



Växjö
kommun

Förstudie läkemedelsrening på Sundets reningsverk, Växjö



Jeanette Lindberg JANUARI 2020

FÖRORD

I april 2017 överlämnade Naturvårdsverket en rapport som redovisning av ett regeringsuppdrag om läkemedelsrening på avloppsreningsverk. Naturvårdsverket konstaterar att det finns behov av att införa avancerad rening av läkemedelsrester i avloppsvatten. Sådan rening skulle även medföra rening av andra oönskade ämnen, vilket förstärker nyttan.

Regeringen satsar 45 miljoner kronor år 2018, 50 miljoner kronor år 2019 och 70 miljoner kronor år 2020 på avancerad rening av avloppsvatten. I regleringsbrevet för år 2018 har Naturvårdsverket fått i uppdrag att fördela investeringsbidraget.

Investeringsbidraget kommer bidra till att fler avloppsreningsverk installerar avancerad rening, vilket bidrar till minskade utsläpp av läkemedelsrester och andra miljögifter i hav, sjöar och vattendrag. Bidraget kommer att ge en ökad kunskapsuppbyggnad kring avancerad rening och belysa de frågeställningar som uppstår vid planering, projektering, upphandling, installation och drift av läkemedelsrening, vilket kommer vara viktiga delar i det fortsatta arbete för myndigheter, VA-huvudmän, branschorganisationer, näringslivet och instanser som arbetar med tillsyn och prövning. Bidraget kan ges till två typer av projekt; investeringsprojekt och förstudieprojekt (Naturvårdsverkets, 2018).

15 november 2018 beviljades Växjö kommun 2 559 600 kr i bidrag för en förstudie med huvudsakligt syfte att utreda förutsättningar för en fullskaleinstallation av teknik för rening av avloppsvatten från läkemedelsrester. Projektiden är 15 november 2018 - 31 december 2019.

I utlysningen 2018 beviljades totalt 6 investeringsprojekt och 9 förstudieprojekt.

SAMMANFATTNING

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 klargör 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.

Sundet 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/HYBAS), efterpolering i Dynasandfilter, Anammox rejektvattenbehandling, samrötning för slamstabilisering och biogasproduktion samt termisk hydrolysis (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, diclofenac, propranolol, amlodipine, fluoxetine, carbamazepine 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/H₂O₂ (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/H₂O₂ 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/m³ och behandling med UV/H₂O₂ förbrukar 0,36 kWh/m³. En installation av UV/H₂O₂-behandling skulle öka Sundets energiförbrukning med cirka 50 % jämfört med cirka 5 % ökning med ozonbehandlingen.

INNEHÅLL

FÖRORD	2
SAMMANFATTNING.....	3
1 Syfte, mål och avgränsningar.....	7
2 Bakgrund.....	8
2.1 Läkemedel.....	8
2.2 Sundets reningsverk.....	9
2.3 Recipient	11
3 Genomförande.....	12
3.1 Nulägesanalys.....	12
3.2 Pilotförsök.....	15
3.2.1 Ozon allmänt	15
3.2.2 Ozon pilotförsök.....	16
3.2.3 UV/H ₂ O ₂ allmänt.....	17
3.2.4 UV/H ₂ O ₂ pilotförsök	18
3.2.5 Dos-respons	20
3.2.6 Långtidstest.....	21
3.3 Provtagning och provberedning.....	21
3.4 Analyser	23
3.4.1 Läkemedel.....	23
3.4.2 Kemiska analyser, standardparametrar	24
3.4.3 Mikrobiologiska parametrar, bakterier	25
3.4.4 Bromat	25
3.4.5 Ekotoxikologiska tester.....	25
4 Resultat och diskussion	26
4.1 Nulägesanalys uppströms.....	26
4.2 Nulägesanalys över avloppsreningsverket.....	29
4.2.1 Vatten.....	29
4.2.2 Aktivt slam mot IFAS/HYBAS	31
4.2.3 Slam.....	32
4.2.4 Rejekt	33
4.3 Nulägesanalys nedströms.....	34
4.4 Riskanalys.....	35
4.5 Resultat Dos-respons.....	37

4.5.1	Resultat dos-respons ozon, utgående avloppsvatten	37
4.5.2	Resultat dos-respons ozon, eftersedimenterat avloppsvatten.....	40
4.5.3	Resultat dos-respons UV/H ₂ O ₂ , utgående avloppsvatten.....	42
4.6	Resultat långtidstest.....	45
4.6.1	Ozon.....	45
4.6.2	UV/H ₂ O ₂	45
4.7	Drift, underhåll och arbetsmiljö.....	46
4.7.1	Ozon.....	46
4.7.2	UV/H ₂ O ₂	47
4.8	Kostnadsberäkning för potentiell anläggning i fullskala	48
4.8.1	Ozon.....	48
4.8.2	UV/ H ₂ O ₂	50
4.8.3	Jämförelse	51
5	Slutsats och rekommendationer.....	53
6	Referenser.....	56
7	Bilagor.....	58
7.1	Standardparametrar uppströms.....	58
7.2	Standardparametrar verket	58
7.3	Standardparametrar dos-respons ozon, utgående vatten	59
7.4	Standardparametrar dos-respons ozon, eftersedimenterat vatten	60
7.5	Standardparametrar långtidstest ozon	60
7.6	Nulägesanalys, sjukhusets andel.....	61
7.7	Nulägesanalys, äldreboendets andel.....	62
7.8	Nulägesanalys, jämförelse inkommande mot referens.....	63
7.9	Nulägesanalys, slam.....	64
7.10	Risikanalys, prioriteringslista.....	65
7.11	Reduktionsgrad långtidstest ozon.....	66
7.12	Reduktionsgrad långtidstest UV/H ₂ O ₂	67
7.13	Rapport Nouryon/Van Remmen	68
7.14	Rapport AnoxKaldnes	69

1 SYFTE, MÅL OCH AVGRÄNSNINGAR

För att begränsa spridningen av läkemedelsrester och andra mikroförroreningar till miljön kan det behövas åtgärder vid svenska avloppsreningsverk. Behovet av att införa avancerad rening varierar dock och en kartläggning av dagens reningseffektivitet och en tillhörande behovsutredning rekommenderas som de första åtgärderna (Naturvårdsverket, 2017). Hänsyn behöver tas till de lokala förhållandena, exempelvis mängden läkemedelsrester, recipientens vattenomsättning och känslighet, samt variationer över året (SWECO, 2016).

Syftet med projektet var dels att genomföra en nulägesanalys (uppströms, över verket och nedströms) i både vatten- och slamfas för att undersöka behovet av ytterligare rening av läkemedelsrester, dels att utifrån nulägesanalysen göra en riskbedömning för recipienten och att genom pilotstudier utvärdera effekten av lämplig reningsteknik.

Målet med projektet var att få fram ett beslutsunderlag för en eventuell investering i fullskala.

Förstudien i sig bidrar inte med någon effekt på recipienten, med undantag för liten effekt till följd av pilotförsöken. Genomförs en fullskalig installation av läkemedelsrening är målet att nå upp mot 90% reduktion av huvudsakliga och prioriterade läkemedel (enligt riskbedömningen) över reningsverket.

Avgränsning har gjorts med avseende på lämpliga tekniker att testa. Oxidation med ozon och oxidation med UV-ljus i kombination med väteperoxid (H_2O_2) är tekniker som valts för test i pilotskala i det här projektet. Undersökning av kapaciteten avseende läkemedelsreduktion med och utan bärare i reningsverkets biologiska process (aktivt slam) har utförts i mindre skala på laboratorium.

Avgränsning har även gjorts med avseende på analyserade läkemedelssubstanser. Urvalet av läkemedel har följt rekommendation från IVL Svenska Miljöinstitutet.

2 BAKGRUND

2.1 LÄKEMEDEL

Läkemedel är en speciell grupp kemiska ämnen. Eftersom vi behöver dem för att bota och lindra sjukdomar är det svårt att förbjuda dem även om de har negativ miljöpåverkan. Spridning av läkemedelsrester och resistenta bakterier i miljön har blivit allt mer uppmärksammat. Undersökningar visar på att ett relativt stort antal läkemedel hittas i utgående avloppsvatten och i vattendrag men även långt ut till havs, bland annat i Östersjön (Björleinius m fl., 2018). 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 Sverige säljs det läkemedel för många miljarder per år. Förbrukningen motsvarar tusentals ton räknat i bara aktiva substanser. Användningen av läkemedel ökar stadigt bland annat på grund av att nya effektiva läkemedel kommer ut på marknaden och att befolkningen i större utsträckning består av äldre. Idag är den största källan för spridning till miljön i Sverige läkemedel som lämnar kroppen efter användning. En stor andel av läkemedel som intas av människor eller djur utsöndras vanligen oförändrade via njurarna eller i metaboliserad form via levern, men kan även transporteras från lever till galla och utsöndras via tarmen. Orsaken till att vi "läcker" ut läkemedel är paradoxalt nog att de är konstruerade så. För att läkemedel man stoppar i sig ska fungera måste de vara stabila och klara sig genom magsyran i magsäcken eller tarmsystemet. De måste också vara vattenlösliga för att transporteras runt i blodet. Slutligen måste det till en sådan mängd att de verkligen når fram till och gör nytta på rätt ställe i kroppen. I lever och njurar ses ämnena som onaturliga och skickas ut ur kroppen när de haft sin verkan.

Läkemedel är utformade att ha effekt vid väldigt låga koncentrationer och de är ofta kemiskt resistenta eller bryts ner långsamt, vilket kan innebära stora konsekvenser för våra ekosystem. En effekt i miljön som diskuteras är bland annat antibiotikaresistens hos bakterier, vilken induceras redan vid låga halter antibiotika. Det har visat att låga halter av kvinnliga könshormoner kan påverka vattenlevande organismer och ge en skev könsfördelning. Ängstdämpande medel ger beteendeförändringar och har gjort abborrar modigare och därmed lättare byte för rovfisk. Andra läkemedel med känd miljöpåverkan är blodtrycksmedicin, lugnande, antidepressiva och antiinflammatoriska läkemedel (Malmborg, 2014).

Sveriges regering har tagit fram en nationell läkemedelsstrategi där ett av dess sju insatsområden är att minska läkemedlens påverkan i miljön. Inom ramdirektivet för vatten placerade 2015 EU-kommissionen flera läkemedel på en bevakningslista (Watch list) för prioriterade ämnen. Det betyder att utsläpp av dessa läkemedel ska följas och man diskuterar att införa gränsvärden. Läkemedlen på denna lista var två naturliga hormoner (östron och östradiol), ett syntetiskt hormon (etinylöstradiol), antibiotika (claritromycin och erythromycin) samt ett inflammationshämmande medel (diclofenac). 2018 uppdaterades listan, diclofenac togs bort och antibiotikan ciprofloxacin lades till.

Det finns idag teknik för att rena läkemedelssubstanser och förhindra spridning i miljön, men det finns än så länge inga krav på reningsverken i Sverige att införa detta. I Schweiz

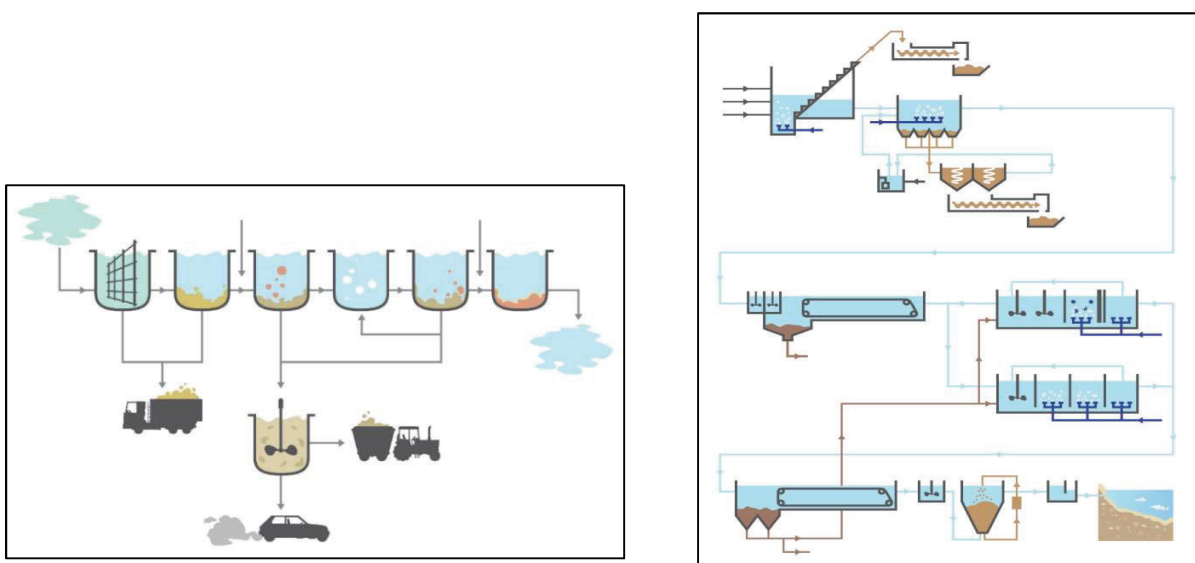
finns det en lag om läkemedelsrening och utbyggnad pågår. Tyskland ligger också långt framme (Cimbritz, 2016). I Sverige finns det nu två reningsverk (Linköping och Simrishamn) som har rening för läkemedelsrester och fler är under uppbyggnad.

2.2 SUNDETS RENINGSVERK

Reningsverket Sundet togs i drift 1994 och är dimensionerat för 95 000 pe. För 2018 var den faktiska belastningen beräknad utifrån BOD_7 knappt 50 000 pe och antalet fysiskt anslutna var ca 70 000. Verket 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. Dimensionerat flöde är $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ och maxflödet är $3000 \text{ m}^3/\text{h}$. Från avloppsvattenreningen tas ett slam ut som samrötas med matavfall och andra organiska material för produktion av biogas. Rötresten som är REVAQ-certifierad används som gödsel på jordbruksmark.

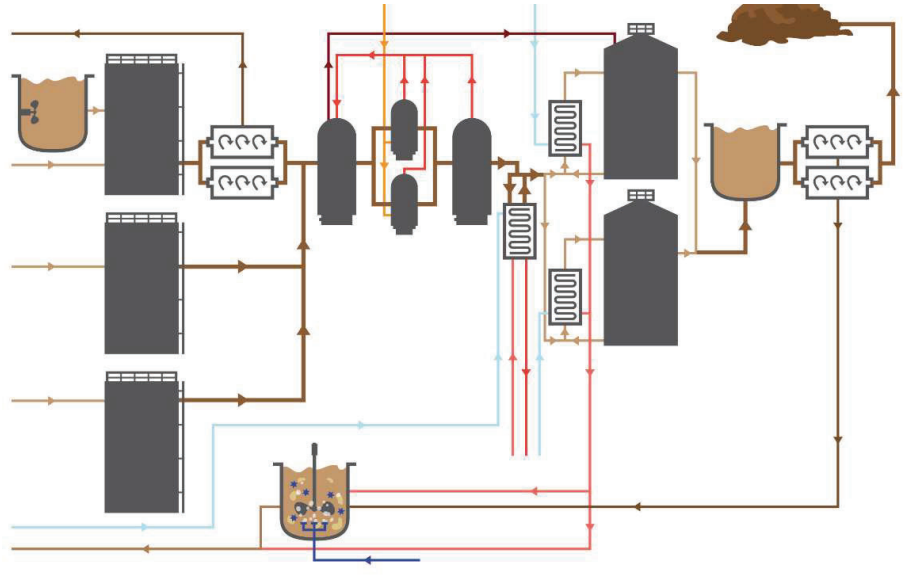
Avloppsvattnet passerar först silgaller och därefter två luftade sandfång. Verket är ett förfällningsverk och kemikalier tillsätts i inblandningsfack efter sandfånget. Efter kemikalieinblandningen är verket uppdelat i sex parallella linjer där en linje är utformad och extra utrustad för att kunna utnyttjas som försökslinje. I försedimenteringen avskiljs huvuddelen av de partikulära föroreningarna samt fosfor. Efter försedimenteringen behandlas vattnet biologiskt i sex luftningsbassänger med aktivt slam för reduktion av organiskt material och nitrifikation, med möjlighet till fördenitrifikation. Två av linjerna (2 och 5) drivs med en integrerad bärarprocess (IFAS/HYBAS) för nitrifikation med plastbärare av typen K5 (AnoxKaldnes). Teknikkombinationen förväntas ha god reningseffekt på vissa mikroföroreningar (Falås et al. 2015; Malmberg 2014).

I eftersedimenteringen avskiljs det biologiska slammet. Det mesta återförs till luftningen som returslam och en liten del tas ut som slamöverskott. Från eftersedimenteringen leds vattnet till kemikalieblandningsfack för efterfällning i filter (polering). Poleringsfiltren består av 60 stycken Dynasandfilter. Det renade vattnet avleds till recipienten Norra Bergundasjön. Illustrationer över vattenreningsprocessen på Sundet visas i figur 1.



Figur 1 Enkel och detaljerad illustration av reningsprocessen vid Sundet reningsverk

Allt avloppsslam som tas ut från processen leds till en lagringstank och blandas med externt slam som tas emot vid anläggningen (från till exempel mindre reningsverk och trekammarbrunnar). Slammet föravvattnas i centrifuger och blandas därefter med annat externt organiskt avfall som leds från lagringstankar, se figur 2. Det avfall som tas emot är i första hand förbehandlat matavfall och verksamhetsavfall och fettavskiljarslam som leds in via separat mottagning.



Figur 2 Illustration av slambehandlingsprocessen vid Sundets reningsverk

Allt material förbehandlas i en termisk hydrolys (i en Cambi-process) och förvärms med återvunnen ånga i en pulper (till 90°C). Därefter pumpas materialet vidare till en reaktor som när den är full stängs, temperaturen höjs till 165°C med hjälp av ånginjektion och trycket höjs till 6 bar under minst 20 minuter. Efter reaktorn leds materialet till en flashtank, där trycket släpps vilket medför att cellstrukturer sprängs och materialet blir mer sönderdelat och mer lättrotat. Slammet kyls ned och späds innan det leds in till röt-kammaren. Efter rötning avvattnas rötresten och matas ut via ett transportband till slamplattan. Röt-slammet är sedan 2010 certifierat enligt REVAQ och används som gödselmedel på jordbruksmark. Tack vare den termiska förbehandlingen är allt utgående material hygieniserat.

Det rejektvatten som avvattnas samlas upp i en utjämningsvolym och behandlas i en separat rejektvattenbehandling i en kontinuerlig Anammoxprocess för att reducera kvävemängderna i rejektvattnet, se figur 2. Denna behandling gör att mottagningen av externa substrat till röt-kammaren inte belastar reningsverket ytterligare, utan reducerar strömmarna av näringsämnen (i första hand kväve) innan vattnet leds tillbaka till sandfånget.

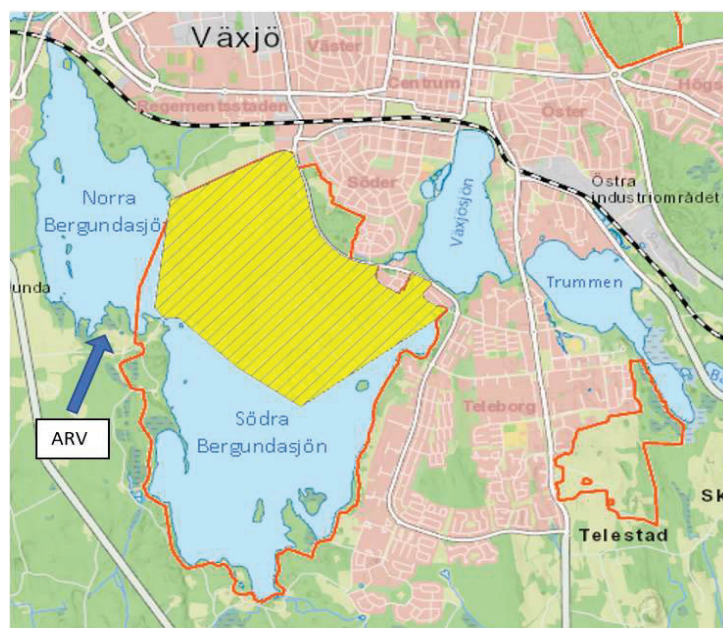
2.3 RECIPIENT

Reningsverket Sundet är beläget vid Norra Bergundasjön. Det renade avloppsvattnet leds via Norra Bergundasjön (primärrecipient) ned genom Bergunda kanal till Bergkvarasjön och Kråkesjön (sekundärrecipient) som avvattnar Helgasjön med flera sjöar norr om Växjö. Vattnet rinner vidare söderut till Åsnen och därefter via Mörrumsån till Östersjön.

Norra Bergundasjön är övergödd, mest på grund av närheten till Växjö stad och århundradens belastning från avlopp och verksamheter. Även sjöns bottensediment har under åren ackumulerat mycket näringsämnen (främst fosfor) som frisätts under vissa förhållanden. Förbättrad hantering av avloppsvatten och andra insatser för att minska näringsbelastningen har gjort att situationen förbättrats. Sjön har dock fortsatt dålig status med avseende på fosfor och bedöms sammantaget ha dålig ekologisk status (Växjö kommun, 2014).

Reningsverkets utsläppspunkt i Norra Bergundasjön gränsar till den känsliga miljön i Bokhultets naturreservat och även till reservatets nordöstra, ursprungliga del som ingår i det europeiska nätverket för skyddad natur, Natura 2000 (EU:s art- och habitatdirektiv), se figur 3. Norra Bergundasjöns biologiska värden är dåligt undersökta men fågellivet är rikt av både häckande och flyttande fåglar. Sjön är också viktig födosökslokal för både fåglar och fladdermöss.

Sannolikheten för höga koncentrationer i recipientens närområde är inte i första hand beroende av reningsverkets storlek, utan av mängden som släpps ut i förhållande till vattenomsättningen (SWECO, 2016). Recipienten Norra Bergundasjön har ett litet flöde i förhållande till avloppsutsläppet. Utspädningsfaktorn beräknas till ca 2 (Håkan Madestam Olofsson, SYNLAB), vilket innebär att en tredjedel av vattnet i sjön är från reningsverket. Sannolikheten är stor att halter av läkemedelssubstanser och andra farliga ämnen förekommer över effektkoncentrationer i recipienten. Därför var det viktigt att genom en riskanalys se vilka läkemedel som kan utgöra en risk.



Figur 3 Visar reningsverkets placering i förhållande till angränsande naturreservat (röd linje) och Natura 2000-område (gult område)

3 GENOMFÖRANDE

Förstudien genomfördes i egen regi vid Sundets reningsverk, Växjö, i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet. IVL har stått för expertstöd och bidragit med kunskap kring läkemedelsrening, metodik, genomförande, analyser samt utvärdering och slutsatser. Pilotförsöken har skett i nära samarbete med leverantörer för respektive reningsteknik.

För att kunna utföra förstudien på ett bra sätt projekterades en person under hela projektets tid. Sundets driftspersonal och verkets egna el- och mekaniska verkstad samt utredningstekniker på distributionsenheten har varit ovärderliga i projektet. Det är väldigt lätt att underskatta tidsåtgång för planering och uppställning av pilotutrustning.

Förstudien bestod av två delar, en del med nulägesanalys och riskanalys och en del med olika pilotförsök. Riskanalysen för verkets recipient gjordes av IVL på samma sätt som i tidigare studier, till exempel pilotförsöket i Linköping, Sehlén m fl (2015). Tanken var att riskanalysen skulle utgöra beslutsunderlag för lämpliga tekniker för pilotförsök men på grund av pressad tidsplan, långa svarstider för analyser och svårigheter att få tag i utrustning för pilotförsök valdes reningstekniker utifrån kunskap inhämtad ur rapporter och studiebesök samt samråd med IVL och leverantörer innan förstudien del ett var klar. Valda tekniker för pilotstudier:

- Oxidation med ozon (O_3) – samarbete med Wedeco och Christian Berner
- Oxidation med UV-ljus och väteperoxid (H_2O_2) – samarbete med Van Remmen och Nouryon

Undersökning av kapaciteten avseende läkemedelsreduktion med och utan bärare i reningsverkets biologiska process (aktivt slam) har utförts av AnoxKaldnes (Veolia) i mindre skala på laboratorium.

Med i urvalet av tekniker att testa var även granulerat aktivt kol (GAK). Pilotförsök var planerat att göras dels på utgående avloppsvatten, dels på ozonbehandlat utgående vatten. På grund av krånglande teknik, tidsbrist och olyckliga omständigheter kunde inte pilotförsöket utföras. Pilotförsök med kol planeras att göras senare, dock inte i kombination med ozon.

3.1 NULÄGESANALYS

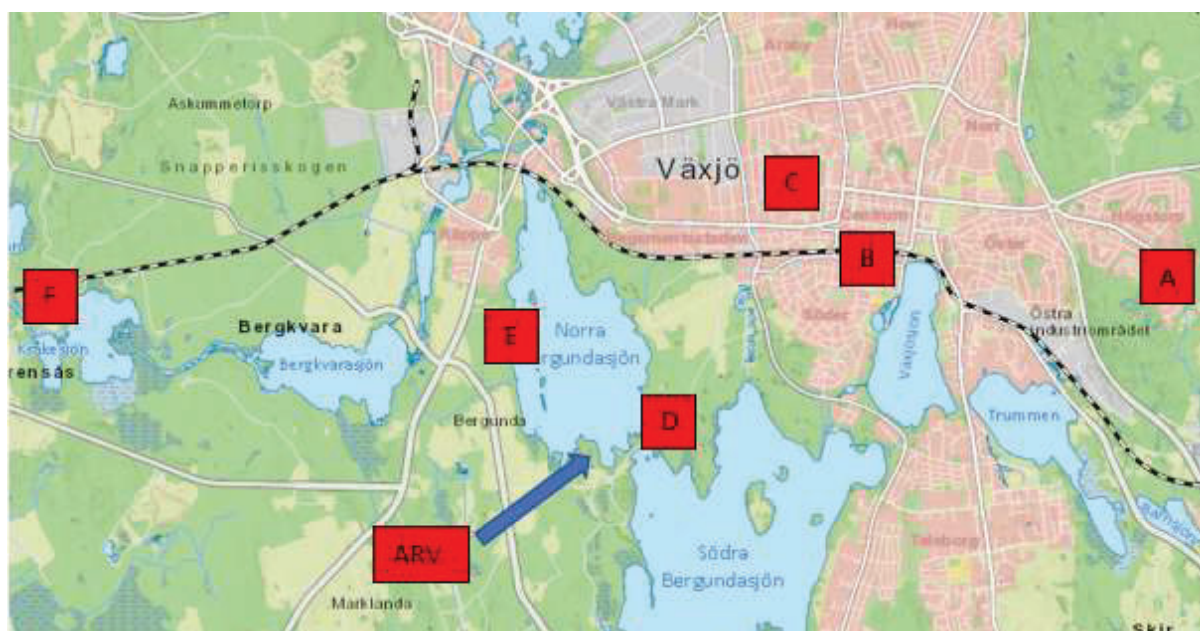
I projektets första del utfördes en nulägesanalys och en riskanalys för avloppsverkets recipient. En nulägesanalys ger en kartläggning av dagens situation avseende läkemedelsrester i VA-systemet och möjliggör utvärdering av avloppsreningsverkets befintliga reningsprestanda både i enskilda processteg och över hela reningsverket.

Enligt plan, se tabell 1, utfördes två provtagningar uppströms, inom och nedströms reningsverket under vardera en vecka. För att fånga eventuell årstidsvariation togs prover i januari (vintervecka) och i maj (sommarvecka). En tredje provtagningsvecka i augusti lades till efter resonemang om hur resultaten i recipienten kunde påverkas av den kraftiga biologiska aktiviteten i sjön under sensommaren.

Tabell 1 Provtagningspunkter för de tre provtagningsstillfällena. ARV står för avloppsreningsverk.

Provpunkt	Provtagning 1 (januari)	Provtagning 2 (maj)	Provtagning 3 (augusti)
Sjukhus	x	x	
Äldreboende	x	x	
Hushåll	x	x	
Inkommande ARV	x	x	x
Försedimentering ARV	x	x	
Eftersedimentering ARV	x	x	
Eftersedimentering Hybas ARV		x	
Eftersedimentering Aktivt slam ARV		x	
Utgående ARV	x	x	x
Cambi IN	x		
Cambi UT/Rötkammare IN	x		
Rötkammare UT/Press IN	x		
Slutprodukt SLAM	x		
Slutprodukt REJEKT	x	x	
Rejektbehandling UT		x	
Uppströms sjö	x	x	x
Primärrecipient	x	x	x
Sekundärrecipient	x	x	

I första provtagningen (vinter - januari) valdes 15 olika provtagningspunkter ut. Utöver prov på reningsverket (4 vatten, 5 slam) valdes tre punkter uppströms verket, på ledningsnätet, samt tre punkter nedströms, se figur 4. Syftet med första provtagningen var att kartlägga påverkan uppströms verket och potentiella punktkällor avseende läkemedelsrester. Syftet var även utreda verkets reningsprestanda och fördelning av läkemedelsrester i vatten- och slamfas.



Figur 4 Provpunkter uppströms och nedströms avloppsreningsverket. A – Hushållspillvatten, B – Sjukhus, C – Äldreboende, D – Uppströms sjö, E – Primärrecipient, F – Sekundärrecipient

I andra provtagningen (sommar-maj) provtogs samma punkter uppströms och nedströms som vid första provtagningen. Provpunkterna för slam valdes bort, bara pressrejektet behölls. En ny provpunkt efter rejektbehandling (Anammox/IFAS) lades till för att se processtegets effektivitet på läkemedelssubstanser. Eftersom behandlat rejekt återförs till verkets inlopp fås en kartläggning vilka substanser och vilka halter som recirkuleras på verket. För att se skillnaden i reduktionseffektivitet för process med och utan bärare i det biologiska steget, utökades provtagningen även med provpunkter för respektive process.

I den tredje provtagningen var fokus att se om den biologiska aktiviteten i Norra Bergundasjön (primärrecipient) påverkade de uppmätta läkemedelsresterna, därför provtogs enbart inkommande och utgående vatten från reningsverket samt den opåverkade sjön och primärrecipienten.

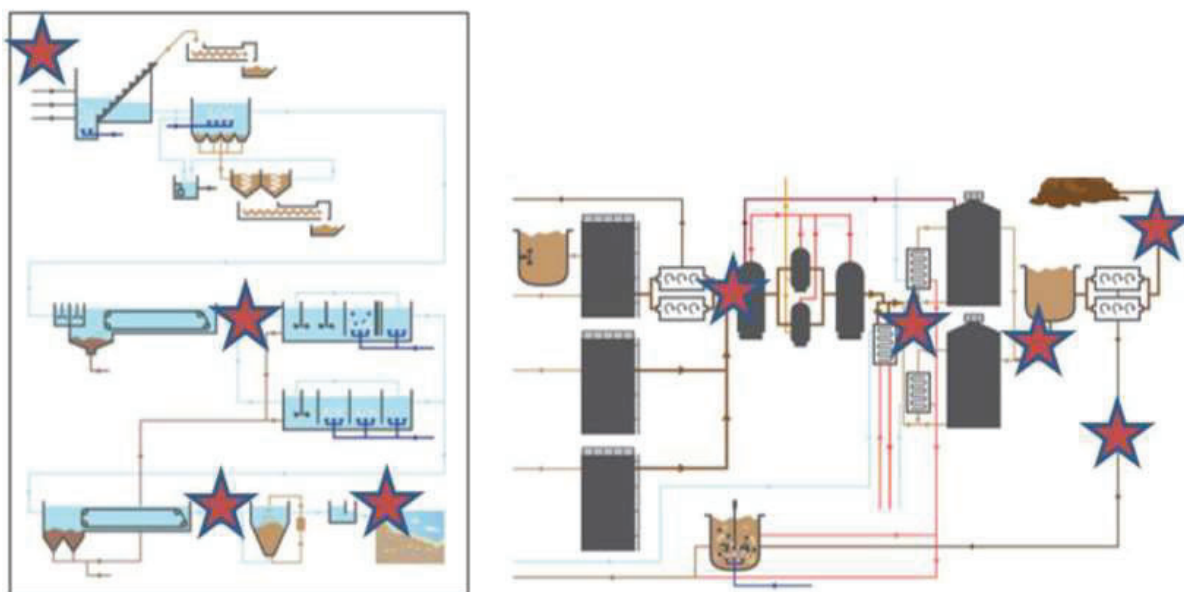
Provtagningspunkten utanför sjukhuset valdes för att få en uppfattning om vad och hur mycket denna verksamhet tillför ledningsnätet. Sjukhuset har flera avloppsserviser och det är omöjligt att samla hela sjukhusets avlopp i en provpunkt. Punkten som valdes inkluderar de tyngsta avdelningarna, sett utifrån läkemedelsanvändning, och har inget annat påverkande avloppsflöde.

Även provtagningspunkten utanför ett äldreboende valdes med tanke på förmodad hög läkemedelsanvändning. Köket på äldreboendet är även skolkök och förser eleverna på den intilliggande skolan med mat. Vattenförbrukningen är troligt högre än för äldreboendet enbart. Punkten ligger på en höjd och har nästintill inget annat påverkande avloppsflöde.

För att få en referens till de andra uppströmsproverna valdes även en punkt med enbart hushållsspillvatten. Inget påverkande avloppsflöde från sjukhus eller annan vårdinrättning finns i denna punkt. Punkten är inte helt representativ för hushållsspillvatten då den endast omfattar relativt nybyggda villor och en relativt homogen befolkning ur ålders- och socioekonomiskt perspektiv.

Provpunkterna för vatten på avloppsreningsverket (inkommande, försedimentering, eftersedimentering och utgående) är ordinarie provtagningspunkter för processuppföljning och togs med verkets egna fasta flödesstyrda provtagare. Inkommande prov togs efter silgallren och försedimentering efter det kemiska fällningssteget. Eftersedimentering är ett samlingsvatten efter den biologiska reningen som i fyra av sex linjer är en reningsprocess med aktivt slam och i resterande två linjer är en process med bärare (Hybas/IFAS, K5-bärare). Utgående vatten togs efter sandfiltreringen (Dynasand). Provtagning av eftersedimentering för respektive process (med och utan bärare) gjordes manuellt direkt ute i bassängerna.

Provpunkterna för slam på verket är också ordinarie provtagningspunkter men här finns inga automatiska provtagare. All slamprovtagning tas manuellt. Provpunkterna valdes ut för att se hur de olika processtegen för slam påverkar läkemedelsresterna och hur resterna fördelar sig i rejekt och rötrest efter avvattning. Processtegen är termisk hydrolys (provpunkt före och efter Cambi), rötning (provpunkt före och efter röt-kammare, där före röt-kammare är samma provpunkt som efter Cambi) och slutligen slamavvattningen som sker med en skruvpress (provpunkt före och efter press, där före press är samma provpunkt som efter röt-kammare och provpunkt efter press är uppdelad på pressrejekt och slam).



Figur 5 Provtagningspunkter på avloppsreningsverket, vatten- och slamdelen

Provpunkterna nedströms är ordinarie provtagningspunkter inom Mörrumsåns samordnade recipientkontroll. Södra Bergundasjön (provpunkt 315) är en sjö som ligger uppströms nuvarande recipient. Sjön är en tidigare recipient för Växjö kommuns avloppsvatten men har inte tagit emot något avloppsvatten sedan 1974. Den kallas i det här projektet för opåverkad sjö och är som ett referensprov, ett nollprov. Primärrecipienten är Norra Bergundasjön (provpunkt 318) och sekundärrecipient är Kråkesjön (provpunkt 143).

3.2 PILOTFÖRSÖK

I projektets andra del genomfördes pilotstudier med två lämpliga tekniker, oxidation med ozon och oxidation med UV/väteperoxid (H_2O_2). Syftet med pilotstudierna var att på plats utvärdera reduktionen av läkemedelsrester i avloppsvattnet vid olika doser (dos-responstest) men även se hur stabilt behandlingarna uppför sig över längre tid (långtidsförsök). Syftet var även att erhålla praktisk driftserfarenhet och att göra riskvärderingar avseende arbetsmiljö för de två teknikerna.

För UV/ H_2O_2 var det extra värdefullt med pilotstudie eftersom tekniken inte har testats tidigare i större skala.

3.2.1 Ozon allmänt

Ozon (O_3) är en mycket ostabil och toxisk ljusblå gas vars molekyler är uppbyggda av tre syreatomer. Den upptäcktes år 1840 och gavs namnet efter det grekiska ordet *ozein* "att lukta" med anledning av den karakteristiska lukt som uppstår vid åska, då ozon bildas.

Ozon är redan i låga koncentrationer starkt irriterande på ögon och andningsvägar. Den påverkar syreupptagningsförmåga och inandning negativt och kan därför orsaka trötthet, huvudvärk och andningsbesvär. I höga koncentrationer kan ozonet orsaka svåra

bröstmärtnor, tryck över bröstet och livshotande lungödem. Vid exponering av höga halter är ozon dödligt på grund av kvävning. Nivågränsvärdet (NVG) för ozon är 0,1 ppm (0,2 mg/m³) och takgränsvärdet (TGV) är 0,3 ppm (0,6 mg/m³).

Ozon är så ostabil och kortlivad att den är väldigt svår att förvara, vilket gör att den måste produceras på plats när den behövs. Den vanligaste metoden för framställning av ozon är s.k. *Electrical Discharge* (ED). Ozon produceras genom att syre, från flytande syre (LOX) eller från luft, får flöda i ett elektriskt fält mellan två elektroder. Den joniserade gasen (plasma) lyser kring ytan runt den exciterande elektroden, vilket beskrivs likt en krona, varav namnet *Corona Discharge*. När plasman kolliderar med syremolekyler överförs en del av energin till syremolekylen som dissocierar till en ensam syreatom som är mycket reaktiv. När syreatomerna kolliderar med syrgasmolekyler bildas ozon.

Ozon är ett starkt oxidationsmedel som antingen reagerar direkt med ett ämne eller bildar hydroxylradikaler som i sin tur kan reagera. Ozon reagerar snabbt med organiskt material och därför kan höga halter löst organiskt kol (DOC) vara störande i en sådan reningsprocess och orsaken till varför höga ozondoser krävs. Oxidationen av föroreningar blir mindre eftersom DOC konkurrerar om den kemiska oxidationen. Ozondosen stiger ofta linjärt med DOC-halten. Oorganiska ämnen reagerar ännu snabbare med ozon än organiska.

Eftersom ozonreaktionen är komplex och involverar många ämnen kan olika biprodukter bildas, en del toxiska. Några exempel är AOC (assimilerbart organiskt kol), NDMA (N-nitrosodiamindimetyl-amin), bromorganiska ämnen och bromat. AOC uppstår när bindningar i det organiska kolet bryts och mindre kolföreningar bildas, som är lättillgängliga för bakterier. En ökad AOC-halt kan därmed ge upphov till återväxt av bakterier, vilket vill undvikas när en minskning av resistent bakterier önskas. Bromat är potentiellt carcinogen och bildningen påverkas främst av halten bromid i vattnet. Bromat och andra biprodukter bildas främst vid högre ozondoser varvid man bör sträva efter att hålla nere dosen. NDMA kan reduceras i ett efterföljande sandfilter, något som inte verkar fungera för att reducera bromat. Ett olöst problem med ozonering är att man inte vet exakt vilka nedbrytnings- eller transformationsprodukter som bildas och om de är giftiga.

För att vara säker på att inga efterföljande biprodukter finns kvar efter ozonering är en efterföljande biologisk rening att föredra enligt Svenskt Vatten (2016).

3.2.2 Ozon pilotförsök

I maj levererade och installerade Wedeco och Christian Berner en pilotanläggning till Sundets reningsverk, se figur 6. Anläggningen bestod av en ozongenerator och en reaktionskammare. Ozongeneratoren var en Wedeco GSO 10 med produktionsområde 4,5–30 g/h som matades med syrgas från en Topaz PSA syrgasgenerator. Ozongeneratoren kylades med kranvatten ca 80 liter/h. Reaktionskammaren bestod av två seriekopplade (en uppströms och en nedströms) bubbelkolonner (PVC) á 130 liter vilket gav en totalvolym på 280 liter. Varje kolonn hade en diffusor i botten för ozoninblandning. Under pilotförsöket doserades ozon bara i den första kolonnen. Från leverantören rekommenderas reaktionstiden för ozon till mellan 10–25 minuter. Flödet genom pilotanläggningen försöktes hållas konstant till 1,5 m³/h då reaktionstiden blev 11 minuter. Efter bubbelkolonnerna satt en avgasningskolonn där rester av ozon ventilerades bort och ledades till en efterföljande ozondestruktör. Destruktorn var ett katalytiskt filter fyllt med

Carulite 200, en blandning av MnO_2 och CuO . Ozonhalten i produktionsgas och off-gas mättes med onlinemätare. Pilotanläggningen hade ozondetektorer för att detektera onormala ozonhalter i omgivningsluften. Vid ozonhalt över 0,1 ppm ($0,2 \text{ mg/m}^3$) började systemet varna med ljus och ljud och vid ozonhalt över 0,2 ppm ($0,4 \text{ mg/m}^3$) stängde systemet av ozonproduktionen. Nivå- och takgränsvärdet för ozon är 0,1 respektive 0,3 ppm.

Anläggningen placerades under ett väderskydd (byggält) för att skyddas mot regn och vind men också mot solljus och påföljande alg tillväxt.



Figur 6 Pilotanläggning med ozongenerator och bubbelkolonner

3.2.3 UV/ H_2O_2 allmänt

Väteperoxid är en klar, färglös vätska som är luktfri i låga koncentrationer och har en skarp, stickande lukt i högre koncentrationer. Kemikalien är irriterande/frätande (beroende på koncentration) både för hud och ögon och kan orsaka svårläkta frätskador och blindhet. Väteperoxid sönderfaller vid kontakt med metaller, trä, oljor och andra

organiska material. En liter 49 % väteperoxid bildar 200 liter syrgas vid totalt sönderfall och kan därför orsaka sprängverkan vid instängning.

Väteperoxid är en välkänd processkemikalie inom bl a pappers- och textilindustrin där den används för blekning av pappersmassa och textilier. Väteperoxid tillverkas genom Antrakinonprocessen där antrakinon blir omväxlande reducerat med vätgas (H_2) och oxiderat med luft/syre (O_2) varvid koncentrerad väteperoxid (H_2O_2) bildas. Nouryons (AkzoNobels) produktion finns bland annat i Sverige och produkten Eka HP säljs i koncentration 19–70 %.

UV/ H_2O_2 tillhör de så kallade avancerade oxidationsprocesserna (AOP), en process som går ut på att höja oxidationspotentialen genom att på olika sätt bilda mer högreaktiva hydroxylradikaler som kan göra behandlingen mer effektiv. H_2O_2 tillsätts till vattnet som ska behandlas och belyses med UV-ljus. Ju högre transmittans (UVT) vattnet har desto lägre UV-dos krävs eftersom mer UV-ljus kan absorberas av väteperoxiden. Hydroxylradikalerna som bildas är högreaktiva och oselectiva. Eftersom tekniken är beroende av transmittans i vattnet gör den sig bäst som ett extra reningssteg efter konventionell rening i reningsverken.

Liksom för ozonbehandling kan biprodukter bildas i processen, såsom ökade halter AOC, nitrat och andra oidentifierade produkter, men dessa kan minskas med efterbehandling. En fördel med UV/ H_2O_2 är att bromatbildningen, som kan uppstå vid ozonering, inte finns.

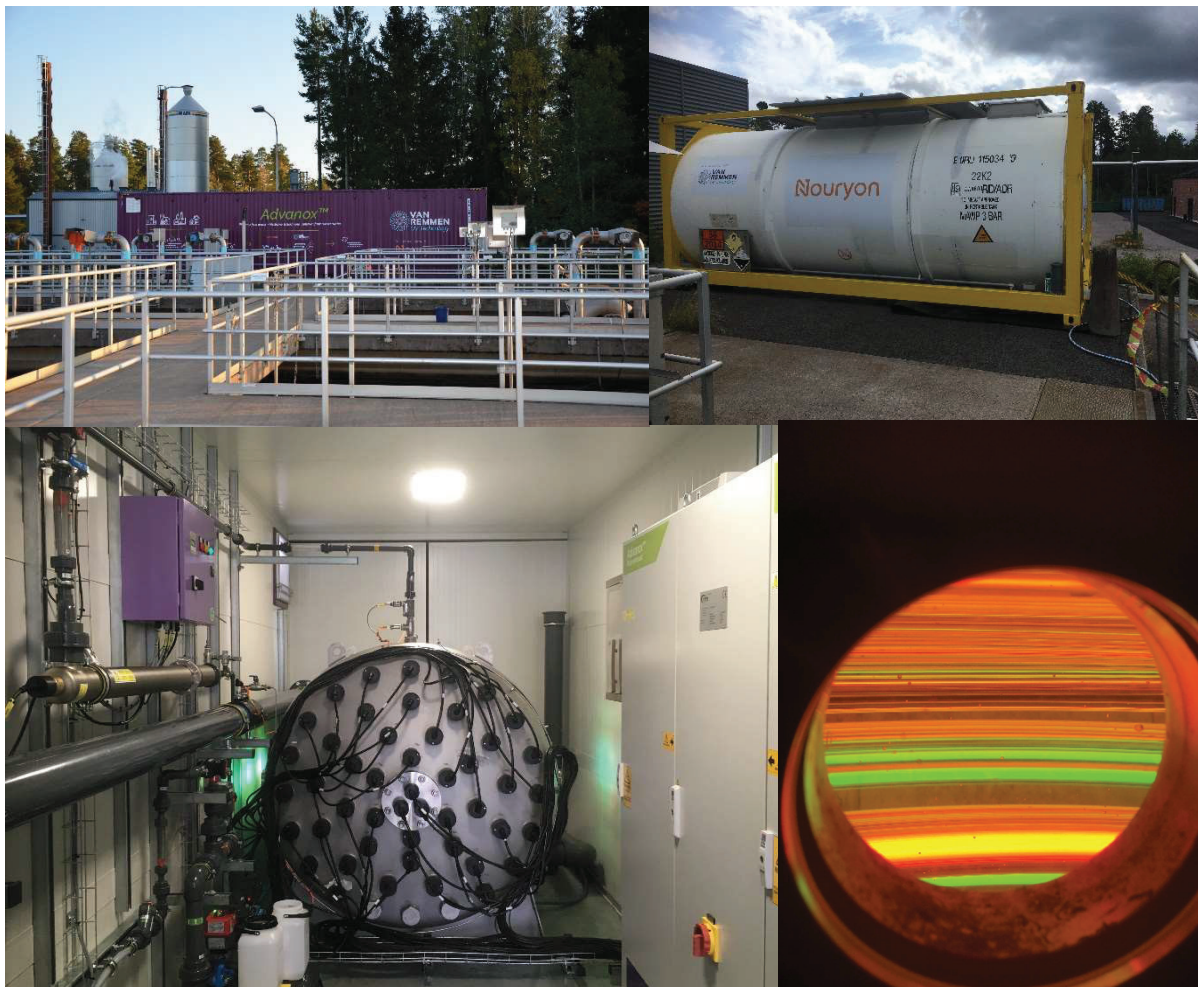
3.2.4 UV/ H_2O_2 pilotförsök

I juli levererades Advanox-piloten från Van Remmen UV Technology och en tank med väteperoxid (19%) från Nouryon, se figur 7 och 8. Piloten var uppbyggd i en 40 fots container och innehöll en Advanox-reaktor, in-line doseringspump för väteperoxid, två katalytiska bäddar (filter) för borttagning av restväteperoxid, elskåp med ballaster, internetuppkoppling, mjukvara och sensorer för automatiserad drift, kontroll och säkerhet av systemet, RealTech in-line transmittansmätare samt flera provtagningspunkter. Advanox-piloten är en basenhet med en fullskalig UV-C reaktor (UV-ljus i våglängdsområdet 100–280 nm). På så vis kan experiment som är gjorda i piloten översättas till hur en fullskalig installation uppför sig med samma operationsparametrar.

Advanox-reaktorn är cylindrisk med 48 UV-C lampor (600 W lågtryck) och en volym på ca 3 m^3 . Inloppet sitter längst ner på sidan av reaktorn och vattnet färdas ungefär tre varv från ytterkant till mitten innan det går ut via utloppet i mitten bak, se figur 8.

De katalytiska bäddarna går parallellt med en beräknad uppehållstid på ca 2 minuter vid flödet $70\text{ m}^3/\text{h}$. Tanken var att bäddarna skulle köras med flödet uppåt genom bäddarna för att nå en H_2O_2 -koncentration på $<1\text{ ppm}$ på behandlat vatten, men på grund av underdimensionering ändrades flödesriktningen till nedåt genom bäddarna för att minska förlusten av filtermaterial.

För pilotprojektet valdes det att dosera 19 % H_2O_2 med anledning av att inget tillstånd behövs för väteperoxid under 20 %. Denna låga koncentration varken en ekonomisk eller miljövänlig lösning för en anläggning i fullskala då det genererar många onödiga transporter.



Figur 7 Vänster upp – containern från Van Remmen, höger upp – kemikalietank från Nouryon, vänster ner – Advanoxreaktorn, höger ner – UV-lampor på uppvärmning

För experimenten på Sundets reningsverk var Advanox-piloten anpassad för följande driftinställningar:

UV-C dos: 5 000–12 500 J/m²

H₂O₂ dos: 20–40 mg/l

Transmittans: 30–70 %

Kapacitet: 40–120 m³/h

Flödet justeras automatiskt med en förprogrammerad ekvation som använder transmittansen för att beräkna flödet. När transmittansen ändras, justeras även flödet för en konstant UV-C dos. H₂O₂ justeras baserat på den valda dosen och flödet enligt en flödesmätare.



Figur 8 Schematisk översikt över Advanox™-piloten (bild från Van Remmen UV Technology).

Pilotförsöket på Sundets reningverk utfördes till största del av leverantören (Nouryon/Van Remmen). Processen övervakades online av Van Remmen. Nouryon var på plats någon gång varje vecka för tillsyn, provtagning och dosbyte. Fullständig rapport från Nouryon finns att läsa i bilaga 7.13. Viss hjälp med provtagning och tillsyn utfördes av personal från Växjö kommun.

3.2.5 Dos-respons

Dos-responstest görs för att få vetskap om hur olika läkemedelssubstanser reagerar på olika doser (ozon, UV, H₂O₂). Utifrån den kunskapen kan man vidare avgöra vilken dos som behövs för att nå uppsatta reningsmål. Testet går i praktiken till på följande sätt att man ställer in lägsta dosen och låter systemet stabilisera sig. Prover tas ut före och efter behandling. Dosen höjs till nästa önskade dos och väntetiden tills provuttag bör vara minimum 3 uppehållstider. Förfarandet upprepas sen för varje önskad dos. Proverna analyseras med avseende på läkemedelsrester och standardparametrar, både kemiska och mikrobiologiska.

3.2.5.1 Ozon

Ett dos-respons-test för utgående vatten gjordes 22 maj. För ozon testades fyra doser inom spannet 3–12 g O₃/m³. Önskade doser var 3, 6, 9 och 12 g O₃/m³. På grund av en opålitlig flödesmätare erhöles inte de önskade doserna. Flödet säkerställdes genom manuell uppmätning (klocka, hink och mätglas) och doserna räknades om. Även om doserna kunde räknas om upprepades testet 3 juni med önskade doser. Samtliga 8 prover analyserades med avseende på läkemedelsrester och dos-responskurvan består därför av åtta punkter. Kontakttiden (HRT) försökte hållas konstant på ca 11 minuter (verkligheten blev 13–15 min) vilket motsvarar ett flöde på 1,5 m³/h.

Ett dos-respons-test för eftersedimenterat vatten (före Dynasandfilter) gjordes 4 september. Önskade doser var 3, 6, 9 och 12 g O₃/m³. Kontakttiden (HRT) försökte hållas konstant på ca 11 minuter (verkligheten blev 11–12 min).

Ett känt problem vid ozonering är att bromid (Br⁻) i avloppsvattnet oxideras till bromat (BrO₃⁻). Bromat är en stabil cancerogen förening som inte bryts ner av efterbehandlande biologiska steg som rekommenderas efter ozonering. Enligt riktlinjer i Schweiz bör inte ozonering användas om bromidhalten över stiger 400 µg/l i avloppsvattnet som ska behandlas (Soltermann m fl, 2016). Vid dos-responstest analyseras därför även bromat.

3.2.5.2 UV/H₂O₂

Ett dos-respons-test för utgående vatten gjordes 6 augusti. Försöket gjordes med åtta olika inställningar: UV-dos 5 000, 7 500, 10 000 och 12500 J/m² vid två nivåer av väteperoxid, 20 och 40 mg/l (ppm). Genom att justera vattenflödet mellan 40 och 100 m³/h kunde UV-doser mellan 5 000 och 12 500 J/m² uppnås. Högre flöde ger lägre dos och lägre flöde ger högre dos. För att få rätt UV-dos måste hänsyn även tas till vattnets transmittans, vilket mättes online. Transmittansen var under dos-respons-testet 57–60 % och steg efter behandling till 64–80 %, vilket visar på ett borttagande av bl a organiskt material såsom mikroföroreningar i avloppsvattnet. Vid låga doser dvs höga vattenflöden kunde den katalytiska bädden inte ta bort restväteperoxiden till under 1 ppm på grund av en underdimensionerad pilotbädd.

3.2.6 Långtidstest

För att samla kunskap om teknikernas driftsäkerhet och hur de klarar av variationer på verket (flöde, reningsgrad, temperatur) gjordes långtidstester.

Pilotförsöket med ozon pågick under cirka 4 månaders tid varav 3 månader var långtidstest. Dosen för ozon valdes till ca 6 g O₃/m³. De sista två veckorna av långtidstestet höjdes dosen till ca 8 g O₃/m³. Varje dag under hela testperioden gjordes provuttag före och efter behandlingssteget. Proverna blandades till veckoprover och slutligen valdes tre veckor ut för analys av standardparametrar och läkemedelssubstanser.

Pilotförsöket med UV/H₂O₂ pågick under 6 veckor varav 4 veckor var långtidstest. Under de två första veckorna (vecka 1 och 2) av långtidstestet var dosen H₂O₂ 20 mg/l och UV-dosen 7500 J/m². Nästkommande två veckor (vecka 3 och 4) höjdes dosen till H₂O₂ 40 mg/l och UV-dosen 12500 J/m². Liksom för ozonpiloten gjordes provuttag före och efter behandlingssteget varje dag under hela testperioden. Proverna blandades till veckoprover och analyserades för standardparametrar och läkemedelsrester. Under långtidförsöket varierade flödet som en följd av variationen hos vattnets transmittans. Både vattnets transmittans och flödet mättes online. Under backspolningen av de katalytiska bäddarna ökades flödet under några minuter. Figurer för transmittans- och flödesmätning finns i bilaga 7.13.

3.3 PROVTAGNING OCH PROVBEREDNING

För att säkerställa tillförlitliga analysresultat är det av yttersta vikt att upprätthålla hög kvalitet vid samtliga moment vid provhantering (planering, provtagning, transport, provförvaring, provupparbetning, kemisk analys, rapportering) och att de anpassas till de ämnen och den matris man avser att analysera (Baresel m fl, 2015).

Inom detta projekt har provtagning huvudsakligen skett med automatiska provtagare som tar prov tids- eller flödesproportionellt. Alla prov är veckoprover med undantag för provpunkterna nedströms och dos-respons-proverna som är stickprov.

Provtagning uppströms i brunn (sjukhus, äldreboende) togs tidsstyrt med en programmerbar portabel provtagare (VM 9951 MAXX, Ventim) som gick på batteridrift. Varje timme togs 200 ml prov som samlades till ett dygnsprov i en 10 liters plastdunk.

Under natt och tidig morgon blev det stundvis inga delprov vid äldreboendet på grund av svårigheter att ta prov eftersom flödet var så lågt i brunnen.

Provtagning uppströms i pumpstation (hushållspillvatten) togs också tidsstyrt med en programmerbar portabel provtagare (ISCO Avalanche, MJK Automation). Varje timme togs 200 ml prov som samlades till ett dygnsprov. Dygnsprovet förvarades i en 10 liters plastdunk i provtagarens egna kylskåp. Denna provtagare kopplades till nät drift.

Utsättning av provtagarna uppströms i första provomgången gjordes i samband med en provtagarutbildning som Envisys, Bengt Hansson, höll i och som anordnades internt för att komma igång med att använda de programmerbara portabla provtagarna. I utbildningen ingick hur man praktiskt går tillväga och vad som är viktigt för att få en tillförlitlig provtagning.

Proverna på verket togs av verkets egna fasta provtagare (Sampler 780, MJK) som är inställda på att flödesproportionellt ta 50–100 ml prov per 100 m³ vatten. Delproven förvarades i provtagarens kylskåp.

Varje dygn tömdes både de portabla och fasta provtagarna och 2 liter prov per provpunkt hälldes av i plastflaskor och sparades i kyl.

Prov från de respektive processerna (bärare Hybas och aktivt slam) i eftersedimenteringen togs direkt ute i bassängerna och fylldes i en 2 liters plastflaska, ett prov per provtagningsdag. För att få bort slamfasen fick 2-litersflaskan stå och sedimentera i 30 minuter för att sen dekanteras över till en 1 liters plastflaska.

Provtagning nedströms utfördes av SYNLAB i samband med deras ordinarie provtagning för uppföljning av vattenkvaliteten i Mörrumsåns avrinningsområde (Mörrumsåns recipientkontroll, Mörrumsåns Vattenråd). Ett stickprov (2 liter) per provpunkt togs en veckodag under pågående provtagningsvecka. Proverna förvarades i kylskåp.

Efter provtagningsveckans slut blandades ett veckoprov av samtliga delprov per provtagningspunkt, lika stor volym av alla delprov. Veckoprovet hälldes av för analyser enligt tabell 2. Mikrobiologiska analyser utfördes på ett stickprov någon eller några av dagarna i provtagningsveckan.

Tabell 2 Avhällning av veckoprov för vattenprover (mikrobiologiska analyser utfördes på stickprov)

Analys VATTEN	Volym	Provtagningskärl	Förvaring	Laboratorium
Standardparametrar kem	2 liter	plastflaska	kylskåp	Växjö kommun
Standardparametrar mikrobiologi	500 ml	plastflaska, steril	kylskåp	Växjö kommun
Läkemedel	1 liter	plastflaska	frys	IVL

Slam- och rejektprover togs manuellt i provtagningskranar ute på verket. Två stickprov à 125 ml per provtagningsdag togs ut per provpunkt. Delproven hälldes direkt i en 2 liters plastflaska (med vid öppning) som förvarades i kylskåp och fylldes successivt under provtagningsveckans gång. Vid veckans slut blandades provet i 2-litersflaskan noggrant och hälldes av för analyser enligt tabell 3.

Tabell 3 Avhållning av veckoprover för slamprover

Analys SLAM	Volym	Provtagningskärl	Förvaring	Laboratorium
Standardparametrar kem	500 ml	plastflaska	kylskåp	Växjö kommun
Läkemedel	250 ml	plastflaska	frys	IVL

Alla prov för dos-respons-test togs som stickprov. Proverna togs ur provtagningskranar direkt före och efter behandlingen (ozon, UV/väteperoxid). Flaskor, enligt tabell 2, fylldes direkt på plats. En 125 ml plastflaska fylldes med prov efter behandling för omedelbar analys av restozon respektive restväteperoxid. En 100 ml plastflaska fylldes med prov efter behandling för analys av bromat.

Alla prov för långtidstest togs som dygnsprovtagning. För provtagning av inkommande vatten till UV/väteperoxid-behandling användes avloppsverkets ordinarie flödesstyrda provtagare för utgående vatten. För provtagning efter behandling användes en tidsstyrd automatisk provtagare. Provtagning före och efter ozonbehandling sköttes av tidsstyrda magnetventiler som öppnade en gång per timme. Dygnsproverna förvarades i kyl och veckoprover blandades och hölls av, enligt beskrivning ovan, vid provtagningsveckans slut. Vissa utvalda provtagningsveckor fylldes även en 100 ml plastflaska med vatten efter behandling för analys av bromat. Restozon och restväteperoxid mättes direkt vid provtagning varje provtagningsdag.

3.4 ANALYSER

3.4.1 Läkemedel

Läkemedel är en stor grupp av ämnen och det finns hundratals aktiva substanser på den svenska marknaden. 2015 gav Läkemedelsverket (LMV) ut en rapport *Miljöindikatorer inom ramen för nationella läkemedelsstrategin (NLS)*. I rapporten rekommenderas en lista med 22 läkemedel vars koncentration i miljön föreslås följas årligen.

I detta projekt har läkemedelsrester (läkemedel, antibiotika, hormoner) analyserats av IVL Svenska Miljöinstitutet. Urvalet av analyserade substanser, 40 stycken varav 14 är antibiotika och 3 är hormoner, har sin bas från LMV:s rapport, men har anpassats och förfinats av IVL baserat på utvärdering av mycket data från olika projekt som de varit delaktiga i, analys- och metodkunskap och på stor erfarenhet. Substanser som sällan detekteras i svenska avloppsvatten har plockats bort och substanser som återfinns i betydande halt har lagts till. Listan är under ständig uppdatering.

Alla prov har analyserats med avseende på läkemedelsrester enligt tabell 4 nedan, men med några undantag. Antibiotika har inte analyserats på sekundärrecipienten eftersom få substanser detekterades i primärrecipienten. Antibiotika har inte heller analyserats på slamprover eftersom det inte är möjligt att analysera. Hormoner har analyserats bara på utvalda prover för att hålla kostnaden nere för analyser.

Tabell 4 Utvalda läkemedelssubstanser

Nr	Substans	Verkan	Nr	Substans	Verkan
1	Amlodipine	Blodtryckssänkande	21	Metoprolol	Blodtryckssänkande
2	Atenolol	Blodtryckssänkande	22	Moxifloxacin	Antibiotika
3	Benzylpenicillin	Antibiotika	23	Naproxen	Inflammationshämmande
4	Bisoprolol	Blodtryckssänkande	24	Norfloxacin	Antibiotika
5	Carbamazepine	Lugnande	25	Oxazepam	Lugnande
6	Ciprofloxacin	Antibiotika	26	Paracetamol	Inflammationshämmande
7	Citalopram	Antidepressiv	27	Propranolol	Blodtryckssänkande
8	Clarithromycin	Antibiotika	28	Ramipril	Blodtryckssänkande
9	Clindamycin	Antibiotika	29	Ranitidine	Medel mot magsår
10	Diclofenac	Inflammationshämmande	30	Rifampicin	Antibiotika
11	Doxycycline	Antibiotika	31	Risperidone	Lugnande
12	Erythromycin	Antibiotika	32	Sertraline	Antidepressiv
13	Etinylöstradiol (EE2)	Könshormon	33	Simvastatin	Blodfettsänkande
14	Fluoxetine	Antidepressiv	34	Sulfamethoxazole	Antibiotika
15	Furosemide	Urindrivande	35	Terbutaline	Astmamedicin
16	Fusidic acid	Antibiotika	36	Tetracycline	Antibiotika
17	Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	37	Trimetoprim	Antibiotika
18	Ibuprofen	Inflammationshämmande	38	Warfarin	Blodförtunnande
19	Ketoprofen	Inflammationshämmande	39	Östradiol (E2)	Könshormon
20	Linezolid	Antibiotika	40	Östron (E1)	Könshormon

För läkemedel och antibiotika har vattenprover extraherats med hjälp av fastfaskolonner (HLB). Analys har skett med HPLC-MS/MS. Slamprov har extraherats med vätskevätskeextraktion innan upprening på fastkolonn (HLB).

För hormoner har vattenprov extraherats med hjälp av fastfaskolonner (ENV+ samt PSA). Analys har skett med HPLC-MS/Orbitrap. Slamprov har extraherats med hjälp av metanol samt mikrovågor innan upprening på fastfaskolonner (ENV+ samt PSA).

Alla läkemedelsanalyser för vattenprover rapporteras i ng/l. Slamprover rapporteras i ng/g TS. I rapporterna anger IVL detektionsgränser (LOD) och rapporteringsgräns (LOQ) för respektive substans. Dessa varierar mellan olika analysomgångar. Mätosäkerhet anges inte på rapporten men enligt IVL är mätosäkerheten för läkemedelsanalyser som är analyserade samma dag är ca 10 % och med olika analysdagar ca 30 %.

3.4.2 Kemiska analyser, standardparametrar

Kemiska standardparametrar, se tabell 5, har analyserats av Växjö kommuns ackrediterade VA-laboratorium.

Tabell 5 Kemiska standardparametrar vid Växjö kommuns VA-laboratorium.

Analysnamn		Enhet	Metod	Ackrediterad
Aluminium	Al	mg/l	SS 02 82 10	x
Ammoniumkväve	NH ₄ N	mg/l	ISO 15923-1:2013	x
Biokemisk syreförbrukning	BOD ₇	mg/l	SS-EN 1899-1, SS-EN ISO 5814:2012	x
Fosfor, totalt	tot-P	mg/l	SS-EN ISO 6878:2005 mod	x
Järn	Fe	mg/l	SIS 02 81 29	x
Nitritkväve	NO ₂ N	mg/l	ISO 15923-1:2013	
Kväve, total	tot-N	mg/l	ISO 15923-1:2013	x
Organiskt kol, totalt	TOC	mg/l	Hach-Lange LCK 385/386	
Löst organiskt kol, totalt	DOC	mg/l	Hach-Lange LCK 385/386	x
pH	pH	pH-enh	SS-EN ISO 10523:2012	x
Suspenderad substans	Susp	mg/l	SS-EN 872:2005	x
UV-absorbans 254 nm	UVabs	abs-enh	metodreferens saknas	
Restozon	RestO ₃	mg/l	Hach-Lange LCK 310	

3.4.3 Mikrobiologiska parametrar, bakterier

Mikrobiologiska standardparametrar enligt tabell 6 har analyserats av Växjö kommuns ackrediterade VA-laboratorium. Alla prov har analyserats på provtagningsdagen.

Tabell 6 Mikrobiologiska standardparametrar vid Växjö kommuns VA-laboratorium

Analysnamn		Enhet	Metod	Ackrediterad
Koliforma bakterier	Kolif	MPN/100ml	SS-EN ISO 9308-2:2014	x
<i>Escherichia coli</i>	E coli	MPN/100ml	SS-EN ISO 9308-2:2014	x
Intestinala enterokocker	IE	cfu/100ml	SS-EN ISO 7899-2	x

3.4.4 Bromat

Bromataanalyser (LidMet0A.05.01) har utförts av Eurofins. Den interna (ej standardiserade) analysmetoden utgörs av separation med HPLC följt av slutbestämning med ICP-MS och bygger på en "Application Note" från Perkin Elmer, dock med stora modifieringar. Proverna har förvarats i kylskåp fram tills de skickats till laboratoriet.

3.4.5 Ekotoxikologiska tester

Samtliga ekotoxikologiska tester som har beställts inom det här projektet har utförts av Toxicon AB. Testerna har utförts på veckoprov som blandats av dygnsprov som frysts direkt efter provtagningstillfället. Tre olika typer av toxiska tester har använts:

- Akut toxicitet för bakterien *Vibrio fisheri* (Microtox) enligt SS-EN ISO 11348-3:2008 (modifierad)
- Tillväxthämning av grönalgen *Pseudokirchneriella subcapitata* i färskvatten (72 timmar) enligt SS-EN ISO 8692:2012
- Akut toxicitet för kräftdjuret *Daphnia magna straus* i färskvatten (48 timmar) enligt ISO 6341:2012

4 RESULTAT OCH DISKUSSION

4.1 NULÄGESANALYS UPPSTRÖMS

Sammanställningen från provtagningarna i de tre provpunkterna uppströms redovisas i tabell 7 nedan. Den relativa standardavvikelsen är generellt sett väldigt hög, vilket tyder på stor spridning mellan provtagningarna. Det är viktigt att sammanställningen baseras på två prov per provpunkt. För att göra några långtgående slutsatser skulle det behövas mer provtagning så de resultat som redovisas ska ses som indikationer.

Tabell 7 Resultat (i ng/l) från uppströms provtagning i jämförelse med inkommande (ink) till reningsverket. Alla resultat är medelvärden. Substanser vars resultat är under rapportgräns är markerade med *. RDS är relativ standardavvikelse (%).

Substans	Verkan	Sjukhus	RSD	Äldreb	RSD	Hushåll	RSD	Ink
Amlodipine	Blodtryckssänkande	62	27%	95	67%	80	53%	135
Atenolol	Blodtryckssänkande	2 050	31%	18 100	109%	68	110%	1 193
Benzylpenicillin	Antibiotika	*		*		*		*
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	350	93%	113	21%	465	17%	87
Carbamazepine	Lugnande	250	124%	830	63%	*		302
Ciprofloxacin	Antibiotika	2 320	90%	1 940	99%	*		50
Citalopram	Antidepressiv	765	27%	810	103%	701	141%	319
Clarithromycin	Antibiotika	4 305	141%	66	139%	106	140%	66
Clindamycin	Antibiotika	75	124%	*		*		1,5
Diclofenac	Inflammationshämmande	2 000	35%	755	20%	1 505	84%	860
Doxycycline	Antibiotika	49	46%	*		*		*
Erythromycin	Antibiotika	8 012	141%	2 050	141%	16 000	141%	56
Etinylöstradiol (EE2)	Könshormon	*		*		*		*
Fluoxetine	Antidepressiv	14	131%	2	56%	61	139%	5,1
Furosemide	Urindrivande	13 500	5%	19 500	69%	1 360	67%	2 400
Fusidic acid	Antibiotika	*		*		*		24
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	2 950	46%	4 750	7%	11	101%	1 250
Ibuprofen	Inflammationshämmande	24 000	53%	21 000	54%	22 000	6%	9 100
Ketoprofen	Inflammationshämmande	245	101%	115	55%	50	57%	453
Linezolid	Antibiotika	15	34%	*		*		*
Metoprolol	Blodtryckssänkande	10 150	68%	11 650	53%	545	87%	1 960
Moxifloxacin	Antibiotika	*		*		*		*
Naproxen	Inflammationshämmande	34 000	92%	19 350	71%	14 950	76%	7 133
Norfloxacin	Antibiotika	*		88	131%	*		*
Oxazepam	Lugnande	7 850	12%	36 500	33%	*		3 333
Paracetamol	Inflammationshämmande	95	67%	350	0%	120	82%	*
Propranolol	Blodtryckssänkande	245	61%	29	137%	*		68
Ramipril	Blodtryckssänkande	22	19%	*		*		*
Ranitidine	Medel mot magsår	1 295	55%	11	74%	40	131%	322
Rifampicin	Antibiotika	1 002	141%	*		*		*
Risperidone	Lugnande	4,8	53%	*		*		*
Sertraline	Antidepressiv	66	138%	29	135%	101	139%	52
Simvastatin	Boldfettsänkande	235	9%	163	76%	975	33%	250
Sulfamethoxazole	Antibiotika	6 700	6%	6,6	74%	6,0	96%	253
Terbutaline	Astmamedicin	13	28%	11	56%	14	40%	11
Tetracycline	Antibiotika	1 150	117%	*		*		927
Trimetoprim	Antibiotika	1 105	127%	6,0	94%	2,9	44%	16
Warfarin	Blodförtunnande	37	79%	82	66%	8,8	115%	14
Östradiol (E2)	Könshormon	61	81%	10		*		5,7
Östron (E1)	Könshormon	175	28%	25		31	64%	31

Vissa substanser t ex claritromycin, clindamycin, ranitidine, rifampicin, sulfamethoxazole, tetracyclin och trimetoprim finner man i absolut högst halt och ibland till och med enbart i sjukhuset avloppsvatten. Alla dessa substanser, utom ranitidine är olika sorters antibiotika. Även könshormon östradiol och östron har betydligt högre halt i sjukhusavlopp. De smärtstillande substanserna ibuprofen och naproxen står för de absolut högsta halterna i sjukhusvatten.

Äldreboende och sjukhus står tillsammans för väldigt höga halter atenolol, ciprofloxacin, furosemide, hydrochlorothiazide, metoprolol och oxazepam. Flera av substanserna är blodtrycksmediciner, men det finns även urindrivande, antibiotika och lugnande. ciprofloxacin och oxazepam detekteras inte alls i hushållspillvatten. Substansen i högst halt från äldreboende är i särklass oxazepam som är en lugnande och ångestdämpande medicin.

Simvastatin (blodfettssänkande medicin) är i denna studie den enda substans som har betydande högre halt i hushållspillvattnet än från äldreboende och sjukhus. Ibuprofen och naproxen står för de absolut högsta halterna även i hushållspillvatten.

I Naturvårdsverkets rapport (2008) framgick att de högsta halterna av läkemedelsrester fanns i sjukhusens avloppsvatten men att andelen läkemedel från sjukhus i förhållande till totala mängden läkemedel till reningsverken är relativt liten. Det råder därför delade meningar om det är motiverat att rena ett sjukhusavloppsvatten. Fördelen med att rena vid källan är att reningen är effektivare på höga koncentrationer.

Ibuprofen och naproxen är de substanser som har högst halt in på avloppsverket. De fem nästkommande substanserna (oxazepam, furosemide, metoprolol, hydrochlorothiazide och atenolol) i högst halt in till reningsverket är läkemedel som man i detekterar i betydligt lägre halt i hushållspillvatten, dvs sjukhus och äldreboende har en betydande påverkan på halterna in till reningsverket.

Räknar man på totalhalten (för vårt urval av substanser) så innehåller ett spillvatten från sjukhus eller äldreboende ca 2 gånger mer läkemedel (i halt) än ett hushållspillvatten, se tabell 8.

Tabell 8 Uppströms provpunkter, jämförelse av totalhalt (ng/l)

Provtagningspunkt	Totalhalt	Faktor
Sjukhus	125 202	2,1
Äldreboende	138 625	2,3
Hushåll	59 501	1

På grund av svårigheter att mäta flödet i de valda uppströmspunkterna är det halter, inte mängder, som jämförs. I ett försök att uppskatta sjukhusets andel i mängd kan man räkna på att sjukhusets totala vattenförbrukning (64 079 m³ för 2018) blir spillvatten och då står för ca 1 % av inkommande vatten till reningsverket. Flera substanser har en hög procentuell andel från sjukhuset och främst gäller detta flera sorters antibiotika, se tabell 9. De sju substanserna som är listade i tabellen är de som har >10 gånger högre procentuell mängd i förhållande till det procentuella flödet. Korrelationen mellan höga koncentrationer av antibiotika i avloppsvatten och uppkomst av multiresistenta bakterier

är inte helt fastställt men i laboratoriestudier har dock väldigt låga antibiotikakoncentrationer visat ge upphov till resistent bakterier. Avloppsreningsverket kan utgöra en reservoar för spridning av antibiotikaresistenta bakterier och detta kan vara ett starkt skäl till att rena avloppsvatten från sjukhus separat (Eskebaek, 2016). För samtliga substansers procentuella andel se tabell i bilaga 7.6.

Tabell 9 Substanser från sjukhus som har hög andel (>10 ggr mängd i förhållande till flödet) i inkommande avloppsvatten till reningsverket.

		Sjukhus		Inkommande		Andel från sjukhus	Kvot mängd/flöde
Substans	Verkan	mg/l	mg/h	mg/l	mg/h	%	
Ciprofloxacin	Antibiotika	2 320	17	50	35	48%	48
Clarithromycin	Antibiotika	4 305	31	66	46	68%	68
Clindamycin	Antibiotika	75	0,54	1,5	1	53%	53
Erythromycin	Antibiotika	8 012	58	55	38	153%	153
Sulfamethoxazole	Antibiotika	6 700	49	253	177	28%	28
Trimetoprim	Antibiotika	1 105	8,1	16	11	72%	72
Östradiol (E2)	Könshormon	61	0,45	5,7	4	11%	11

Gör man motsvarande beräkning för äldreboendet (5 250 m³ för 2018) blir den procentuella andelen av mängder i inkommande avloppsvatten till reningsverket inte så hög eftersom äldreboendets flöde endast är 0,09 % av inkommande. Men även för äldreboendet är det fyra substanser som har >10 gånger högre mängd i avloppsvattnet i förhållande till flödet, se tabell 10. Även här är det två antibiotika som har högst kvot, men även lugnande oxazepam och blodtryckssänkande atenolol har hög kvot. För samtliga substansers procentuella andel se tabell i bilaga 7.7.

Tabell 10 Substanser från äldreboende som har hög andel (>10 ggr mängd i förhållande till flödet) i inkommande avloppsvatten till reningsverket.

		Äldreboende		Inkommande		Andel från äldreb.	Kvot mängd/flöde
Substans	Verkan	mg/l	mg/h	mg/l	mg/h	%	
Atenolol	Blodtryckssänkande	18 100	11	1 193	835	1,3%	14
Ciprofloxacin	Antibiotika	1 940	1,2	50	35	3,3%	37
Erythromycin	Antibiotika	2 050	1,2	55	38	3,2%	36
Oxazepam	Lugnande	36 500	22	3 332	2 333	0,9%	10

Resultaten i denna studie är både högre och lägre i jämförelse mot referensvärden för inkommande avloppsvatten (medianvärde från olika projekt, data från IVL), se tabell i bilaga 7.8. Av de 30 detekterade substanserna i inkommande vatten ligger 11 substanser över och 7 under referenshalten. Resterande 12 substanser ligger inom spannet ±30 % avvikelse, där tolkningen är osäker på grund av analysens mätosäkerhet. Den substans som utmärker sig för Sundets reningsverk är oxazepam som är cirka 10 gånger högre i inkommande vatten än referenshalten. Även i jämförelse med andra rapporter (Naturvårdsverket, 2008; Svahn m fl, 2017) har Sundet ovanligt hög halt av oxazepam i det inkommande vattnet.

Standardparametrarna visar inte på några större skillnader mellan provtagningsveckorna, se bilaga 7.1 och 7.2. Reduktionen av standardparametrarna visar på att verket har fungerat normalt under provtagningsveckorna. För susp, totalfosfor och BOD₇ var reduktionen ständigt över 98 % och för TOC och ammonium har reduktionen varit 89–92 % respektive 85–92 %. Totalkväve hade 56 % reduktion i januari och 68 % i maj. Generellt sett är det lite högre värden uppströms på ledningsnätet under provtagningsveckan i maj, men inkommande avloppsvatten till reningsverket håller sig jämnt. De mikrobiologiska analyserna ger högre resultat för maj och augusti, vilket troligtvis kan förklaras av årstidsvariation med högre temperatur. Flödet in till reningsverket var stabilt under respektive provtagningsvecka. I januari var medelflödet för inkommande vatten 710 m³/h, maj 717 m³/h och augusti 684 m³/h.

4.2 NULÄGESANALYS ÖVER AVLOPPSRENINGSVERKET

4.2.1 Vatten

Sammanställning från provtagningarna över avloppsverket redovisas i tabell 11 nedan. För utgående är halterna medelvärden av 11 provtagningar. De andra punkterna är medelvärden av 2–3 provtagningar.

Av 40 olika substanser detekteras 30 i inkommande avloppsvatten och 26 i utgående avloppsvatten. Reningsverket uppvisar en reduktionsgrad av totalhalt på 54 %. Flertalet substanser reduceras 80–100 % i befintlig process på verket. Tydligast reduktion är det för ibuprofen, naproxen, simvastatin och tetracycline. Ytterligare två antibiotika, ciprofloxacin och fusidic acid, och könshormonet östradiol verkar reduceras bra över verket även om det är mer osäkert på grund av lägre uppmätta halter. Atenolol, furosemide, ketoprofen och sulfamethoxazole visar också på god reduktion ca 40–80 %. Östron reduceras med 54 % men är också lite osäkrare på grund av låg halt. Av de 30 detekterade substanserna reduceras 12 substanser väldigt bra eller bra, dvs över 40 %. Av de 18 substanser som reduceras sämre än 40 % uppvisar 16 substanser ingen eller negativ reduktion. De substanser som inte påverkas av dagens reningsprocess är listade i tabell 12. Reduktionen av läkemedelssubstanser över verket stämmer väldigt väl överens med andra rapporterade resultat i olika projekt (Allard och Wahlberg, 2017; Naturvårdsverket, 2008).

Tabell 11 Resultat (i ng/l) från provtagning på avloppsverket i jämförelse med utgående från andra reningsverk (data från IVL). Substanser vars resultat är under rapportgräns är markerade med *. För total avskiljningsgrad är gröna värden >80%, gula värden 40–80% och rosa värden <40%.

Substans	Verkan	Ink	Föresed.	Eftersed.	Utg	Referens	Avvikelse från ref	Total reduktion
Amlodipine	Blodtryckssänkande	135	61	70	133	48	222%	1%
Atenolol	Blodtryckssänkande	1 193	1 750	680	457	560	75%	62%
Benzylpenicillin	Antibiotika	*	*	*	*	0,5		
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	87	124	135	85	110	70%	2%
Carbamazepine	Lugnande	302	450	530	463	460	87%	-53%
Ciprofloxacin	Antibiotika	50	25	*	*	10	51%	100%
Citalopram	Antidepressiv	319	465	570	435	420	90%	-36%
Clarithromycin	Antibiotika	66	92	98	92	24	382%	-39%
Clindamycin	Antibiotika	1,5	3,8	20	16	30	52%	-944%
Diclofenac	Inflammationshämmande	860	556	606	876	715	114%	-2%
Doxycycline	Antibiotika	*	*	*	*	65		
Erythromycin	Antibiotika	56	132	260	301	11	2733%	-437%
Etinylöstradiol (EE2)	Könshormon	*		*	*	1,0		
Fluoxetine	Antidepressiv	5,1	6,0	15	18	26	57%	-246%
Furosemide	Urindrivande	2 400	1 360	1 210	1 400	1 300	108%	42%
Fusidic acid	Antibiotika	24	*	*	*	9,0		100%
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	1 250	709	810	1 376	1 450	95%	-10%
Ibuprofen	Inflammationshämmande	9 100	6 055	*	99	155	45%	99%
Ketoprofen	Inflammationshämmande	453	415	85	124	225	33%	73%
Linezolid	Antibiotika	*	*	*	*	1,7		
Metoprolol	Blodtryckssänkande	1 960	2 750	2 600	1 976	1 750	101%	-1%
Moxifloxacin	Antibiotika	*	*	*	*	7,6		
Naproxen	Inflammationshämmande	7 133	3 585	635	121	360	32%	98%
Norfloxacin	Antibiotika	*	*	*	*	6,0		
Oxazepam	Lugnande	3 333	3 950	5 300	5 166	1 950	204%	-55%
Paracetamol	Inflammationshämmande	*	*	*	*	15		
Propranolol	Blodtryckssänkande	68	125	155	145	120	100%	-114%
Ramipril	Blodtryckssänkande	*	*	*	*	15		
Ranitidine	Medel mot magsår	322	750	575	309	180	192%	4%
Rifampicin	Antibiotika	*	*	*	*	10		
Risperidone	Lugnande	*	*	*	*	15		
Sertraline	Antidepressiv	52	54	86	95	53	147%	-83%
Simvastatin	Boldfetsänkande	250	260	*	*	5,0		100%
Sulfamethoxazole	Antibiotika	253	146	35	81	3,0	2689%	68%
Terbutaline	Astmamedicin	11	13	12	22	20	105%	-101%
Tetracycline	Antibiotika	927	240	111	149	33	457%	84%
Trimetoprim	Antibiotika	16	82	11	10	95	10%	40%
Warfarin	Blodförtunnande	14	7,0	6,0	11	5,0	184%	22%
Östradiol (E2)	Könshormon	5,7		*	*	1,0		100%
Östron (E1)	Könshormon	31		*	14	2,5	573%	54%
Totalhalt		30 677	24 162	14 610	13 972	10 265		54%

Tabell 12 Substanserna (i ng/l) som uppvisar ingen eller negativ reduktion på avloppsverket

Substans	Verkan	Ink	Föresed.	Eftersed.	Utg	Referens	Avvikelse	Total
							från ref	reduktion
Amlodipine	Blodtryckssänkande	135	61	70	133	48	222%	1%
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	87	124	135	85	110	70%	2%
Carbamazepine	Lugnande	302	450	530	463	460	87%	-53%
Citalopram	Antidepressiv	319	465	570	435	420	90%	-36%
Claritromycin	Antibiotika	66	92	98	92	24	382%	-39%
Clindamycin	Antibiotika	1,5	3,8	20	16	30	52%	-944%
Diclofenac	Inflammationshämmande	860	556	606	876	715	114%	-2%
Erythromycin	Antibiotika	56	132	260	301	11	2733%	-437%
Fluoxetine	Antidepressiv	5,1	6,0	15	18	26	57%	-246%
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	1 250	709	810	1 376	1 450	95%	-10%
Metoprolol	Blodtryckssänkande	1 960	2 750	2 600	1 976	1 750	101%	-1%
Oxazepam	Lugnande	3 333	3 950	5 300	5 166	1 950	204%	-55%
Propranolol	Blodtryckssänkande	68	125	155	145	120	100%	-114%
Ranitidine	Medel mot magsår	322	750	575	309	180	192%	4%
Sertraline	Antidepressiv	52	54	86	95	53	147%	-83%
Terbutaline	Astmamedicin	11	13	12	22	20	105%	-101%

Totalreduktionen över verket är 54 % men exkluderas naproxen och ibuprofen, två substanser som kommer in i hög halt och reduceras till nästan 100 %, sjunker totalreduktionen till 5 %. Många substanser som inte reduceras alls kan "gömmas" i en hög totalreduktionsgrad. Att sätta mål för läkemedelsrening efter totalreduktion är därför inte att rekommendera.

Inom RESVAV-projektet (Cimbritz, 2018; Paxéus, 2018) räknades det ut en specifik belastning (mg/person, dygn) för ett antal läkemedelssubstanser för projektets ingående avloppsreningsverk (Skåne, Halland, Göteborg, Stockholm). Överensstämmelsen för Sundets reningsverk är mycket god för alla substanser utom trimetoprim, se tabell 13.

Tabell 13 Specifik belastning för Växjö ARV i jämförelse med uträknad specifik belastning ur RESVAV-projektet. Medelflödet är 700m³/h och antal anslutna personer är 70 000. Högra kolumnen är beräknad helt på Sundet med specifik belastning enligt RESVAV.

Substans	RESVAV		Växjö ARV			Halt ink enl RESVAV
	Reduktion ARV	Specifik belastning	Reduktion ARV	Specifik belastning	Halt ink	
	%	mg/person, dygn	%	mg/person, dygn	ng/l	
Atenolol	15-60	0,5	62	0,3	1 193	2 083
Carbamazepine	0-20	0,1	-53	0,08	302	417
Citalopram	0-20	0,08	-36	0,08	319	333
Diklofenak	0-25	0,15-0,4	-2	0,2	860	625-1 667
Ibuprofen	80-100	2,0	99	2,2	9 100	8 333
Metoprolol	ca 20	0,3	-1	0,5	1 930	1 250
Propranolol	0-20	0,025	-114	0,016	68	104
Sulfamethoxazole	30-75	0,02-0,4	68	0,06	253	83-1 667
Trimetoprim	0-50	0,02	40	0,004	16	83

4.2.2 Aktivt slam mot IFAS/HYBAS

En väl fungerande kväverening anses i andra rapporter (t ex Cimbritz mfl, 2016) vara nyckeln till en god totalreduktion av läkemedelssubstanser. För en förbättrad kväverening har Växjö kommuns reningsverk bärare i en del av den biologiska reningen. Under

provtagningsveckan i maj provtogs verkets två varianter av biologisk rening var för sig. Av de substanser som detekterades i försedimenteringen och uppvisade en reduktion i biosteget (10 st) gav processen med bärare, IFAS/HYBAS, en högre eller samma reduktionsgrad för alla substanser utom en, se tabell 14. I medel gav bärarprocessen 10 % högre reduktionsgrad (spridning 1–17 %) men det är samma läkemedelssubstanser som reduceras i båda processvarianterna. Resultaten baseras på enbart en veckoprovtagning.

Tabell 14 Resultat (i ng/l) för provtagning av biosteg med aktivt slam i jämförelse med biosteg med bärare. Grön färg markerar de reduktionsgrader där bärarprocessen ger ett högre resultat. Alla substanser som inte detekterades i försedimentering eller uppvisade någon reduktion i biosteget är borttagna.

Substans	Verkan	FS	ES AKTIVT			FS-ES	FS-ES
			ES HYBAS	SLAM	HYBAS	reduktion	AKTIVT SLAM
Ibuprofen	Inflammationshämmande	12000	*	*		100%	100%
Naproxen	Inflammationshämmande	7100	300	840		96%	88%
Furosemide	Urindrivande	2700	1900	2200		30%	19%
Atenolol	Blodtryckssänkande	1100	240	340		78%	69%
Diclofenac	Inflammationshämmande	1100	980	1100		11%	0%
Ranitidine	Medel mot magsår	530	270	350		49%	34%
Ketoprofen	Inflammationshämmande	360	*	*		100%	100%
Sulfamethoxazole	Antibiotika	240	33	36		86%	85%
Erythromycin	Antibiotika	200	76	110		62%	45%
Warfarin	Blodförtunnande	13	13	*		0%	100%

På uppdrag av Växjö kommun har AnoxKaldnes utfört en aktivitetstest i laboratorieskala för potentiell reduktion av läkemedelssubstanser i aktivt slam respektive bärarprocessen IFAS/HYBAS. Fullständig rapport från AnoxKaldnes finns i bilaga 7.14. Prov hämtades från respektive biosteg på Sundets reningsverk och spikades med 21 olika substanser i haltområdet 3–20 µg/l. Under 24h togs 11 prov ut och analyserades med HPLC-MS/MS. IFAS/HYBAS uppvisade högre reduktionsresultat för samtliga substanser, men detta förklaras delvis med att HYBAS har högre biomassa än aktivt slam. Normaliserat resultat mot biomassan kvarstår ändå ett högre resultat för 11 substanser bland annat diclofenac och erythromycin som även gav högre reduktion i vår provtagning. Detta tyder på en högre potentiell reduktionsgrad för IFAS/HYBAS. Anmärkningsvärt är också att det bara är för HYBAS som reduktion av kontrastmedel uppvisas. Slutkommentar för aktivitetstestet är att resultatet är svårtolkat på grund av de höga halterna, µg istället för ng, som proven spikats med. Det finns potential att med förbättrad biologisk rening öka reduktionsgraden för vissa substanser, men är långtifrån tillräcklig för att på bred front reducera läkemedel.

4.2.3 Slam

Analys av läkemedelssubstanser i slam gav litet underlag då de flesta analyser var under rapporteringsgräns och svåra att dra några slutsatser från, se tabell i bilaga 7.9. Därav togs provpunkterna bort för provtagningen i maj. Det man med säkerhet kan säga är att de flesta substanser, från vårt urval, återfinns i första hand i vattenfasen och därav vårt fokus i vidare provtagning. Enligt IVL går antibiotika tyvärr inte att analysera i slam och generellt är det för läkemedelsanalyser i slam och rejekt väldigt hög osäkerhet i resultaten då provmatrisen är väldigt svår.

Endast fyra substanser (diclofenac, furosemide, ibuprofen och naproxen) återfinns i råslammet, före slambehandling. Samma substanser återfinns efter termisk hydrolysis (Cambi) i ungefär samma halt. Röttningsprocessen verkar bryta ner furosemide och naproxen som inte detekteras i utgående från röttkammaren. Efter slamavvattning (press) återfinns diclofenac och ibuprofen, men även citalopram och östron.

Enligt delrapport för projektet SystemLäk (Allard mfl, 2017) antas amlodipine, citalopram, propranolol och sertralin vara partikelbundna substanser och kan förväntas återfinnas i slamfasen. Några sådana slutsatser kan inte dras här då ingen av dessa substanser återfinns över rapporteringsgräns i slamfasen före slambehandling.

Vissa substanser, till exempel ibuprofen och naproxen, som reduceras bra i vattenfasen återfinns i slamfasen medan andra substanser som också reducerats i vattenfasen inte återfinns till exempel tetracyclin och simvastatin. Svaret är troligen att det inte är avskiljning utan omvandling (nedbrytning) som sker i reningsverkets processer för dessa substanser. De substanser som återfinns i slammet finns i väldigt höga halter i inkommande avloppsvatten.

Litteratur visar på att två klasser, antidepressiva (SSRI-preparat) och antibiotika, generellt har en högre förekomst i slam än andra grupper. Även könshormoner binder in hårt till slam, även om de låga halterna är svåra att detektera. Den hårda inbindningen beror sannolikt på hormonernas lipofila karaktär (Malmborg, 2014).

Studier som har gjorts av IVL Svenska Miljöinstitutet har undersökt om avloppsslam som lagts på jordbruksmark innehåller läkemedelsrester som sprids i miljön. Slammet visade sig innehålla flera läkemedel, däremot innehöll inget av de markvattenprover som togs på jordbruksmarken påvisbara halter av substanserna (Magnér mfl, 2016). Enligt de här resultaten skulle användning av slam på jordbruksmark endast utgöra en mindre del av den totala spridningen av läkemedel till vatten och grundvatten i förhållande till den mängd läkemedel som passerar reningsverket via avloppsvattnet.

Malmborg skriver i sin rapport att det finns en oro över läkemedel vid intag av gröda från slamgödslad mark och även över effekter på marklevande organismer. Man kan anta att substanser som förekommer lösta i vatten är mer biotillgängliga än de som är adsorberade till slam eller jord så halter som innebär miljöpåverkan i vattenmiljö behöver inte göra det i jord. När substanser desorberas i mark blir de inte bara toxiskt aktiva utan också mer tillgängliga för nedbrytning. Jord är en biologiskt aktiv matris och en milliliter jord innehåller lika stor mängd mikroorganismer som 10 liter vatten. Det är därför rimligt att anta att substanserna bryts ner eller omvandlas och den farmakologiska effekten läkemedlen designats för avtar (Malmborg, 2014).

4.2.4 Rejekt

Analys av rejekt från pressen visar på stor variation i halter mellan provomgångarna, se tabell i bilaga 7.9. Vissa läkemedelssubstanser finns i extremt höga halter ena provomgången och betydligt lägre i den andra. Om det beror på faktiska variationer i rejektet eller svårigheten att analysera läkemedelsrester i en så komplicerad matris, med följande hög mätosäkerhet, är svårt att avgöra och troligtvis är det en kombination.

Strax under hälften av de analyserade substanserna detekteras i rejektet och vissa i väldigt höga halter. Alla substanser som detekteras reduceras i någon grad i

rejektvattenbehandlingen med undantag för två substanser, hydrochlorothiazide och oxazepam. Resultaten efter rejecktavattenbehandlingen visar på en totalreduktion på 81 %. Liksom för reningsverkets huvudprocess finns ibuprofen i hög halt och reduceras till nästan 100 %. Rejecktavattenbehandlingen uppvisar även väldigt god reduktion (72–86 %) av diclofenac, metoprolol, citalopram och sertralin, vilket inte kan ses i huvudprocessen.

Ett av syftena med att analysera rejecktavatten var att få en uppfattning över hur stor del av läkemedelssubstanserna som förs tillbaka till reningsverkets huvudprocess. En massberäkning på ett uppskattat rejecktavattenflöde på 8 m³/h ger att behandlat rejecktavatten står för 2,6 % av totalhalten läkemedel i försedimenteringen.

4.3 NULÄGESANALYS NEDSTRÖMS

För Södra Bergundasjön (uppströms sjö), har inga läkemedelssubstanser från den utvalda listan detekterats.

I utgående avloppsvatten från reningsverket detekterades 26 av 40 substanser, se tabell 11. 15 av dessa substanser detekteras även i utloppet från primärrecipienten, Norra Bergundasjön, se tabell 15. 11 av substanserna som detekteras i primärrecipienten är med på listan över substanser som uppvisar negativ eller ingen reduktion över reningsverket, se tabell 12. De tre substanser (oxazepam, metoprolol och carbamazepine) som återfinns i högst halt i sjön tillhör substanserna som inte reduceras över verket och som kommer in till verket i hög halt. De återfinns även högt upp på riskanalyslistan, se tabell i bilaga 7.10.

Tabell 15 Resultat (i ng/l) från nedströms provtagning, primärrecipient Norra Bergundasjön och sekundärrecipient Kråkesjön för substanser som detekterats i någon av de tre provtagningarna. Substanser vars resultat är under rapportgräns är markerade med *.

Substans	Verkan	Norra Bergundasjön				Kråkesjön	
		jan	maj	aug	medel	jan	maj
Oxazepam	Lugnande	550	1000	1000	850	*	*
Metoprolol	Blodtryckssänkande	190	220	100	170	33	*
Carbamazepine	Lugnande	*	170	160	165	*	*
Naproxen	Inflammationshämmande	*	38	*	38	*	*
Sulfamethoxazole	Antibiotika	*	34	*	34	*	*
Citalopram	Antidepressiv	37	36	27	33	*	*
Atenolol	Blodtryckssänkande	31	*	*	31	*	*
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	*	18	38	28	19	*
Diclofenac	Inflammationshämmande	*	18	21	20	*	*
Erythromycin	Antibiotika	8,6	18	5,8	11	*	*
Propranolol	Blodtryckssänkande	8,3	*	*	8,3	*	*
Clarithromycin	Antibiotika	*	*	7	7	*	*
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	*	8	4,4	6,2	*	*
Clindamycin	Antibiotika	6,1	*	*	6,1	*	*
Trimetoprim	Antibiotika	2	*	*	2	*	*

I Kråkesjön (sekundärrecipient) detekteras två substanser, metoprolol och hydrochlorothiazide, i provtagningen i januari. I majprovtagningen detekteras inga substanser alls från den valda listan.

Provtagningen i augusti lades till för att se hur sommar och hög biologisk aktivitet i sjön påverkade halterna. Man kan inte se att den biologiska aktiviteten påverkar halterna i någon större grad. Möjligtvis kan man se att de substanser som uppvisar god reduktion över verket inte detekteras i sjön under sommartid. En förklaring kan vara att den biologiska aktiviteten i sjön i högre grad påverkar samma substanser som uppvisar god reduktion över den biologiska reningen på reningsverket.

Ciprofloxacin, diclofenac, östradiol och etinylöstradiol finns upptagna som särskilt förorenande ämnen (SFÄ) enligt Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten (HVMFS 2018:17). Som ett av de första länderna i EU beslutade Sverige med denna föreskrift att införa gränsvärden i vattenförkomster för dessa ämnen. Gränsvärdena för att klassas med god ekologisk status är 100 ng/l för ciprofloxacin och diklofenak. För östradiol och etinylöstradiol är gränsvärdena 0,4 ng/l respektive 0,035 ng/l. Inget av dessa gränsvärden överskrids i primärrecipienten.

4.4 RISKANALYS

Effekter av långvarig exponering av låga halter är svåra att bedöma i miljön och på laboratorium. Inga synliga miljöeffekter av läkemedelsrester har påvisats i svenska vatten, men i laboratorietester har man för vissa ämnen sett effekter på fisk i närheten av de halter som mätts upp i svenska recipienter. Det är inte akuttoxiska effekter utan t ex sned könsfördelning till följd av exponering under lång tid vid låga halter. Vid miljöbedömning använder man sig därför av olika metoder för att skapa en viss säkerhetsmarginal (Naturvårdsverket, 2008).

I detta projekt, liksom i andra liknande projekt till exempel Linköping, Sehlén m fl, (2015), har riskanalysen EC/PNEC-kvot använts. Riskanalysen baseras på kvoten mellan koncentrationen i utgående vatten från reningsverket och den koncentration som förväntas vara säker för vattenlevande djur och växter.

Alla substanser i utgående avloppsvatten sätts samman i en lista. Resultaten för utgående avloppsvatten (EC, *Effect concentration*) är medelvärden av samtliga resultatomgångar.

Substansernas PNEC(*Predicted No Effect Concentration*)-värden räknas ut genom att NOEC(*No Effect Concentration*)-värdena räknas om, enligt formel nedan, med hänsyn till utspädning i recipienten och en säkerhetsfaktor som bygger på hur många akuta och kroniska studier på olika trofinivåer som NOEC-värdet baseras på. I detta projekt har IVL stått för alla NOEC-värden och säkerhetsfaktorer.

$$PNEC = \frac{NOEC * Utspädning}{Säkerhetsfaktor}$$

EC- och PNEC-värdena jämförs med varandra och utgör den s.k. riskkvoten (EC/PNEC-kvot).

Hög risk för oönskade effekter anses föreligga om riskkvoten är 1 eller högre. I intervallet 0,1–1 är risken måttlig, och en riskkvot <0,1 medför en låg risk. I riskanalysen färgmarkeras riskkvoten enligt följande:

>1	HÖG risk
0,1-1	MÅTTLIG risk
<0,1	LÅG risk

Riskanalysen ger en bild av reningsverkets påverkan på recipienten och vilka läkemedelssubstanser som utgör en risk. Analysen är ett framtagande av en prioritetslista för läkemedel som släpps till recipienten. Utifrån prioritetslistan kan behövd reningsgrad utläsas dvs hur mycket respektive substans behöver reduceras i utgående avloppsvatten för att riskkvoten inte ska överstiga 1 där hög risk för oönskade effekter i recipienten föreligger.

Fullständig prioritetslista för alla analyserade substanser för Sundets reningsverk finns i bilaga 7.10. Tabell 16 nedan visar de 13 substanser som hamnar på en riskkvot >0,1 då det bedöms som måttlig till hög risk för oönskade effekter. Av de 13 substanserna är det 8 substanser som utgör en hög risk.

Tabell 16 Prioritetslista med de substanser som hamnar på en riskkvot >0,1 (gula, måttlig risk) respektive >1,0 (röda, hög risk) för Sundets reningsverk.

Risk	Substans	Verkan	Utgående (EC) (ng/l)	NOEC (ng/l)	Säkerhetsfaktor	Utspädning	PNEC (ng/l)	Riskkvot (EC/PNEC-kvot) RECIPIENT
Hög	Oxazepam	Lugnande	5 166	10 000	1 000	2	20	258
	Östron (E1)	Könshormon	14	8,0	100	2	0,16	90
	Diclofenac	Inflammationshämmande	876	500	10	2	100	8,8
	Propranolol	Blodtryckssänkande	145	500	50	2	20	7,3
	Amlodipine	Blodtryckssänkande	133	10 000	1 000	2	20	6,7
	Fluoxetine	Antidepressiv	18	29	10	2	5,8	3,1
	Carbamazepine	Lugnande	463	1 000	10	2	200	2,3
	Erythromycin	Antibiotika	301	10 300	100	2	206	1,5
Måttlig	Furosemide	Urindrivande	1 400	142 000	100	2	2 840	0,49
	Metoprolol	Blodtryckssänkande	1 976	129 500	50	2	5 180	0,38
	Sertraline	Antidepressiv	95	9 000	50	2	360	0,26
	Citalopram	Antidepressiv	435	105 000	100	2	2 100	0,21
	Claritromycin	Antibiotika	92	2 600	10	2	520	0,18

På grund av väldigt låg utspädningsfaktor i recipienten och höga halter, främst av oxazepam, i utgående avloppsvatten erhålls mycket höga riskkvoter för Sundets reningsverk. Tabell 17 nedan visar vilken halt och reningsgrad som behöver uppnås av ett extra reningssteg för att nå godkända riskkvoter. I en jämförelse mellan analysernas rapportgränser och halterna för målkvoterna syns det att för oxazepam och östron kan Sundet aldrig nå en måttlig eller låg riskkvot såvida rapportgränsen inte förfinas. För propranolol, amlodipine, fluoxetin och carbamazepine kan Sundet, med dagens rapportgränser, aldrig nå längre än till måttlig riskkvot. Rapportgränserna (LOQ) i tabell 17 är spannet mellan de olika provserierna som har skickats in till IVL för analys under den här studien.

Tabell 17 Halter och reningsgrad för de olika målkvoterna i riskanalysen i jämförelse med analysens rapportgräns (LOQ)

Substans	Verkan	Utgående (EC) (ng/l)	Halt för målkvot 1,0 (ng/l)	Reningsgrad (%)	Halt för målkvot 0,1 (ng/l)	Reningsgrad (%)	LOQ (ng/l)
Oxazepam	Lugnande	5 166	20	99,6	1,9	99,96	70-270
Östron (E1)	Könshormon	14	0,16	99	0,015	99,9	1-3
Diclofenac	Inflammationshämmande	876	100	89	9,9	99	6-38
Propranolol	Blodtryckssänkande	145	20	86	1,9	99	3-7
Amlodipine	Blodtryckssänkande	133	20	85	1,9	99	5,4-600
Fluoxetine	Antidepressiv	18	5,8	68	0,57	97	3-18
Carbamazepine	Lugnande	463	200	57	19	96	30-150
Erythromycin	Antibiotika	301	206	32	20	93	2-3
Furosemide	Urindrivande	1 400	1 400	0	283	80	15-70
Metoprolol	Blodtryckssänkande	1 976	1 976	0	517	74	3-14
Sertraline	Antidepressiv	95	95	0	35	63	3-9
Citalopram	Antidepressiv	435	435	0	209	52	5,5-13
Clarithromycin	Antibiotika	92	92	0	51	45	4-30

4.5 RESULTAT DOS-RESPONS

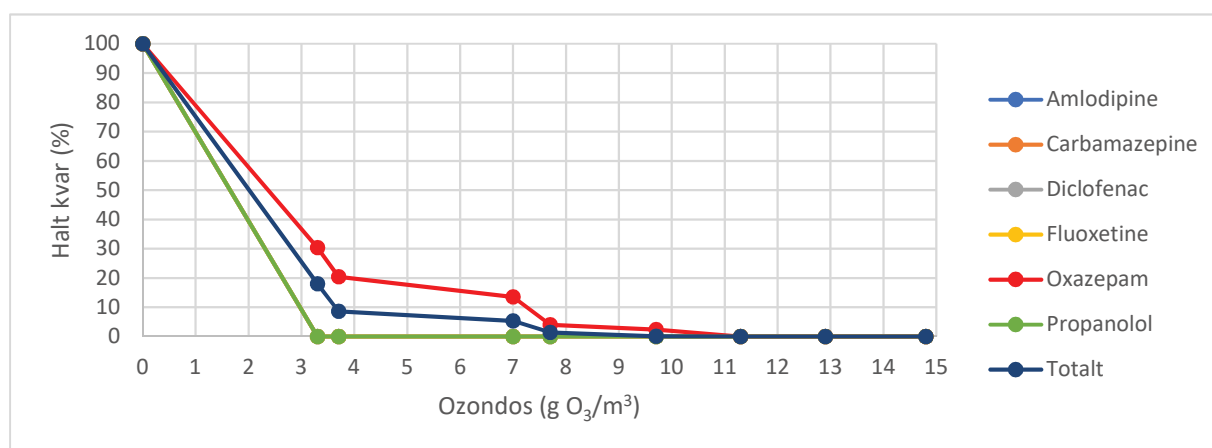
4.5.1 Resultat dos-respons ozon, utgående avloppsvatten

Av 23 analyserade läkemedelssubstanser var det 6 substanser som inte detekterades i utgående avloppsvattnet före ozonbehandling. Antibiotika och hormoner var inte med i analyspaketet eftersom de visade så låga halter för utgående vatten i provomgången i januari. Alla detekterade substanser svarar bra på ozonbehandlingen, se tabell 18. Det finns ett tydligt samband mellan dos och reduktionsgrad. Resultaten visar att en ökande ozondos ger en ökad reduktion av substanser i det behandlade avloppsvattnet, se figur 9. Redan vid lägsta dos 3,3 g O₃/m³ (0,45 g O₃/g DOC) uppnås över 80 % sammanlagd reduktion över behandlingssteget. Samtliga substanser når enskilt 80 % reduktion eller mer vid ozondos 3,7 g O₃/m³ (0,47 g O₃/g DOC) och den sammanlagda reduktionen över det extra behandlingssteget är >90 %. Vid beräkning har alla resultat under rapportgräns räknats som noll.

Oxazepam är den substans som kräver högst ozondos. Vid dos 7,7 g O₃/m³ är det bara oxazepam som inte har reducerats under rapporteringsgräns. För att även den ska nå under rapportgräns, det vill säga 100 % reduktion, krävs en dos på 11,3 g O₃/m³. Alla "röda" substanser, utom oxazepam, med riskkvot över 1 reduceras under rapporteringsgränsen redan vid lägsta dosen. Det är dock viktigt att tillägga att även när oxazepamhalten reducerats under rapporteringsgräns är riskkvoten fortfarande över 1.

Tabell 18 Reduktionsgrad för ozonbehandling på utgående avloppsvatten. 100 % innebär att substansen rapporterats som under rapporteringsgräns (LOQ) efter behandling, värdet sätts till noll. * markerar under rapporteringsgräns redan före behandling. Reduktionsgraden är över behandlingssteget.

Dos (gO ₃ /m ³)	3,3	3,7	7,0	7,7	9,7	11,3	12,9	14,8	
Dos (gO ₃ /gDOC)	0,45	0,47	0,97	1,1	1,4	1,6	2,0	2,1	
Substans	Verkan	Reduktionsgrad (%)							
Amlodipine	Blodtryckssänkande	*	*	*	*	*	*	*	
Atenolol	Blodtryckssänkande	69	88	95	100	100	100	100	
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	75	91	100	100	100	100	100	
Carbamazepine	Lugnande	100	100	100	100	100	100	100	
Citalopram	Antidepressiv	92	100	100	100	100	100	100	
Diclofenac	Inflammationshämmande	100	100	100	100	100	100	100	
Fluoxetine	Antidepressiv	100	100	100	100	100	100	100	
Furosemide	Urindrivande	100	100	100	100	100	100	100	
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	76	96	99	100	100	100	100	
Ibuprofen	Inflammationshämmande	*	*	*	*	*	*	*	
Ketoprofen	Inflammationshämmande	62	100	100	100	100	100	100	
Metoprolol	Blodtryckssänkande	72	92	97	100	100	100	100	
Naproxen	Inflammationshämmande	100	100	100	100	100	100	100	
Oxazepam	Lugnande	70	80	87	96	98	100	100	
Paracetamol	Inflammationshämmande	*	*	*	*	*	*	*	
Propranolol	Blodtryckssänkande	100	100	100	100	100	100	100	
Ramipril	Blodtryckssänkande	*	*	*	*	*	*	*	
Ranitidine	Medel mot magsår	100	100	100	100	100	100	100	
Risperidone	Lugnande	*	*	*	*	*	*	*	
Sertralin	Antidepressiv	79	100	100	100	100	100	100	
Simvastatin	Blodfettssänkande	*	*	*	*	*	*	*	
Terbutaline	Astmamedicin	100	100	100	100	100	100	100	
Warfarin	Blodförtunnande	100	100	100	100	100	100	100	
Total reduktionsgrad (%)		82	91	95	99	99	100	100	
Förklaring		<70 %	70-80 %	80-90 %	>90 %				



Figur 9 Halt kvar (i %) vid olika ozondoser för alla "röda" substanser (riskkvot >1,0) och för summan av alla substanser (totalt). Amlodipine, carbamazepine, diclofenac och fluoxetine har samma kurva som propranolol och syns därför inte. 0%=rapporteringsgräns (LOQ)

Sätts målet för reduktion av läkemedelssubstanser över ozoneringssteget till 80 % reduktion av oxazepam, vilket ger 90 % sammanlagd reduktion för samtliga substanser, ändras riskkvoterna i prioritetslistan till att det bara är oxazepam som är "röd" (riskkvot >1) och utgör en hög risk för oönskade effekter i recipienten, se tabell 19. För denna substans är säkerhetsfaktorn hög (1000). Om faktorn kunde sänkas till 100, 50 eller 10

skulle riskkvoten sjunka till 5,2 och 3,0 respektive 0,52. För att kunna sänka säkerhetsfaktorn måste fler tester för att säkerställa NOEC-värdet utföras på olika trofinivåer.

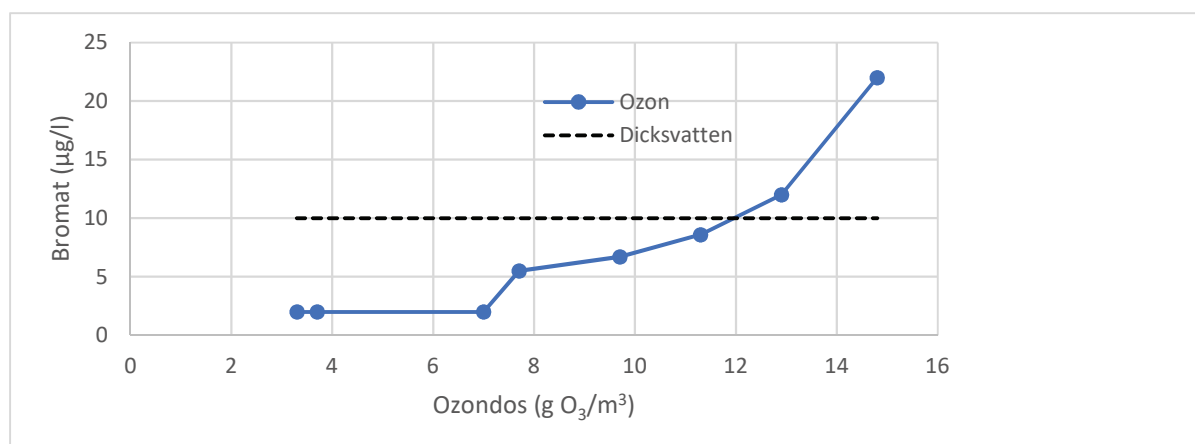
Tabell 19 Riskkvoter vid ozondos 3,7 g O₃/m³ (0,47 g O₃/g DOC), oxazepam reduceras 80 % och sammanlagd reduktionen är >90 %. För de substanser som reduceras 100 % (under rapporteringsgräns) används rapportgränsen i tabellen.

Risk	Substans	Verkan	Utgående (EC) (ng/l)	NOEC (ng/l)	Säkerhetsfaktor	Utspädning	PNEC (ng/l)	Riskkvot (EC/PNEC-kvot) RECIPIENT
Hög	Oxazepam	Lugnande	1 033	10 000	1 000	2	20	52
	Diclofenac	Inflammationshämmande	6	500	10	2	100	0,06
	Propranolol	Blodtryckssänkande	3	500	50	2	20	0,15
	Amlodipine	Blodtryckssänkande	5	10 000	1 000	2	20	0,27
	Fluoxetine	Antidepressiv	3	29	10	2	5,8	0,52
	Carbamazepine	Lugnande	30	1 000	10	2	200	0,15
Måttlig	Furosemide	Urindrivande	15	142 000	100	2	2 840	0,005
	Metoprolol	Blodtryckssänkande	158	129 500	50	2	5 180	0,03
	Sertraline	Antidepressiv	3	9 000	50	2	360	0,008
	Citalopram	Antidepressiv	6	105 000	100	2	2 100	0,003

Ingående avloppsvatten till ozonpiloten (utgående från reningsverket) förändrade sig väldigt lite under dos-responstesterna, se resultat för standardparametrar i bilaga 7.3.

Vid dos-responstesten analyserades även reduktion av de mikrobiologiska parametrarna (koliforma bakterier, E.coli och intestinala enterokocker). Samtliga bakterietyper reducerades 95–99 % redan vid lägsta ozondosen 3,3 g O₃/m³ (0,45 g O₃/g DOC), se bilaga 7.3.

Halten bromid i utgående avloppsvatten från reningsverket var 56 µg/l (provtagning 190311–190318). Riktlinjerna enligt en modell från Schweiz säger att för bromidhalter <100 µg/l är ozonering inget problem (Svenskt Vatten, 2019). För vattnet som behandlats med ozon ser man en tydlig bromatbildning när ozondosen ökar, se figur 10. Så länge ozondosen hålls låg anses inte bromatbildning vid ozonering utgöra någon risk vid Växjörens reningsverk.



Figur 10 Bromatbildning i utgående vatten vid olika ozondoser. Streckade linjen visar gränsvärdet för bromat (10 µg/l) för otjänligt dricksvatten i Sverige.

Det har inte gjorts några ekotoxikologiska analyser för den här ozonstudien. I tidigare studier som till exempel i Linköping, Sehlén m fl, (2015), utfördes tester på grönalg (mikroalg), rödalg (makroalg), och Nitocra (kräftdjur). Ingen negativ påverkan kunde utläsas från testerna för ozondos upp till 18,4 g O₃/m³.

4.5.2 Resultat dos-respons ozon, eftersedimenterat avloppsvatten

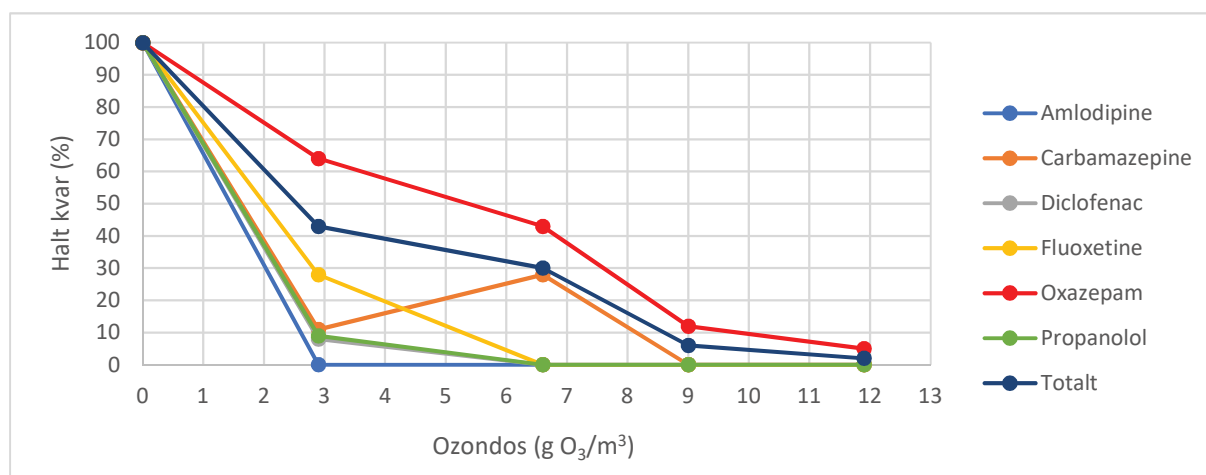
Av 23 analyserade läkemedelssubstanser var det 6 substanser som inte detekterades i det eftersedimenterade vattnet före ozonbehandling. Antibiotika och hormoner var inte med i analyspaketet på grund av tidigare låga resultat. Liksom för utgående avloppsvatten svarar alla detekterade substanser bra på ozonbehandlingen, se tabell 20. Det finns ett tydligt samband mellan dos och reduktionsgrad, se figur 11. Eftersom 70–94 % sammanlagd reduktion över behandlingssteget kräver ozondos 6,6–9,0 g O₃/m³ kan man uppskatta att det för 80 % sammanlagd reduktion över behandlingssteget krävs en ozondos på 7,6 g O₃/m³ (0,92 g O₃/g DOC). För 90 % sammanlagd reduktion krävs en ozondos på 8,6 g O₃/m³ (1,0 g O₃/g DOC). Vid beräkning har alla resultat under rapportgräns räknats som noll.

Jämfört med utgående avloppsvatten går det åt mer än dubbelt (faktor 2,3) så hög dos för motsvarande reduktion i utgående avloppsvatten. Jämfört med utgående avloppsvatten ligger halten susp och DOC högre i eftersedimenterat vatten, vilket delvis förklarar att det går åt mer ozon. Men även om hänsyn tas till högre DOC-halt går det åt mer ozon i eftersedimenterat avloppsvatten. En trolig förklaring är att för både järn och nitrit, vilka också "förbrukar" ozon, är halten högre i eftersedimenterat vatten än i utgående vatten.

Vid ozondos 9,0 g O₃/m³ (1,1 g O₃/g DOC) är det bara atenolol, ketoprofen, metoprolol och oxazepam som inte har reducerats under rapporteringsgränsen (100 %).

Tabell 20 Reduktionsgrad för ozonbehandling på eftersedimenterat avloppsvatten. 100 % innebär att substansen rapporterats som under rapporteringsgräns (LOQ) efter behandling, värdet sätts till noll. * markerar under rapporteringsgräns redan före behandling. Reduktionsgraden är över behandlingssteget.

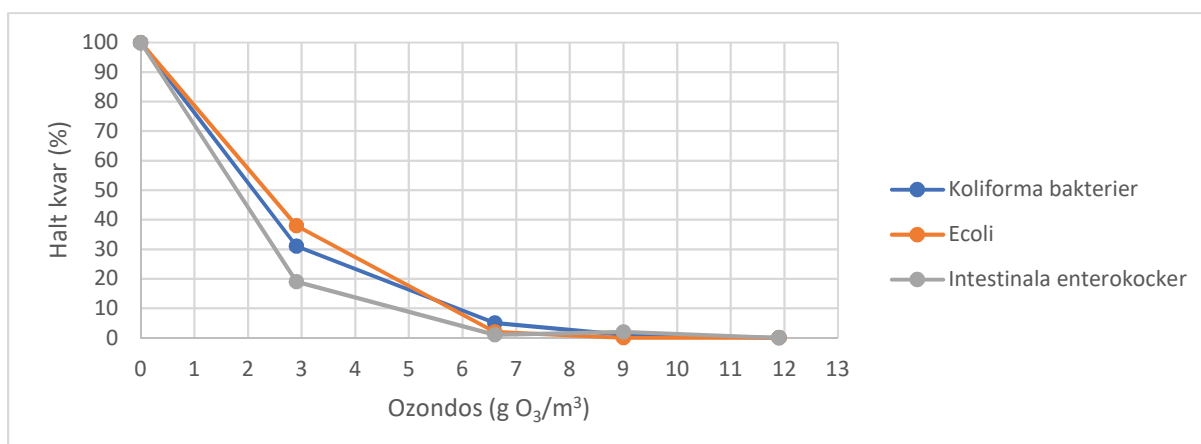
Dos (gO ₃ /m ³)	2,9	6,6	9,0	11,9	
Dos (gO ₃ /gDOC)	0,32	0,79	1,1	1,4	
Substans	Verkan	Reduktionsgrad (%)			
Amlodipine	Blodtryckssänkande	*	*	*	*
Atenolol	Blodtryckssänkande	41	63	94	100
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	39	67	100	100
Carbamazepine	Lugnande	89	72	100	100
Citalopram	Antidepressiv	61	92	100	100
Diclofenac	Inflammationshämmande	92	100	100	100
Fluoxetine	Antidepressiv	72	100	100	100
Furosemide	Urindrivande	100	100	100	100
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	42	76	100	100
Ibuprofen	Inflammationshämmande	100	*	100	100
Ketoprofen	Inflammationshämmande	38	33	82	93
Metoprolol	Blodtryckssänkande	41	68	97	100
Naproxen	Inflammationshämmande	89	100	100	100
Oxazepam	Lugnande	47	56	88	95
Paracetamol	Inflammationshämmande	*	*	*	*
Propranolol	Blodtryckssänkande	91	100	100	100
Ramipril	Blodtryckssänkande	*	*	*	*
Ranitidine	Medel mot magsår	100	100	100	100
Risperidone	Lugnande	*	*	*	*
Sertralin	Antidepressiv	66	93	100	100
Simvastatin	Blodfettsänkande	*	*	*	*
Terbutaline	Astmamedicin	*	*	*	*
Warfarin	Blodförtunnande	100	100	100	100
Total reduktionsgrad (%)		57	70	94	98
Förklaring		<70 %	70-80 %	80-90 %	>90 %



Figur 11 Halt kvar (i %) vid olika ozondoser för alla "röda" substanser (riskkvot >1,0) och för summan av alla substanser (totalt). 0%=rapporteringsgränsen (LOQ)

Ingående avloppsvatten till ozonpiloten (eftersedimenterat vatten, före sandfilter) förändrade sig väldigt lite under dos-responstesterna, se tabell i bilaga 7.4.

Reduktion av de mikrobiologiska parametrarna (koliforma bakterier, E.coli och intestinala enterokocker) analyserades vid dos-responstesten. Samtliga bakterietyper reducerades 95–99 % vid ozondosen 6,6 g O₃/m³ (0,79 g O₃/g DOC), se figur 12.



Figur 12 Halt kvar (i %) vid olika ozondoser för alla analyserade bakterietyper. 0%=rapporteringsgränsen (LOQ)

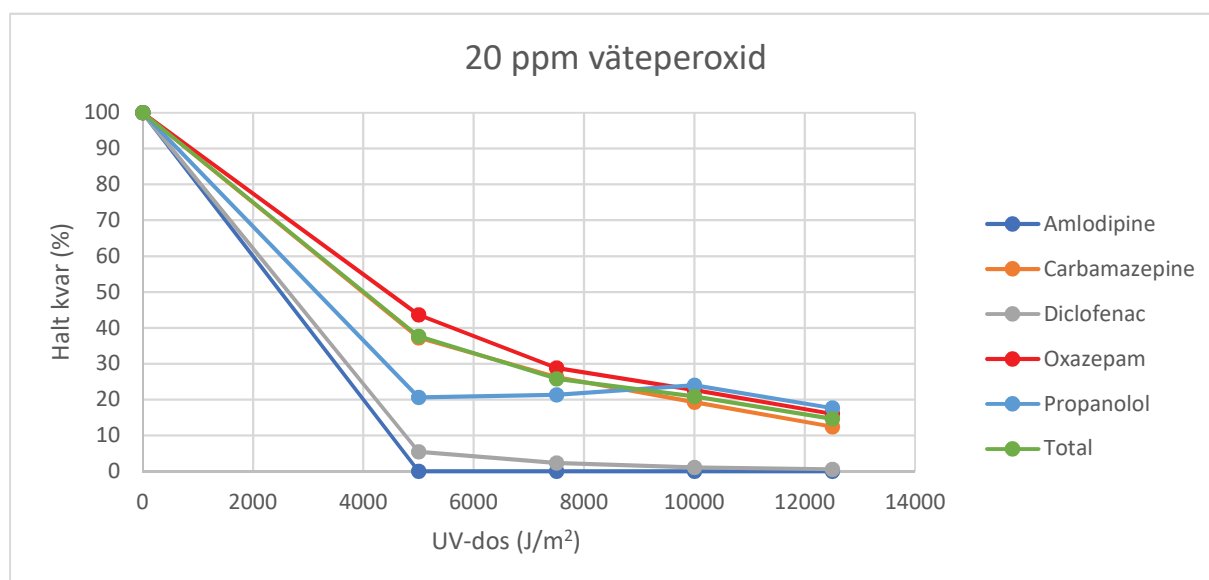
Även för de mikrobiologiska parametrarna krävs det dubbelt så hög ozondos vid behandling av eftersedimenterat vatten jämfört mot utgående avloppsvatten.

4.5.3 Resultat dos-respons UV/H₂O₂, utgående avloppsvatten

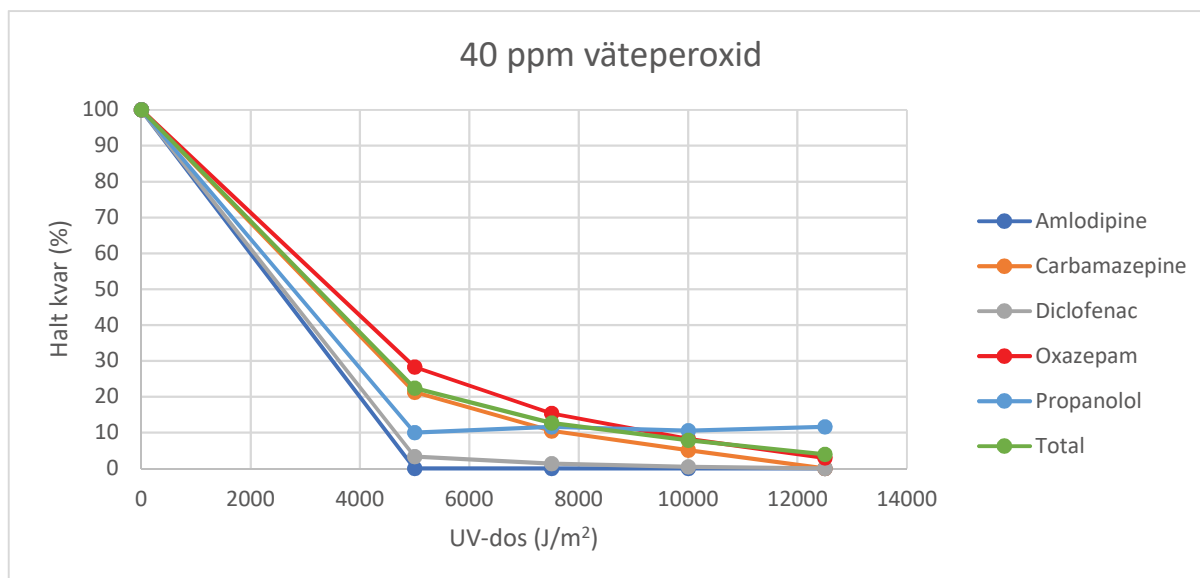
Av 23 analyserade läkemedelssubstanser var det 4 respektive 5 substanser som inte detekterades i det utgående vattnet före behandling vid de två dos-responstesterna. Antibiotika och hormoner var inte med i analyspaketet på grund av tidigare låga resultat. Alla detekterade substanser svarade bra på UV/H₂O₂-behandlingen, se tabell 21. Det finns ett tydligt samband mellan dos och reduktionsgrad. För 80 % sammanlagd reduktion för alla substanser och även 80 % reduktion av oxazepam krävs för H₂O₂-dos 20 ppm en UV-dos på ca 11 000 J/m², se figur 13. För motsvarande reduktion av oxazepam med H₂O₂-dos 40 ppm krävs en UV-dos på ca 6 500 J/m², se figur 14. Vid den dosen är den sammanlagda reduktionen över behandlingssteget ca 85 %. Vid beräkning har alla resultat under rapportgräns räknats som noll.

Tabell 21 Reduktionsgrad för UV/VP-behandling på utgående avloppsvatten. 100 % innebär att substansen rapporterats som under rapporteringsgräns (LOQ) efter behandling, värdet sätts till noll. * markerar under rapporteringsgräns redan före behandling. Reduktionsgraden är över behandlingssteget.

Substans	Verkan	10				12			
		5 000	7 500	000	500	5 000	7 500	000	500
Dos UV (J/m ²)		20	20	20	20	40	40	40	40
Dos H ₂ O ₂ (ppm)									
Substans		Reduktionsgrad %							
Amlodipine	Blodtryckssänkande	100	100	100	100	100	100	100	100
Atenolol	Blodtryckssänkande	55	67	76	82	72	83	91	95
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	62	74	77	83	76	88	90	94
Carbamazepine	Lugnande	63	74	81	88	79	90	95	100
Citalopram	Antidepressiv	74	78	76	80	82	82	84	84
Diclofenac	Inflammationshämmande	95	98	99	99	97	99	100	100
Fluoxetine	Antidepressiv	*	*	*	*	*	*	*	*
Furosemide	Urindrivande	100	100	100	97	100	100	100	100
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	62	74	79	84	72	84	90	95
Ibuprofen	Inflammationshämmande	68	78	83	100	65	90	83	100
Ketoprofen	Inflammationshämmande	*	*	*	100	100	100	100	100
Metoprolol	Blodtryckssänkande	57	71	76	82	74	85	89	94
Naproxen	Inflammationshämmande	73	78	83	87	86	91	93	99
Oxazepam	Lugnande	56	71	77	84	72	85	92	97
Paracetamol	Inflammationshämmande	58	55	58	54	74	60	78	82
Propranolol	Blodtryckssänkande	79	79	76	82	90	88	89	88
Ramipril	Blodtryckssänkande	*	*	*	*	*	*	*	*
Ranitidine	Medel mot magsår	100	98	100	97	100	100	100	100
Risperidone	Lugnande	*	*	*	*	*	100	*	*
Sertralin	Antidepressiv	67	73	66	78	77	78	87	82
Simvastatin	Blodfettssänkande	100	100	100	100	100	100	100	100
Terbutaline	Astmamedicin	*	*	*	*	*	*	*	*
Warfarin	Blodförtunnande	57	70	75	83	73	82	91	100
Total reduktionsgrad (%)		62	74	79	85	78	87	92	96
Förklaring		<70		70-80 %		80-90 %		>90 %	



Figur 13 Halt kvar (i %) vid olika UV-doser för alla "röda" substanser (riskkvot >1,0) och för summan av alla substanser (totalt). 0%=rapporteringsgränsen (LOQ). Fluoxetine finns inte med eftersom substansen inte detekterades i vattnet före behandling.



Figur 14 Halt kvar (i %) vid olika UV-doser för alla "röda" substanser (riskkvot >1,0) och för summan av alla substanser (totalt). 0%=rapporteringsgränsen (LOQ). Fluoxetine finns inte med eftersom substansen inte detekterades i vattnet före behandling.

För UV/H₂O₂-behandling når man med högsta dosen för testet (40 ppm, 12 500 J/m²) en sammanlagd reduktion över behandlingssteget på ca 95 % och en reduktion av oxazepam på ca 97 %. Alla "röda" substanser, med riskkvot över 1, reduceras 90 % eller mer vid 40 ppm väteperoxid och 10 000 J/m².

Sätts målet för reduktion av läkemedelssubstanser över behandlingssteget till 80 % reduktion av oxazepam, vilket ger en sammanlagd reduktion på 85 %, ändras riskkvoterna i prioritetslistan till att det bara är oxazepam som är "röd" (riskkvot >1) och utgör en hög risk för oönskade effekter i recipienten, se tabell 22.

Tabell 22 Riskkvoter vid UVdos 6500 J/m² och 40 ppm väteperoxid. Oxazepam reduceras 80 % och den sammanlagda reduktionen är ca 85 %. För de substanser som reduceras 100 % (under rapporteringsgräns) används rapportgränsen i tabellen.

Risk	Substans	Verkan	Utgående (EC) (ng/l)	NOEC (ng/l)	Säkerhetsfaktor	Utspädning	PNEC (ng/l)	Riskkvot (EC/PNEC-kvot) RECIPIENT
Hög	Oxazepam	Lugnande	1 033	10 000	1 000	2	20	52
	Diclofenac	Inflammationshämmande	16	500	10	2	100	0,16
	Propranolol	Blodtryckssänkande	15	500	50	2	20	0,75
	Amlodipine	Blodtryckssänkande	5	10 000	1 000	2	20	0,27
	Fluoxetine	Antidepressiv	3	29	10	2	5,8	0,52
Måttlig	Carbamazepine	Lugnande	66	1 000	10	2	200	0,33
	Furosemide	Urindrivande	15	142 000	100	2	2 840	0,005
	Metoprolol	Blodtryckssänkande	419	129 500	50	2	5 180	0,08
	Sertraline	Antidepressiv	21	9 000	50	2	360	0,06
	Citalopram	Antidepressiv	78	105 000	100	2	2 100	0,04

Ingående avloppsvatten till piloten (utgående från reningsverket) förändrade sig väldigt lite under dos-responstesterna, se resultat för standardparametrar i Nouryons rapport i bilaga 7.13. DOC-halten var något högre i jämförelse med halten vid dos-responstesterna för ozon.

Vid dos-responstesten analyserades även reduktion av de mikrobiologiska parametrarna (koliforma bakterier, E.coli och intestinala enterokocker). Samtliga bakterietyper reducerades >99 % redan vid lägsta dosen 20 ppm väteperoxid och 5 000 J/m², se resultat för standardparametrar i Nouryons rapport i bilaga 7.13.

Motsvarande som för ozonbehandling analyserades bromat i behandlat vatten för att kontrollera bromatbildning. För UV/H₂O₂-behandling ser man ingen bromatbildning i de doser som ingick i testet. Alla prover gav resultatet <0,0020 mg/l.

Inga ekotoxikologiska analyser gjordes under dos-responstestet för UV/H₂O₂.

4.6 RESULTAT LÅNGTIDSTEST

4.6.1 Ozon

Pilotanläggningen gick stabilt under hela testperioden och den faktiska dosen för de tre utvalda veckorna varierade mellan 5,9–6,1 g O₃/m³ (0,81–0,85 g O₃/g DOC). Reduktionsgraden varierade för oxazepam mellan 57–81 % och för alla substanser sammanlagt 75–89 %. Resultat för reduktionsgrad finns i bilaga 7.11. Detta ska jämföras med dos-respons-resultaten på 85 % respektive 93 % för oxazepam och sammanlagd vid 6,0 g O₃/m³ (0,82 g O₃/g DOC), se figur 9. För de sista två veckorna när dosen höjdes blev den faktiska dosen 7,9 g O₃/m³ (1,2 g O₃/g DOC). Reduktionsgraden för oxazepam blev 89 % och för alla substanser sammanlagt 96 %. Detta ska jämföras med dos-respons-resultat på 97 % respektive 99 % för oxazepam och totalhalt vid 8,0 g O₃/m³ (1,1 g O₃/g DOC), se figur 9. Upphållstiden var något längre för dos-responstestet och det är troligtvis det som visar sig i de lite högre reduktionsgraderna. Sammantaget var det väldigt samstämmiga resultat.

4.6.2 UV/H₂O₂

För vecka 1 och 2 varierade reduktionsgraden för oxazepam mellan 62–66 % och för alla substanser sammanlagt 65–72 %. Resultat för reduktiongrad finns i bilaga 7.12. Samtliga resultat finns i Nouryons rapport i bilaga 7.13.

Detta ska jämföras med dos-respons-resultaten på 71 % respektive 74 % för oxazepam och sammanlagd, se tabell 21. För vecka 3 och 4, då dosen var högre, varierade reduktionsgraden för oxazepam mellan 88–92 % och den sammanlagda reduktionen 90–94 %, vilket då ska jämföras med dos-respons-resultat på 97 % respektive 96 %, se tabell 21. Sammantaget stämmer resultaten stämmer väl överens.

För att undersöka om några eventuellt toxiska biprodukter från oxidationsreaktioner skapats i behandlingen med UV/H₂O₂ gjordes tre olika ekotoxikologiska tester, se tabell 23.

Tabell 23 In- och utgående vattens ekotoxikologiska effekt på bakterie (Microtox), grönalg och kräftdjur under långtidstestet med UV och väteperoxid

Samplingsprov	UV / H ₂ O ₂ J/m ² / mg/l	Tillväxthämning grönalg (% v/v)	Rörelsehämning kräftdjur (% v/v)	Microtox (% v/v)
In Vecka 1	7 500 / 20	Ej inlämnat för analys		Försumbar (>100)
Ut Vecka 1	7 500 / 20			Försumbar (>100)
In Vecka 2	7 500 / 20	Låg/Försumbar (>90)	Låg/Försumbar (>90)	Försumbar (>100)
Ut Vecka 2	7 500 / 20	Låg/Försumbar (>90)	Låg/Försumbar (>90)	Försumbar (>100)
In Vecka 3	12 500 / 40	Ej inlämnat för analys		Försumbar (>100)
Ut Vecka 3	12 500 / 40			Försumbar (>100)
In Vecka 4	12 500 / 40	Låg/Försumbar (>90)	Låg/Försumbar (>90)	Försumbar (>100)
Ut Vecka 4	12 500 / 40	Låg/Försumbar (>90)	Låg/Försumbar (>90)	Försumbar (>100)

Inget av de ekotoxikologiska testerna visade på någon effekt av varken ingående eller utgående vatten från UV/väteperoxid-behandlingen.

4.7 DRIFT, UNDERHÅLL OCH ARBETSMILJÖ

4.7.1 Ozon

Under pilotanläggningens drifttid har det inte varit några större problem utan små lösbara problem som inte riktigt kan relateras till en anläggning i fullskala. Första problemet som uppstod var att flödesmätaren som var monterad på inloppsröret till första kolonnen inte var tillförlitlig. Det var en svävkroppsmätare som påverkas av påväxt. Efter rengöring stämde den överens med MAG-flödesmätaren som satt direkt efter pumpen, men redan efter två dagars drift började den driva och visa för höga värden. För att använda denna mätare vid behandling av avloppsvatten måste pilotanläggningen regelbundet stängas ner för att rengöra av mätaren.

Ett annat problem var att ozongeneratoren oförklarligt stängde av sig ibland. Wedeco var väldigt hjälpsamma i felsökningen. En UPS installerades för att skydda mot variationer på elnätet, men det hjälpte inte. Förklaringen visade sig vara en sliten kontaktor inne i ozongenerators styrskåp. Denna kunde, med Wedecos instruktioner, byglas av en av våra elektriker.

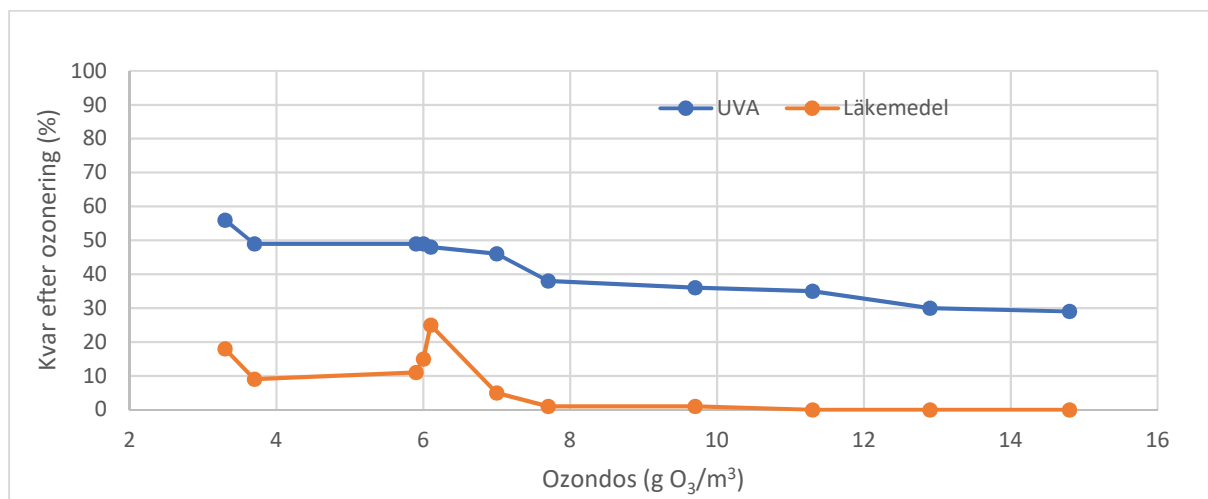
Det allvarligaste problemet var ett ozonläckage som upptäcktes först genom lukt och senare även via ozongenerators egen mätare och varningssystem som blinkade, ljud och stängde ner systemet. Läckaget var från en ventil till flödesmätaren för ozongasen som satt placerad mellan de båda kolonnerna. Eftersom det bara doserades ozon i den första kolonnen kunde ventilen stängas och läckaget stoppades. En handhållen ozonmätare (Afriso) användes som säkerhet vid jobb i tältet med ozonpiloten. Även denna mätare gav utslag vid läckaget och var mycket användbar att felsöka med. Även vid denna felsökning var Wedeco mycket behjälpliga.

Arbetsmiljön är en viktig faktor att tänka på när man handskas med ozon. Utrymmen där ozon hanteras måste var väl ventilerade (utbyte av luft 3–5 ggr/h) och försedda med larm och automatiskt stopp av ozonproduktionen. Både läckage av ozon och syrgas är farligt.

Gaserna har många liknande egenskaper till exempel är de tyngre än luft och ansamlas utmed golv eller lägre punkter, de reagerar med brännbara material och intensifierar brand och de är hälsofarliga att inandas. Om syrgas (>25 %, vanlig luft innehåller 21 %) inandas under en längre tid finns det risk för lungskador och störningar i det autonoma nervsystemet. Inandas ozon >0,2 mg/m³ kan det skapa irritation i ögon och slemhinnor. Lukten av ozon känns mycket tidigare, men det är viktigt att tänka på att gasen dövar luktsinnet och ganska snart känns ingen doft. Vid halter >1,0 mg/m³ uppstår huvudvärk och andningsproblem. Vid högre halter (>20 mg/m³) orsakar ozonet skador på lungorna och vid ännu högre halter (>10 000 mg/m³) är ozon dödligt på grund av kvävning.

Flytande syre (LOX) kan ge omfattande köldskador och kräver också försiktighet vid hantering.

För att testa eventuell optimering av ozonbehandling genom styrning med hjälp av UVabsorbans (UVA)-reduktion gjordes ett test genom att UVA för vattnet mättes före och efter ozonbehandling. Ett tydligt samband fanns mellan UVA och den totala reduktionsgraden av substanser i avloppsvattnet, se figur 15. Online-mätning av UVA skulle kunna styra ozondoseringen för att optimera reduktionen av substanser (Séhlen, 2015). Ett första test ser lovande ut, men det krävs mycket mer testande och analyserande innan man kan använda sig av detta.



Figur 15 Sambandet mellan ozondos och reduktion av totalhalt läkemedel och UVabsorbans (254 nm)

4.7.2 UV/H₂O₂

Pilotanläggningen har fungerat utan större problem under hela testperioden. Leverantören Van Remmen har under hela testperioden, via uppkoppling, haft tillgång till processdata och har övervakat piloten dagligen och tagit hand om uppkomna larm. Nouryon har varit på plats vid Sundets reningsverk vid bland annat dosbyte, rengöring och provtagning. Samarbetet mellan Nouryon, Van Remmen och Växjö kommun har fungerat väldigt bra.

Ett mindre problem var att de katalytiska bäddarna var något underdimensionerade och vattnet fick köras nedåt genom bäddarna för att minska risken för förlust av material i bäddarna. I och med flödesriktningen ökade kanalbildningen genom bäddarna och

förmågan att eliminera H_2O_2 reducerades något. Istället för att nå <1 ppm i H_2O_2 -rest uppmättes resthalter mellan 1–3 ppm. En hel del bäddmaterial släppte från bäddarna, främst vid backspolningen då flödet höjdes tillfälligt. I framtida projekt med piloten bör fler eller större filterbäddar installeras.

Under andra veckan av det långa försöket löste tryckfallslarmet ut efter en stor tryckökning över de katalytiska bäddarna. Anledningen var troligen material från utloppskanalen som lossnade vid kraftigt regn vilket satte igen bäddarna. Detta löstes genom att introducera ett förlarm som startar en backspolning av de katalytiska bäddarna när tryckfallet överstiger 0,4 bar. Tryckfallslarmet i sig löser ut vid 0,5 bar. Frekvensen av backspolning ökades också från var fjärde till var tredje timme och detta gjorde att inget mer tryckfall över 0,4 bar förekom under resten av försöksperioden.

Advanox-reaktorn rengjordes med citronsyra mellan vecka 2 och 3 då det även var höjning av både UV- och H_2O_2 -dos. Viss beläggning syntes på rören men uppskattningsvis bör det räcka med rengöring 1 gång per månad per reaktor för kontinuerlig drift.

En stor fördel med pilotanläggningen för UV/ H_2O_2 är att Advanox-reaktorn är i verklig skala. Det är bara att bygga på med fler reaktorer för att klara större flöden.

Arbetsmiljön är en viktig faktor att tänka på när man handskas med väteperoxid. För pilotförsöket användes en 19 % H_2O_2 . Vid en fullskaleanläggning är det mest ekonomiskt att använda en väteperoxid på 49 % eller mer. Kemikalien orsakar allvarliga ögonskador och är frätande på hud. Viktigast med väteperoxid är dock att det inte kommer i kontakt med organiskt material, metaller, oljor eller lut då peroxiden sönderfaller till vatten och syrgas. En liter 49 % H_2O_2 bildar 200 liter syrgas vid totalt sönderfall. Innesluten väteperoxid kan bli en explosionsrisk.

4.8 KOSTNADSBERÄKNING FÖR POTENTIELL ANLÄGGNING I FULLSKALA

Kostnadsberäkning för en potentiell anläggning i fullskala är gjord för normalflöde 800 m^3/h , dimensionerat flöde 1500 m^3/h och maxflöde 3000 m^3/h , och baseras på reduktion av läkemedelssubstansen oxazepam. Oxazepam är den högst prioriterade substansen för reningsverket Sundet, se tabell 16. Dos-responsförsöket för utgående avloppsvatten användes för att beräkna vilka doseringsinställningar som behövdes för att reducera 70 %, 80 %, 90 % och 100 %, där den sistnämnda blir ett extrapolerat värde som inte heller är helt möjligt att analysera på grund av detektionsnivåer.

Avskrivningstiden har antagits vara 10 år och ränta är inte inkluderat.

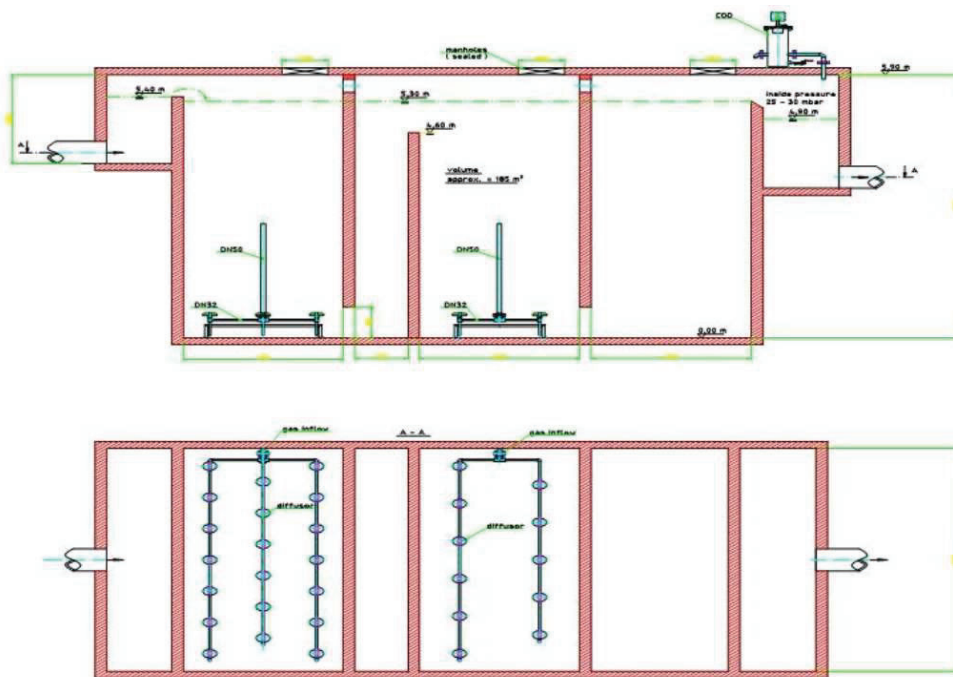
4.8.1 Ozon

Investeringskostnader för en ozonanläggning består av kostnaden för ozongeneratorer (2 st SMOevoPLUS 960), kylvattensystem med pump (exkl kylvatten), diffusorsystem, ozondestruktor, ozonmätare för luft och producerad gas, PLC, installation och idrifttagande.

Byggnad till ozongeneratorer är inte med i beräkningen, endast krav på yta är med i jämförelsen. Ozongeneratorerna kan enklast placeras i en uppvärmd, isolerad container med god ventilation (rekommenderad ventilation 7 200 m^3/h).

Ozonet doseras in i vattnets huvudström via en reaktortank (bassäng) med tre zoner, se figur 16. I första zonen doseras en hög ozondos för att snabbt uppnå önskad ozonhalt i vattnet. I den andra zonen doseras tillräckligt med ozon för att håll ozonhalten i vattnet konstant. Den tredje zonen är för uppehållstid och avgasning av vattnet. Reaktortank (bassäng) är inte med i kostnadsberäkningen.

Driftskostnader eller löpande kostnader innefattar förbrukning av elenergi och LOX (liquid oxygen, flytande syre). Ozongeneratorerna matas med LOX från en hyrd tank. Beroende på leverantör och var närmsta depå för LOX finns kan priset variera kraftigt. Det är viktigt att ställa krav på renheten av LOXen som måste vara hög (>95 %) för att skona ozongeneratorn. Högsta och lägsta funna priserna (3,40/0,85 kr/kg) har tagits med i kostnadsberäkningen, se tabell 24. Man kan även tillverka ozon från omgivande luft, men det är oftast en dyrare lösning.



Figur 16 Reaktortank (bassäng) med tre zoner för inlösning av ozon i vattnets huvudström

Tabell 24 Drift- och investeringskostnader för en potentiell ozonanläggning i fullskala. Inringad rad är 80 % reduktion av oxazepam vid flöde 800 m³/h.

Flöde	Reduktions- grad	Ozondos (g/m ³)	Drift ¹ (MSEK/år)	Drift ² (MSEK/år)	Invest (MSEK)
800 m ³ /h	80%	4	0,57	1,3	10,5
	90%	7	0,89	2,1	10,5
	100%	12	1,4	3,6	10,5
1500 m ³ /h	80%	4	1,3	2,6	10,5
	90%	7	1,5	3,9	10,5
	100%	12	2,6	6,6	10,5
3000 m ³ /h	80%	4	1,7	4,4	10,5
	90%	7	3,0	7,7	10,5
	100%	12	3,8	13,1	10,5

¹ LOX - hyra tank 12 000 kr/mån + 0,85 kr/kg
² LOX - hyra tank 12 000 kr/mån + 3,40 kr/kg

För ozonbehandling av ett normalflöde (800 m³/h) av utgående avloppsvatten på Växjörens reningsverk och med en reduktionsgrad på 80 % av den högst prioriterade substansen, Oxazepam, blir investeringskostnaden (exkl byggnad, reaktionstank) 10,5 MSEK och driftskostnaden 0,57–1,3 MSEK/år.

4.8.2 UV/ H₂O₂

Investeringskostnader för UV/H₂O₂-behandling består av kostnaden för Advanox-reaktorer samt en uppskattning av kostnad för katalysbädd, mjukvara, rör, pumpar, CFD, PLC, support och idrifttagande.

Transmittansen antogs vara 60 % baserat på mätningarna som gjordes under pilotförsöket. Kostnader baseras på de uträknade UV-C doserna tillsammans med 20 respektive 40 g/m³ väteperoxid och beräknades i EUR som sedan omvandlades till SEK med faktorn 10,84.

Driftskostnader innefattar utbyte av delar (lampor, kvartsrör, kablar, ballast osv) samt förbrukning av elenergi, väteperoxid och citronsyra (för rengöring). Priser som använts i kostnadsanalysen är 0,075 €/kWh (0,813 kr/kWh), 0,7 €/kg (7,59 kr/kg) väteperoxid (räknat som 100 %-ig) och 2 500 €/m³ (27 100 kr/m³) citronsyra. På grund av den relativt höga transmittansen antas cleaning in place (CIP) behövas en gång i månaden med 25 liter citronsyra per reaktor.

Tabell 25 Drift- och investeringskostnader för en potentiell UV/väteperoxid-anläggning i fullskala. Inringad rad är 80 % reduktion av oxazepam vid flöde 800 m³/h.

Flöde	Reduktions-grad	20 ppm H ₂ O ₂					40 ppm H ₂ O ₂				
		UV-C dos (J/m ²)	Antal reaktorer	Yta (m ²)	Drift (MSEK/år)	Invest (MSEK)	UV-C dos (J/m ²)	Antal reaktorer	Yta (m ²)	Drift (MSEK/år)	Invest (MSEK)
800 m ³ /h	70%	7 200	12	170	5,8	17,5	4 200	7	120	4,9	11,9
	80%	10 200	17	220	7,8	23,1	6 300	10	150	6,2	15,4
	90%	14 400	23	280	10,4	30,1	9 300	15	200	8,2	21,0
	100%	20 300	33	380	14,4	41,3	13 900	22	270	11,1	29,4
1500 m ³ /h	70%	7 200	22	270	10,8	28,9	4 200	13	180	9,2	18,4
	80%	10 200	31	360	14,4	39,4	6 300	19	240	11,7	25,0
	90%	14 400	43	480	19,4	53,9	9 300	28	330	15,4	35,5
	100%	20 300	61	660	26,7	73,6	13 900	42	470	20,9	52,6
3000 m ³ /h	70%	7 200	43	480	21,5	52,6	4 200	25	300	18,1	31,5
	80%	10 200	61	660	28,6	73,6	6 300	38	430	23,4	47,3
	90%	14 400	86	910	38,9	102,5	9 300	56	610	30,7	65,7
	100%	20 300	121	1260	53,1	144,5	13 900	83	880	41,8	97,2

För UV/H₂O₂-behandling av ett normalflöde (800 m³/h) av utgående avloppsvatten på Växjörens reningsverk och med en reduktionsgrad på 80 % av den högst prioriterade substansen, oxazepam, blir investeringskostnaden (exkl byggnad, reaktionstank) 15,4 MSEK och driftkostnaden 6,2 MSEK/år.

4.8.3 Jämförelse

Energiförbrukning, driftkostnad, investeringskostnad och utrymmeskrav är viktiga utvärderingsparametrar vid val av teknik. I tabell 26 jämförs parametrarnas resultat för ozon- och H₂O₂-behandling, beräknat utifrån våra pilotförsök. Båda teknikerna är energikrävande behandlingsmetoder och en stor del av respektive tekniks driftkostnad är förbrukning av elenergi. Vid beräkning gjord utifrån leverantörernas angivna energiförbrukning, förbrukar ozonbehandling 0,033 kWh/m³ medan UV/H₂O₂-behandling förbrukar 0,36 kWh/m³ vid samma krav på reduktion av läkemedelssubstanser. Ozonbehandlingen har alltså ca 10 ggr lägre energiförbrukning. En installation av UV/H₂O₂-behandling skulle öka Sundets energiförbrukning med 50 % medan ozonbehandlingen bara ökar förbrukningen med 5 %.

I tidigare rapporter där man har gjort försök med UV/ H₂O₂ anges 0,15 kWh/m³ för 3 000 J/m² och 0,30 kWh/m³ för 5 000 J/m² (Baresel m fl, 2019), vilket stämmer överens med 0,36 kWh/m³ för 6 300 J/m² i pilotförsöket på Sundets reningsverk. För jämförelse av energiförbrukning med ozon anger Baresel 10 kWh/m³, vilket blir 0,04 kWh/m³ för en ozondos på 4 g/m³. Även detta stämmer bra överens med 0,033 kWh/m³ för samma ozondos. Skillnaden är att för Sundets utgående avloppsvatten (DOC 8–9 mg/l) nås 80 % reduktion av oxazepam vid ozondosen 4 g/m³ medan man i Baresels rapport bara nådde 40 % reduktion vid 6 g/m³.

Tabell 26 Jämförelse mellan ozon och UV/H₂O₂ för en potentiell anläggning i fullskala. Förbrukningar och kostnader baseras på 80 % reduktion av oxazepam vid flödet 800 m³/h (ozon 4 g/m³, väteperoxid 40 ppm, UV 6 300 J/m²). Kolumn längst till höger är förbrukning för Sundet med befintlig process.

		UV/H ₂ O ₂	Ozon	Sundet 2018
Energiförbrukning	kWh/m ³	0,36	0,033	0,8
	MWh/år	2 511	230	5 000
Driftskostnad	SEK/m ³	1,10	0,23/0,34	
Investeringskostnad	SEK	15,4	10,5	
Byggnad yta	m ²	150	20	
Bassäng volym	m ³	-	200	

Driftskostnaden består också av inköp av kemikalierna H₂O₂ och flytande syre för respektive teknik. Även om man räknar på det dyraste funna priset (3,40 SEK/kg) för flytande syre är driftskostnaden för ozonbehandling fortfarande väldigt mycket lägre, mindre än 1/3 av driftskostnaden för UV/H₂O₂ -behandling.

I kostnadsberäkningen för UV/H₂O₂ är katalytiska bäddar, för att reducera halten av kvarvarande H₂O₂ i avloppsvattnet, medräknade. För ozon är ingen efterbehandling medräknad då det är väldigt oklart vilken typ av efterbehandling som är lämplig och om den verkligen behövs. En efterbehandling för ozonbehandlat vatten ska reducera eventuella bildade bi- och transformations-produkter. Inga nuvarande ekotoxikologiska tester tyder på att det bildas några toxiska produkter, varken efter behandling med ozon eller UV/H₂O₂, i de halter som används för läkemedelsrening.

5 SLUTSATS OCH REKOMMENDATIONER

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 klargör vilken reduktionsgrad som kan uppnås och till vilken kostnad.

Viktigt att påpeka är att alla slutsatser i detta projekt grundar sig i ett ganska litet dataunderlag på grund av dyra analyser. Det finns även en stor osäkerhet i analyserna på grund av låga halter (ng/l) och en svåranalyserad matris (avloppsvatten).

Utifrån projektets provtagning och analyser är det de inflammationshämmande substanserna ibuprofen och naproxen som står för de högsta halterna i inkommande avloppsvatten till reningsverket. Reduktionsgraden över verket är nästan 100 % för dessa substanser. Flertalet andra substanser reduceras inte alls med nuvarande reningsprocess och högst halt och med högst placering i Sundets prioritetslista (riskanalysen) är substansen oxazepam, vilken är en lugnande och ångestdämpande substans. I jämförelse med andra reningsverks är halten oxazepam i inkommande avloppsvatten upp till 10 gånger högre till Sundets reningsverk. Det bör följas upp och även utredas varför den inkommande halten är hög. Oxazepam återfanns i hög halt i avloppsvattnet från äldreboendet.

Många höga halter av läkemedelsrester återfanns i sjukhusets avloppsvatten, men andelen läkemedel från sjukhuset i förhållande till totala mängden läkemedel till reningsverket är relativt liten. Ett motiv till att rena ett sjukhusavloppsvatten separat är att sjukhuset står för höga andelar antibiotika och hormoner. Antibiotika och multiresistenta bakterier bör hindras från att komma till reningsverken eftersom antibiotika gynnar multiresistens och resistens kan överföras till andra bakterier och därmed kan reningsverken bli "fabriker" för antibiotikaresistens. Andra fördelar med att rena vid källan är att reningen är effektivare vid högre koncentrationer och volymen att behandla är begränsad.

Totalreduktionen över verket beräknades i medel till 54 % med befintlig process, men exkluderas naproxen och ibuprofen, de två substanser som kommer in i hög halt och reduceras till nästan 100 %, sjunker totalreduktionen till 5 %. Många substanser som inte reduceras alls kan "gömmas" i en hög totalreduktionsgrad. Att sätta mål för läkemedelsrening efter totalreduktion över verket är inte att rekommendera. Dessutom blir jämförelsen mellan olika studier svår då totalreduktionsgraden varierar med urvalet av analyserade substanser.

Studien visar att biologisk rening med bärare IFAS/HYBAS i snitt ger cirka 10 % högre totalreduktion med avseende på läkemedelssubstanser än en traditionell aktivslamprocess. Det är samma substanser som reduceras, men i högre grad. Fortfarande går många substanser opåverkade genom reningsverket, vilket kräver en annan typ av rening.

Analys av läkemedelssubstanser i slam gav ett litet underlag då de flesta analyser var under rapporteringsgräns och svåra att dra några slutsatser från. De flesta substanser, från urvalet, återfinns i första hand i vattenfasen. När det gäller riskerna med spridning av slam på åkermark med avseende på läkemedelssubstanser bedöms de små utifrån studiens resultat och annan litteratur.

Vid utsläpp av behandlat avloppsvatten till recipient är målet att inte försämra recipientens vattenkvalitet eller skada liv i recipienten. Att inte släppa ut några föroreningar alls är inte realistiskt. Effektiviteten hos ett avloppsreningsverk anges ofta som en procentuell reduktion av ämnen från in- till utflöde, men när det gäller möjliga toxiska effekter i vattnet är det den totala koncentrationen av ämnet i vattnet som är avgörande.

I riskanalysen för Norra Bergundasjön (primärrecipient) fick åtta substanser (oxazepam, östron, diclofenac, propanolol, amlodipine, fluoxetine, carbamazepine 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 Sundets reningsverk. Ett problem med riskanalysen är att halterna i utgående avloppsvatten ofta kan vara lägre än rapporteringsgränserna, men trots det ändå vara högre än eller nära etablerade risknivåer. En jämförelse mellan analysernas rapportgränser och halterna för att uppnå en måttlig (<1,0) eller låg (<0,1) riskkvot visar att för oxazepam och östron kan Sundet aldrig nå varken måttlig eller låg riskkvot såvida rapportgränsen inte förfinas. Ett annat problem med riskanalysen är att några substanser, bland annat oxazepam, har en hög säkerhetsfaktor till sitt NOEC-värde. Om riskanalysen ska utgöra grunden för bedömning om mål för reduktionsgrad bör resurser läggas på att erhålla lägre säkerhetsfaktorer och därmed säkrare NOEC-värden. Dessa osäkerheter gör det också tveksamt att basera beslut eller sätta upp krav för avancerad rening på enstaka substanser.

Vid Norra Bergundasjöns utlopp återfinns 15 av de analyserade substanserna varav merparten inte reduceras alls med dagens reningsprocess på Sundet. Oxazepam är den substans som återfinns i högst halt.

I Kråkesjön (sekundärrecipient) detekteras under provtagningen i januari endast två substanser, metoprolol och hydrochlorothiazide. Båda substanserna tillhör de substanser som inte reduceras på verket idag. Substanserna återfinns i låg halt och i majprovtagningen detekteras inga substanser alls från den valda listan.

Pilotförsöken med ozon- och UV/H₂O₂-behandling visar att båda teknikerna har god reduktionsförmåga med avseende på läkemedelsrester i Sundets utgående avloppsvatten. Alla detekterade substanser svarar bra på behandling oavsett teknik och båda teknikerna visar ett tydligt samband mellan dos och reduktionsgrad. Vid en ozondos på 4 g/m³ eller UV-dos på 6 300 J/m² i kombination med 40 ppm H₂O₂ reduceras oxazepam ca 80 % och den sammanlagda reduktionen för samtliga substanser är >85 %, räknat över behandlingssteget. Trots att oxazepam reduceras med 80 % är riskkvoten för substansen fortfarande hög i riskanalysen. Med analysernas mätosäkerhet, osäkerhet i NOEC-värden och dessutom än så länge inga krav på rening har vi i förstudien bedömt att i detta läge är 80 % reduktion av oxazepam en rimlig ambitionsnivå för ett extra behandlingssteg.

Båda teknikerna visar på god reduktion av bakterier. Vid ozondos 4 g/m³ reducerades 95–99 % av bakterierna (koliforma, E.coli och intestinala enterokocker) och vid UV/H₂O₂-dos på 6 300 J/m² och 40 ppm reducerades bakterierna >99 %.

Resultat från ekotoxikologiska tester tyder på att det inte bildas några toxiska bi- eller transformationsprodukter från någon av de två teknikerna vid de testade doserna. Efter UV/H₂O₂-behandling måste ett katalytiskt filter finnas för att ta hand om restväteperoxid.

Detta filter är med i kostnadsberäkningen. För ozon rekommenderas ett efterbehandlingssteg (kolfilter, sandfilter eller biologiskt reningssteg) på grund av eventuella bildade toxiska produkter. Inga tester tyder på bildande av toxiska produkter vid de ozonhalter som används. Är det ändå befogat att ha efterbehandling efter ozonbehandling? Försiktighetsprincipen säger ja, ekonomin säger nej. Efterbehandling efter ozonering är inte med i kostnadsberäkningen. Ozonbehandling av eftersedimenterat vatten (före sandfilter) kräver dubbelt så hög ozondos som behandling av utgående vatten. Hur hög dos behövs de perioder då sedimenteringen fungerar sämre och kan DynaSand-filter tjäna som efterbehandlingssteg till ozon är frågor som kvarstår.

Bromat är en känd potentiell carcinogen som bildas vid ozonbehandling av bromidhaltigt vatten. Bromat är svårt att behandla i ett efterbehandlingssteg. Detta projekt tyder på att UV/H₂O₂-behandling har en fördel att bromatbildningen inte uppstår. För Sundets reningsverk är bromatbildning inget problem då det är väldigt låg halt bromid i avloppsvattnet.

I pilotskala har båda teknikerna, efter några få uppstartsproblem, visat sig stabila i drift och lätta att hantera. Advanoxreaktorn för UV/H₂O₂ är test av verklig anläggning då den var i storlek jämförbar med fullskala, medan ozonanläggningen är svårt att översätta till fullskala då piloten endast behandlade ett litet delflöde.

Kostnadsberäkningar visar att behandling med UV/H₂O₂ är avsevärt mycket dyrare än ozonbehandling både för investerings- och driftskostnader, men främst är det energiförbrukningen som skiljer sig åt. Vid beräkning gjord utifrån leverantörernas angivna energiförbrukning, förbrukar ozonbehandling 0,033 kWh/m³ medan UV/H₂O₂-behandling förbrukar 0,36 kWh/m³ vid samma krav på reduktion av läkemedelssubstanser. Ozonbehandlingen har cirka 10 gånger lägre förbrukning. En installation av UV/H₂O₂-behandling skulle öka Sundets energiförbrukning med cirka 50 % jämfört med cirka 5 % ökning med ozonbehandling.

Ett stort projekt i Växjö, som kommer att påverka utredning om läkemedelsrening, är planerna att ersätta det gamla sjukhuset med ett nybyggt. Om sjukhuset i framtiden själv renar sitt avloppsvatten, helt eller delvis, kommer halterna och substanserna till avloppsreningsverket att förändras.

Samtidigt med läkemedelsprojektet pågår det i Växjö kommun en utredning angående uppförandet av en våtmark och eventuell flytt av utsläppspunkt för utgående avloppsvatten. Detta påverkar utredningen för läkemedelsrening dels genom potentiell läkemedelsreduktion i våtmarken (som bör utredas mer) men också genom en betydligt högre utspädningsfaktor i den nya recipienten, vilket ger helt andra resultat i riskanalysen. En våtmark kan också vara ett möjligt efterbehandlingssteg vid ozonering. Beslut om läkemedelsrening i fullskala bör avvaka eller integreras i beslut om våtmarken.

Under 2020 fortsätter läkemedelsprojektet på Sundet med kompletterande pilotstudier för reduktion av substanser med aktivt kol. Alla testade tekniker kommer slutligen att jämföras med varandra. Det behövs även fortsatt utredning kring var en läkemedelsrening kan placeras på Sundet och vilka kostnader olika alternativ medför. Kan självfall nyttjas eller måste vattnet pumpas? Även mer kunskap behöver inhämtas och det pågår många läkemedelsprojekt runt om i Sverige och Europa och dessa kommer att bevakas med stort intresse.

6 REFERENSER

Allard, A-S; Wahlberg, C (2017) *Förekomst och reduktion av fokusämnen i fyra reningsverk* Delrapport inom SystemLäk. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2279

Baresel, C; Ek, M; Ejhed, H; Allard, A-S; Magnér, J; Dahlgren, L; Westling, K; Wahlberg, C; Fortkamp, U; Søhr, S (2017a) *Handbok för rening av mikroföroreningar vid avloppsreningsverk - Planering och installation av reningstekniker för läkemedelsrester och andra mikroföroreningar*. Slutrapport SystemLäk projekt. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2288

Baresel, C; Harding, M; Junestedt, C (2019) *Removal of pharmaceutical residues from municipal wastewater using UV/H₂O₂* IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2354

Baresel, C; Palm Cousins, A; Hörsing, M; Ek, M; Ejhed, H; Allard, A-S; Magnér, J; Westling, K; Wahlberg, C; Fortkamp, U; Søhr, S (2015) *Läkemedelsrester och andra skadliga ämnen i avloppsreningsverk - koncentrationer, kvantifiering, beteende och reningsalternativ* Svensk sammanfattning av Rapport B2226. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2288-P.

Björleinius, B; Ripszám, M; Haglund, P; m fl. (2018) *Pharmaceutical residues are widespread in Baltic Sea coastal and offshore waters: Screening for pharmaceuticals and modelling of environmental concentrations of carbamazepine* Science of the Total Environment, Elsevier 2018, Vol. 633: 1496-1509

Cimbritz, Michael (2018) *Reduktion av svårnedbrytbara föroreningar i avloppsvatten (RESVAV)*. VA-teknik Södra, Rapport Nr.11

Cimbritz, M; Tumlin, S; Hagman, M; Dimitrova, I; Hey, G; Mases, M; Åstrand, N; Jansen, J (2016) *Rening från läkemedelsrester och andra mikroföroreningar - En kunskapssammanställning* SVU Rapport Nr 2016-4

Eskebaek, Amanda (2016) *Utvärdering av småskalig rening från läkemedelsrester i källsorterad urin* Examensarbete i Civilingenjörsprogrammet i Miljö- och vattenteknik, 300hp, Uppsala universitet/SLU

Falås, P; Hörsing, M; Eriksson, E; Ledin, A; Olsson, M E; la Cour Jansen, J (2015) *Utökad biologisk nedbrytning med rörliga bärare av läkemedel och ett urval av ramdirektivets prioriterade ämnen* SVU Rapport Nr 2015-09

Havs- och vattenmyndigheten (2018) *Reningstekniker för läkemedel och mikroföroreningar i avloppsvatten - Redovisning av åtta projekt som fått medel från Havs- och vattenmiljöanslaget 2014-2017*, Rapport 2018:7

Läkemedelsverket (2015) *Miljöindikatorer inom ramen för nationella läkemedelsstrategin (NLS)* Rapport från CBL-kansliet, Läkemedelsverket 2015-09-07

Magnér, J; Rosenqvist, L; Rahmberg, M; Graae, L; Eliaeson, K; Örtlund, L; Fång, J; Brorström_Lundén, E (2016) *Fate of pharmaceutical residues - in sewage treatment and on farmland fertilized with sludge* IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2264

Malmberg, Jonas (2014) *Reduktion av läkemedelsrester och andra organiska föroreningar vid hygienisering av avloppsslam* SVU Rapport Nr 2014-21

Miljörapport Sundets reningsverk (2018) Växjö kommun

Muntlig referens Håkan Madestam Olofsson, SYNLAB AB

Naturvårdsverket (2008) *Avloppsreningsverkens förmåga att ta hand om läkemedelsrester och andra farliga ämnen* Rapport 5794, ISBN 978-91-620-5794-7

Naturvårdsverket (2017) *Avancerad rening av avloppsvatten för avskiljning av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen* Rapport 6766, ISBN 978-91-620-6766-3

Naturvårdsverket (2018) *Investeringsbidrag till läkemedelsrening vid avloppsreningsverk* <https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Bidrag/Lakemedelsrening-vid-avloppsreningsverk/>

Paxéus, Nicklas (2018) *Läkemedelsbelastning till svenska avloppsverk* Delrapport RESVAV, VA-teknik Södra, Rapport Nr.19

Sehlén, R; Malmberg, J; Baresel, C; Ek, M; Magnér, J; Allard, A-S; Yang, J (2015) *Pilotanläggning för ozonoxidation av läkemedelsrester i avloppsvatten* IVL Svenska Miljöinstitutet Rapport Nr B 2218

Soltermann, F; Abegglen, C; Götz, C; von Gunter, U (2016) *Bromide sources and loads in Swiss surface waters and their relevance for bromate formation during wastewater ozonation* Environmental Science & Technology vol 50 (18) 9825-9834

Svahn, O; Björklund, E (2017) *LUSKA - Läkemedelsutsläpp från Skånska Avloppsreningsverk* 2017 Högskolan Kristianstad

SWECO (2016) *Behov av avancerad rening vid avloppsreningsverk. Finns det recipienter som är känsligare än andra?* Rapport för Naturvårdsverket. Uppdragsnummer 1156402000

Åtgärdsstrategi för Växjösjöarna (2014) Växjö kommun

Svenskt Vatten (2019) *Beställargrupp för minskade utsläpp av läkemedelsrester, mikroplaster och andra föroreningar via avloppsreningsverk* Svenskt Vatten Rapport M147

7 BILAGOR

7.1 STANDARDPARAMETRAR UPPSTRÖMS

Tabell 27 Standardparametrar uppströms under provtagningsveckorna i januari och maj

		Sjukhus		Äldreboende		Hushåll	
		Jan	Maj	Jan	Maj	Jan	Maj
Susp	mg/l	270	340	160	240	200	360
tot-P	mg/l	9,31	6,59	9,89	9,18	7,93	18,9
BOD ₇	mg/l	320	610	300	490	470	580
tot-N	mg/l	69	50	97	79	64	130
NH ₄ -N	mg/l	59	36	84	63	57	130
TOC	mg/l	210	280	150	260	190	300

7.2 STANDARDPARAMETRAR VERKET

Tabell 28 Standardparametrar över verket under provtagningsveckorna i januari, maj och augusti

		Inkommande			Försed		Eftersed		Utgående		
		Jan	Maj	Aug	Jan	Maj	Jan	Maj	Jan	Maj	Aug
Susp	mg/l	400	310		80	76	10	12	2	5	
tot-P	mg/l	5,51	5,82		2,66	2,29	0,3	0,36	0,042	0,11	
BOD ₇	mg/l	190	220	210	50	53	6	10	<3	4	<3
tot-N	mg/l	43	47		34	41	37	18	19	15	
NH ₄ -N	mg/l	35	38	33	32	35	2	4,1	2,8	4,4	4,9
TOC	mg/l	99	130	93	48	50	15	18	9,2	11	10
kolif	MPN/100ml								1 100	7 300	7 700
Ecoli	MPN/100ml								210	2 300	2 100
IE	cfu/100ml								<10	26	170

7.3 STANDARDPARAMETRAR DOS-RESPONS OZON, UTGÅENDE VATTEN

Tabell 29 Standardparametrar dos-respons ozon 190522, utgående vatten.

2019-05-22		Dos 1		Dos 2		Dos 3		Dos 4	
Ozondos	g O ₃ /m ³	3,7		7,7		11,3		14,8	
Ozondos/DOC	g O ₃ /g DOC	0,47		1,1		1,6		2,1	
		Före	Efter	Före	Efter	Före	Efter	Före	Efter
Susp	mg/l	<2,0	<2,0					<2,0	<2,0
BOD ₇	mg/l	<3	<3					<3	4
DOC	mg/l	8,7	7,9	8,1	7,4	7,7	7,1	7,8	7,0
NH ₄ N	mg/l	1,1	1,2	0,7	0,7			0,4	0,3
NO ₂ N	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
UVabs	1/m	0,191	0,094	0,185	0,070	0,175	0,062	0,174	0,051
delta UVabs	%		51		62		65		71
Al	mg/l	<0,20						<0,20	
Fe	mg/l	0,076						0,061	
Koliforma	MPN/100ml		28		<1	8600	<1		<1
E.coli	MPN/100ml		7		<1	1500	<1		<1
IE	cfu/100ml		<1		<1	240	<1		<1
Uppehållstid	min		15,3		15,3		15,3		15,3
RestO ₃ vatten	mg/l		0,12		0,29		0,46		0,73
Bromat	mg/l		<0,0020		0,0055		0,0086		0,022

Tabell 30 Standardparametrar dos-respons ozon 190603, utgående vatten

2019-06-03		Dos 1		Dos 2		Dos 3		Dos 4	
Ozondos	g O ₃ /m ³	3,3		7,0		9,7		12,9	
Ozondos/DOC	g O ₃ /g DOC	0,45		0,97		1,4		2,0	
		Före	Efter	Före	Efter	Före	Efter	Före	Efter
Susp	mg/l								
BOD ₇	mg/l								
DOC	mg/l	9,5	9,3	9,4	9,1	9,1	8,4	8,4	7,5
NH ₄ N	mg/l								
NO ₂ N	mg/l	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
UVabs	1/m	0,211	0,119	0,210	0,097	0,196	0,070	0,187	0,057
delta UVabs	%		44		54		64		70
Al	mg/l								
Fe	mg/l								
Koliforma	MPN/100ml		200		23	37000	3		1
E.coli	MPN/100ml		53		9	8200	1		<1
IE	cfu/100ml		6		1	580	<1		<1
Uppehållstid	min		12,9		12,9		12,9		12,9
RestO ₃ vatten	mg/l		0,10		0,12		0,19		1,2
Bromat	mg/l		<0,0020		<0,0020		0,0067		0,012

7.4 STANDARDPARAMETRAR DOS-RESPONS OZON, EFTERSEDIMENTERAT VATTEN

Tabell 31 Standardparametrar dos-respons ozon 190603, eftersedimenterat vatten

2019-09-04		Dos 1		Dos 2		Dos 3		Dos 4	
Ozondos	g O ₃ /m ³	2,9		6,6		9,0		11,9	
Ozondos/DOC	g O ₃ /g DOC	0,32		0,79		1,1		1,4	
		Före	Efter	Före	Efter	Före	Efter	Före	Efter
Susp	mg/l	3,0	2,4					3,4	<2,0
BOD ₇	mg/l	x	4					x	5
DOC	mg/l	13	12	12	12	12	12	12	11,0
NH ₄ N	mg/l	2,7	2,8					3,6	3,4
NO ₂ N	mg/l	0,050	0,011	0,051	<0,005	0,060	<0,005	0,006	<0,005
UVabs	1/m	0,309	0,221	0,303	0,158	0,306	0,135	0,314	0,123
delta UVabs	%		28		48		56		61
Al	mg/l	<0,20						<0,20	
Fe	mg/l	0,13						0,12	
Koliforma	MPN/100ml	110 000	34 000		5 200	37000	190	110 000	32
E.coli	MPN/100ml	24 000	9 200		520	8200	10	24 000	6
IE	cfu/100ml	3 400	630		20	580	10	6 100	2
Uppehållstid	min		11,6		11,6		11,6		11,7
RestO ₃ vatten	mg/l		0,062		<0,050		0,176		0,166

7.5 STANDARDPARAMETRAR LÅNGTIDSTEST OZON

Tabell 32 Standardparametrar långtidstest ozon

		Vecka 28		Vecka 29		Vecka 31		Vecka 33	
Ozondos	g O ₃ /m ³	6,1		6,0		5,9		7,9	
Ozondos/DOC	g O ₃ /g DOC	0,81		0,85		0,84		1,2	
		Före	Efter	Före	Efter	Före	Efter	Före	Efter
Susp	mg/l	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
BOD ₇	mg/l	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
DOC	mg/l	11	10	10	9,8	10	9,0	9,5	8,3
NH ₄ N	mg/l	1,8	1,8	2,8	2,7	2,8	2,9	4,3	4,2
NO ₂ N	mg/l	0,018	<0,005	0,025	<0,005	0,029	<0,005	<0,005	<0,005
UVabs	1/m	0,236	0,118	0,236	0,120	0,233	0,117	0,229	0,096
delta UVabs	%		48		49		49		58
Al	mg/l	<0,20		<0,20		<0,20		<0,20	
Fe	mg/l	0,073		0,054		0,056		0,056	
Koliforma	MPN/100ml	16 000	56					10 000	8
E.coli	MPN/100ml	1 600	11					2 200	<1
IE	cfu/100ml	130	<1					200	53
Uppehållstid	min		11,3		11,8		11,7		11,7
RestO ₃ vatten	mg/l		0,15		0,16		0,16		0,12
Bromat	mg/l								

7.6 NULÄGESANALYS, SJUKHUSETS ANDEL

Tabell 33 Resultat (i ng/l) från uppströms provtagning. Sjukhusets mängd i inkommande avloppsvatten till reningsverket. Substanser vars resultat är under rapportgräns är markerade med *. Rödmarkerade har en kvot

		Sjukhus		Inkommande		Andel från sjukhus	Kvot mängd/flöde
Substans	Verkan	mg/l	mg/h	mg/l	mg/h	%	
Amlodipine	Blodtryckssänkande	62	0,5	135	95	0,5%	0,5
Atenolol	Blodtryckssänkande	2 050	15	1 193	835	1,8%	1,8
Benzylpenicillin	Antibiotika	*		*			
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	350	2,6	87	61	4,2%	4,2
Carbamazepine	Lugnande	250	1,8	302	211	0,9%	0,9
Ciprofloxacin	Antibiotika	2 320	17	50	35	48%	48
Citalopram	Antidepressiv	765	5,6	319	223	2,5%	2,5
Claritromycin	Antibiotika	4 305	31	66	46	68%	68
Clindamycin	Antibiotika	75	0,5	1,5	1	53%	53
Diclofenac	Inflammationshämmande	2 000	15	860	602	2,4%	2,4
Doxycycline	Antibiotika	49	0,4	*			
Erythromycin	Antibiotika	8 012	58	55	38	153%	153
Etinylöstradiol (EE2)	Könshormon	*		*			
Fluoxetine	Antidepressiv	14	0,1	5,1	4	2,8%	2,8
Furosemide	Urindrivande	13 500	99	2 400	1 680	5,9%	5,9
Fusidic acid	Antibiotika	*		24	17		
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	2 950	22	1 250	875	2,5%	2,5
Ibuprofen	Inflammationshämmande	24 000	175	9 100	6 370	2,8%	2,8
Ketoprofen	Inflammationshämmande	245	1,8	453	317	0,6%	0,6
Linezolid	Antibiotika	15	0,1	*			
Metoprolol	Blodtryckssänkande	10 150	74	1 959	1 371	5,4%	5,4
Moxifloxacin	Antibiotika	*		*			
Naproxen	Inflammationshämmande	34 000	248	7 132	4 993	5,0%	5,0
Norfloxacin	Antibiotika	*		*			
Oxazepam	Lugnande	7 850	57	3 332	2 333	2,5%	2,5
Paracetamol	Inflammationshämmande	95	0,7	*			
Propranolol	Blodtryckssänkande	245	1,8	67	47	3,8%	3,8
Ramipril	Blodtryckssänkande	22	0,2	*			
Ranitidine	Medel mot magsår	1 295	9,5	321	225	4,2%	4,2
Rifampicin	Antibiotika	1 002	7,3	*			
Risperidone	Lugnande	4,8	0,04	*			
Sertraline	Antidepressiv	66	0,5	52	36	1,3%	1,3
Simvastatin	Boldfettsänkande	235	1,7	250	175	1,0%	1,0
Sulfamethoxazole	Antibiotika	6 700	49	253	177	28%	28
Terbutaline	Astmamedicin	13	0,09	11	7	1,2%	1,2
Tetracycline	Antibiotika	1 150	8,4	927	649	1,3%	1,3
Trimetoprim	Antibiotika	1 105	8,1	16	11	72%	72
Warfarin	Blodförtunnande	37	0,3	14	9	2,8%	2,8
Östradiol (E2)	Könshormon	61	0,5	5,7	4	11%	11
Östron (E1)	Könshormon	175	1,3	31	21	6,0%	6,0

>10.

7.7 NULÄGESANALYS, ÄLDREBOENDETS ANDEL

Tabell 34 Resultat (i ng/l) från uppströms provtagning. Äldreboendets mängd i inkommande avloppsvatten till reningsverket. Substanser vars resultat är under rapportgräns är markerade med *. Rödmarkerade har en kvot

		Äldreboende		Inkommande		Andel från äldreb.	Kvot mängd/flöde
Substans	Verkan	mg/l	mg/h	mg/l	mg/h	%	
Amlodipine	Blodtryckssänkande	95	0,06	135	95	0,06%	0,7
Atenolol	Blodtryckssänkande	18 100	11	1 193	835	1,3%	14
Benzylpenicillin	Antibiotika	*		*			
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	113	0,07	87	61	0,1%	1,2
Carbamazepine	Lugnande	830	0,5	302	211	0,2%	2,6
Ciprofloxacin	Antibiotika	1 940	1,2	50	35	3,3%	37
Citalopram	Antidepressiv	810	0,5	319	223	0,2%	2,4
Claritromycin	Antibiotika	66	0,04	66	46	0,08%	0,9
Clindamycin	Antibiotika	*		1,5	1		
Diclofenac	Inflammationshämmande	755	0,5	860	602	0,08%	0,8
Doxycycline	Antibiotika	*		*			
Erythromycin	Antibiotika	2 050	1,2	55	38	3,2%	36
Etinylöstradiol (EE2)	Könshormon	*		*			
Fluoxetine	Antidepressiv	2	0,001	5,1	4	0,04%	0,4
Furosemide	Urindrivande	19 500	12	2 400	1 680	0,7%	7,7
Fusidic acid	Antibiotika	*		24	17		
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	4 750	2,9	1 250	875	0,3%	3,6
Ibuprofen	Inflammationshämmande	21 000	13	9 100	6 370	0,2%	2,2
Ketoprofen	Inflammationshämmande	115	0,07	453	317	0,02%	0,2
Linezolid	Antibiotika	*		*			
Metoprolol	Blodtryckssänkande	11 650	7,0	1 959	1 371	0,5%	5,7
Moxifloxacin	Antibiotika	*		*			
Naproxen	Inflammationshämmande	19 350	12	7 132	4 993	0,2%	2,6
Norfloxacin	Antibiotika	88	0,05	*			
Oxazepam	Lugnande	36 500	22	3 332	2 333	0,9%	10
Paracetamol	Inflammationshämmande	350	0,2	*			
Propranolol	Blodtryckssänkande	29	0,02	67	47	0,04%	0,4
Ramipril	Blodtryckssänkande	*		*			
Ranitidine	Medel mot magsår	11	0,01	321	225	0,003%	0,03
Rifampicin	Antibiotika	*		*			
Risperidone	Lugnande	*		*			
Sertraline	Antidepressiv	29	0,02	52	36	0,05%	0,5
Simvastatin	Boldfettsänkande	163	0,1	250	175	0,06%	0,6
Sulfamethoxazole	Antibiotika	7	0,004	253	177	0,002%	0,02
Terbutaline	Astmamedicin	11	0,01	11	7	0,09%	1,0
Tetracycline	Antibiotika	*		927	649		
Trimetoprim	Antibiotika	6	0,004	16	11	0,03%	0,4
Warfarin	Blodförtunnande	82	0,05	14	9	0,5%	5,8
Östradiol (E2)	Könshormon	*		5,7	4		
Östron (E1)	Könshormon	25	0,02	31	21	0,07%	0,8

>10.

7.8 NULÄGESANALYS, JÄMFÖRELSE INKOMMANDE MOT REFERENS

Tabell 35 Halter (ng/l) i inkommande avloppsvatten i jämförelse med referens (medianvärde från olika projekt, data IVL). Substanser markerade i rött är de som avviker mer än 130 %. Substanser markerade i gult är de som

Substans	Verkan	Ink	Ink referens	Avvikelse från referens
Amlodipine	Blodtryckssänkande	135	84	161%
Atenolol	Blodtryckssänkande	1 193	1 800	66%
Benzylpenicillin	Antibiotika	*	1,0	
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	87	160	54%
Carbamazepine	Lugnande	302	350	86%
Ciprofloxacin	Antibiotika	50	110	45%
Citalopram	Antidepressiv	319	180	177%
Claritromycin	Antibiotika	66	37	179%
Clindamycin	Antibiotika	1,5	8,2	18%
Diclofenac	Inflammationshämmande	860	710	121%
Doxycycline	Antibiotika	*	90	
Erythromycin	Antibiotika	56	40	139%
Etinylöstradiol (EE2)	Könshormon	*	10	
Fluoxetine	Antidepressiv	5,1	8,8	58%
Furosemide	Urindrivande	2 400	1 850	130%
Fusidic acid	Antibiotika	24	14	174%
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	1 250	1 600	78%
Ibuprofen	Inflammationshämmande	9 100	5 300	172%
Ketoprofen	Inflammationshämmande	453	380	119%
Linezolid	Antibiotika	*	4,0	
Metoprolol	Blodtryckssänkande	1 960	1 500	131%
Moxifloxacin	Antibiotika	*	9,0	
Naproxen	Inflammationshämmande	7 133	4 150	172%
Norfloxacin	Antibiotika	*	25	
Oxazepam	Lugnande	3 333	375	889%
Paracetamol	Inflammationshämmande	*	250	
Propranolol	Blodtryckssänkande	68	64	106%
Ramipril	Blodtryckssänkande	*	13	
Ranitidine	Medel mot magsår	322	190	170%
Rifampicin	Antibiotika	*	15	
Risperidone	Lugnande	*	15	
Sertraline	Antidepressiv	52	50	104%
Simvastatin	Boldfettsänkande	250	240	104%
Sulfamethoxazole	Antibiotika	253	250	101%
Terbutaline	Astmamedicin	10,7	12	93%
Tetracycline	Antibiotika	927	350	265%
Trimetoprim	Antibiotika	16	62	26%
Warfarin	Blodförtunnande	14	11	123%
Östradiol (E2)	Könshormon	5,7	13	45%
Östron (E1)	Könshormon	31	38	82%

avviker mindre än 70 %.

7.9 NULÄGESANALYS, SLAM

Tabell 36 Halter (ng/g) i slam. Halterna för rejekt och behandlat rejekt är i ng/l. Provtagning i januari, utom för rejekt maj och rejekt efter behandling

Substans	Verkan	Cambi IN	Cambi UT (RK IN)	Rötk UT (Press IN)	Slam UT	Rejekt januari	Rejekt maj	Rejekt efter behandling
Amlodipine	Blodtryckssänkande	*	*	*	*	130	350	*
Atenolol	Blodtryckssänkande	*	*	*	*	1 400	510	*
Benzylpenicillin	Antibiotika					*	*	*
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	*	*	*	*	650	57	16
Carbamazepine	Lugnande	*	*	*	*	2 000	1 700	1 400
Ciprofloxacin	Antibiotika					130	140	96
Citalopram	Antidepressiv	*	*	13	14	3 400	1 100	240
Clarithromycin	Antibiotika					*	*	*
Clindamycin	Antibiotika					*	*	*
Diclofenac	Inflammationshämmande	82	95	130	130	*	5 900	1 200
Doxycycline	Antibiotika					*	*	*
Erythromycin	Antibiotika					2,1	*	*
Etinylöstradiol (EE2)	Könshormon	*	*	*	*	*	*	*
Fluoxetine	Antidepressiv	*	*	*	*	2,4	37	*
Furosemide	Urindrivande	190	100	*	*	*	870	620
Fusidic acid	Antibiotika					*	*	*
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	*	*	*	*	*	30	200
Ibuprofen	Inflammationshämmande	370	490	630	610	250	20 000	710
Ketoprofen	Inflammationshämmande	*	*	*	*	510	2 600	420
Linezolid	Antibiotika					*	*	*
Metoprolol	Blodtryckssänkande	*	*	*	*	87 000	6 700	1 900
Moxifloxacin	Antibiotika					*	*	*
Naproxen	Inflammationshämmande	310	420	*	*	*	140	32
Norfloxacin	Antibiotika					*	*	*
Oxazepam	Lugnande	*	*	*	*	*	*	910
Paracetamol	Inflammationshämmande	*	*	*	*	*	*	*
Propranolol	Blodtryckssänkande	*	*	*	*	1 300	460	35
Ramipril	Blodtryckssänkande	*	*	*	*	*	*	*
Ranitidine	Medel mot magsår	*	*	*	*	3 900	*	*
Rifampicin	Antibiotika					*	*	*
Risperidone	Lugnande	*	*	*	*	16	*	*
Sertraline	Antidepressiv	*	*	*	*	530	570	82
Simvastatin	Boldfettsänkande	*	*	*	*	430	*	*
Sulfamethoxazole	Antibiotika					*	*	*
Terbutaline	Astmamedicin	*	*	*	*	*	*	*
Tetracycline	Antibiotika					18	*	*
Trimetoprim	Antibiotika					*	*	*
Warfarin	Blodförtunnande	*	*	*	*	*	*	*
Östradiol (E2)	Könshormon	*	*	*	*	*	*	*
Östron (E1)	Könshormon	*	*	*	54	120	*	*
Totalhalt		952	1 105	773	808	101 789	41 164	7 861

7.10 RISKANALYS, PRIORITERINGSLISTA

Tabell 37 Prioritetslista för Växjö reningsverk. Röda (>1,0) = hög risk för oönskade effekter i recipienten. Gula (>0,1) = måttlig risk och gröna (<0,1) = låg risk.

Risk	Substans	Verkan	Utgående (EC) (ng/l)	NOEC (ng/l)	Säkerhetsfaktor	Utspädning	PNEC (ng/l)	Riskkvot (EC/PNEC-kvot) RECIPIENT
Hög	Oxazepam	Lugnande	5 166	10 000	1 000	2	20	258
	Östron (E1)	Könshormon	14	8,0	100	2	0,16	90
	Diclofenac	Inflammationshämmande	876	500	10	2	100	8,8
	Propranolol	Blodtryckssänkande	145	500	50	2	20	7,3
	Amlodipine	Blodtryckssänkande	133	10 000	1 000	2	20	6,7
	Fluoxetine	Antidepressiv	18	29	10	2	5,8	3,1
	Carbamazepine	Lugnande	463	1 000	10	2	200	2,3
	Erythromycin	Antibiotika	301	10 300	100	2	206	1,5
Måttlig	Furosemide	Urindrivande	1 400	142 000	100	2	2 840	0,49
	Metoprolol	Blodtryckssänkande	1 976	129 500	50	2	5 180	0,38
	Sertraline	Antidepressiv	95	9 000	50	2	360	0,26
	Citalopram	Antidepressiv	435	105 000	100	2	2 100	0,21
	Clarithromycin	Antibiotika	92	2 600	10	2	520	0,18
Låg	Naproxen	Inflammationshämmande	121	32 000	50	2	1 280	0,09
	Sulfamethoxazole	Antibiotika	81	5 900	10	2	1 180	0,07
	Ketoprofen	Inflammationshämmande	124	1 041 000	1 000	2	2 082	0,06
	Terbutaline	Astmamedicin	22	240 000	1 000	2	480	0,05
	Ibuprofen	Inflammationshämmande	99	10 000	10	2	2 000	0,05
	Ranitidine	Medel mot magsår	309	310 000	50	2	12 400	0,02
	Atenolol	Blodtryckssänkande	457	1 000 000	100	2	20 000	0,02
	Tetracycline	Antibiotika	149	310 000	50	2	12 400	0,01
	Bisoprolol	Blodtryckssänkande	85	1 780 000	50	2	71 200	0,001
	Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	1 376	10 000 000	10	2	2 000 000	0,0007
	Warfarin	Blodförtunnande	11	11 000 000	1 000	2	22 000	0,0005
	Clindamycin	Antibiotika	16	100 000 000	1 000	2	200 000	0,00008
	Trimetoprim	Antibiotika	10	6 200 000	100	2	124 000	0,00008
	Benzylpenicillin	Antibiotika	*			2		
	Ciprofloxacin	Antibiotika	*	1 200	10	2	240	
	Doxycycline	Antibiotika	*	36 900	1 000	2	74	
	Etinylöstradiol (EE2)	Könshormon	*	0,03	10	2	0,006	
	Fusidic acid	Antibiotika	*	4 300 000	1 000	2	8 600	
	Linezolid	Antibiotika	*	24 000 000	1 000	2	48 000	
	Moxifloxacin	Antibiotika	*			2		
	Norfloxacin	Antibiotika	*	10 300	100	2	206	
	Paracetamol	Inflammationshämmande	*	30 000	100	2	600	
	Ramipril	Blodtryckssänkande	*	100 000 000	1 000	2	200 000	
	Rifampicin	Antibiotika	*	3 300 000 000	1 000	2	6 600 000	
	Risperidone	Lugnande	*	5 800 000	1 000	2	11 600	
	Simvastatin	Boldfetsänkande	*	2 000	10	2	400	
Östradiol (E2)	Könshormon	*	0,4	10	2	0,08		

7.11 REDUKTIONSGRAD LÅNGTIDSTEST OZON

Tabell 38 Reduktionsgrad för långtidstestet ozon. 100 % innebär att substansen rapporterats som under rapporteringsgräns (LOQ) efter behandling, värdet sätts till noll. * markerar under rapporteringsgräns redan före behandling.

		Vecka 28	Vecka 29	Vecka 31	Vecka 33
Dos (gO₃/m³)		6,1	6,0	5,9	7,9
Dos (gO₃/gDOC)		0,81	0,85	0,84	1,2
Substans	Verkan	Reduktionsgrad %			
Amlodipine	Blodtryckssänkande	*	*	100	100
Atenolol	Blodtryckssänkande	63	78	87	98
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	72	82	87	100
Carbamazepine	Lugnande	100	100	100	100
Citalopram	Antidepressiv	98	100	98	100
Diclofenac	Inflammationshämmande	100	100	100	100
Fluoxetine	Antidepressiv	100	100	100	100
Furosemide	Urindrivande	100	100	100	100
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	86	89	92	100
Ibuprofen	Inflammationshämmande	*	*	*	100
Ketoprofen	Inflammationshämmande	62	77	80	85
Metoprolol	Blodtryckssänkande	76	83	89	99
Naproxen	Inflammationshämmande	100	100	100	100
Oxazepam	Lugnande	57	75	81	89
Paracetamol	Inflammationshämmande	100	100	100	100
Propranolol	Blodtryckssänkande	100	100	100	100
Ramipril	Blodtryckssänkande	*	*	*	*
Ranitidine	Medel mot magsår	100	100	100	100
Risperidone	Lugnande	*	*	*	*
Sertralin	Antidepressiv	100	100	100	100
Simvastatin	Blodfettsänkande	*	*	*	*
Terbutaline	Astmamedicin	*	*	*	*
Warfarin	Blodförtunnande	100	100	100	100
Total reduktiongrad (%)		75	85	89	96
Förklaring		<70 %	70-80 %	80-90 %	>90 %

7.12 REDUKTIONSGRAD LÅNGTIDSTEST UV/H₂O₂

Tabell 39 Reduktionsgrad för långtidstestet ozon. 100 % innebär att substansen rapporterats som under rapporteringsgräns (LOQ) efter behandling, värdet sätts till noll. * markerar under rapporteringsgräns redan före behandling.

Vecka		1	2	3	4
Dos UV (J/m ²)		7500	7500	12500	12500
Dos H ₂ O ₂ (ppm)		20	20	40	40
Substans	Verkan	Reduktionsgrad %			
Amlodipine	Blodtryckssänkande	*	*	*	*
Atenolol	Blodtryckssänkande	64	51	91	85
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	69	68	94	90
Caffeine	Stimulerande	*	*	*	100
Carbamazepine	Lugnande	100	61	100	100
Citalopram	Antidepressiv	77	74	89	90
Diclofenac	Inflammationshämmande	97	95	100	99
Fluoxetine	Antidepressiv	100	100	100	100
Furosemide	Urindrivande	79	75	97	95
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	65	64	91	86
Ibuprofen	Inflammationshämmande	100	54	100	57
Ketoprofen	Inflammationshämmande	100	100	100	100
Metoprolol	Blodtryckssänkande	69	61	93	88
Naproxen	Inflammationshämmande	69	71	100	44
Oxazepam	Lugnande	66	62	92	88
Paracetamol	Inflammationshämmande	*	*	100	*
Propranolol	Blodtryckssänkande	77	68	95	93
Ramipril	Blodtryckssänkande	*	*	*	*
Ranitidine	Medel mot magsår	94	91	100	100
Risperidone	Lugnande	*	*	*	*
Sertralin	Antidepressiv	83	74	100	89
Simvastatin	Blodfettsänkande	*	*	*	*
Terbutaline	Astmamedicin	*	*	*	*
Warfarin	Blodförtunnande	58	61	100	100
Total reduktionsgrad (%)		72	65	94	90
Förklaring		<70 %	70-80 %	80-90 %	> 90 %

7.13 RAPPORT NOURYON/VAN REMMEN

Reduktion av mikroföroreningar såsom läkemedel i avloppsvatten med UV/väteperoxid vid Sundet ARV

SAMMANFATTNING

Mikroföroreningar såsom rester av läkemedel, hygienprodukter, flamskyddsmedel, pesticider etc. är en växande grupp av föroreningar som har detekterats i grund- och ytvatten. Dessa ämnen når vatten i naturen i huvudsak genom avloppsvatten på grund av att den rening som sker i avloppsreningsverket (ARV) inte är anpassad för att ta bort dessa svårnedbrytbara föroreningar.

Under ett försök vid Sundet ARV i Växjö kommun användes UV (ultraviolett) strålning i kombination med väteperoxid (MicrOx™) för att behandla det utgående vattnet med en s.k. avancerad oxidationsprocess (AOP). I denna process bildas hydroxylradikaler, HO•, som i sin tur bryter ned mikroföroreningarna i avloppsvattnet. Försöket gjordes som ett samarbete mellan Växjö kommun, Van Remmen UV Technology och Nouryon.

Pilotförsöken gjordes under en månads (8 augusti–5 september, 2019) kontinuerlig drift med två olika UV- och väteperoxid doser och till det lades ett dos-responsförsök. En fullskalereaktor (Advanox™) användes för UV-behandling och innan utsläpp till recipient togs kvarvarande väteperoxid bort med ett katalytiskt filter.

UV/H₂O₂ visade mycket god effekt, över 95% reduktion kunde uppnås, detta gällde både summan av analyserade läkemedelssubstanser och även den svårnedbrytbara substansen oxazepam. De bakterier som normalt analyseras vid ARV eliminerades redan vid lägsta doserna vilket visar att det finns god potential att ta bort även antibiotikaresistenta bakterier med tekniken.

Inga potentiellt toxiska biprodukter kunde påvisas, varken bromat eller de som kan visas genom effekt på bakterie (Microtox), grönalga eller kräftdjur.

Läkemedel och antibiotika som analyserats utöver standardpaketet under långa försöket hade också en reduktionsgrad upp till 95%.

För övriga mikroföroreningar kunde följande effekter noteras:

- Hormonet estron (E1) reducerades med 65%.
- Av de 11 substanserna i PFAS-11 kunde endast 6:FTS reduceras upp till 57%.
- Bisfenol F kunde reduceras upp till 77%. De flesta övriga fenolära föroreningar kunde inte analyseras.

Innehåll

Introduktion.....	3
Experimentellt.....	3
Beskrivning av Advanox™ (UV/H ₂ O ₂ -piloten).....	3
Begränsningar av Advanox™-piloten.....	4
Analyser och metoder.....	4
Mikroföroreningar (inklusive läkemedel).....	4
Övriga analyser.....	5
Ekotoxikologiska tester.....	5
Resultat.....	6
Processdata.....	6
Tryckfallslarm.....	6
Mikroföroreningar (inklusive läkemedel).....	7
Dos-responsförsök.....	7
Långa försöket (Vecka 1 & 2 samt Vecka 3 & 4).....	9
Bakterier och bromat.....	10
Ekotoxikologiska tester.....	10
Kostnadsberäkning.....	10
Slutsatser.....	11
Referenser.....	11
Appendix 1 – Läkemedelsanalyser tabeller.....	12
Appendix 2 – Läkemedelsanalyser grafer.....	16
Appendix 3 – Riskkvoter och LOD/LOQ.....	19
Appendix 4 – PFAS-11 och fenolära föreningar.....	20
Appendix 5 – Övriga analyser.....	21
Appendix 6 – Kostnadsberäkning för fullskala.....	24
Grundantaganden.....	24
Installationskostnader (CAPEX).....	24
Driftskostnader (OPEX).....	24
Kostnadsanalys vid 20 g/m ³ väteperoxid.....	24
Kostnadsanalys vid 40 g/m ³ väteperoxid.....	24

INTRODUKTION

I december 2018 gjorde Nouryon ett förförsök vid laboratoriet i Bohus med syfte att bryta ner läkemedelsrester från utgående vatten från Sundet avloppsreningsverk (ARV) genom att behandla vattnet med ultraviolett (UV) strålning och väteperoxid (H_2O_2). En mindre UV-reaktor (modell V090 från Van Remmen UV Technology) med ett kontinuerligt vattenflöde på 0,2–2,4 l/min användes vid förförsöket. Av de 24 testade läkemedelssubstanserna som fanns i obehandlat vatten ut från ARV skulle knappt hälften ge en förhöjd risk för oönskade effekter i recipienten (riskkvot > 0.1). Genom UV/ H_2O_2 behandling kunde riskkvoten sänkas till låg risk eller under substansernas kvantifieringsgräns.

I mars 2019 gjordes ett samarbetsprojekt mellan Nouryon och IVL Svenska miljöinstitutet där UV/ H_2O_2 testades i något större skala (ca 1 m³/h) vid IVL:s forskningsanläggning Hammarby Sjöstadsvärk [1]. Försöken visade god effekt på läkemedelsreduktion och ett tydligt dos-respons samband. Ett katalytiskt filter tog bort återstående väteperoxid. Efter filtret analyserades det reade vattnet med avseende på Microtox (akut toxicitet för bakterien *Vibrio fischeri*) och ingen negativ effekt kunde påvisas.

Det bestämdes att det skulle göras ett UV/ H_2O_2 -försök vid Sundet ARV i ett samarbete mellan Växjö kommun, Van Remmen UV Technology och Nouryon under sensommaren 2019. En fullskalareaktor (Advanox™ från Van Remmen UV Technology) användes för UV-behandling och innan utsläpp till recipient togs restväteperoxid bort med ett filter liknande det på IVL. Pilotförsöken startade med en dos-responsstudie och därefter kördes två olika doser med kontinuerlig drift under en månads tid, 8 augusti–5 september, 2019.

Förutom de läkemedelssubstanser och Microtox som analyserats vid tidigare försök analyserades även läkemedel och antibiotika samt fenolära ämnen och PFAS-11 enligt Naturvårdsverkets nya rekommendation [2]. Därtill lades hormoner, bakterier, bromat samt ekotoxikologiska tester på alg och kräftdjur. De sistnämnda valdes ut efter rekommendation av IVL, Toxicon och Nouryons ekotoxikolog och med tanke på den aktuella recipienten vid Sundet ARV.

EXPERIMENTELLT

Beskrivning av Advanox™ (UV/ H_2O_2 -piloten)

Advanox-piloten är uppbyggd i en standard 40 fot container och innehåller en Advanox™-reaktor, in-line doseringspump för väteperoxid, två katalytiska bäddar för borttagning av restväteperoxid, elskåp med ballaster, internetuppkoppling, mjukvara och sensorer för automatiserad drift, kontroll, och säkerhet av systemet, RealTech in-line transmittansmätare, samt flera provtagningspunkter.

Idén med Advanox™-piloten är att den är en basenhet med en fullskalig UV-C reaktor (UV i våglängdsområde 100-280 nm). På så vis kan experiment som är gjorda i piloten översättas till hur en fullskalig installation uppför sig med samma operationsparametrar.

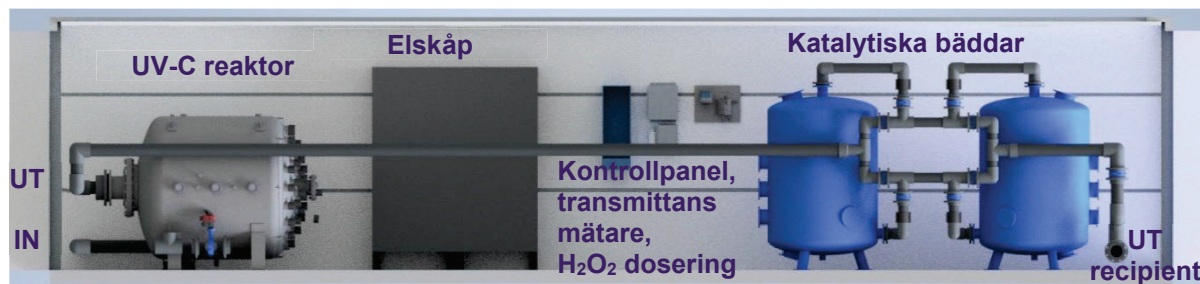
För experimenten vid Sundet ARV i Växjö var Advanox™-piloten anpassad för följande driftinställningar:

UV-C dos: 5 000–12 500 J/m²

H_2O_2 dos: 20–40 mg/l

Transmittans: 30–70 %

Kapacitet: 40–120 m³/h



Figur 1. Schematisk översikt över Advanox™-piloten (bild från Van Remmen UV Technology).

Flödet justeras automatiskt med en förprogrammerad ekvation. Ekvationen framtoogs från CDF (Computational Fluid Dynamics) kalkyler och använder transmittansen som indata för att beräkna flödet. När transmittansen ändras, ändras även flödet för en konstant UV-C dos. Väteperoxiden justeras baserat på den valda dosen och flödet enligt en flödesmätare.

Advanox™-reaktorn är cylindrisk med 48 stycken UV-C lampor, 600 W lågtryck, och en volym på 3 m³. Inloppet sitter längst ner på sidan av reaktorn och vattnet färdas tre varv (ungefär enligt CFD beräkningar) från ytterkant till mitten innan det går ut via utloppet som sitter i mitten bak. De katalytiska bäddarna går parallellt med en beräknad uppehållstid på ca. 2 minuter (vid ca. 70 m³/h).

Begränsningar av Advanox™-piloten

Trots att Advanox™-piloten har många funktioner, kan anpassas till nästan alla vattensituationer och till största delen fungerar precis som förväntat under försöksperioden, finns det alltid saker som kan göras bättre. Dosberoende nedbrytning av specifika föreningar är generellt skalbar; samma UV-C dos på samma vatten ger samma resultat. Det finns dock fall-till-fall-avvikelser i vattenkomposition av NOM (Natural Organic Matter), radikalfångare och andra föreningar som kan ha en effekt och laboratorie- och pilottester är därför viktiga för att fånga in dessa avvikelser.

Katalytisk bädd

När Advanox™-piloten byggdes baserades den på en tidigare version och vissa delar återanvändes såsom de katalytiska bäddarna och en del av rörläggningen. Den tidigare versionen användes vid ett projekt med mycket lägre flöden på grund av lägre transmittans och högre UV-C dos. I det projektet kunde vattnet köras uppåt genom bäddarna vilket gav en H₂O₂ koncentration av <1 ppm i behandlat vatten.

I projektet i Växjö var flödena högre på grund av en betydligt högre transmittans och lägre UV-C doser. På grund av detta var de katalytiska bäddarna något underdimensionerade och vattnet kördes därför nedåt genom bäddarna för att minska risken för förlust av material i de katalytiska bäddarna. I och med flödesriktningen ökades kanalbildning genom bäddarna och förmågan att eliminera väteperoxid reducerades något.

I framtida projekt med Advanox™-piloten kommer eventuellt större eller fler katalytiska bäddar att behöva installeras beroende på eventuella efterkommande steg och recipientens krav.

Analyser och metoder

Mikroföroreningar (inklusive läkemedel)

Samtliga mikroföroreningar analyserades av IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Halten läkemedelssubstanser analyserades enligt IVLs standardpaket vid dos-respons studien och vid de längre testperioderna (vecka 1+2 samt vecka 3+4) utökades analyserna (här kallat utökat paket) till att även innehållande de läkemedelssubstanser, antibiotika, PFAS-11 och fenolära föreningar som Naturvårdsverket rekommenderat i sin nya lista [2] med undantag för methotrexate som IVL inte lyckats med att analysera. YES-test (östrogena effekter) och AMES -test (mutagenicitet) utfördes inte.

Dos-responsstudien utfördes under en och samma dag (6 augusti) och analyser utfördes på stickprov uttagna från samtliga inkommande och utgående vatten från behandlingssteget (UV/H₂O₂).

Analys av läkemedelssubstanser och PFAS-11 under långtidsförsöket utfördes på veckokompositprover som beretts genom att blanda lika volymsdelar av 7 stycken dygnskompositprover.

Dygnskompositproverna förvarades i kylskåp i flaskor av polyeten tills beredning/analystillfälle. Prov för analys av fenolära föreningar togs som stickprov och förvarades i kylskåp i glasflaskor (brända) som erhöles av IVL.

Läkemedelsanalysen utfördes på vatten som har extraherats med hjälp av fastfaskolonner (HLB) och analysen görs med HPLC-MS/MS. Atenolol-d7, [13C15N]-karbamazepin, metoprolol-(isopropyl-d7) [13C6]-diklofenak, [13C6]-hydroklortiazid och ibuprofen har använts som internstandarder för kvantifiering.

IVL anger detektionsgränser (Limit of Detection, LOD) och kvantifieringsgräns (Limit of Quantification, LOQ) för respektive substans, dessa varierar mellan olika analysomgångar och om standardpaket eller utökat paket analyserats, Appendix 1. Däremot anges inte analysens mätosäkerhet vilket försvårar kvalitetsuppskattning och jämförelse av analysresultaten. Vid muntlig kommunikation anger IVL mätosäkerheten/spridningen inom en mätserie till ca. 10 % och för hela analysflödet till ca. 30 %.

För analys av Bisfenol A, Bisfenol F, 4-tertiär-oktylfenol (4-t-OP) och 4-iso-nonyfenol (4-NP) extraherades proven med fastfaskolonn (ENV+) och extrakten de-etoxilerades. Analys har skett med HPLC-MS/Orbitrap på IVL:s laboratorium i Stockholm. ¹³C₆-tertiär-oktylfenol-dietoxylat har använts som utbytesstandard.

Övriga analyser

Väteperoxid (H₂O₂) analyserades med Kit K-5543 från Chemetrics med kompensering för ingående störsubstanser.

UV transmittansen (UVT) mättes på inkommande vatten till behandlingssteget, efter tillsats av väteperoxid, efter UV reaktor samt efter de katalytiska bäddarna. Mätningarna utfördes vid 254 nm i en 10 mm kyvett (Real UVT P200, Van Remmen UV Technology).

Löst syre (DO) i vatten mättes med en syrgaselektrod (WVR, OX 4100H).

Analys av metaller och karbonatjoner (CO₃) utfördes vid Nouryons analyslaboratorium enligt interna standardmetoder (MJO025 och FU073).

Analys av biokemisk syreförbrukning, 7 dygn (BOD₇), metod SS-EN 1899-1, SS-EN ISO 5814:2012, totalt organiskt kol (TOC) och halten löst organiskt material (DOC, filtrerat genom 0,45 µm), metod HACH-Lange LCK 385/386 SS-EN 1484, utfördes av Växjö kommuns VA-lab.

Nitrat- nitrit och ammoniumkväve (NO₃N, NO₂N och NH₄N) analyserades av Växjö kommuns VA-lab med diskret analys metod ISO 15923-1:2013.

Koliforma bakterier och *Escherichia coli* (Colilert-18), metod SS-EN ISO 9308-2:2014, och Intestinala enterokocker (IE, membranfiltrering), metod SS-EN ISO 7899-2, analyserades av Växjö kommuns VA-lab.

Analys av bromat utfördes av Eurofins Water Testing som använder en internmetod (LidMet0A.05.01). Analysmetoden utgörs av separation med HPLC följt av slutbestämning med ICP-MS.

Ekotoxikologiska tester

Först diskuterades med Christian Baresel, IVL, vilka ekotoxikologiska tester som brukar vara lämpliga efter oxidationsbehandling av avloppsvatten såsom med ozon. Urvalet av ekotoxikologiska tester gjordes sedan i samråd med Anders Sjölin, Toxicon AB och Miriam Guimesi, ekotoxikolog, Nouryon. Samtliga tester utfördes av Toxicon AB.

- Akut toxicitet för bakterien *Vibrio fisheri* (Microtox), SS-EN ISO 11348-3:2008 (modifierad).
- Tillväxthämning av grönalgen *Pseudokirchneriella subcapitata* i färskvatten (72 timmar) enligt SS EN ISO 8692:2012.
- Akut toxicitet för kräftdjuret *Daphnia magna* Straus i färskvatten (48 timmar) enligt ISO 6341:2012.

Testerna utfördes på veckosamlingsprov på utgående vatten från Sundets reningsverk (inkommande vatten till UV/H₂O₂ behandling) samt på vatten efter UV/H₂O₂ behandling under den kontinuerliga körperioden dvs. vid dosering 7 500 J/m² och 20 mg H₂O₂/l och 12 500 J/m² och 40 mg H₂O₂/l.

Dygnsproverna fylldes i plastflaskor (polyeten) som frystes in vid provtagningstillfället och hölls frysta tills de tinades i samband med provberedningen inför uppstart av de ekotoxikologiska testerna.

Veckosamlingsprov bereddes genom blandning av lika volymsdelar av de 7 dygnskompositprover som togs ut under respektive försöksperiod.

RESULTAT

Först kördes dos-responsförsök med åtta olika inställningar: UV-doser 5 000, 7 500, 10 000 och 12 500 J/m² vid två nivåer väteperoxid 20 och 40 mg/l. Därefter ställdes dosen in på 7 500 J/m² och 20 mg H₂O₂/l och detta kördes kontinuerligt i två veckor (vecka 1 och 2) för att sedan ställas om till 12 500 J/m² och 40 mg H₂O₂/l för resterande försöksperiod (vecka 3 och 4).

Prov togs ut in till piloten, d.v.s. ut från ARV, och ut från piloten, d.v.s. efter det katalytiska filtret. Alla analysresultat på dessa prover finns i Appendix 1-5 är benämnda in respektive ut (in och out).

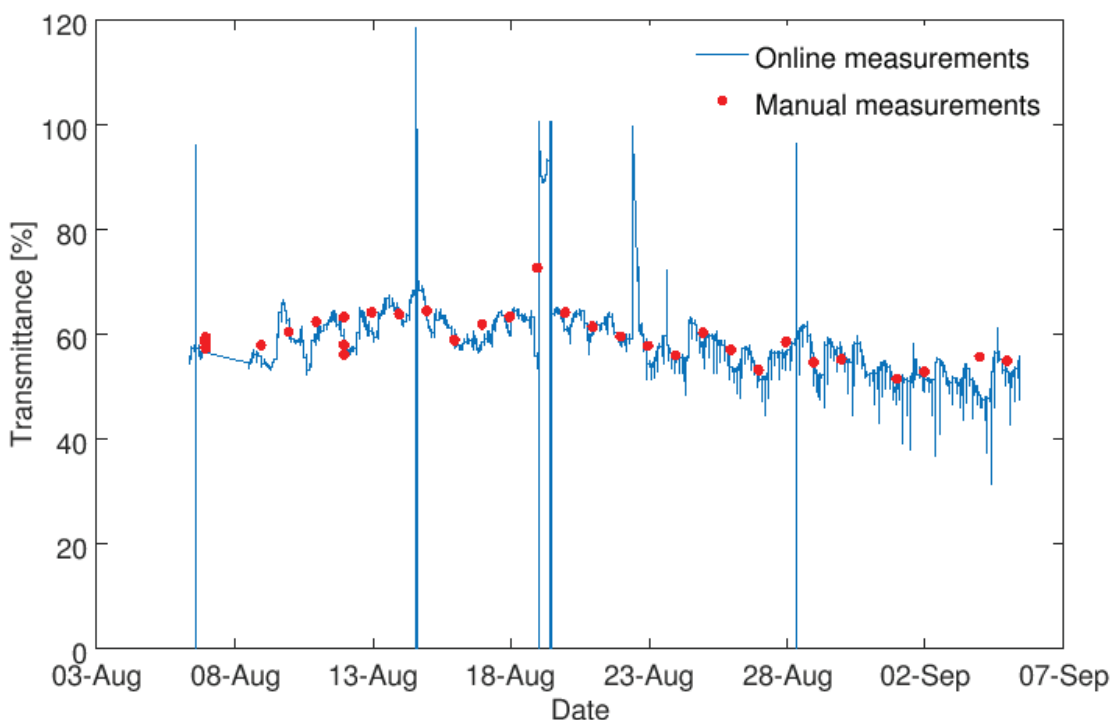
Processdata

Online mättes bland annat vattnets transmittans och flöde. Transmittansen mättes även manuellt en gång per dygn för att säkerställa önskad UV-dos och kalibrera online-mätaren vid behov. Online- och manuella mätningar under försöksperioden kan ses i Figur 2.

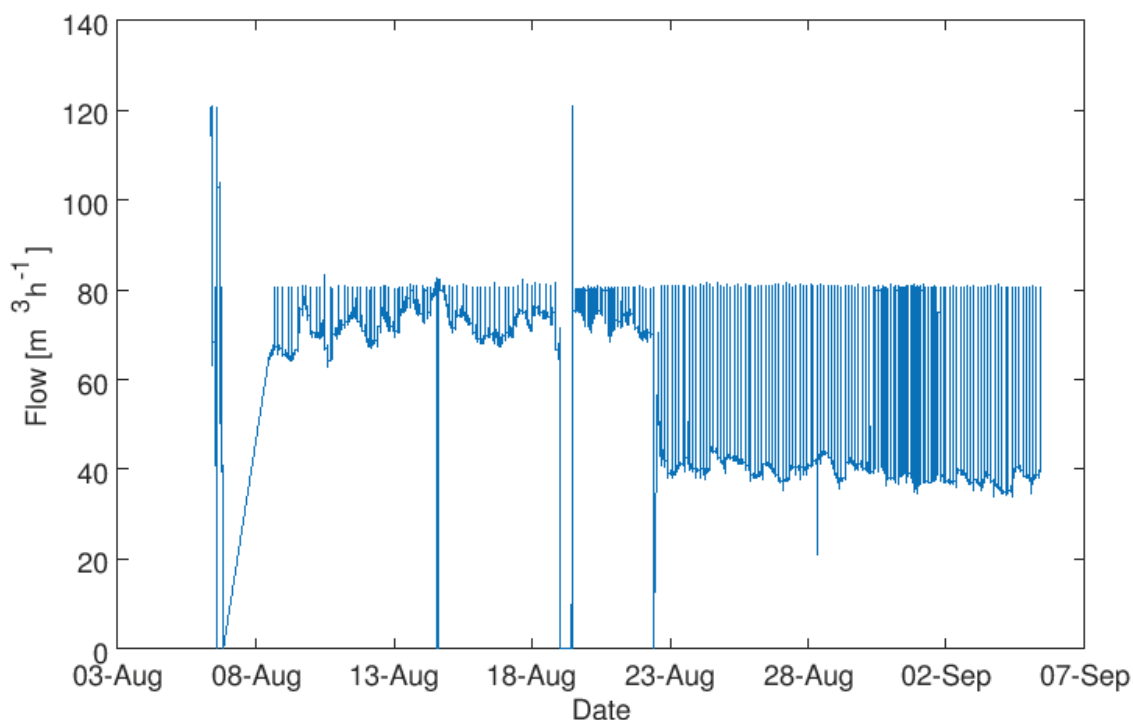
Under långtidsförsöken varierade flödet som en följd av variationen hos vattnets transmittans, Figur 3. I figuren syns även backspolning av de katalytiska bäddarna tydligt då flödet automatiskt ökades till 80 m³/h under några minuter. Flödesändring 22 augusti är när UV-dosen ökades inför vecka 3 och 4.

Tryckfallsalarm

Under det första långa försöket (vecka 1 och 2) löste tryckfallsalarmet ut efter en stor tryckökning över de katalytiska bäddarna (19 aug). Anledningen var troligen slamflykt som uppstod vid kraftigt regn vilket täppte till bäddarna. Detta löstes genom att introducera ett förlarm som startar en backspolning av de katalytiska bäddarna när tryckfallet överstiger 0,4 bar. Tryckfallsalarmet i sig löser ut vid 0,5 bar. Frekvensen av backspolning ökades också från var fjärde till var tredje timme och detta gjorde att inget mer tryckfall över 0,4 bar förekom under resten av försöksperioden. Stoppet syns både i Figur 2 och Figur 3.



Figur 2. Transmittansmätning under försöksperioden, online mätning representeras av blå linje och manuella mätningar med röda punkter.



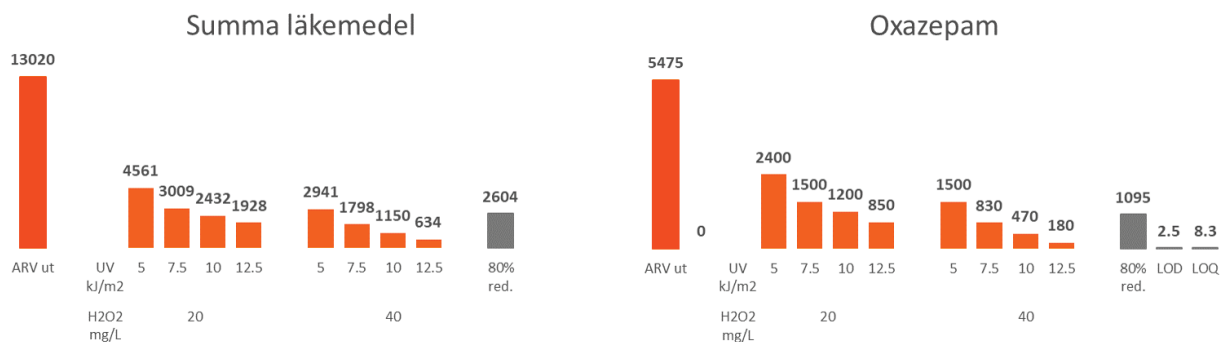
Figur 3. Flöde genom UV-reaktorn under den period försöket genomfördes.

Mikroföroreningar (inklusive läkemedel)

Dos-responsförsök

Dos-responsförsöket genomfördes under en dag (6 augusti) då förändringarna i ingående vatten till UV/H₂O₂-piloten var små, se Tabell 10 i Appendix 5. Transmittansen var 57–60 % och steg efter avancerad rening till 64–80 %, vilket visar på borttagande av bl.a. organiskt material såsom mikroföroreningar i vattnet. Genom att justera vattenflödet mellan 40 och 100 m³/h. kunde en UV-dos mellan 5 000 och 12 500 J/m² uppnås. Vid låga doser, d.v.s. höga vattenflöden, kunde den katalytiska bädden inte ta bort restväteperoxiden till under 1 ppm p.g.a. en underdimensionerad pilotbädd, se mer under avsnittet om den katalytiska bädden under Experimentellt. De två lägre vattenflödena valdes därför under det långa kontinuerliga försöket (veckorna 1–4).

Vid dos-responsförsöket analyserades 24 läkemedel (standardpaket) enligt Naturvårdsverkets gamla lista (som rekommenderades före april 2019). Det finns ett tydligt dos-respons samband vad det gäller läkemedelsreduktion och UV/H₂O₂ doser, se Figur 4 samt Appendix 2. Alla resultat är redovisade i Appendix 1, Tabell 2.



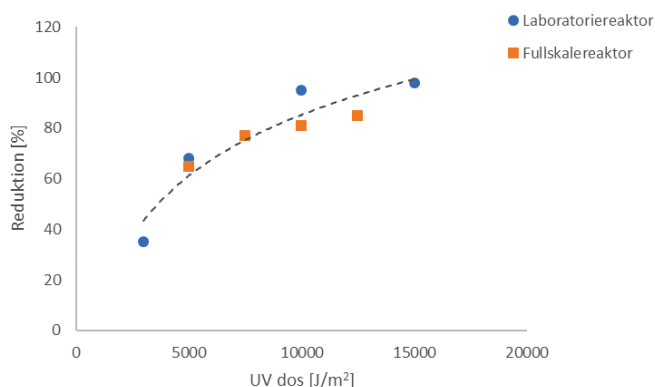
Figur 4. Summa läkemedelssubstanser (vänster figur) ut från avloppsreningsverket (ARV ut) samt utgående halt efter UV/H₂O₂ behandling. Höger figur visar halten av oxazepam före och efter behandling. UV-dosen varierades mellan 5 000 och 12 500 J/m² och halt av väteperoxid (H₂O₂) var 20 respektive 40 mg/l.

Då koncentrationen av vissa läkemedelssubstanser efter UV/H₂O₂ behandling analyserades som *under* detektions- och kvantifieringsgränser (LOD och LOQ) är slutsatsen att vid dos-responsförsöket kunde *minst* 95% av summan av ingående läkemedel (ut från ARV) tas bort och att varje enskilt läkemedel kunde reduceras med minst 80%. För fluoxetin, ramipril och terbutalin var halten ut från ARV lägre än LOD eller LOQ. Den svårnedbrytbara läkemedelssubstansen oxazepam kunde reduceras med 97%.

Eftersom det inom Sverige och EU ännu inte finns regleringar och tydliga mål vad som behöver uppnås med s.k. avancerad rening av avloppsvatten kan procentuell läkemedelsreduktion vara ett mått av reningsgraden men det är ett relativt mått då det beror av läkemedelskoncentrationen i vattnet före avancerad rening, d.v.s. utgående eller ibland ingående vatten vid ARV. För att ta hänsyn till vad som tolereras av recipienten kan det vara bättre att jämföra med den koncentration som ger riskkvot t.ex. <1 och <0,1 som beräknas av Predicted No Effect Concentration (PNEC) och spädfaktorn för aktuell recipient. För Sundet ARV är dessa målkoncentrationer redovisade i Tabell 6 i Appendix 3 tillsammans med detektions- och kvantifieringsgränser (LOD och LOQ). Resultat i Tabell 6 visar att för vissa läkemedel (amplodipine, carbamazepine, diklofenac, fluoxetine, oxazepam, simvastatin och propranolol) kan man inte alltid mäta ned till önskvärd koncentration. Detta eftersom LOD och LOQ har varierat mellan olika analysomgångar och har ibland varit högre än målkoncentrationen ut från ARV för riskkvot <0,1.

Vid dos-responsförsöket analyserades ingående vatten till piloten inför varje dos (Tabell 2, Appendix 1) och ett medelvärde av dessa invärden (ARV ut) kan ses i Figur 4 samt i Appendix 2. De läkemedelssubstanser som låg över riskkvot 1 före avancerad rening d.v.s. amplodipine, carbamazepine, diklofenac, oxazepam och propranolol, kunde alla utom oxazepam reduceras till antingen riskkvot <1 eller <0,1 i den mån det gick att analysera. För oxazepam nåddes riskkvot 8.5 med UV och väteperoxid.

Dosresponsförsökets behandling i fullskalareaktor jämförs i Figur 5 med laboratorieförsök som utfördes i en mindre UV-reaktor (V090, 0.2-2.4 l/min) i Bohus 2018.



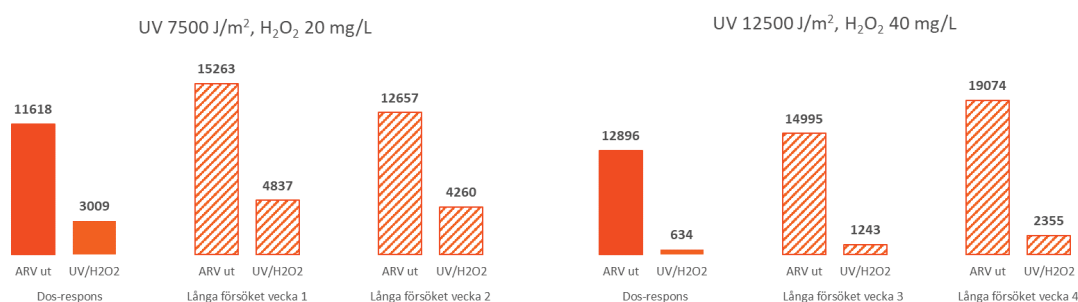
Figur 5. Reduktion av summa läkemedelssubstanser ut från Sundet avloppsreningsverk som en funktion av UV-dos efter UV/H₂O₂ behandling med 20 mg väteperoxid/l. En jämförelse mellan försök gjorda i laboratorie- respektive fullskalereaktor.

Figur 5 visar att det finns en möjlighet att till viss grad prediktera effekten av UV/H₂O₂ behandling baserad på summan av analyserade läkemedelssubstanser i en Advanox™ fullskalereaktor genom förförsök i en betydligt mindre laboratorieaktor trots en uppskalningsfaktor på tusen med avseende på vattenflöde.

Långa försöket (Vecka 1 & 2 samt Vecka 3 & 4)

Vid långa försöket analyserades på varje veckoprov samma 24 läkemedel som vid dos-responsstudien (standardpaket), dessa resultat är inkluderade i Tabell 3 och Tabell 4 i Appendix 1. Veckorna 1 och 2 var dosen 7 500 J/m² och 20 mg H₂O₂/l och veckorna 3 och 4 ökades dosen 12 500 J/m² och 40 mg H₂O₂/l.

Vecka 2 och vecka 4 analyserades även läkemedel, antibiotika, fenolära ämnen samt PFAS-11 från Naturvårdsverkets nya lista (utökat paket), som rekommenderades från april 2019. Samtliga resultat från läkemedels- och antibiotikaanalyserna finns i Appendix 1, Tabell 3 och Tabell 4, PFAS-11 i Tabell 7 och fenolära ämnen i Tabell 8, Appendix 4.



Figur 6. Summa läkemedelssubstanser ut från avloppsreningsverket (ARV ut) samt utgående halt efter UV/H₂O₂ behandling, en jämförelse mellan dos-responsförsöket och långa försöket. Vänster figur visar resultat från vecka 1 och 2, UV-dos 7 500 J/m² och 20 mg H₂O₂/l. Höger figur visar resultat från vecka 3 och 4, UV-dos 12 500 J/m² och 40 mg H₂O₂/l.

Standardpaketet av läkemedel visar en liknande reduktion under långa försöket som under dos-responsförsöket, Figur 6. Även de läkemedel och antibiotika som ingår i utökade paketet har en reduktion som är rimlig med tanke på doserna som användes (46-87% vecka 2 och 65-95% vecka 4), se Tabell 3 och Tabell 4 i Appendix 1. Tre hormoner analyserades vecka 2 och estron (E1) hittades i utgående vatten från ARV, 11 ng/l. Efter behandling, 7 500 J/m² och 20 mg H₂O₂/l reducerades halten med 65%.

Av de 11 substanserna i PFAS-11 kunde endast en reduceras med de doser UV och väteperoxid som användes vid långa försöket, substansen 6:F₇TS reducerades med 32-57%, se Tabell 7 i Appendix 4.

De flesta av de fenolära ämnena kunde inte detekteras eller analyseras varken i in- eller utgående vatten till UV/H₂O₂-piloten men bisfenol F låg på 28-30 ng/l i utgående vatten från ARV och kunde med hjälp av UV/H₂O₂ reduceras med 54-77%, Tabell 8 i Appendix 4.

Bakterier och bromat

Tre bakterietyper analyserades av Sundet ARV och samtliga reducerades eller eliminerades redan av den lägsta dosen UV och väteperoxid. Det bildades ingen bromat i vattnet, oberoende av vilka doser UV och väteperoxid som användes. Resultaten presenteras i Appendix 5, Tabell 10 och Tabell 11.

Ekotoxikologiska tester

För att undersöka om några eventuellt toxiska biprodukter från oxidationsreaktioner skapats i den avancerade reningen, gjordes tre olika ekotoxikologiska tester. Under alla fyra veckor vid det långa försöket analyserades Microtox, akut toxicitet som hämning av ljusemission hos marina bakterien *Vibrio fischeri*, in och ut från UV/H₂O₂-piloten. Vecka 2 och Vecka 4 analyserades även akut toxicitet mot grönalg (tillväxthämning) och kräftdjur (rörelsehämning).

Klassificeringen av den akuta toxiciteten följer rekommendationen i Naturvårdsverkets handbok "Kemisk och biologisk karakterisering av punktutsläpp till vatten, 2013:3" där EC₅₀ > 100 % är försumbar, 70 % < EC₅₀ < 100 % är lågttoxiskt, 20–70 % kan anses vara medeltoxiskt och EC₅₀ < 20 % anses starkt toxiskt. Tabell 1 visar resultaten såsom bedömda enligt handboken.

Tabell 1. In- och utgående vattens ekotoxikologiska effekt på bakterie (Microtox), grönalg och kräftdjur under långa försöket med UV och väteperoxid.

Samplingsprov	UV / H ₂ O ₂ J/m ² / mg/l	Tillväxthämning grönalg (% v/v)	Rörelsehämning kräftdjur (% v/v)	Microtox (% v/v)
In Vecka 1	7 500 / 20	Ej inlämnat för analys		Försumbar (>100)
Ut Vecka 1	7 500 / 20			Försumbar (>100)
In Vecka 2	7 500 / 20	Låg/Försumbar (>90)	Låg/Försumbar (>90)	Försumbar (>100)
Ut Vecka 2	7 500 / 20	Låg/Försumbar (>90)	Låg/Försumbar (>90)	Försumbar (>100)
In Vecka 3	12 500 / 40	Ej inlämnat för analys		Försumbar (>100)
Ut Vecka 3	12 500 / 40			Försumbar (>100)
In Vecka 4	12 500 / 40	Låg/Försumbar (>90)	Låg/Försumbar (>90)	Försumbar (>100)
Ut Vecka 4	12 500 / 40	Låg/Försumbar (>90)	Låg/Försumbar (>90)	Försumbar (>100)

Inget av de ekotoxikologiska testerna visade på någon effekt av varken ingående eller utgående vatten från UV/H₂O₂-piloten. Effekten på grönalg och kräftdjur kan inte bedömas lägre än Låg/Försumbar (>90%) eftersom det inte går att testa koncentration 100% då det behövs tillsats av t.ex. näringsämnen för att få likvärdiga utgångsvärdena och därigenom genomföra ett fullt kontrollerat test.

Kostnadsberäkning

Kostnadsberäkning för fullskala är gjord utifrån dos-responsförsöket och reduktion av läkemedelssubstansen oxazepam. För att ta bort minst 70 % av oxazepam då flödet är 3000 m³/h blir totala kostnaden 0,82 SEK/m³ då avskrivningstiden antagits till 10 år. Då används 40 g/m³ väteperoxid eftersom det vid rådande antaganden ger den lägsta totalkostnaden. Vid ett lägre elpris kan 20 g/m³ eller annan lägre dos av väteperoxid tillsammans med högre UV-dos ge den lägsta totalkostnaden.

SLUTSATSER

UV/H₂O₂ i pilot med Advanox™ reaktor i full skala visade mycket god effekt på läkemedelsreduktion, över 95% reduktion av summan av läkemedel och minst 80% reduktion av varje enskilt läkemedel kunde uppnås. Den svårnedbrytbara läkemedelssubstansen oxazepam kunde reduceras med 97%. Ett tydligt dos-responssamband kunde ses.

Läkemedel och antibiotika som analyserats utöver standardpaketet under långa försöket hade också en reduktionsgrad upp till 95%.

För övriga mikroföroreningar kunde följande effekter noteras:

- Hormonet estron (E1) reducerades med 65%.
- Av de 11 substanserna i PFAS-11 kunde endast 6:FTS reduceras upp till 57%.
- Bisfenol F kunde reduceras upp till 77%. De flesta övriga fenolära föreningar kunde inte analyseras.

De bakterier som normalt analyseras vid ARV eliminerades redan vid lägsta doserna vilket visar att det finns god potential att ta bort även antibiotikaresistenta bakterier med tekniken.

Inga potentiellt toxiska biprodukter kunde påvisas, varken bromat eller de som kan visas genom effekt på bakterie (Microtox), grönalga eller kräftdjur.

Försöken visade att det är viktigt att även det katalytiska filtret är dimensionerat för aktuellt flöde för att säkerställa en tillräcklig borttagning av restväteperoxid.

God överensstämmelse mellan laboratorie- och fullskaleförsök erhöles vid jämförelse av reduktionsgraden för summan av samtliga analyserade läkemedel före och efter UV/H₂O₂ behandling.

REFERENSER

1. Baresel, C., Harding, M., Junestedt, C. 2019. Removal of pharmaceutical residues from municipal wastewater using UV/H₂O₂. IVL Swedish Environmental Research Institute, report B2354.
2. Naturvårdsverket 2019. Rekommenderade ämnen för analys.
<http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Bidrag/Lakemedelsrening-2019/Rekommenderade-amnen-for-analys/> (Hämtad 2019-05-16).

APPENDIX 1 – LÄKEMEDELSANALYSER TABELLER

Tabell 2. Koncentration läkemedelssubstanter i utgående avloppsvatten från Sundet ARV före och efter UV/H₂O₂-behandling. Dos-responsförsöket utfördes 6 augusti 2019. Analyser gjorda av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB. Tabellen är på engelska.

Substance	Therapeutic effect	5 000		7 500		10 000		12 500		5 000		7 500		10 000		12 500		LOD ng/L	LOQ ng/L
		in ng/L	out ng/L	in ng/L	out ng/L	in ng/L	out ng/L	in ng/L	out ng/L	in ng/L	out ng/L	in ng/L	out ng/L	in ng/L	out ng/L	in ng/L	out ng/L		
Amlodipine	Antihypertensive	52	*	60	*	42	*	50	**	44	**	68	*	99	*	57	*	1.2	4
Atenolol	Antihypertensive	470	210	460	150	450	110	450	83	460	130	470	78	560	50	510	28	12	39
Bisoprolol	Antihypertensive	77	29	76	20	71	16	71	12	74	18	81	10	76	7.3	79	4.9	0.94	3.1
Caffeine	Stimulant	310	210	280	160	250	120	260	110	260	110	260	85	250	66	290	39	1	3.5
Carbamazepine	Sedative	430	160	420	110	410	79	410	51	410	87	420	44	450	23	470	**	0.61	2
Ciprofloxacin	Antibiotic	430	110	410	89	400	98	450	90	460	83	490	88	490	79	490	78	1.8	6.1
Citalopram	Antidepressant	740	40	720	17	750	7.9	890	5.2	900	30	980	13	1000	4.4	1000	**	0.12	0.41
Clarithromycin	Antibiotic																		
Diclofenac	Anti-inflammatory																		
Erythromycin	Antibiotic																		
Fluconazole	Antifungal med.																		
Fluoxetine	Antidepressant	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	1.5	4.9
Furosemide	Diuretic	490	**	520	**	480	**	1200	42	1300	**	1600	**	1300	**	1600	**	0.37	1.2
Hydrochlorothiazide	Antihypertensive	1100	420	1100	290	1100	230	1300	210	1300	370	1500	240	1500	150	1500	71	0.11	0.35
Ibuprofen	Anti-inflammatory	27	8.7	25	5.4	20	3.5	26	**	26	9.2	36	3.5	35	6	50	**	5.8	19
Ketoconazole	Antifungal med.	**	**	**	**	**	**	37	**	48	**	110	**	95	**	120	**	3.1	10
Ketoprofen	Anti-inflammatory																		
Losartan	Antihypertensive	1900	820	1900	550	1800	440	1900	340	1900	500	2000	300	1900	200	2000	130	0.85	2.8
Metoprolol	Antihypertensive	81	22	69	15	65	11	74	9.5	100	14	110	10	130	9.1	160	2.3	0.098	0.33
Naproxen	Anti-inflammatory	5500	2400	5200	1500	5300	1200	5300	850	5400	830	5400	830	5700	470	6100	180	2.5	8.3
Oxazepam	Sedative	26	11	22	10	22	9.3	26	12	26	6.8	25	10	26	5.7	26	4.6	0.34	1.1
Paracetamol	Analgesic	160	33	150	32	150	36	170	30	160	16	190	22	190	20	190	22	5.1	17
Propranolol	Antihypertensive	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	1.3	4.4
Ramipril	Antihypertensive	59	*	53	0.98	56	**	100	2.9	79	**	70	**	120	**	130	0.65	0.1	0.34
Risperidone	Antipsychotic	**	**	**	**	**	*	**	*	**	*	0.81	*	**	**	**	**	0.098	0.33
Sulfamethoxazole	Antibiotic																		
Sertraline	Antidepressant	150	50	120	33	130	44	160	36	140	32	170	38	180	23	160	29	0.21	0.7
Simvastatin	Lipid-regulating	1.8	*	2.3	*	2.7	*	2.4	*	2	*	2.1	*	2.2	*	2.5	*	0.061	0.2
Terbutaline	Asthma med.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0.51	1.7
Tramadol	Opioid pain med.																		
Trimethoprim	Antibiotic																		
Venlafaxine	Antidepressant																		
Warfarin	Anticoagulant	9.8	4.2	11	3.3	9.3	2.3	9.3	1.6	9.8	2.6	8.9	1.6	9.4	0.85	9.3	**	0.21	0.71
Zolpidem	Insomnia med.																		

*Not detectable (LOD, S/N=3). **Not quantifiable (LOQ, S/N=10).

Author

Nouryon: Pia Hellström, Magnus Paulsson, Karin Walter
Van Remmen UV Technology: Clara Thege

No. of Appendices

1

Page

12 (24)

Tabell 3. Koncentration läkemedelssubstanser i utgående avloppsvatten från Sundet ARV före och efter UV/H₂O₂-behandling. Långa försöket utfördes 8 augusti – 5 september 2019, vecka 1–4 och här visas resultat från vecka 1 och 2. Analyser gjorda av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB. Tabellen är på engelska.

Substance	7500 20												
	Standard pharma package						Extended pharma package						
	Week 1		Week 2		Week 1+ Week 2 in		Week 2 out		Week 2 in		Week 2 out		
in ng/L	out ng/L	in ng/L	out ng/L	LOD ng/L	LOQ ng/L	LOD ng/L	LOQ ng/L	LOD ng/L	LOQ ng/L	in ng/L	out ng/L	LOD ng/L	LOQ ng/L
Amlodipine	450	160	370	180	200	600	1.2	39	4	480	190	0.4	1.2
Atenolol	81	25	76	24	1	3	0.94	3.1					
Bisoprolol	*	**	**	240	80	240	1	3.5					
Caffeine	460	**	330	130	50	150	0.61	2					
Carbamazepine													
Ciprofloxacin	430	100	420	110	4	12	1.8	6.1					
Citalopram													
Clarithromycine	1100	33	880	48	6	18	0.12	0.41					
Diclofenac													
Erythromycin													
Fluconazole													
Fluoxetine	20	*	20	**	6	18	1.5	4.9					
Furosemide	1700	360	1600	400	7	21	0.37	1.2					
Hydrochlorothiazide	1700	600	1400	500	2	6	0.11	0.35					
Ibuprofen	36	**	81	37	8	24	5.8	19					
Ketoconazole													
Ketoprofen	130	*	130	*	20	60	3.1	10					
Losartan													
Metoprolol	2000	620	1600	630	4	12	0.85	2.8					
Naproxen	140	43	120	35	5	15	0.098	0.33					
Oxazepam	6200	2100	4700	1800	90	270	2.5	8.3					
Paracetamol	*	*	*	14	5	15	0.34	1.1					
Propranolol	150	34	130	42	1	3	5.1	17					
Ramipril	*	*	*	**	20	60	1.3	4.4					
Ranitidine	110	6.5	110	9.6	1	3	0.1	0.34					
Risperidone	*	*	*	**	2	6	0.098	0.33					
Sulfamethoxazole													
Sertraline	180	31	160	41	3	9	0.21	0.7					
Simvastatin	*	*	*	*	40	120	0.061	0.2					
Terbutaline	*	*	*	*	10	30	0.51	1.7					
Tramadol													
Trimethoprim													
Venlafaxine													
Warfarin	19	7.9	13	5.1	1	3	0.21	0.71					
Zolpidem													

*Not detectable (LOD, S/N=3). **Not quantifiable (LOQ, S/N=10).

Tabell 4. Koncentration läkemedelssubstanser i utgående avloppsvatten från Sundet ARV före och efter UV/H₂O₂-behandling. Långa försöket utfördes 8 augusti - 5 september 2019, vecka 1-4 och här visas resultat från vecka 3 och 4. Analyser gjorda av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB. Tabellen är på engelska.

Substance	12 500 40											
	Standard pharma package						Extended pharma package					
	Week 3			Week 4			Week 4			Week 4		
in ng/L	out ng/L	LOD n/L	LOQ ng/L	in ng/L	out ng/L	LOD ng/L	LOQ ng/L	in ng/L	out ng/L	LOD ng/L	LOQ ng/L	
Amlodipine	**	*	14	45	*	*	120	400	73	0.4	1.2	
Atenolol	550	52	1	4	410	2	6	5.8	0.72	0.9	3.1	
Bisoprolol	100	6.5	1	3	79	1	3	290	35	0.8	2.5	
Caffeine	**	**	50	165	270	**	180	31	11	0.1	0.2	
Carbamazepine	520	**	25	83	560	**	75	490	63	2.6	8.8	
Ciprofloxacin	480	51	2	6	430	4	12	5.8	0.72	0.9	3.1	
Citalopram	1100	**	6	18	1300	2	6	290	35	0.8	2.5	
Clarithromycine								31	11	0.1	0.2	
Diclofenac								1200	16	0.4	1.3	
Erythromycin								94	24	0.1	0.3	
Fluconazole								100	34	1.3	4.5	
Fluoxetine	21	**	1	3	14	2	6	970	58	1.5	5.1	
Furosemide	1800	55	5	15	2100	10	30	260	49	1.5	5.2	
Hydrochlorothiazide	1700	160	5	17	2000	10	30	8.1	0.15	0.7	2.4	
Ibuprofen	100	*	11	34	280	15	45					
Ketoconazole	200	*	1	3	440	6	18					
Ketoprofen												
Losartan												
Metoprolol	2400	170	4	14	2000	2	6	3200	300	16	52	
Naproxen	110	*	9	29	110	5	15	1800	250	0.3	1.1	
Oxazepam	5200	430	36	120	8500	60	180	82	9.3	0.4	1.2	
Paracetamol	3.3	*	1	3	**	20	60	5400	900	5.9	20	
Propranolol	160	7.3	1	3	200	1	3	21	4.1	2.8	9.4	
Ramipril	*	*	2	7	*	2	9	120	11	0.3	1.1	
Ranitidine	230	**	1	3	150	1	3					
Risperidone	*	*	1	4	*	1	3					
Sulfamethoxazole												
Sertraline	89	**	3	9	54	1	3	130	6.7	0.6	2.1	
Simvastatin	*	*	2	6	*	5.9	180	24	5.5	0.4	1.2	
Terbutaline	**	*	1	3	*	*	15					
Tramadol												
Trimethoprim												
Venlafaxine								910	120	2	6.7	
Warfarin	14	*	1	3	13	1	3	55	8	0.1	0.5	
Zolpidem								890	100	0.7	2.5	
								4.3	0.2	0.1	0.5	

*Not detectable (LOD, S/N=3). **Not quantifiable (LOQ, S/N=10).

Tabell 5. Koncentration hormoner i utgående avloppsvatten från Sundet ARV före och efter UV/H₂O₂-behandling. Långa försöket utfördes 8 augusti – 5 september 2019, vecka 1-4 och här visas resultat från **vecka 2. Analyser gjorda av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB. Tabellen är på engelska.**

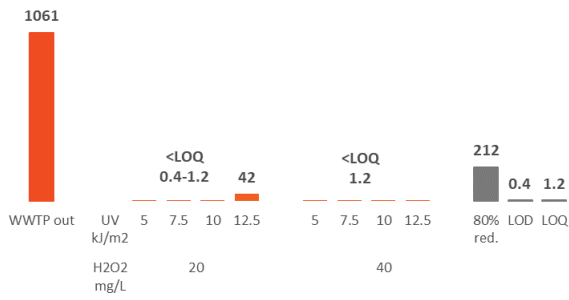
Hormones	UV dose (J/m ²):	
	7500	
	H ₂ O ₂ (mg/L):	
Substance	20	
	Week 2	
	in ng/L	out ng/L
Estrone (E1)	11	3.9
17β-estradiol (E2)	<1	<1
17α-ethinyl estradiol (EE2)	<1	<1

APPENDIX 2 – LÄKEMEDELSANALYSER GRAFER

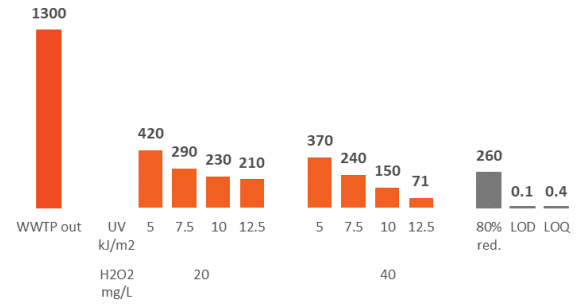
Stapeldiagram visar koncentration läkemedelssubstanser under dos-responsförsöket. Utgående vatten från Sundet ARV, dvs. inkommande vatten till UV/H₂O₂-behandling visas som ett medelvärde av åtta stickprover och 80 % reduktion är beräknat från detta medelvärde. Där analysmetoden nått detektions- eller kvantifieringsgränsvärden (LOD eller LOQ) visas värdena som < värden men stapeln visas upp till LOD- eller LOQ-värdet. Grafer för fluoxetin, ramipril och tertbutalina vissas inte då halten för dessa i utgående vatten från ARV är < LOD/LOQ. Graferna är på engelska.



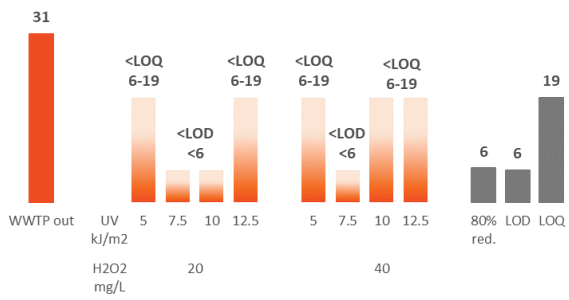
Furosemide



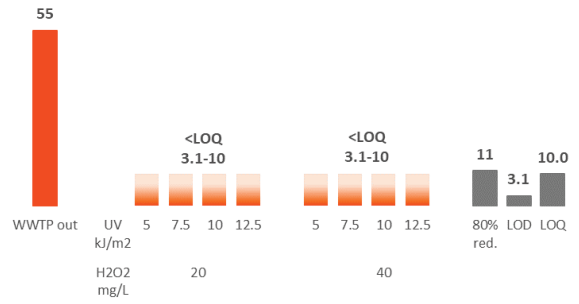
Hydrochlorothiazide



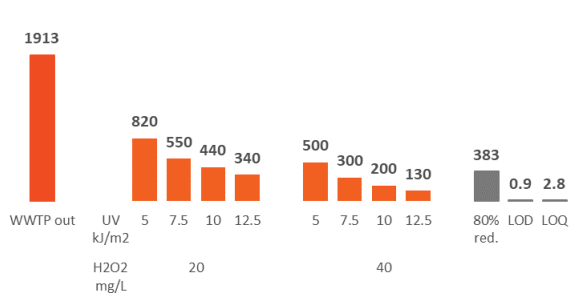
Ibuprofen



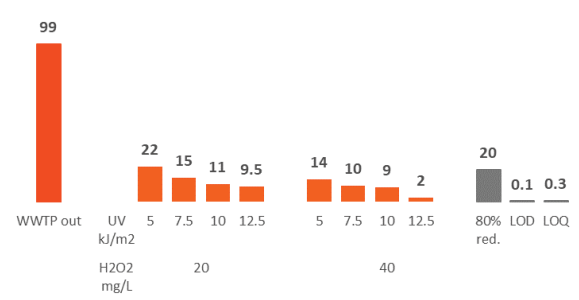
Ketoprofen



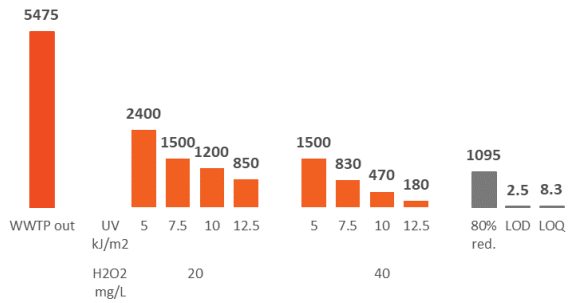
Metoprolol



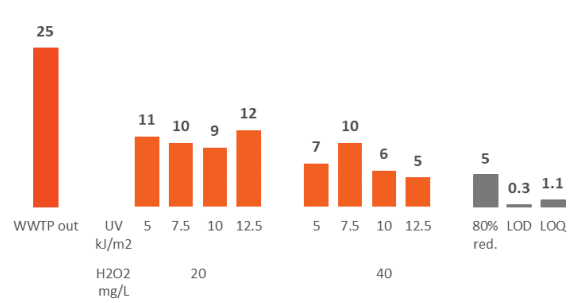
Naproxen



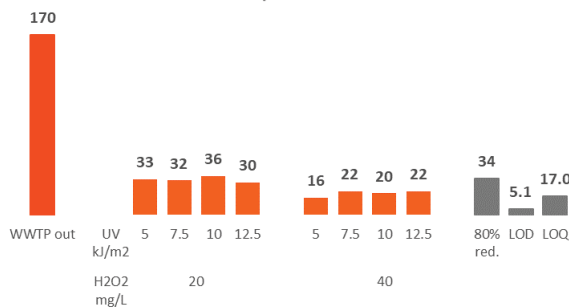
Oxazepam



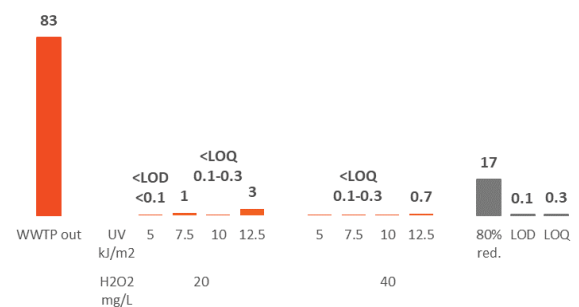
Paracetamol

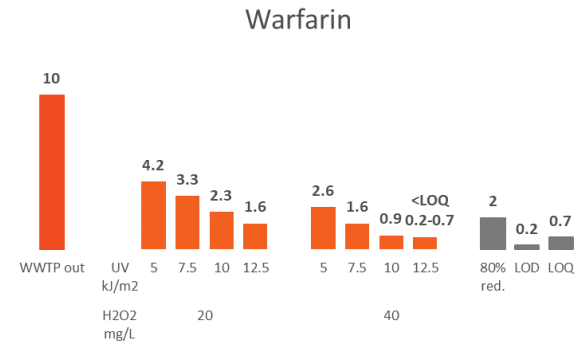
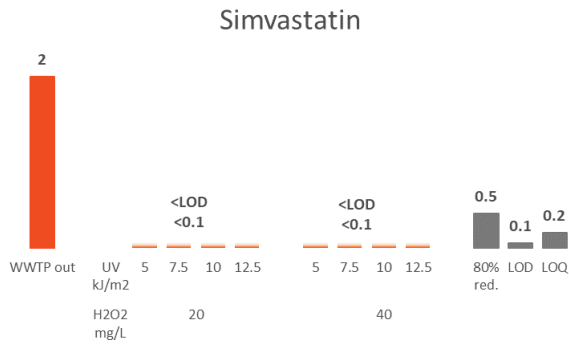
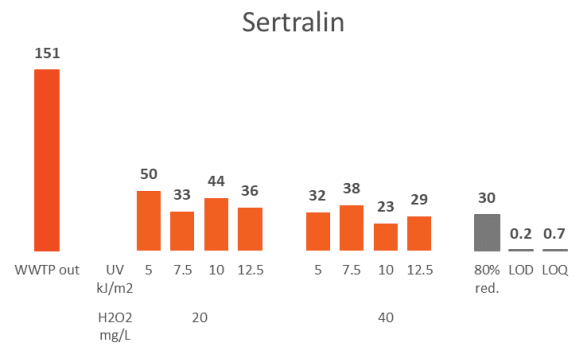
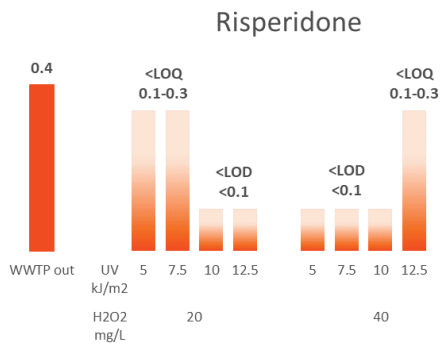


Propranolol



Ranitidine





APPENDIX 3 – RISKKVOTER OCH LOD/LOQ

Tabell 6. Läkemedelssubstanser och deras terapeutiska effekt. **Detektions- och kvantifieringsgränser (LOD- och LOQ-värden)** har angetts som lägsta respektive högsta värde som rapporterats av IVL vid utförda läkemedelsanalyser under försöket. **Målkoncentrationer för riskkvoterna <1 and <0,1 ut från Sundet ARV baseras på data från IVL, Svenska Miljöinstitutet, med en spädfaktor till recipient på 2,14. Tabellen är på engelska.**

Substance	Therapeutic effect	LOD** ng/L	LOQ*** ng/L	Target WWTP out for risk ratio < 1 ng/L	Target WWTP out for risk ratio < 0.1 ng/L
Amlodipine	Antihypertensive	1.2-200	4-600	21.4	2.14
Atenolol	Antihypertensive	3-12	9-39	21 400	2 140
Bisoprolol	Antihypertensive	0.94-1	3-3.1	76 184	7 618
Caffeine	Stimulant	1-80	3-240	*	*
Carbamazepine	Sedative	0.61-50	2-150	214	21.4
Ciprofloxacin	Antibiotic	0.9	3.1	257	25.7
Citalopram	Antidepressant	1.8-4	6.1-12	2 247	225
Clarithromycin	Antibiotic	0.1	0.2	556.40	55.6
Diclofenac	Anti-inflammatory	0.1-6	0.41-18	107	10.7
Erythromycin	Antibiotic	0.1	0.3	220	22.0
Fluconazole	Antifungal med.	1.3	4.5	*	*
Fluoxetine	Antidepressant	1.5-6	4.9-18	6.21	0.62
Furosemide	Diuretic	0.37-10	1.2-30	3 039	304
Hydrochlorothiazide	Antihypertensive	0.11-2	0.35-6	2 140 000	214 000
Ibuprofen	Anti-inflammatory	5.8-15	19-45	2 1400	214
Ketoconazole	Antifungal med.	0.7	2.4	*	*
Ketoprofen	Anti-inflammatory	3.1-20	10-60	2 227	223
Losartan	Antihypertensive	16	52	*	*
Metoprolol	Antihypertensive	0.85-4	2.8-14	5 542	554
Naproxen	Anti-inflammatory	0.098-9	0.33-29	1 369	137
Oxazepam	Sedative	2.5-90	8.3-270	21.4	2.14
Paracetamol	Analgesic	0.34-20	1.1-60	642	64.2
Propranolol	Antihypertensive	1-5.1	3-17	21.4	2.14
Ramipril	Antihypertensive	1.3-20	4.4-60	214 000	21 400
Ranitidine	Antiacid	0.1-1	0.34-3	13 268	1 326
Risperidone	Antipsychotic	0.098-2	0.33-6	12 412	1 241
Sulfamethoxazole	Antibiotic	0.6	2.1	1 262	126
Sertraline	Antidepressant	0.21-3	0.7-9	385.2	38.52
Simvastatin	Lipid-regulating	0.061-60	0.2-180	428	42.8
Terbutaline	Asthma med.	0.51-10	1.7-30	513	51.3
Tramadol	Opioid pain med.	2	6.7	*	*
Trimethoprim	Antibiotic	0.1	0.5	13268	1327
Venlafaxine	Antidepressant	0.7	2.5	*	*
Warfarin	Anticoagulant	0.21-1	0.71-3	23 540	2 354
Zolpidem	Insomnia med.	0.1	0.5	*	*

* No data **Limit Of Detection ***Limit Of Quantification

Author

Nouryon: Pia Hellström, Magnus Paulsson, Karin Walter
Van Remmen UV Technology: Clara Thege

No. of Appendices

1

Page

19 (24)

APPENDIX 4 – PFAS-11 OCH FENOLÄRA FÖRENINGAR

Tabell 7. **Koncentration PFAS-11** i utgående avloppsvatten från Sundet ARV före och efter UV/H₂O₂-behandling. Långa försöket utfördes 8 augusti – 5 september 2019, vecka 1-4 och här visas resultat från **vecka 2 och 4**. Analyser gjorda av IVL, Svenska Miljöinstitutet. Tabellen är på engelska.

		7500		12500		LOD ng/L
		20		40		
		Week 2		Week 4		
Substance		in ng/L	out ng/L	in ng/L	out ng/L	
PFAS-11	PFBA	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	0.7
	PFPeA	2.1	2.9	2	2.7	0.1
	PFPxA	3	4.2	3.8	4.5	0.1
	PFHpA	1.1	1.3	1.4	1.3	0.1
	PFOA	3.3	2.8	3.1	4	0.2
	PFNA	0.29	0.52	0.36	0.81	0.1
	PFDA	0.33	0.35	0.34	0.84	0.1
	PFBS	1.9	2.4	1.8	2.1	0.1
	PFHxS	2.5	2.2	2.3	2.8	0.1
	PFOS	2.8	3.2	3.8	7.4	0.1
	6: FTS		14	6	12	8.2

Tabell 8. **Koncentration fenolära föreningar** i utgående avloppsvatten från Sundet ARV före och efter UV/H₂O₂-behandling. Långa försöket utfördes 8 augusti – 5 september 2019, vecka 1-4 och här visas resultat från **vecka 2 och 3**. Analyser gjorda av IVL, Svenska Miljöinstitutet. Tabellen är på engelska.

		7500		12500		LOD ng/L
		20		40		
		Week 2		Week 3		
Substance		in ng/	out ng/L	in ng/L	out ng/L	
Phenolic substances	Bisphenol A	*	*	66	*	40
	Bisphenol F	28	13	30	7	1
	4-iso-nonyl phenol	*	*	*	*	25
	Sum of nonylphenols	*	*	*	*	50
	4-tertiary-octylphenol	*	*	***	***	4
	Sum of octylphenols	*	*	***	***	40

*Not detectable (LOD, S/N=3). ***To high background concentrations derived from solvents used in the analysis. Results are therefore not presented.

APPENDIX 5 – ÖVRIGA ANALYSER

Tabell 9. **Koncentration metaller och karbonat** i utgående avloppsvatten från Sundet ARV före och efter UV/H₂O₂-behandling. Resultat från dos-responsförsök samt långa försöket. Analyser gjorda av Nouryon. Tabellen är på engelska.

Analytes	Unit	Dose response				Long trial 12500 40	Report limit
		7500 20		12500 40			
UV dose (J/m ²):	H ₂ O ₂ (mg/L):	in	out	in	out	out	
Al	mg/L	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5
As	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.005
B	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
Ba	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.002
Ca	mg/L	18	19	19	20	20	0.3
Cd	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02
Co	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02
Cr	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
Cu	mg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.03
Fe	mg/L	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.2
K	mg/L	20	20	21	21	20	10
Mg	mg/L	6.4	6.6	6.4	6.8	6.6	0.05
Mn	mg/L	0.13	5.0	0.11	7.1	6.3	0.02
Mo	mg/L	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.2
Na	mg/L	73	73	73	73	72	50
Ni	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05
P	mg/L	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5
Pb	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
S	mg/L	12	12	12	12	12	0.5
Si	mg/L	7	7	7	7	8	1
Sn	mg/L	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.2
Sr	mg/L	0.07	0.13	0.07	0.15	0.15	0.02
Ti	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02
V	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05
Zn	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
CO ₃	mg/L			100			5

Tabell 10. Övriga analyser, förutom läkemedel och andra mikroföreningar, utförda under dos-responsförsöket 6 augusti 2019. Analyser gjorda av Växjö kommuns VA-lab, Eurofins Water Testing samt Nouryon. Tabellen är på engelska.

Analysis	5000 20		7500 20		10000 20		12500 20		5000 40		7500 40		10000 40		12500 40		
	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	
UV dose (J/m ²):																	
H ₂ O ₂ (mg/L):																	
H ₂ O ₂	19.0	1.5	18.2	0.8	15.2	0.3	20.0	0.2	38.1	3.5	38.8	1.4	42.6	0.7	42.7	0.4	
UVT	58.7	64.4	59.1	66.6	58.8	68.1	59.2	69.9	59.5	66.2	58.2	68.9	57.4	79.6	57.8	74.5	
pH	7.03	7.16	7.04	7.34	7.01	7.29	7.01	7.29	7.04	7.33	6.98	7.17	7.05	7.25	7.02	7.27	
DO	3	4.2	2.8	4.1	2.8	4.3	2.8	4.3	2.6	4.5	2.6	6.0	2.6	5.7	2.8	5.5	
NH ₄ N	8.0	7.9	7.5	7.5	7.3	7.3	7.0	7.0	7.3	7.4	7.8	7.7	8.5	8.2	8.9	8.9	
BOD	<3	<3					<3	4	<3	<3					<3	4	
TOC	12	10	13	10	11	10	10	9.7	11	9.9	11	10	11	10	11	9.3	
DOC	11	10	11	9.8	11	10	11	9.4	11	10	11	10	11	10	10	9.8	
UVABS	0.229	0.191	0.226	0.176	0.229	0.168	0.231	0.16	0.236	0.18	0.243	0.168	0.247	0.156	0.242	0.139	
NO ₂ N	0.015	0.018	0.013	0.020	0.013	0.023	0.012	0.026	0.016	0.017	0.016	0.020	0.017	0.023	0.014	0.021	
NO ₃ N	4.9	5.3	5.2	5.7	5.6	5.8	6.6	6.3	7.1	7.5	7.7	8.0	7.2	8.8	6.8	7.2	
Kolif MPN/100ml	7300	42									6900	47					
E.coli MPN/100ml	1100	<1									1100	<1					
IE CFU/100ml	240	<1									91	<1					
Bromate	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	

Tabell 11. Övriga analyser, förutom läkemedel och andra mikroföroreningar, utförda under långa försöket 8 augusti – 5 september 2019. Analyser gjorda av Växjö kommuns VA-lab och Nouryon. Tabellen är på engelska.

Analysis	UV dose (J/m ²):		7500						12500					
	H ₂ O ₂ (mg/L):		Week 1		Week 2		Average		Week 3		Week 4		Average	
	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out
H ₂ O ₂	19.2	1.7	21.8	2.5	20.5	2.1	39.3	2.1	41.6	3.1	40.4	2.6		
UVT	61.3		63.2		62.3		56.9		53.3		55.1			
NH ₄ N	5.8	5.9	4.9	4.7	5.4	5.3	5.4	5.1	7.3	5.3	6.4	5.2		
BOD	<3	5	<3	<3			<3	<3	<3	<3	<3	<3		
TOC	9.7	8.8	11	10	10.4	9.4	11	10	12	12	11.5	11		
DOC	9.9	9.7	9.9	9.7	9.9	9.4	10	9.0	9.0	11	9.5	10		
UVABS	0.228	0.179	0.232	0.181	0.230	0.180	0.244	0.152	0.271	0.185	0.258	0.169		
NO ₂ N	0.053	0.14	0.019	0.15	0.036	0.145	0.024	0.6	0.019	2.5	0.022	1.55		
NO ₃ N			12	12		12	12	12	11	11	11.5	11.5		
Kolif MPN/100ml	3900	730	7700	610	5800	670	36000	43	140000	440	88000	242		
E.coli MPN/100ml	820	1	2100	<1	1460		9600	<1	16000	<1	12800	<1		
IE CFU/100ml	73	<1	170	<1	121		440	<1	1400	<1	570	<1		

APPENDIX 6 – KOSTNADSBERÄKNING FÖR FULLSKALA

Grundantaganden

Kostnadsberäkning utfördes för flödena 800 m³/h, 1500 m³/h och 3000 m³/h och baserades på reduktion av läkemedelssubstansen oxazepam. Transmittansen antogs vara 60 % baserat på mätningarna som gjordes under pilotförsöken 8 aug – 5 sep 2019. Dos-responsförsöken användes för att beräkna vilka doseringsinställningar som behövs för att reducera 70 %, 80 %, 90 % eller 100 % oxazepam, där den sistnämnda blir ett extrapolerat värde som inte heller är helt möjlig att analysera pga detektionsnivå. Kostnader baseras på de uträknade UV-C doserna tillsammans med 20 eller 40 g/m³ väteperoxid och beräknades i EUR som sedan omvandlades till SEK med faktorn 10,84.

Installationskostnader (CAPEX)

Installationskostnader består av kostnaden för Advanox reaktorer samt en uppskattning av kostnader för katalysbäddar, mjukvara, rör, pumpar, CFD, PLC, byggnad, support och idrifttagande. Avskrivningstid har antagits vara 10 år. Ränta är inte inkluderad.

Driftskostnader (OPEX)

Operationskostnader eller löpande kostnader innefattar utbyte av delar (lampor, kvartsrör, kablar, ballast, osv) samt förbrukning av elenergi, väteperoxid, och citronsyra (för rengöring). Priser som använts i kostnadsanalysen är 0,075 €/kWh, 0,7 €/kg väteperoxid (räknat som 100 %-ig) och 2500 €/m³ citronsyra. Energiåtgång är beräknad efter reaktorkapacitet. På grund av den relativt höga transmittansen antas cleaning in place (CIP) behövas en gång i månaden med 25 liter citronsyra per reaktor.

Kostnadsanalys vid 20 g/m³ väteperoxid

		Oxazepam reduktion			
		70 %	80 %	90 %	100 %*
UV-C dos	J/m ²	7 200	10 200	14 400	20 300
Flöde 800 m³/h					
CAPEX	SEK/m ³	0,26	0,34	0,45	0,61
OPEX	SEK/m ³	0,83	1,12	1,48	2,05
Total	SEK/m ³	1,09	1,46	1,93	2,66
Flöde 1500 m³/h					
CAPEX	SEK/m ³	0,23	0,31	0,42	0,59
OPEX	SEK/m ³	0,82	1,10	1,48	2,03
Total	SEK/m ³	1,05	1,41	1,90	2,62
Flöde 3000 m³/h					
CAPEX	SEK/m ³	0,23	0,31	0,42	0,59
OPEX	SEK/m ³	0,82	1,10	1,48	2,03
Total	SEK/m ³	1,05	1,41	1,90	2,62

*Extrapolerat värde

Kostnadsanalys vid 40 g/m³ väteperoxid

		Oxazepam reduktion			
		70 %	80 %	90 %	100 %*
UV-C dos	J/m ²	4 200	6 300	9 300	13 900
Flöde 800 m³/h					
CAPEX	SEK/m ³	0,17	0,23	0,31	0,43
OPEX	SEK/m ³	0,70	0,88	1,17	1,58
Total	SEK/m ³	0,87	1,11	1,48	2,01
Flöde 1500 m³/h					
CAPEX	SEK/m ³	0,15	0,20	0,28	0,42
OPEX	SEK/m ³	0,70	0,89	1,17	1,59
Total	SEK/m ³	0,85	1,09	1,45	2,01
Flöde 3000 m³/h					
CAPEX	SEK/m ³	0,13	0,19	0,26	0,39
OPEX	SEK/m ³	0,69	0,89	1,17	1,59
Total	SEK/m ³	0,82	1,08	1,43	1,98

*Extrapolerat värde

7.14 RAPPORT ANOXKALDNES



ANOXKALDNES

AnoxServices
Report

Activity test for potential reduction of Micropollutants in Activated Sludge and Hybas™ respectively

My Carlsson, Lund 2019-06-26

Client

Sundets Avloppsreningsverk
Att: Anneli Andersson Chan

Our Contact

My Carlsson
Avdelningschef AnoxServices, AnoxKaldnes
Veolia Water Technologies AB
Tel: 046-18 21 55
E-mail: my.carlsson@anoxkaldnes.com

Technical Performance

Pia Welander
Elena Torresi

Index

Introduction	3
Materials and Methods	3
Micropollutant batch test	3
Sampling and sample preparation	3
Results and Discussion	7
Micropollutants degradation profile	7
Biodegradation rate constants	11
Conclusion/discussion	11
References	12

1. Introduction

This report presents the results of batchwise activity testing of biomass from Sundets Wastewater Treatment Plant in Växjö. The objective of the test was to compare the potential reduction of micropollutants in an activated sludge process (AS) to the potential reduction in a combined activated sludge and biofilm process (Hybas™).

2. Materials and Methods

2.1. Micropollutant batch test

Activated sludge and Anox K™5 carriers were taken out from Hybas™ train 5 at Sundet WWTP on the 6th of June 2019 and transported to AnoxKaldnes laboratory in Lund. The activated sludge was left to settle, the supernatant was decanted and the volumes were noted. Two batch tests were run in parallel: 1) using only the activated sludge from Hybas™ train 5 (AS batch experiment) and 2) using both activated sludge Hybas™ train 5 and carriers from the same line (HYBAS experiment). Both batch experiments were done by using the same initial synthetic feed composition (2 mg/L of NH₄-N and trace compounds) which was mixed with the thickened activated sludge (in the same ratio as the decanted clear phase) in both cases and with carriers with a volumetric filling degree of 54% in the HYBAS case. Initial biomass concentration (TSS) of AS experiment was 3.5 g/L while for HYBAS it was 10.5 g/L (including biomass from both AS and biofilm).

For both batch experiments, reference substances (dissolved in methanol in a stock solution of 100 mg L⁻¹) were first spiked into a glass beaker and the methanol was let evaporate. Subsequently, the substances were re-dissolved in the synthetic wastewater and used for the batch experiments. Reference substances were spiked to an initial concentration between 3- 20 µg L⁻¹ (see Table 1). Micropollutants biodegradation was monitored under aerobic conditions (DO > 6 mg/L) over 24 h (11 samples for each batch). pH was around 7.5 while temperature was kept constant at 19° C.

2.2. Sampling and sample preparation

In batch experiments, at each sampling time, 5 mL of sample was taken by plastic syringe and transferred to a glass centrifuge tube (DURAN®, VWR). 1.3 mL of acetonitrile was immediately added into the sample to stop further bioactivity. All samples were preserved at -20 °C in a freezer until analyses. Before analysis by HPLC-MS/MS, the samples were taken from the freezer and left to reach room temperature following with 10 mins of centrifuging the samples under 3000 rpm at 20 °C. For analysis, 900 µL of supernatant from each of the centrifuged samples was transferred into a HPLC vial and 100 µL of internal standards was afterwards added into the HPLC vial. Lastly, 10 µL of sample from the HPLC vial was injected and analysed by HPLC-MS/MS.

2.3. Quantification of micropollutants

Micropollutants were quantified by HPLC-MS/MS. The HPLC system consisted of a pump, a column oven, a degasser and an auto-sampler was from Agilent 1290 Infinity, USA. Chromatographic separation was performed using a C18 column (2.1x50 mm, 1.8 µm, Eclipse Agilent, USA). The temperature of HPLC column oven was 35 °C and the constant flow rate was 0.6 mL/min. The HPLC gradient was formed by changing the mix ratio of Milli-Q water including 0.1% ammonium formate (solvent A) and 90% acetonitrile/10% Milli-Q water including 0.1%

ammonium formate (solvent B). The mass spectrometer equipped with the triple quadrupole was from Agilent 6470 series, USA.

Dynamic multiple reaction monitoring (MRM), which is able to automatically separate the transitions of micropollutants into multiple MRM tables according to the retention time window for each transition, was implemented for ESI+ modes. For the analysis under ESI+ mode, the gradient was initiated with 0% B for 2 min, followed by increasing gradient B to 15%, 20%, 36%, 45%, 60%, and 75% after 2 mins, 3 mins, 2 mins, 1 min, 2 mins and 2 mins, respectively. Before next injection, initial gradient conditions were re-established for 3 mins. Nitrogen was used as the sheath gas as well as the collision gas. While for the analysis under ESI- mode, a normal MRM method was implemented. The gradient was initiated with 0% B, followed by a linear increase of gradient B up to 60% within 8 mins. Initial gradient conditions were also re-established for 3 mins.

For both ESI+ and ESI-, the sheath gas flow was 12 L/min with the temperature of 400 °C, while the gas flow was 10 L/min with the temperature of 260 °C. The voltage for the capillary was 4500 V. While the voltage for ESI+ and ESI- was 500 and 0 V respectively.

Table 1. Initial concentrations of the spiked substances in AS and HYBAS experiment respectively.

	Initial spiked concentration($\mu\text{g/l}$)	
	AS	HYBAS
Iohexol	18	16
Atenolol	10	9
5-methy-1h-benzotriazole	9	8
Metoprolol	16	15
5-chlorobenzotriazole	8	7
Venlafaxine	9	8
Ketoprofen	6	6
Citalopram	8	7
Carbamazepine	9	8
Mycophenolic acid	5	4
Diclofenac	11	8
Clarithomycin	20	15
Sertraline	4	3
Bicalutamide	9	8
Clofibric acid	9	8
1H-benzotriazole	8	8
Sulfamethoxazole	8	8

Bezafibrate	6	6
Azithomycin	4	4
Hydrochlorothiazide	9	9
Erythromycin	17	15

2.4. Micropollutants investigated

Table 2 presents basic characteristics about the substances that were investigated in these tests.

Table 2. Substances that were investigated in this study and their basic characteristics.

Antibiotics (incl. Metabolites)	Formula	Type	Limit of Quantification (µg/L)
Azithromycin	$C_{38}H_{72}N_2O_{12}$	Macrolide antibiotic	1
Atenolol	$C_{14}H_{22}N_2O_3$	Beta-blocker	0.1
Bezafibrate	$C_{19}H_{20}ClNO_4$	Fibrate	0.59
Benzotriazole group (1-H-benzotriazole, 5-chlorobenzotriazole, 5-methyl-1h-benzotriazole)	$C_6H_5N_3$ $C_6H_4ClN_3$ $C_7H_7N_3$	Corrosion inhibitors	1-0.36-0.14
Bicalutamide	$C_{18}H_{14}F_4N_2O_4S$	Antiandrogen	0.59
Carbamazepine	$C_{15}H_{12}N_2O$	Anticonvulsant	0.6
Citalopram	$C_{20}H_{21}FN_2O$	Antidepressant	0.69
Clarithromycin	$C_{38}H_{69}NO_{13}$	Macrolide antibiotic	2.08
Clofibric acid	$C_{10}H_{11}ClO_3$	Lipid regulators	3

Diclofenac	$C_{14}H_{11}Cl_2NO_2$	Anti-inflammatory	1
Erythromycin	$C_{37}H_{67}NO_{13}$	Macrolide antibiotic	1
Hydrochlorothiazide	$C_7H_8ClN_3O_4S_2$	Diuretic	1
Iohexol	$C_{19}H_{26}I_3N_3O_9$	X-ray contrast	1
Ketoprofen	$C_{16}H_{14}O_3$	Anti-inflammatory	0.1
Metoprolol	$C_{15}H_{25}NO_3$	Beta-blocker	10
Mycophenolic acid	$C_{17}H_{20}O_6$	Immunosuppressant	0.1
Sertraline	$C_{17}H_{17}Cl_2N$	Antidepressant	0.81
Sulfamethoxazole	$C_{10}H_{11}N_3O_3S$	Antibiotic	0.1
Venlafaxine	$C_{17}H_{27}NO_2$	Antidepressant	0.3

2.5. Biodegradation rate constants estimation

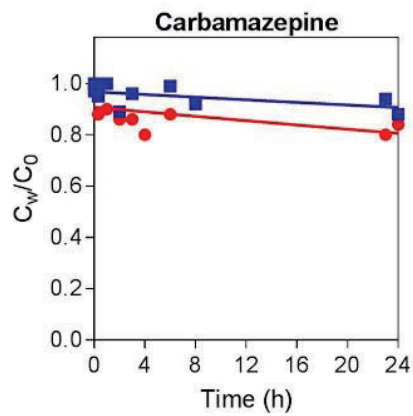
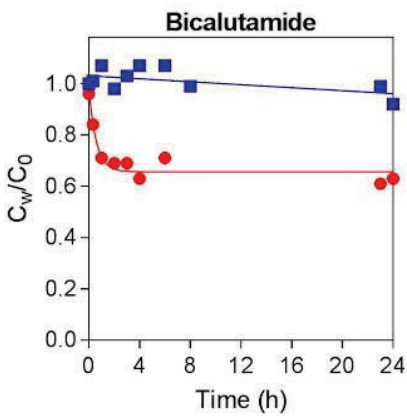
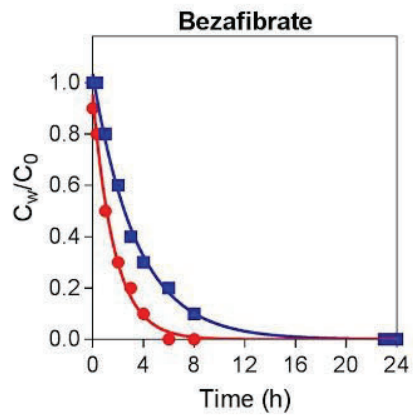
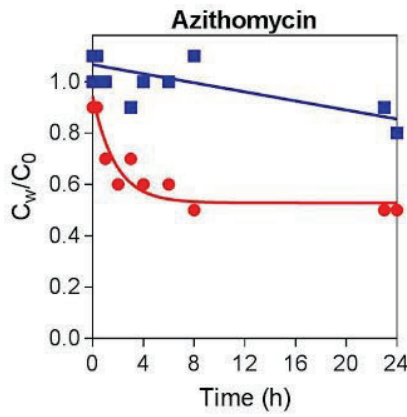
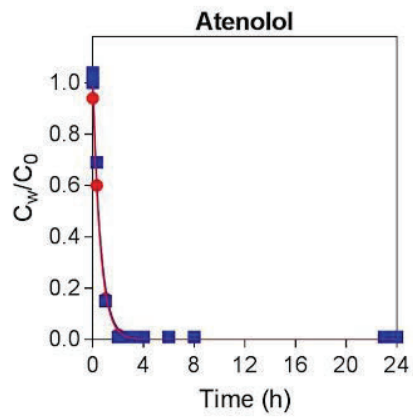
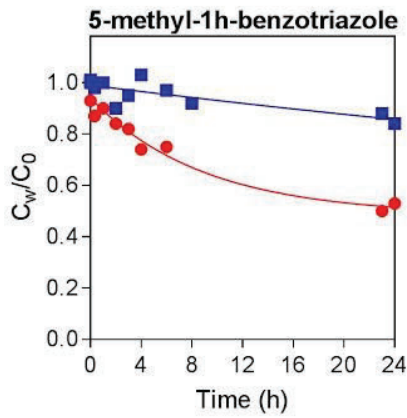
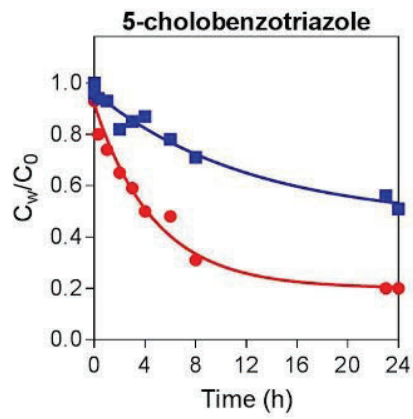
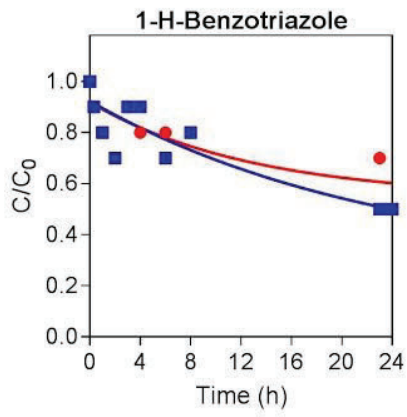
Concentration of the micropollutants measured during batch experiment was normalized on the initial concentration (C_w/C_0), where C_w is the dissolved concentration of the micropollutants in the wastewater and C_0 is the initial spiked concentration (Table 1). Degradation of micropollutants follows a first-order kinetics (Plosz et al., 2012). Degradation rate constants $k(d^{-1})$ were retrieved using Graph pad Prism7.0.

3. Results and Discussion

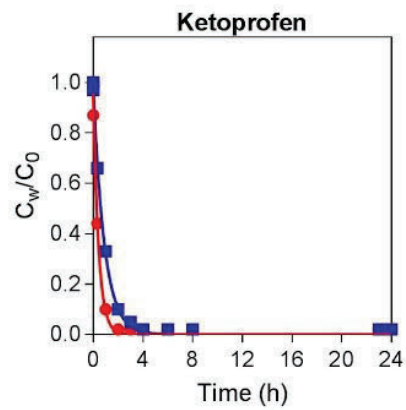
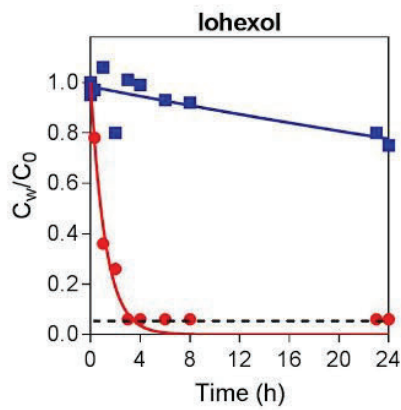
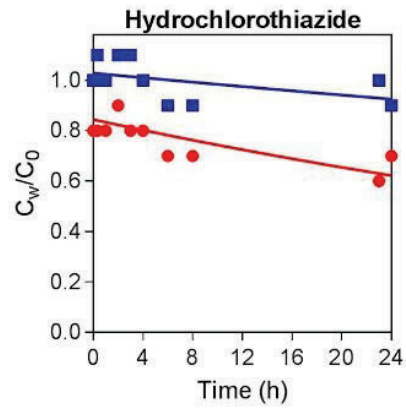
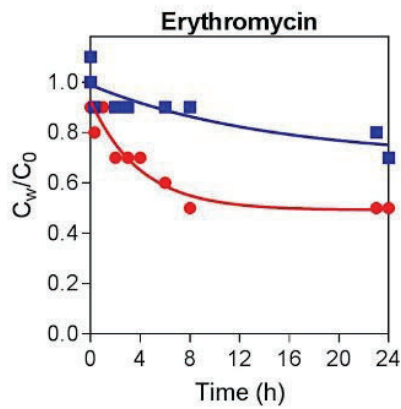
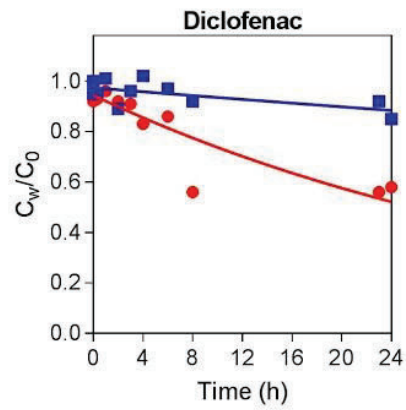
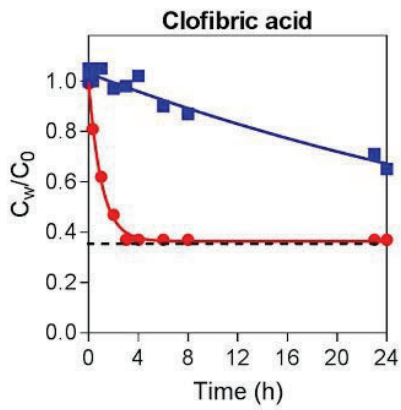
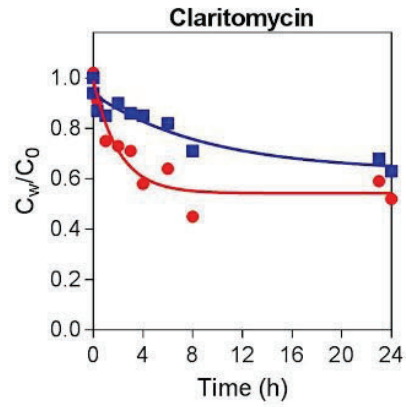
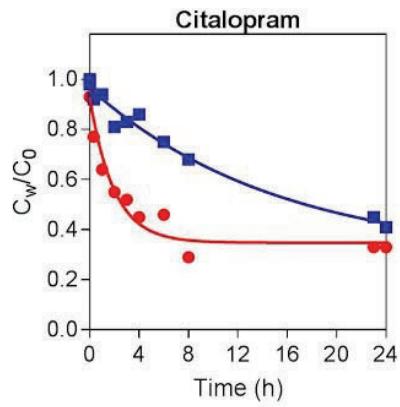
3.1. Micropollutants degradation profile

The results from the batch experiment for micropollutants are presented in the following pages. Symbols in the graphs represent measured concentrations of micropollutants in the water phase during the experiment. Continuous lines represent the modelled concentrations following first order degradation rates. Dotted lines in the graphs indicates limit of quantification. For those compounds, where the last points where under the limitation of quantification (i.e clofibric acid, metoprolol and iohexol) degradation rates can be underestimated.

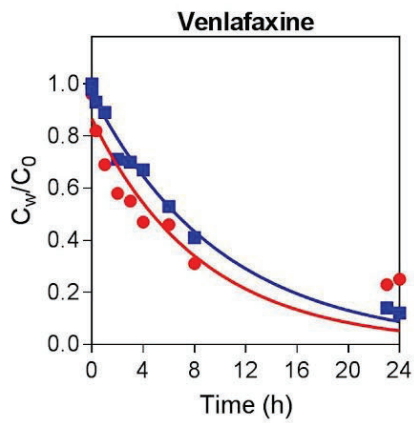
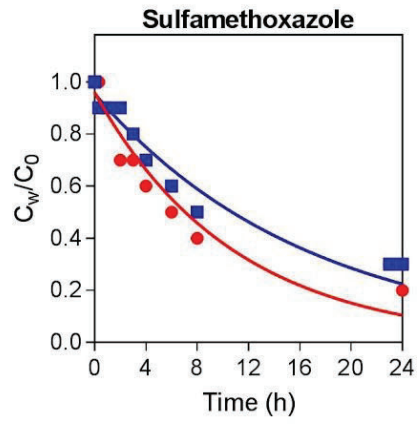
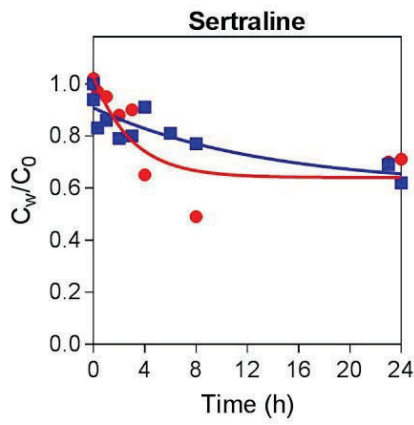
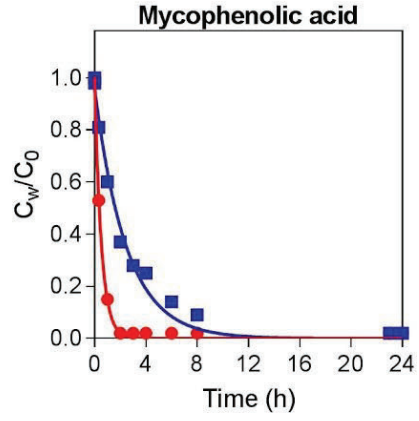
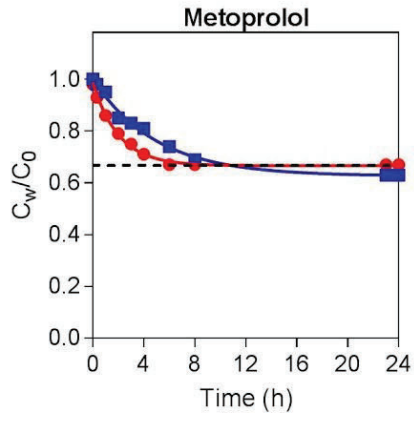
■ AS ● HYBAS



■ AS ● HYBAS



■ AS ● HYBAS



3.2. Biodegradation rate constants

The rate constants for biodegradation of the different substances in AS and HYBAS experiment respectively are presented in Table 3. Both absolute rates and rates that are normalised with respect to biomass concentration (as TSS) are presented. The increase in rate constant achieved by using HYBAS configuration compared to AS configuration for each substance is also presented both for absolute and normalised rate constants.

Table 3. Biodegradation rate constants (absolute -K- and normalised -KBio- with respect to TSS) for the different substances in the two tests and the increase in rate constant achieved by using HYBAS configuration compared to AS configuration both for absolute and normalised rates.

Compound	K (1/h)		KBio (L/gTSS d)		% Increase of k with HYBAS configuration	% Increase of KBio with HYBAS configuration
	AS	HYBAS	AS	HYBAS		
1-H-benzotriazole	0,04	0,08	0,29	0,18	44%	
5-cholobenzotriazole	0,08	0,21	0,55	0,48	61%	
5-methyl-1h-benzotriazole	0,01	0,15	0,06	0,34	94%	82%
Atenolol	1,60	1,67	10,78	3,81	4%	
Azithomycin	0,01	0,56	0,06	1,27	98%	95%
Bezafibrate	0,29	0,58	1,95	1,33	50%	
Bicalutamide	0,00	1,11	0,02	2,53	100%	99%
Carbamazepine	0,00	0,01	0,02	0,01	55%	
Citalopram	0,07	0,51	0,45	1,16	87%	62%
Claritomylin	0,11	0,48	0,73	1,10	77%	33%
Clofibric acid	0,02	0,16	0,12	0,37	89%	68%
Diclofenac	0,00	0,02	0,03	0,06	84%	52%
Erythromycin	0,07	0,25	0,47	0,57	72%	19%
Hydrochlorothiazide	0,00	0,01	0,03	0,03	65%	
Iohexol	0,01	0,83	0,07	1,89	99%	96%
Ketoprofen	1,13	2,32	7,59	5,28	51%	
Metoprolol	0,05	0,06	0,33	0,13	14%	
Mycophenolic acid	0,40	1,91	2,73	4,35	79%	37%
Sertraline	0,08	0,34	0,52	0,77	77%	33%
Sulfamethoxazole	0,06	0,09	0,41	0,21	35%	
Venlafaxine	0,10	0,12	0,67	0,27	14%	

3.3. Conclusion/discussion

- Degradation of X-ray contrast media (e.g Iohexol) and bicalutamide was only achieved with HYBAS configuration
- Improved removal of macrolides antibiotics (e.g. azithromycin and erythromycin) was achieved with HYBAS configuration

- Absolute K (d^{-1}) was improved by $>20\%$ for all of the compounds as a combined result of higher biomass concentration and biomass specialization on the carriers
- Degradation rates for biomass normalized K_{bio} ($L\ g^{-1}\ d^{-1}$) were improved for 11 compounds, indicating a specialized biofilm activity for those compounds
- The test was performed with a synthetic medium without COD addition. Under full-scale conditions, the biodegradation could be even higher due to a possible effect of co-metabolism.

4. References

Plósz, B. G.; Langford, K. H.; Thomas, K. V. An activated sludge modeling framework for xenobiotic trace chemicals (ASM-X): assessment of diclofenac and carbamazepine. *Biotechnol. Bioeng.* 2012, 109 (11), 2757–2769