsorption, vilket möjliggör efterföljande destruktion.

Rosendals ARV hamnar inom kategorin (10 000 – 100 000 pe) i det föreslagna EU-avloppsdirektivet, vilket betyder att en riskbaserad bedömning, med recipientperspektivet i fokus, ska ligga till grund för ett

åtgärdsbehov. Recipienten Välabäcken är med sina omgivningar och djurliv mycket skyddsvärd, och är med tanke på sin ringa storlek med låg utspädningsgrad en sårbar recipient under alla årstider. Strängare krav från EU väntas fastställas inom en nära framtid, och där kommer nya ämnen och ytterligare åtgärdskrav vad gäller mikroföroreningar, såsom läkemedel, finnas med. Detta tillsammans med det faktum att svenska gällande, och av EU föreslagna, gränsvärden för diklofenak överskrider året runt motiverar en utbyggnad av ett fjärde reningssteg.

GAK-filter (med sandfilter först):

- Investeringskostnad – 40 MSEK
- Driftkostnad – 2,5 MSEK/år
- 1,63 kr/m<sup>3</sup>

Ozon (med sandfilter efter):

- Investeringskostnad – 32,4 MSEK
- Driftkostnad – 2,1 MSEK/år
- 1,36 kr/m<sup>3</sup>

### 3 Sammanfattande tabell av slutrapporterna

VA-verksamhet samt storlek på RV	Undersökta tekniker	Prioriterade läkemedelssubstanser efter riskvärdering	Läkemedelssubstanser som ligger nära eller överskrider SFÅ enligt HVMFS 2019:25	Investeringskostnad och driftkostnad
Alingsås kommun Nolhaga reningsverk 30 000 pe	Sandfilter + ozon + GAK och BAK	Ej utfört men högriskläkemedel som oxazepam, metoprolol och trimetoprim återfinns samt PFAS	-	-
Alvesta kommun, Alvesta reningsverk, 7 000 pe	GAK eller ozon	Citalopram (furosemid, oxazepam, ibuprofen, sertralin och östron)	-	GAK – 57 MSEK i investering; 1,4 MSEK i driftkostnad  Ozon – 34 MSEK; 0,6 MSEK i driftkostnad  Specifik kostnad: GAK: 1,4 kr/m <sup>3</sup> Ozon: 0,5 kr/m <sup>3</sup>
Borlänge Energi AB. 60 000 pe	Skiv- eller sandfilter + MAK (magnetisk aktiverat kol)	-	-	Investering: 49 MSEK Drift: 0,7 – 0,9 SEK/m <sup>3</sup> Inkluderar även avskrivning från investerings-kostnad
Borås Energi och Miljö Sobacken ARV 150 000 pe	GAK-filter, Opacarb FL, Actiflo carb	Ej genomförd prioritering i detta projekt	Ej genomförd prioritering i detta projekt	Opacarb: Investering: 176 MSEK Drift: 0,47 – 0,92 SEK/m <sup>3</sup>
Borås Energi och Miljö Sobacken ARV 150 000 pe	Opacarb FL	oxazepam, sertralin och diklofenak	PFOS	Opacarb: 230 MSEK i investering; 10,5 MSEK i driftkostnad  Specifik kostnad: 0,84 kr/m <sup>3</sup>
ESEM, Ekeby ARV (150 000 pe)	GAK eller ozon + MBBR	Citalopram och PFOS	-	GAK – 208 MSEK i investering; 14,1 MSEK i driftkostnad  Ozon – 128 MSEK; 3,7 MSEK i driftkostnad
Enköpings kommun, Enköping ARV, 23 500 pe (45 000 pe)	GAK eller ozon + MBBR	citalopram, sertralin och norsertralin, PFOS, venlafaxin, furosemid, ibuprofen och diklofenak	Diklofenak, PFOS	GAK – 105 MSEK i investering; 4,3 MSEK i driftkostnad  Ozon – 84 MSEK; 1,4 MSEK i driftkostnad
Falu Energi och Vatten	Mikrofiltrering + GAK	Citalopram, Oxazepam, Ranitidine	Ingen av de fyra prioriterade läkemedelssub- stanserna överskrider gränsvärdena	Investering: Annuitetskostnad 3 MSEK/år Drift: 1,25 SEK/m <sup>3</sup> Inkluderar även avskrivning från

VA-verksamhet samt storlek på RV	Undersökta tekniker	Prioriterade läkemedelssubstanser efter riskvärdering	Läkemedelssubstanser som ligger nära eller överskrider SFÅ enligt HVMFS 2019:25	Investeringskostnad och driftkostnad
				investeringskostnad
GRYAAB, Ryaverket	Ozonering, PAK och GAK	Citalopram, Diklofenak, Oxazepam, Ranitidin, Östradiol och Östron	Diklofenak och Östradiol	<p>Investering: Ozonering: 520 MSEK PAK: 160 MSEK GAK: 730 MSEK</p> <p>Drift: Ozonering: 0,28 SEK/m<sup>3</sup> PAK: 0,80 SEK/m<sup>3</sup> GAK: 0,59 SEK/m<sup>3</sup></p> <p>Inkluderar även avskrivning från investeringskostnad</p>
Gästrikevatten Duvbacken reningsverk, 91 400 pe	GAK eller ozon + MBBR	Citalopram och PFOS	-	<p>GAK – 219 MSEK investering; 16, 7 MSEK i driftkostnad</p> <p>Ozon + MBBR – 138 MSEK investering; 3,9 MSEK i driftkostnad</p>
Haninge kommun Fors reningsverk 13 000 pe	GAK, ozon + sandfilter och PAK Utv. med fiskar	Citalopram, diklofenak, furosemid, oxazepam, ranitidin, sertralin, venlafaxin	Diklofenak	Uppskattad driftkostnad för ozon-sandfilter: 1,5 kr/m <sup>3</sup>
Hjo kommun, Hjo reningsverk 7 000 pe	Sandfilter + ozonering + GAK	-	-	-
Karlshamn Energi Sternö reningsverk 35 000 pe	GAK eller ozon + biologisk efterbehandling	-	-	<p>GAK – 48 MSEK i investering; 1,6 MSEK i driftkostnad</p> <p>Ozon – 38 MSEK; 1,1 MSEK i driftkostnad</p> <p>Specifik kostnad: GAK: 0,5 kr/m<sup>3</sup> Ozon: 0,3 kr/m<sup>3</sup></p>
Karlstad kommun	Ozonering eller GAK	Oxazepam och ciprofloxacin	Ciprofloxacin	-
Klippans kommun Klippans reningsverk 15 000 pers.	Ozonering + GAK	-	-	-
Kristianstad – Degeberga RV	Sandfilter + GAK	-	Diklofenak	Investering: 10,7 MSEK
Kungsbacka Kullaviks RV	eXeno™, PAK (Actiflo® carb)	-	-	Investering .16 MSEK (Actiflo® carb) Drift: 0,72 kr/m <sup>3</sup>
Kungsbacka, Hammargårds ARV 52 000 pe	Ozon+GAK+sandfilter + NF	-	-	-
Käppalaförbundet, Käppalaverket 600 000 pe	-	Diklofenak, Citalopram och Oxazepam	PFOS	-

VA-verksamhet samt storlek på RV	Undersökta tekniker	Prioriterade läkemedelssubstanser efter riskvärdering	Läkemedelssubstanser som ligger nära eller överskrider SFÅ enligt HVMFS 2019:25	Investeringskostnad och driftkostnad
Käppalaförbundet, Käppalaverket 600 000 pe	PAK, GAK, ozon	Utvärdering av ämnen från förslag till nytt avloppsdirektiv.	PFOS  Rev. Förslag till nya miljö kvalitetsnormer: Östron, Azitromycin, Diklofenak, Bisfenol A, Nonylfenol och ΣPFAS24PFOAekv	GAK – 233,3 MSEK i investering; 31,9 MSEK i driftkostnad  PAK + UF/MF – 340,6 MSEK i investering; 56,9 MSEK i driftkostnad  Ozon – 69,8 MSEK; 18,7 MSEK i driftkostnad  Specifik kostnad: GAK: 0,63 kr/m <sup>3</sup> PAK: 0,79 kr/m <sup>3</sup> Ozon: 0,26 kr/m <sup>3</sup>
Laholmsbuktens VA, Västra strandens ARV, 80 000 pers	GAK, ozon + GAK, ozon + sandfilter	citalopram, oxazepam och diklofenak	-	GAK – 39,6 MSEK i investering; 4,8–6,3 MSEK i driftkostnad  Ozon+GAK –53,5 MSEK i investering; 5,4–8,3 MSEK i driftkostnad  Ozon – 27,1 MSEK; 3,6–5,7 MSEK i driftkostnad  Specifik kostnad: GAK: 0,33–0,43 kr/m <sup>3</sup> ozon+GAK: 0,37-0,57 kr/m <sup>3</sup> Ozon: 0,25-0,4 kr/m <sup>3</sup>
Luleå Miljöresurs, Uddebo reningsverk, 65 000 pers	Sandfilter + ozonering + GAK	-	-	-
LAVAB, Lycksele ARV, 14 000 pe	elektro-peroxon	-	-	-
Mariestads kommun, Töreboda ARV, 13 600 pe	Förslag – GAK eller ozon + GAK	citalopram, diklofenak, furosemid, oxazepam, venlafaxin, PFOS och östrogena effekter	Diklofenak och PFOS	-
Mittskåne Vatten, Ormnäs ARV	GAK, ozon + GAK, ozon + sandfilter	Oxazepam	-	GAK – 106 MSEK i investering; 1,87 MSEK i driftkostnad  Ozon+GAK – 151 MSEK i investering; 2,95 MSEK i driftkostnad  Ozon – 142 MSEK; 2,42 MSEK i

VA-verksamhet samt storlek på RV	Undersökta tekniker	Prioriterade läkemedelssubstanser efter riskvärdering	Läkemedelssubstanser som ligger nära eller överskrider SFÅ enligt HVMFS 2019:25	Investeringskostnad och driftkostnad
				driftkostnad  Specifik kostnad: GAK: 0,79 kr/m <sup>3</sup> ozon+GAK: 1,25 kr/m <sup>3</sup> Ozon+SF: 1,02 kr/m <sup>3</sup>
Mittsverige Vatten och Avfall AB/ Sundsvall Vatten Fillan ARV Essvik ARV Tivoliverket	Ozon och GAK	etinylöstradiol, östron, oxazepam och diklofenak	etinylöstradiol, östron och diklofenak	Investering: 70 MSEK (Ozonering vid Fillan och Essvik RV och GAK på Tivoliverket)  Drift: 0,8 SEK/m <sup>3</sup> (vid installation av läkemedelsrening vid de tre reningsverken), 0,4 SEK/m <sup>3</sup> vid installation av läkemedelsrening för ett centraliserat reningsverk)  Inkluderar även avskrivning från investeringskostnad
MSVA/Sundsvall Vatten Fillan ARV 30 000 pe	MBBR	Hormoner och hormonstörande effekter	Östradiol och etinylöstradiol	
Norrtälje kommun Lindholmens reningsverk 34 000 pe	Ozonering, GAK eller PAK  (+ ultrafilter och UV)	Obs! låga konc. Men citalopram och venlafaxin	-	För GAK - 120 MSEK i investering; 8,1 MSEK => årskostnad 13,2 MSEK
Norrtälje kommun, Rimbo ARV 10 000 pe	Ozon + sandfilter	Citalopram och oxazepam	-	Ozon + SF – 33 MSEK; 2,81 MSEK i driftkostnad  Specifik kostnad: Ozon: 1,07 kr/m <sup>3</sup>
NSVA – kartläggning	Ozon, GAK, ozon + GAK	Olika för olika verk – hormoner, oxazepam, citalopram, sertralin, PFOS, diklofenak, furosemid, klaritromycin, sulfametoxazol	PFOS, diklofenak	
NSVA (Öresundsverket)	Ozon + MBBR	Ingen riskvärdering genomförd inom projektet		Investering: 110 MSEK Drift: 0,22 kr/m <sup>3</sup>
NSVA (Lundåkraverket)	Ozon + MBBR	Ingen riskvärdering genomförd inom projektet		Investering: 45 MSEK Drift: 0,22 kr/m <sup>3</sup>
NSVA Recolab	Nanofilter + ozonering	-	-	Inv: 6,74 MSEK

VA-verksamhet samt storlek på RV	Undersökta tekniker	Prioriterade läkemedelssubstanser efter riskvärdering	Läkemedelssubstanser som ligger nära eller överskrider SFÅ enligt HVMFS 2019:25	Investeringskostnad och driftkostnad
Nybro Energi, Överstatorp reningsverk 9 000 pe	GAK eller ozon + biologisk efterbehandling	citalopram och oxazepam (diklofenak, furosemid, sertralin, venlafaxin och PFOA)	diklofenak	GAK – 67 MSEK i investering; 3,8 MSEK i driftkostnad  Ozon – 36 MSEK; 0,7 MSEK i driftkostnad  Specifik kostnad: GAK: 1,3 kr/m <sup>3</sup> Ozon: 0,2 kr/m <sup>3</sup>
Nässjö Affärsverk AB Nässjö ARV 23 000 pe	GAK eller ozon	azitromycin, citalopram, diklofenak, oxazepam, sertralin, östron, PFOA, PFOS och bisfenol A (BPA)	diklofenak, östron och PFOS  BPA i nytt förslag till EQS-värden	GAK – 87 MSEK i investering; 4,4 MSEK i driftkostnad  Ozon – 48 MSEK; 1,5 MSEK i driftkostnad  Specifik kostnad: GAK: 1,03 kr/m <sup>3</sup> Ozon: 0,36 kr/m <sup>3</sup>
Region Gotland, Visby reningsverk 40 000 pe	UF + RO  Rening på retentat:  GAK, ozon och H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV	-	-	Investeringar: UF: 70 MSEK, RO: 31 MSEK, UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 3 MSEK, O <sub>3</sub> : 12 MSEK, GAK: 13 MSEK  Specifik kostnad/m <sup>3</sup> : UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : >0,7-2,1 kr, O <sub>3</sub> : 0,9-3,5 kr, GAK: 0,63-2,1 kr
Ronneby Miljö och teknik AB Bräkne-Hoby ARV 3 500 pe	Sandfilter + ozonering + GAK	-	-	Inv: 11 MSEK
Ronneby Miljö och teknik AB Rustorp ARV 25 000 pe	Ozonering+GAK	-	-	Inv: O <sub>3</sub> +GAK: 84 MSEK; 1,5-3,0 MSEK/år i driftkostnad
Roslagsvatten AB Margaretelund ARV 35 370 PE (93 000 PE 2031)	PAK och GAK	-	PFOS	GAK – 35 MSEK i investering; 4,7 MSEK i driftkostnad  PAK – 3,5 MSEK; 2,25 MSEK i driftkostnad  Specifik kostnad: GAK: 0,46 kr/m <sup>3</sup> PAK: 0,22 kr/m <sup>3</sup>
Sorsele kommun, Sorsele reningsverk 2 000 pe	Sandfilter + ozonering + GAK	-	-	-
Storumans kommun, Stensele reningsverk	Sandfilter + ozonering + GAK	-	-	-

VA-verksamhet samt storlek på RV	Undersökta tekniker	Prioriterade läkemedelssubstanser efter riskvärdering	Läkemedelssubstanser som ligger nära eller överskrider SFÅ enligt HVMFS 2019:25	Investeringskostnad och driftkostnad
4 000 pe				
Strömsunds kommun, Strömsunds ARV 7 000 pe	Elektro-peroxon	-	-	-
Syvbab Himmerfjärdsverket 350 000 personer	MBR-teknik + GAK	Citalopram, Oxazepam, Ranitidine och Diklofenak	Diklofenak	Investering :433 MSEK Drift: 60,7 MSEK/år 1–1,5 SEK/m <sup>3</sup> Inkluderar även avskrivning från investerings-kostnad
Syvbab, Himmerfjärdsverket 350 000 personer	PAK+MBR	-	-	Drift: 30-40,5 MSEK/år
Tierps energi och Miljö AB	Sandfilter + Ozon + GAK	-	-	Investering: 13,5 MSEK
Uddevalla Vatten, Skansverket 38 000 pe	Ozon och GAK	citalopram, oxazepam, bisfenol A och PFOS (diklofenak, furosemid, ibuprofen, sertralin och venlafaxin)	(diklofenak) PFOS	GAK – 100 MSEK i investering; 13 MSEK i driftkostnad  Ozon – 89 MSEK; 8,6 MSEK i driftkostnad  Specifik kostnad: GAK: 2,0 kr/m <sup>3</sup> Ozon: 1,3 kr/m <sup>3</sup>
Ulricehamn Energi AB, Ulricehamn framtida ARV 27 000 pe	Ozon och GAK	Måttlig risk: citalopram, diklofenak, ibuprofen, oxazepam, sertralin, PFOS och östron	PFOS	
Uppsala Vatten och Avfall AB, Kungsängsverket 200 000 personer	Skivfilter + GAK  ozon + fällning + sandfilter + anjonbytare	Citalopram, diklofenak, flukonazol, ibuprofen, metoprolol, propranolol, PFOS (PerFluorOktansulfonSyra) och 4-nonylfenol	-	Investering: 240 MSEK (Skivfilter +GAK), 205 MSEK (ozon + fällning + sand-filter + anjonbytare) Drift: 10-27 MSEK/år (Skivfilter +GAK) 13-19 MSEK/år (ozon + fällning + sandfilter + anjon-bytare)
Uppsala Vatten och Avfall AB, Kungsängsverket 200 000 personer	GAK+Anjonbytare	citalopram, diklofenak, oxazepam, metoprolol och PFOS	-	-
VAKIN, Öns och Flurkmårks ARV, 100 000 pers (Öns ARV)	- Ozon och GAK  - Sandfilter + 1 linje BAK och 1 linje avancerad ox-proccs + GAK	-	-	Investering (Flurkmårks ARV): 7,6 MSEK
VAMAS, Sälffällets ARV, 38000 personer	Sandfilter+ozon+GAK	-	-	-
VA SYD,	GAK	Citalopram, diklo-	Diklofenak	-



VA-verksamhet samt storlek på RV	Undersökta tekniker	Prioriterade läkemedelssubstanter efter riskvärdering	Läkemedelssubstanter som ligger nära eller överskrider SFÅ enligt HVMFS 2019:25	Investeringskostnad och driftkostnad
Sjölunda ARV 550 000 pe		fenak, oxazepam och sertralin		
VA SYD, Klagshamns ARV 90 000 pe	Ozon+GAK, ozon och GAK	citalopram och oxazepam		GAK – 92 MSEK i investering; 12,8 MSEK i årskostnad  Ozon – 72 MSEK; 7,7 MSEK i årskostnad  Ozon+ GAK – 164 MSEK; 16,2 MSEK i årskostnad  Specifik kostnad: GAK: 1,0 kr/m <sup>3</sup> Ozon: 0,6 kr/m <sup>3</sup> ozon+GAK: 1,3 kr/m <sup>3</sup>
VA SYD, kartläggning flera ARV t.ex. Ellinge ARV och Källby ARV	Ozon+GAK	diklofenak, citalopram, furosemid, oxazepam, sertralin, sulfametoxazol, östron, PFOS	diklofenak (etinylöstradiol), PFOS	Källby: Ozon+ GAK – 119 MSEK; 22,3 MSEK i årskostnad 2,1 kr/m <sup>3</sup>  Ellinge: Ozon+ GAK – 68,4 MSEK; 12,6 MSEK i årskostnad 2,5 kr/m <sup>3</sup>
Vilhelmina kommun, Vilhelmina ARV 5000 personer	Sandfilter+ozon+GAK	-	-	Faktisk investering: 12 MSEK
VIVAB, Ullared ARV	Ozon + mikrofiltrering	Citalopram och Oxazepam		
VIVAB, Getteröverket 56 700 pe	UF + GAK	Citalopram, Clarithromycin, Diklofenac, Erythromycin, Furosemide, Oxazepam, Sertraline och Sulfamethoxazole	Diklofenak och PFOS	Uppskattade kostn.:  UF: 0,5–0,65 kr/m <sup>3</sup> , GAK: 0,5-1 kr/m <sup>3</sup>
VIVAB, Getteröverket 56 700 pe	UF+GAK & ozon+GAK	Citalopram och oxazepam	Diklofenak och PFOS (oktylfenol)  Nytt förslag prioämnesdirektiv: diklofenak, östron, ibuprofen, bisfenol A, oktylfenol och PFOA-ekv.	UF+GAK:  Investering: 210 MSEK,  Årskostnad: 15,6 MSEK/år  Specifik: 2,3 kr/m <sup>3</sup>
Västervik Miljö & Energi, Lucerna reningsverk 24 000 pe	GAK eller ozon	Citalopram, diklofenak, ibuprofen, oxazepam, sertralin och PFOS	Diklofenak + PFOS	GAK – 80 MSEK i investering; 3,6 MSEK i driftkostnad  Ozon – 39 MSEK; 0,9

VA-verksamhet samt storlek på RV	Undersökta tekniker	Prioriterade läkemedelssubstanser efter riskvärdering	Läkemedelssubstanser som ligger nära eller överskrider SFÅ enligt HVMFS 2019:25	Investeringskostnad och driftkostnad
				MSEK i driftkostnad  Specifik kostnad: GAK: 1,3 kr/m <sup>3</sup> Ozon: 0,3 kr/m <sup>3</sup>
Växjö kommun Sundets ARV 95 000 ARV	Ozon och UV/H2O2	Oxazepam, östron, diklofenak, propranolol, amlodipine, fluoxetine, carbamazepine och erythromycin	Diklofenak	Total investering och driftskostnad: 1,05 – 2,62 SEK/m <sup>3</sup> (20 g H2O2/m <sup>3</sup> ) 0,82 – 1,98 SEK/m <sup>3</sup> (40 g H2O2/m <sup>3</sup> )
Växjö kommun Sundets ARV 95 000 ARV	GAK (i befintliga filter)	-	-	GAK – 13,1 MSEK i investering; 3,9 MSEK i driftkostnad 0,74 kr/m <sup>3</sup>
Åre kommun	BAF (Järpens RV), Ozon (Vikverket)	-	-	Total investering: Järpens RV – 32 MSEK, Vikverket – 55 MSEK
Örebro kommun (Skebäcksverket)	Ozon +GAK  Actiflo® Carb med integrerad tillsats av ozon	Ej genomförd prioritering i detta projekt men följande finns i utgående vatten: Ciprofloxacin, Claritromycin, Diklofenak, Karbamazepin, Metoprolol, Oxazepam och Trimetoprim		
Örebro kommun Skebäcksverket	-	Diklofenak i utgående spillvatten från Skebäcksverket	Diklofenak underskrider gränsvärdet	-
Österlen VA AB Kiviks nya ARV	MBR + 2 GAK			77 MSEK (inkl. projektering, intern tid m.m)
Österlen VA AB St Olofs ARV	Sandfilter + GAK	-	-	8 MSEK
Österlen VA AB 16 500 pe	Sandfilter + GAK och ozon+sandfilter	Diklofenak	Diklofenak (östrogen)	GAK – 40 MSEK i investering; 2,5 MSEK i driftkostnad  Ozon – 32,4 MSEK i investering; 2,1 MSEK i driftkostnad  Specifik kostnad: GAK: 1,63 kr/m <sup>3</sup> Ozon: 1,36 kr/m <sup>3</sup>